

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Obtención de Líneas Base: Aplicación a Edificios Sanitarios

Autor: Beatriz María Calderón Escatllar

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 Sanitarios

Autor:

Beatriz María Calderón Escatllar

Tutor:

Servando Álvarez Domínguez

Catedrático

Director:

José Sánchez Ramos

Profesor

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

Sevilla, 2016

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a Servando Álvarez por darme la oportunidad de participar en este proyecto.

En segundo lugar, agradecer en especial a José Sánchez por su gran ayuda y por aportarme ideas y consejos para la realización de este trabajo.

Así mismo, también quisiera dar las gracias a toda mi familia por todo el apoyo que he recibido, en especial por parte de mis hermanos Luis y Nuria, por ayudarme a desconectar, porque siempre se han preocupado.

Por último agradecer a todos mis amigos de la carrera por todos los momentos vividos, porque al fin vemos la luz al final del camino.

Muchas gracias.

Beatriz Calderón Escatllar

RESUMEN

Actualmente podemos producir la energía necesaria para nuestro desarrollo económico y social, pero el futuro no es tan alentador. Debido a ello es de vital importancia el ahorro energético.

A nivel europeo, la UE está llevando a cabo el programa *Horizonte 2020*, siendo uno de sus objetivos la reducción del consumo de energía mediante el empleo de tecnologías y servicios que hagan un uso eficiente e inteligente de la energía. En concreto, uno de los objetivos del programa es aprovechar el potencial de sistemas de calefacción y refrigeración eficaces y renovables. En la comunidad autónoma de Andalucía ha sido aprobada la *Estrategia Energética de Andalucía 2020*, documento estratégico que recoge las líneas principales de la política energética andaluza en el marco del *Horizonte 2020*.

Según la Comisión Europea, el consumo de los edificios antiguos es en torno a cinco veces superior a los nuevos. Desde el punto de vista de la eficiencia energética son mejores los edificios nuevos, pero ello conlleva una gran inversión. Nuestro objetivo es disminuir el consumo en edificios antiguos, de uso terciario.

Para reducir el consumo existen bastantes medidas de ahorro y eficiencia energética, sin embargo, la medición y verificación de ahorros de estas medidas no es trivial. Para ello las referencias de la temática promueven la estimación del ahorro comparando la situación mejorada medida con un valor de consumo de referencia, es decir, con el consumo que hubiera habido en el edificio si no se hubiera hecho nada en las mismas condiciones de uso y clima que tiene la situación mejorada. Es por tanto una necesidad, obtener una herramienta que nos permita estimar el consumo que hubiera habido: la línea base de consumo del edificio.

Este proyecto ofrece una solución para la obtención de líneas base en edificios sanitarios grandes, tipo hospitales o Centros Hospitalarios de Alta Resolución (CHARES), ubicados en la comunidad autónoma de Andalucía. Se han elegido esta tipología de edificios por ser uno de los mayores consumidores de energía.

A lo largo del documento se describe la metodología desarrollada y se aplica a tres centros situados en Utrera, Sierra Norte y Écija.

El producto resultante es un modelo matemático dependiente del clima y del propio edificio que permite estimar el consumo energético de referencia del edificio. Los resultados de su aplicación desvelan errores en torno al 15% en la estimación diaria y en torno al 5% en la estimación mensual, siendo en el peor de los casos del 13%. Por estos resultados se cree que es una herramienta de enorme utilidad en la medición y verificación de ahorros en grandes edificios sanitarios.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN.....	7
INDICE.....	9
INDICE DE TABLAS.....	11
INDICE DE FIGURAS.....	13
INDICE DE GRÁFICOS.....	15
1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO.....	17
1.2. EVALUACIÓN Y VERIFICACIÓN DE AHORROS.....	19
1.3. EDIFICIOS TERCIARIOS: HOSPITALES.....	21
1.4. MODELO SIMPLIFICADO DE CARACTERIZACIÓN INVERSA INTEGRADO.....	25
1.4.1. DESCRIPCIÓN.....	25
1.4.2. MODELO INTEGRADO DE CONSUMO.....	26
1.4.3. MODELO Q-T.....	26
1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	27
2. CAPÍTULO 2: CASO A ESTUDIO.....	29
2.1. DESCRIPCIÓN HOSPITALES.....	29
2.1.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA.....	29
2.1.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE.....	33
2.1.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA.....	37
2.2. DATOS DE LOS HOSPITALES.....	41
2.2.1. OBTENCIÓN DE DATOS DE LOS HOSPITALES.....	41
2.2.2. CORRECIÓN Y CÁLCULOS DE DATOS DE LOS HOSPITALES.....	42
3. CAPÍTULO 3: OBTENCIÓN DE LÍNEAS BASE.....	43
3.1. ANÁLISIS DEL CONSUMO.....	43
3.2. OBTENCIÓN DE LA DURACIÓN DE LAS ESTACIONES.....	47
3.2.1. OBTENCIÓN DE LOS MESES DE REFRIGERACIÓN.....	47
3.2.2. OBTENCIÓN DE LOS MESES DE CALEFACCIÓN.....	52
3.2.3. OBTENCIÓN DE LOS MESES INTERMEDIOS.....	55
3.3. OBTENCIÓN DE LOS PERIODOS DE REFRIGERACIÓN, CALEFACCIÓN E INTERMEDIOS	55
3.4. TIPIFICACIÓN DE LOS DÍAS DE CADA PERIODO.....	57

3.5.	OBTENCIÓN DEL MODELO DE LA LÍNEA BASE.....	58
4.	CAPÍTULO 4: APLICACIÓN DE LÍNEAS BASE.....	67
4.1.	ESTUDIO 0: DESGLOSE.....	67
4.2.	ESTUDIO 1: PERIODOS DE LAS ESTACIONES.....	68
4.2.1.	DESCRIPCIÓN.....	68
4.2.2.	RESULTADOS.....	68
4.2.3.	CONCLUSIONES.....	78
4.3.	ESTUDIO 2: TIPIFICACIÓN DE LOS DÍAS.....	79
4.3.1.	DESCRIPCIÓN.....	79
4.3.2.	RESULTADOS.....	79
4.4.	ESTUDIO 3: MODELO LÍNEA BASE REFRIGERACIÓN.....	85
4.4.1.	DESCRIPCIÓN.....	85
4.4.2.	RESULTADOS.....	85
4.5.	ESTUDIO 4: MODELO LÍNEA BASE CALEFACCIÓN.....	89
4.5.2.	DESCRIPCIÓN.....	89
4.5.3.	RESULTADOS.....	89
4.6.	ESTUDIO 5: MODELO LÍNEA BASE INTERMEDIO.....	91
4.6.2.	DESCRIPCIÓN.....	91
4.6.3.	RESULTADOS.....	92
4.7.	ESTUDIO 6: MODELO ANUAL.....	96
4.7.2.	DESCRIPCIÓN.....	96
4.7.3.	RESULTADOS.....	96
4.8.	ESTUDIO 7: MODELO MENSUAL A PARTIR DEL MODELO DIARIO.....	99
4.8.2.	DESCRIPCIÓN.....	99
4.8.3.	RESULTADOS.....	99
5.	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	109
	REFERENCIAS.....	111
	ANEXO I. ANÁLISIS CONSUMO: HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA.....	113
	ANEXO II. DEPENDENCIA DEL CONSUMO CON RESPECTO A LA TEMPERATURA EXTERIOR: HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA.....	119
	ANEXO III. RADIACIÓN SOLAR: HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA.....	125

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: LONGITUD, LATITUD HOSPITAL ÉCIJA.....	29
TABLA 2: SUPERFICIE ACONDICIONADA HOSPITAL ÉCIJA	30
TABLA 3: OCUPACIÓN MENSUAL HOSPITAL ÉCIJA.....	31
TABLA 4: LONGITUD, LATITUD HOSPITAL SIERRA NORTE	33
TABLA 5: SUPERFICIE ACONDICIONADA HOSPITAL SIERRA NORTE	35
TABLA 6: OCUPACIÓN MENSUAL HOSPITAL SIERRA NORTE.....	35
TABLA 7: LONGITUD, LATITUD HOSPITAL UTRERA	37
TABLA 8: OCUPACIÓN MENSUAL HOSPITAL UTRERA.....	39
TABLA 9: ESTACIONES HOSPITALES.....	41
TABLA 10: INCONSISTENCIAS HOSPITAL SIERRA NORTE	42
TABLA 11: TIPIFICACIÓN DE DÍAS	58
TABLA 12: PERIODOS DE LAS ESTACIONES. HOSPITAL DE ÉCIJA. AÑO 14/15	70
TABLA 13: PERIODOS DE LAS ESTACIONES. HOSPITAL DE ÉCIJA. AÑO 13/14	71
TABLA 14: PERIODOS DE LAS ESTACIONES. HOSPITAL DE SIERRA NORTE. AÑO 14/15	73
TABLA 15: PERIODOS DE LAS ESTACIONES. HOSPITAL DE SIERRA NORTE. AÑO 13/14	75
TABLA 16: PERIODOS DE LAS ESTACIONES. HOSPITAL DE UTRERA. AÑO 2015	76
TABLA 17: PERIODOS DE LAS ESTACIONES. HOSPITAL DE UTRERA. AÑO 2014	78
TABLA 18: TIPIFICACIÓN DÍAS. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15	80
TABLA 19: TIPIFICACIÓN DÍAS. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	81
TABLA 20: TIPIFICACIÓN DÍAS. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	82
TABLA 21: TIPIFICACIÓN DÍAS. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 13/14.....	83
TABLA 22: TIPIFICACIÓN DÍAS. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015	83
TABLA 23: TIPIFICACIÓN DÍAS. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2014.....	84
TABLA 24: ERRORES MENSUALES. HOSPITAL DE ÉCIJA. AÑO 14/15	101
TABLA 25: ERRORES MENSUALES. HOSPITAL DE ÉCIJA. AÑO 13/14	102
TABLA 26: ERRORES MENSUALES. HOSPITAL DE SIERRA NORTE. AÑO 14/15	103
TABLA 27: ERRORES MENSUALES. HOSPITAL DE SIERRA NORTE. AÑO 13/14	104
TABLA 28: ERRORES MENSUALES. HOSPITAL DE UTRERA. AÑO 2015.....	106
TABLA 29: ERRORES MENSUALES. HOSPITAL DE UTRERA. AÑO 2014.....	107

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL POR FUENTES. FUENTE: SEE.....	18
FIGURA 2: ALCANCE DE UN SERVICIO ENERGÉTICO. FUENTE: EOENERGIA.....	19
FIGURA 3: AHORRO ENERGÉTICO. FUENTE: EVO - IPMVP.....	20
FIGURA 4: DESGLOSE DEL CONSUMO EN HOSPITALES. FUENTE: IPSOM	23
FIGURA 5: VISIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES DEL CONSUMO.....	26
FIGURA 6: UBICACIÓN HOSPITAL ÉCIJA. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	29
FIGURA 7: FOTOGRAFÍA 1 HOSPITAL ÉCIJA. FUENTE: ECIJAWEB.....	30
FIGURA 8: FOTOGRAFÍA 2 HOSPITAL ÉCIJA. FUENTE: ECIJAWEB.....	31
FIGURA 9: UBICACIÓN HOSPITAL SIERRA NORTE. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	33
FIGURA 10: FOTOGRAFÍA 1 HOSPITAL SIERRA NORTE. FUENTE: EMPRESASCONSAUD.....	34
FIGURA 11: FOTOGRAFÍA 2 HOSPITAL SIERRA NORTE. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	34
FIGURA 12: FOTOGRAFÍA 3 HOSPITAL SIERRA NORTE. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	35
FIGURA 13: UBICACIÓN HOSPITAL UTRERA. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	37
FIGURA 14: FOTOGRAFÍA 1 HOSPITAL UTRERA.....	38
FIGURA 15: FOTOGRAFÍA 2 HOSPITAL UTRERA. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	38
FIGURA 16: FOTOGRAFÍA 3 HOSPITAL UTRERA. FUENTE: GOOGLE MAPS.....	39
FIGURA 17: DESGLOSE CONSUMO.....	67

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: CONSUMO MENSUAL HOSPITAL ÉCIJA.....	43
GRÁFICO 2: 1. CONSUMO ENERO HOSPITAL ÉCIJA.....	44
GRÁFICO 3: 2. CONSUMO ENERO HOSPITAL ÉCIJA.....	44
GRÁFICO 4: CONSUMO AGOSTO HOSPITAL ÉCIJA.....	45
GRÁFICO 5: CONSUMO Y TEMPERATURA JUNIO. HOSPITAL ÉCIJA.....	46
GRÁFICO 6: CONSUMO Y TEMPERATURA NOVIEMBRE. HOSPITAL ÉCIJA.....	46
GRÁFICO 7: JUNIO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	47
GRÁFICO 8: JUNIO, JULIO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	48
GRÁFICO 9: JUNIO, JULIO, AGOSTO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	48
GRÁFICO 10: JUNIO, JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	49
GRÁFICO 11: JUNIO, JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE, OCTUBRE. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	49
GRÁFICO 12: JUNIO, JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE, MAYO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	50
GRÁFICO 13: JUNIO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	50
GRÁFICO 14: JUNIO, JULIO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	51
GRÁFICO 15: JUNIO, JULIO, AGOSTO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	51
GRÁFICO 16: JUNIO, JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	52
GRÁFICO 17: JUNIO, JULIO, AGOSTO, SEPTIEMBRE, MAYO, OCTUBRE. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	52
GRÁFICO 18: NOVIEMBRE. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	53
GRÁFICO 19: NOVIEMBRE, DICIEMBRE. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	53
GRÁFICO 20: NOVIEMBRE, DICIEMBRE, ENERO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	54
GRÁFICO 21: NOVIEMBRE, DICIEMBRE, ENERO, FEBRERO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	54
GRÁFICO 22: NOVIEMBRE, DICIEMBRE, ENERO, FEBRERO, MARZO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	55
GRÁFICO 23: CONSUMO-GH ₂₅ . HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	57
GRÁFICO 24: CORRELACIÓN A. HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	59
GRÁFICO 25: CORRELACIÓN B. HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	59
GRÁFICO 26: CORRELACIÓN C. HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	60
GRÁFICO 27: CORRELACIÓN SIN 0. HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	60
GRÁFICO 28: CON 0. HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	61
GRÁFICO 29: CONSUMO-TIPO DÍAS (0, 1, 2, 3). HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	61
GRÁFICO 30: CON 0 Y CTE. HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	62
GRÁFICO 31: CON 0 Y CTE, NUBE DE PUNTOS. HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	63
GRÁFICO 32: CONSUMO-TIPO DÍAS (1, 2, 3). HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	63
GRÁFICO 33: MODELO HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	64
GRÁFICO 34: ERROR MODELO HOSPITAL ÉCIJA. REFRIGERACIÓN. AÑO 14/15.....	64
GRÁFICO 35: CONSUMO-GH ₂₀ . HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	69
GRÁFICO 36: CONSUMO-GH ₂₅ . HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	69
GRÁFICO 37: CONSUMO-GH ₂₀ 13/14 HOSPITAL ÉCIJA.....	70
GRÁFICO 38: CONSUMO-GH ₂₅ 13/14 HOSPITAL ÉCIJA.....	71
GRÁFICO 39: CONSUMO-GH ₂₀ . HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	72
GRÁFICO 40: CONSUMO-GH ₂₅ . HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	73
GRÁFICO 41: CONSUMO-GH ₂₀ . HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 13/14.....	74
GRÁFICO 42: CONSUMO-GH ₂₅ . HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 13/14.....	74
GRÁFICO 43: CONSUMO-GH ₂₀ . HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	75

GRÁFICO 44: CONSUMO-GH ₂₅ . HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	76
GRÁFICO 45: CONSUMO-GH ₂₀ . HOSPITAL UTRERA. AÑO 2014.....	77
GRÁFICO 46: CONSUMO-GH ₂₅ . HOSPITAL UTRERA. AÑO 2014.....	77
GRÁFICO 47: MODELO REFRIGERACIÓN. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	86
GRÁFICO 48: ERROR MODELO REFRIGERACIÓN. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	86
GRÁFICO 49: ERROR MODELO REFRIGERACIÓN. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	87
GRÁFICO 50: ERROR MODELO REFRIGERACIÓN. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	87
GRÁFICO 51: ERROR MODELO REFRIGERACIÓN. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 13/14.....	88
GRÁFICO 52: ERROR MODELO REFRIGERACIÓN. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	88
GRÁFICO 53: ERROR MODELO REFRIGERACIÓN. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2014.....	89
GRÁFICO 54: MODELO CALEFACCIÓN. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	90
GRÁFICO 55: ERROR MODELO CALEFACCIÓN. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	90
GRÁFICO 56: ERROR MODELO CALEFACCIÓN. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	91
GRÁFICO 57: MODELO INTERMEDIO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	92
GRÁFICO 58: ERROR MODELO INTERMEDIO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	93
GRÁFICO 59: ERROR MODELO INTERMEDIO. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	93
GRÁFICO 60: ERROR MODELO INTERMEDIO. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	94
GRÁFICO 61: ERROR MODELO INTERMEDIO. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 13/14.....	94
GRÁFICO 62: ERROR MODELO INTERMEDIO. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	95
GRÁFICO 63: ERROR MODELO INTERMEDIO. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2014.....	95
GRÁFICO 64: MODELO ANUAL. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	96
GRÁFICO 65: ERROR MODELO ANUAL. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	97
GRÁFICO 66: MODELO ANUAL. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	97
GRÁFICO 67: ERROR MODELO ANUAL. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	98
GRÁFICO 68: MODELO ANUAL. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	98
GRÁFICO 69: ERROR MODELO ANUAL. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	99
GRÁFICO 70: MODELO MENSUAL. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	100
GRÁFICO 71: 2. MODELO MENSUAL. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 14/15.....	100
GRÁFICO 72: MODELO MENSUAL. HOSPITAL ÉCIJA. AÑO 13/14.....	101
GRÁFICO 73: MODELO MENSUAL. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	102
GRÁFICO 74: 2. MODELO MENSUAL. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 14/15.....	103
GRÁFICO 75: MODELO MENSUAL. HOSPITAL SIERRA NORTE. AÑO 13/14.....	104
GRÁFICO 76: MODELO MENSUAL. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	105
GRÁFICO 77: 2. MODELO MENSUAL. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2015.....	105
GRÁFICO 78: MODELO MENSUAL. HOSPITAL UTRERA. AÑO 2014.....	106

1.1. PROBLEMÁTICA Y CONTEXTO

La energía es necesaria para nuestro desarrollo económico y social, así como para mantener nuestro estilo de vida. Gracias a ella son posibles el uso de sistemas de calefacción, refrigeración, la industria, el transporte y aparatos eléctricos y electrónicos. Sin embargo, el ritmo de consumo energético actual pone en peligro esta calidad de vida.

Actualmente podemos producir la energía necesaria para estas actividades, pero el futuro no es tan alentador. La energía es un bien escaso que debemos respetar y cuidar entre todos. Por ello es de vital importancia el ahorro energético. Las causas por las que debemos ahorrar energía son diversas.

Una de las principales causas es el agotamiento de las energías no renovables, debido a que estas energías tienen un ciclo de formación de millones de años, por lo que al ritmo de consumo actual, terminarán agotándose o dejarán de ser económicamente rentables. España es un país con una gran dependencia energética del exterior, con una contribución de energía nuclear y las denominadas energías fósiles (gas natural, petróleo y carbón) al conjunto de la producción energética de un 91%.

Por otro lado, de la transformación, transporte y uso final de la energía se derivan importantes impactos medioambientales, como residuos, emisiones atmosféricas y contaminación de aguas y suelos. Un ejemplo de ello es el abastecimiento energético a partir de energías fósiles ya que necesitan un proceso de combustión que se produce en centrales térmicas para producir electricidad; o localmente, en calderas y motores de vehículos. Esta combustión da lugar a la formación de CO₂, el principal gas de efecto invernadero, y a la emisión de otros gases y partículas contaminantes que dañan la salud.

Otra de las causas por la que se debe ahorrar es la inseguridad del abastecimiento energético. [11] Un buen ejemplo en este caso es la dependencia energética externa de la Unión Europea que registra un aumento constante. La UE cubre sus necesidades energéticas en un 50 % con productos importados y, de no hacer nada, de aquí a 2020 ese porcentaje ascenderá al 70 %. Esa dependencia externa acarrea riesgos económicos, sociales, ecológicos y físicos para la UE. Esta vulnerabilidad resulta patente en las escaladas de los precios del petróleo que se han vivido desde el año 2008.

En los próximos años los problemas anteriores se agravarán. Es por ello que la UE está llevando a cabo el programa *Horizonte 2020*, programa de investigación e innovación de la UE que abarca el periodo 2014-2020. [12] Sus objetivos son varios, siendo uno de ellos la energía segura, limpia y eficiente, realizando la transición a un sistema energético fiable, asequible, que goce de aceptación pública, sostenible y competitiva, con el propósito de reducir la dependencia respecto de los combustibles fósiles en un contexto de creciente escasez de recursos, aumento de las necesidades de energía y cambio climático.

En el siguiente gráfico se representa el consumo energético de España desde el año 1995 hasta el año 2010. Se observa que a lo largo de los años dicho consumo ha ido aumentando.

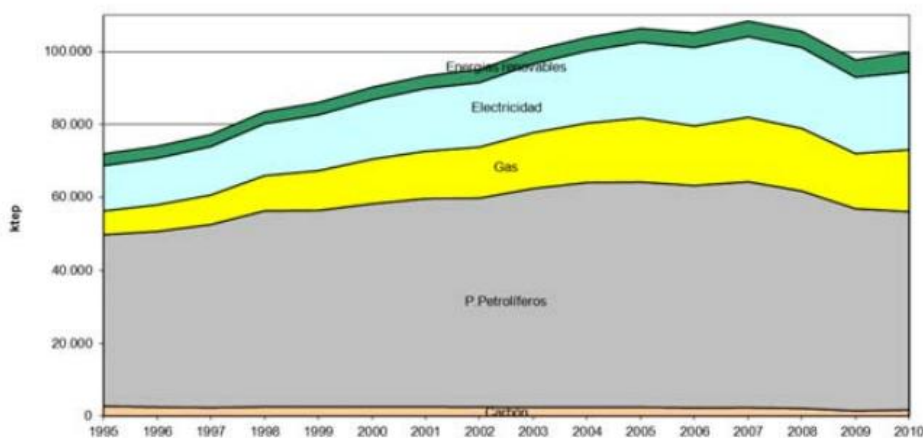


Figura 1: Evolución del consumo de energía final por fuentes. Fuente: SEE

Por ello, el programa *Horizonte 2020* se centra entre otras acciones, en la reducción del consumo de energía mediante un uso inteligente y sostenible. Para ello prevé lanzar al mercado tecnologías y servicios que hagan posible un uso eficiente e inteligente de la energía; así como aprovechar el potencial de sistemas de calefacción y refrigeración eficaces y renovables.

En concreto, en la comunidad autónoma de Andalucía, ha sido aprobada en octubre de 2015 la *Estrategia Energética de Andalucía 2020*, documento estratégico que recoge las líneas principales de la política energética andaluza en el *Horizonte 2020*.

La Estrategia recoge cinco Programas de Actuación: Energía Inteligente, Mejora de la Competitividad, Mejora de las Infraestructuras y Calidad de los Servicios Energéticos, Cultura Energética y Gestión Energética en las Administraciones Públicas de Andalucía. Su ejecución se realiza mediante Planes de Acción a lo largo del periodo de vigencia, actuando en todos los sectores de la sociedad andaluza. [1]

REDEJA es la Red de Energía de la Junta de Andalucía, destinada a impulsar dentro de la administración andaluza principios de ahorro y diversificación energética e implantar en sus edificios instalaciones de energías renovables. Con su creación, por acuerdo del Consejo de Gobierno de 26 de junio de 2007, se interioriza en la administración de la Junta de Andalucía lo recogido en la Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y la eficiencia energética en Andalucía. [2]

Según la Comisión Europea, los edificios nuevos consumen en calefacción entre tres y cinco litros de combustible al año por metro cuadrado, y en el caso de los existentes 25 litros [13]. Si los edificios antiguos consumen en torno a cinco veces más que los nuevos, desde el punto de vista de la eficiencia energética son mejores los edificios nuevos, pero ello conlleva una gran inversión. Por ello, el presente proyecto está destinado a la medición y valoración de consumos en edificios antiguos terciarios, concretamente en hospitales, para así de esta manera disminuir dichos consumos.

1.2. EVALUACIÓN Y VERIFICACIÓN DE AHORROS

La “Medida y Verificación” (M&V) es un proceso que consiste en utilizar la medida, para determinar de forma fiable el ahorro real generado en una instalación, dentro de un programa de gestión de la energía. [5]

La medida y verificación del ahorro energético alcanzado juegan un papel fundamental para la empresa o entidad que persigue conseguir mayores niveles de eficiencia. Es básica para la competitividad empresarial, ya que aumenta el beneficio económico.

Esta importancia ha contribuido a la creación de Empresas de Servicios Energéticos especializadas en la mejora de la eficiencia energética, en instituciones, empresas y edificios. [14]

La guía de evaluación y verificación de ahorros en contratos de Servicios Energéticos incluye:



Figura 2: Alcance de un servicio energético. Fuente: EoEnergia

La capitalización pública, social y mediática del esfuerzo de eficiencia por parte de la empresa o entidad afectada sólo es posible con transparencia y con criterios de medida y verificación sólidas y reconocidas.

Los ahorros son la ausencia de consumo de energía, por lo que no podemos “medir” los ahorros directamente. El consumo de energía es medido antes y después de implementar la medida de eficiencia energética, realizando los ajustes necesarios, para que las situaciones de antes y después sean las mismas y se puedan comparar los consumos ajustados entre sí. [5]

Para ello es necesario establecer el consumo de referencia del cliente, acordar el procedimiento de cálculo de los ahorros e implementar los equipos y procedimientos necesarios para su correcta medición.

International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) es un protocolo desarrollado por EVO (Efficiency Valuation Organization), organización estadounidense sin ánimo de lucro. Define los principios por los que se tiene que guiar y las posibles opciones a utilizar para realizar un plan de medida de los ahorros energéticos logrados. Los planes de medida y verificación acordes con IPMVP proporcionan seguridad a todas las partes implicadas (usuario de la instalación, empresa de servicios energéticos, entidad financiera...), ya que posee un reconocimiento internacional.

IPMVP es una guía respecto a las prácticas más comunes relacionadas con la medida, el cálculo y la elaboración de los informes demostrativos de ahorros. Establece métodos para determinar los ahorros después de la implementación del proyecto. Éstos, poseen distintos niveles de precisión y coste. El protocolo especifica los aspectos claves que deben ser abordados en el desarrollo del Plan de Medida y Verificación para un proyecto específico. No es una norma, por lo que no es de obligado cumplimiento. [5]

La ecuación básica para el cálculo del ahorro energético según IPMVP es la siguiente: [5]

$$\text{Ahorro de Energía} = (\text{Energía Período de Referencia} - \text{Energía Período Demostrativo de Ahorro}) \pm \text{Ajustes}$$

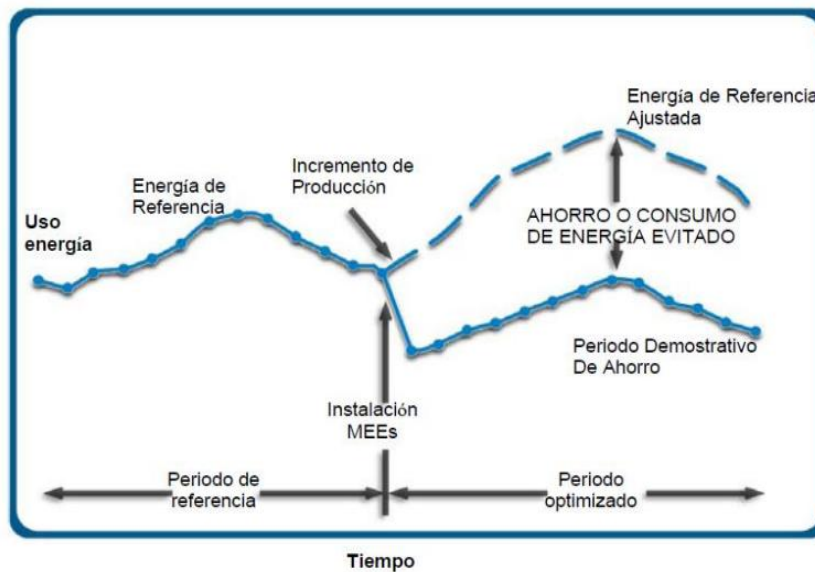


Figura 3: Ahorro energético. Fuente: EVO - IPMVP

El periodo de referencia se establece con el fin de representar todos los modos de operación de la instalación. Este periodo tiene que abarcar un ciclo operativo completo, desde el consumo de energía máximo al mínimo. [5]

El usuario de los informes puede determinar la duración del período demostrativo de ahorro. Dicho período tiene que abarcar al menos un ciclo operativo normal de la instalación o de los equipos para conseguir una completa caracterización de la efectividad del ahorro en todas las condiciones normales de operación. [5]

Para un correcto cálculo del ahorro obtenido son necesarios una serie de ajustes. Los ajustes pueden ser rutinarios o no rutinarios. Los ajustes rutinarios son debidos a parámetros que influyen en la

energía y que experimentan variaciones durante el período demostrativo de ahorro. Ejemplos de ello son la temperatura exterior, el nivel de producción, la duración de los periodos de medida... Los ajustes no rutinarios son debidos a parámetros que influyen en la energía y que no se prevé que cambien en el tiempo. Afectan al consumo de energía. Algunos ejemplos son el tamaño de la instalación, la maquinaria utilizada, el nivel de iluminación, el volumen a climatizar, etc. [5]

Los ajustes pueden ser triviales, simples o complejos en función de la necesidad de precisión, la complejidad de los factores que condicionan el consumo de energía, la cantidad de equipos incluidos en el cálculo de ahorros y el presupuesto disponible. [5]

Es necesario medir el ahorro energético para aumentar el beneficio económico, disminuir el consumo de energía, y verificar el cumplimiento de condiciones contractuales en la implementación de una mejora y su implementación en otras instalaciones similares.

No obstante, estos planes de mejora presentan barreras para su implantación. Entre ellas destacan dos aspectos. En primer lugar, implican inversiones, que en algunos casos pueden llegar a ser significativas y por otro lado la incertidumbre con respecto al ahorro conseguido.

Sin embargo, estudios realizados en Estados Unidos calculan que el coste añadido de implantar medidas de eficiencia energética que se realizan bajo una metodología rigurosa de evaluación y seguimiento de los ahorros se estima de un 5% del coste de inversión de las medidas, recuperandose dicha inversión en un periodo corto de tiempo gracias a los ahorros conseguidos. Así mismo, concluyen que la implantación de medidas bajo una metodología rigurosa implica un ahorro de un 20-30% de más energía que las inversiones sin ninguna metodología de medición y verificación. [3]

La fundación EnergyLab y la Efficiency Valuation Organization Inc (EVO) han firmado un acuerdo de colaboración "con el propósito de difundir el uso del Protocolo Internacional de Medida y Verificación de ahorros energéticos" en España. [6]

El protocolo de medida y verificación de ahorros está dirigido a las empresas de servicios energéticos, a las comercializadoras y distribuidoras de energía, y a la industria en general, "que pueden utilizarlo para valorar y mejorar el rendimiento de sus instalaciones". Según la fundación, la documentación del Protocolo (IPMVP) recoge "las mejores técnicas para la verificación de los resultados obtenidos en el campo de la eficiencia energética, eficiencia en el uso del agua y proyectos de energías renovables en instalaciones industriales y comerciales". El protocolo es reconocido, en todo el mundo, como método de evaluación de ahorros energéticos obtenidos por medidas de eficiencia. [6]

1.3. EDIFICIOS TERCIARIOS: HOSPITALES

Los centros tratados en el presente proyecto corresponden a Centros Hospitalarios de Alta Resolución (CHARE). Son centros sanitarios de ámbito local o comarcal, de menor envergadura que los hospitales convencionales pero dotados de una avanzada tecnología. Actualmente existe una docena de ellos en las ocho provincias andaluzas.

Los hospitales destacan como un grupo de edificios particularmente intensivos en el consumo de energía. No sólo porque deben estar operativos las veinticuatro horas del día y los 365 días del año,

sino incluso por la constante necesidad de disponibilidad de requisitos especiales de climatización y calidad del aire y control de enfermedades.

Actualmente en España hay 764 hospitales entre públicos y privados. Los hospitales españoles tienen una alta variabilidad de consumos en función del estado de las instalaciones y de su tipología. Un hospital puede consumir entre 20-60 mil kWh por cama, lo que implicaría entre 180 y 580 euros al mes. Por metro cuadrado equivale entre 150 kWh y 350 kWh. El consumo de los hospitales implica aproximadamente un 2% del consumo sobre el total del país.

El consumo de energía cada vez mayor y el aumento significativo de los costes de dicha energía han hecho que la eficiencia energética sea una constante preocupación para los gestores de los hospitales existentes, con el fin de reducir las necesidades energéticas y ahorrar en costes de funcionamiento, sin perder confort ni calidad. [9]

[8] Además del ahorro económico, otras ventajas de la mejora de eficiencia son:

- Mejores condiciones y mayor confort para los pacientes y trabajadores del hospital.
- Cumplimiento de normativas en materia de consumo energético y eficiencia.
- Efecto positivo sobre la imagen del hospital a través de una publicidad adecuada de las mejoras introducidas y los resultados obtenidos, lo que a su vez puede conllevar beneficios económicos.
- Concienciación social.
- Beneficios sobre el medio ambiente, ya que un menor consumo energético implica una menor emisión de gases de efecto invernadero.

Entre las mejoras que se pueden introducir en un hospital con el objetivo de mejorar la eficiencia energética destacan las referentes a los sistemas de climatización e iluminación, puesto que son los que presentan las mejores oportunidades de ahorro. [8]

Generalmente, los establecimientos sanitarios consumen energía eléctrica para su consumo en maquinaria de diagnóstico, quirófanos, equipos informáticos, alumbrado, climatización, etc. Se están implantando, cada vez con mayor frecuencia, equipos de climatización con bombas de calor, que permiten el suministro de calefacción durante los meses fríos.

Por otra parte, estos centros consumen algún combustible que se utiliza para la producción de agua caliente sanitaria y para calefacción si no se dispone de bomba de calor.

A la hora de realizar la distribución del consumo energético se observa que, debido a la gran variedad de tipos de establecimientos, situación geográfica, combustibles y fuentes de energía utilizadas, es difícil hacer una distribución estándar del consumo de energía en este sector, ya que existe una gran variedad en los porcentajes de consumo de los diferentes servicios que suministra.

No obstante, el consumo energético principal de este tipo de instalaciones corresponde a la maquinaria, principalmente climatización, por su fundamental importancia en la atención sanitaria.

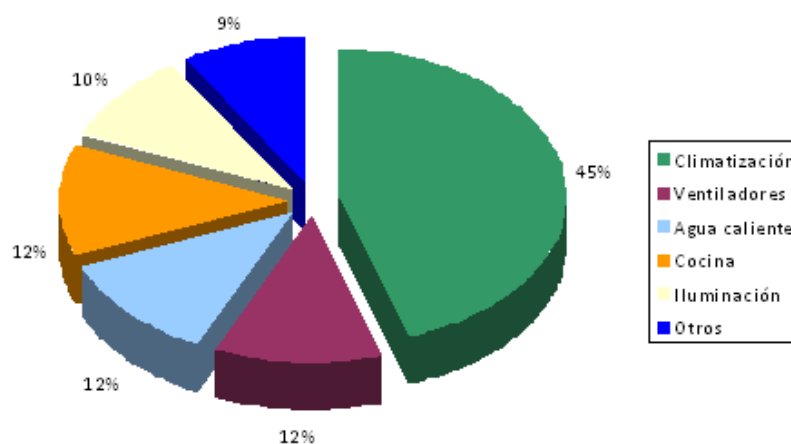


Figura 4: Desglose del consumo en hospitales. Fuente: IPSOM

Los sistemas de climatización son la principal fuente de consumo en una instalación sanitaria. Se pueden llegar a conseguir ahorros entre un 10% y un 40% gracias a la optimización de las instalaciones.

Una zona que requiere especial atención en el diseño e integración de la climatización en los espacios es el área quirúrgica. Estas zonas funcionan con caudales de aire elevados y necesitan las máximas garantías sanitarias. Para conseguirlo funcionan con climatizadores que tratan únicamente aire exterior (no se recircula el aire extraído) y con sistemas de filtrado de alta eficacia. Los filtros utilizados y los caudales que se manejan implican que la energía necesaria para impulsar el aire en estos espacios es mayor que en otras zonas del edificio, por ello se debe cuidar la instalación de los equipos en zonas que tengan fácil acceso para tomar el aire exterior y expulsar el aire extraído y en las que los recorridos de conductos hasta las salas sea lo más directo y corto posible, evitando codos y largos recorridos en los conductos, que son zonas donde se puede acumular suciedad e implican mayor energía para el transporte del aire. [9]

La norma *UNE-EN ISO 50001:2011* establece los requisitos que debe poseer un Sistema de Gestión Energética, con el fin de realizar mejoras continuas y sistemáticas del rendimiento energético de las organizaciones.

Estudios realizados por la Energy Information Administration en el año 2010, estimaron que al implementar esta norma internacional, podría influir en el ahorro de un 60% del consumo de energía del mundo. La solicitud a la ISO, fue efectuada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), como respuesta efectiva al cambio climático y a la proliferación de normas nacionales de gestión de la energía. [7]

Establece los requisitos para implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía. Proporciona al sector público y privado las estrategias de gestión para aumentar la eficiencia energética, reducir costos y mejorar el desempeño energético. Ayuda a las organizaciones a hacer un mejor uso de sus activos disponibles que consumen energía. [7]

[7] Los objetivos específicos de dicha norma son:

- Fomentar eficiencia energética en las organizaciones.
- Fomentar el ahorro de energía.
- Fomentar la mejora en el desempeño energético.
- Disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático.
- Garantizar el cumplimiento de la legislación energética.
- Incrementar el aprovechamiento de energías renovables o excedentes.

Así mismo, la norma *ISO 50006: 2014*, Sistemas de gestión energética – mide el rendimiento energético utilizando líneas de base de energía (ENB) y los indicadores de rendimiento energético (ENPI). Establece los principios generales que proporcionan orientación práctica sobre cómo cumplir con los requisitos de la norma *ISO 50001*, y por lo tanto gestionar su energía rendimiento.

Por ello, para estimar los consumos se ha utilizado el método de la línea base puesto que proporciona una base de conocimiento que permite evaluar el impacto de medidas de mejora de la eficiencia energética.

1.4. MODELO SIMPLIFICADO DE CARACTERIZACIÓN INVERSA INTEGRADO

1.4.1. DESCRIPCIÓN

[10] El fundamento del modelo que a continuación se describe, viene precedido por la aplicación de las funciones de transferencia en la edificación.

Se conoce como función de transferencia, la relación existente entre las respuestas de un instante dado y los valores de la excitación en el mismo instante y en los precedentes. Para su resolución basta evaluar la respuesta del sistema, a lo largo del tiempo, y los de la propia excitación.

En los modelos de función de transferencia, el objetivo es relacionar dos o más series temporales elaborando modelos causales de predicción. Se considera que existe una serie temporal denominada respuesta (variable objetivo) relacionable como función de una u otras series temporales (excitaciones) que se denominan variables independientes. El acoplamiento entre excitación y respuesta es tal que según el caso podrían ser intercambiables. Un ejemplo: en funciones de transferencia en las que los flujos de calor se expresan en función de temperaturas se puede dar la vuelta y expresar las temperaturas en función de los flujos.

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

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

Donde:

$f(t)$ es la variable objetivo

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

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

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

Estas variables excitadoras deben elegirse de acuerdo al sistema a caracterizar y a la influencia de las mismas sobre este. Por ejemplo, es habitual relacionar las cargas térmicas en los espacios de un edificio con las siguientes variables:

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

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.

1.4.2. MODELO INTEGRADO DE CONSUMO

[10] El modelo es una combinación de modelos, a dos niveles, un nivel determinista ligado a funciones de transferencia y otro nivel estocástico.

La filosofía deducida admite que en estos consumos puede existir una parte debida a excitaciones medibles (Componente Determinista), y otra no medible (Componente Estocástica). (Ref.: J. McLellan-Fall 2005)

La siguiente imagen describe las implicaciones que tiene la fase anterior en la caracterización del consumo energético de un sistema, siendo deseable que la componente dominante del modelo sea la determinista.

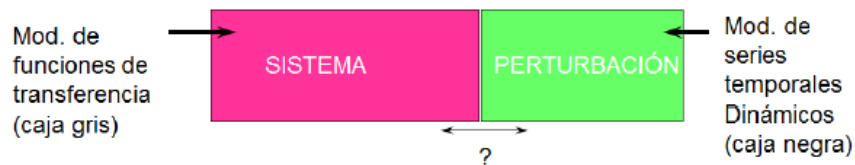


Figura 5: Visión general de los componentes del consumo

La componente determinista 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 parte estocástica, la perturbación, debe limitarse, es decir, debe caracterizarse el control y autoaprendizaje del modelo con el tiempo. Ambas partes son los parámetros clave para acotar la validez y aplicabilidad del modelo.

Ahora bien, no todos los consumos responden a una realidad física caracterizable, sino que en muchos casos son implicaciones del comportamiento humano, como el consumo de ascensores del edificio, o de fuerza. Pero en el caso del consumo de climatización, en edificios terciarios controlados de forma centralizada, 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 mediante la componente determinista la parte física del consumo de climatización (información vinculada a las cargas térmicas del edificio), y con la componente estocástica el resto del consumo no explicable por la componente física caracterizada.

1.4.3. MODELO Q-T

[10] En un espacio la energía que el sistema de climatización sustrae o suma al aire interior para mantener unas ciertas condiciones, depende de las excitaciones climáticas y de las condiciones interiores principalmente. En una primera aproximación, el modelo de caracterización de esa energía puede ser función de la temperatura del aire exterior, la radiación incidente y la temperatura interior.

Esta aproximación suele ser la más usada, ya que representan el mínimo de variables a medir en cualquier edificio para realizar el propio control del mismo. El sistema de climatización en la mayoría de las ocasiones trabaja comandado por las señales de control ligadas a la diferencia entre la temperatura del aire interior que mide y la consigna establecida. A su vez la temperatura interior del aire evoluciona en función de las condiciones climáticas, de las fuentes internas y de la energía intercambiada con el equipo de climatización. Esta dualidad entre la demanda de energía y la temperatura del aire interior, la relación entre ambas respuestas, es el fundamento del “Modelo Q-T”.

Sin embargo la dificultad del modelo Q-T es que cada una de las dos funciones de transferencia que lo componen depende entre sí, es decir, para calcular el flujo de calor necesito conocer la temperatura y la evolución de temperaturas depende del flujo de calor intercambiado. Y a este hecho se une a que la respuesta del sistema de climatización está muy influenciada con el arranque del mismo, es decir, con la temperatura interior del periodo de parada nocturno, fin de semana o festivo.

La evolución de temperaturas interior se caracteriza cuando el sistema de climatización no opera en el edificio no reformado, es decir, es la situación energética de partida del edificio antes de su mejora/modificación. Este modelo queda anidado al modelo de energía, de tal forma que, fijado el horario de operación y conociendo la temperatura interior del edificio durante el periodo en el que el equipo opera, se pueda estimar cuál hubiera sido la temperatura del edificio no reformado en evolución libre. Esta combinación Q-T es lo que se ha denotado como modelo anidado Q-T.

Este modelo de temperatura interior permite conocer la evolución de temperaturas en los periodos de no operación del sistema de climatización, es decir, permite conocer la respuesta del edificio de referencia ante las excitaciones climáticas y fuentes internas.

1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto consiste en obtener una metodología eficaz para la estimación del consumo en edificios terciarios, concretamente en CHARES ubicados en la comunidad autónoma de Andalucía.

Dicha estimación del consumo se realiza mediante el método de la línea base, estimando el consumo a partir de un periodo de referencia para así posteriormente medir el ahorro conseguido tras las mejoras implantadas.

Por lo tanto, los objetivos del proyecto son:

- La elaboración de líneas base para una muestra creciente de edificios.
- Crear una base de conocimiento para la definición de un protocolo de obtención de líneas base que permita evaluar el impacto de medidas de mejora de la eficiencia energética.
- Análisis de resultados y datos medidos para proporcionar a los usuarios información sobre las variaciones de consumo debidas a causas no previstas y con incidencia significativa, y reducciones de consumo obtenidas a partir de la implementación de medidas de mejora.
- Crear una base de conocimiento sobre el consumo de energía y su desglose en los edificios públicos de Andalucía (función de clima uso y año de construcción) con vistas a poder realizar estudios sobre el potencial de ahorro de políticas energéticas.

- Desarrollar un procedimiento de comparación que permita establecer una escala de calificación de edificios en términos homogéneos de clima y uso.

2.1. DESCRIPCIÓN HOSPITALES

En el presente proyecto se ha trabajado con tres hospitales situados en la provincia de Sevilla. Estos hospitales son el Hospital de Alta Resolución de Écija, el Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte, y el Hospital de Alta Resolución de Utrera.

2.1.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

2.1.1.1. Ubicación del edificio

El Hospital de Alta Resolución de Écija se encuentra en la localidad de Écija, Sevilla, concretamente en la avenida Doctor Sánchez Malo, s/n, CP 41400. Se trata de un complejo hospitalario. Se adjunta documentación gráfica donde se observa dicha localización.

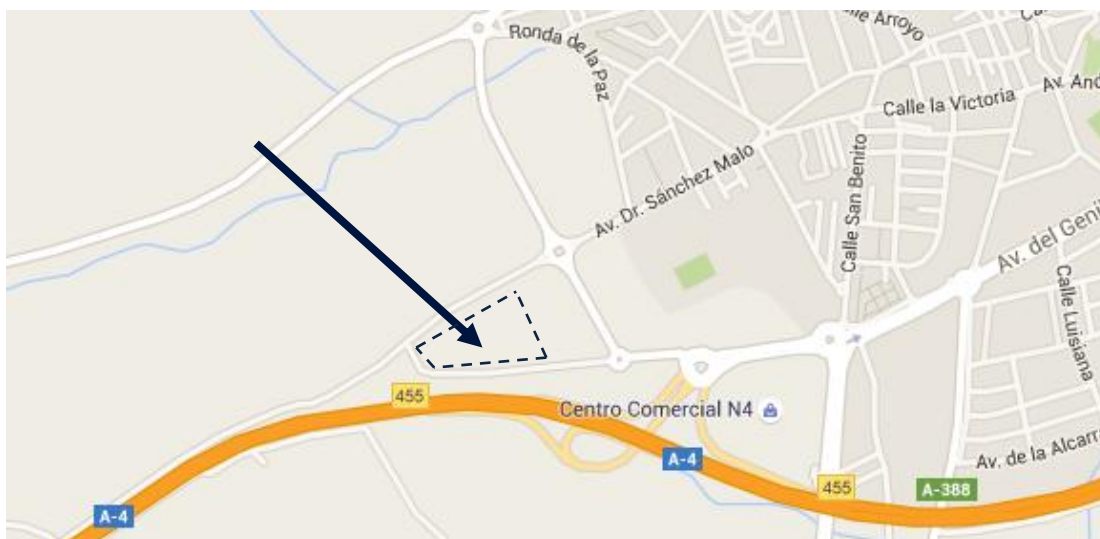


Figura 6: Ubicación hospital Écija. Fuente: Google Maps

Su longitud y latitud son:

Longitud	5° 5' 31.86" O
Latitud	37° 31' 55.83" N

Tabla 1: Longitud, latitud Hospital Écija

2.1.1.2. Descripción del edificio

El Hospital de Alta Resolución de Écija, en adelante Hospital de Écija, es un edificio construido en el año 1961. La última reforma de importancia fue realizada en el año 2006.

El Hospital posee una superficie construida de 6118 m², con una superficie útil de 5690 m².



Figura 7: Fotografía 1 Hospital Écija. Fuente: ECIJAWEB

El edificio dispone de planta baja, primera planta, segunda planta y azotea.

En la planta baja se encuentran diferentes consultas, salas de urgencia, quirófanos, cocina, almacenes, etc.

En la primera planta se encuentran diversos laboratorios, salas de cirugía general, despachos y salas de reuniones.

En la segunda planta se encuentran diferentes habitaciones.

En la azotea se encuentran diversos despachos.

De manera general:

Superficie acondicionada frío	95%
Superficie acondicionada calor	95%
Superficie ventilada sin climatizar	5%

Tabla 2: Superficie acondicionada Hospital Écija

La ocupación media mensual se adjunta en la siguiente tabla:

Enero	100%
Febrero	100%
Marzo	100%
Abril	100%
Mayo	100%
Junio	100%
Julio	100%
Agosto	50%
Septiembre	100%
Octubre	100%
Noviembre	100%
Diciembre	100%

Tabla 3: Ocupación mensual Hospital Écija



Figura 8: Fotografía 2 Hospital Écija. Fuente: ECIJAWEB

2.1.1.3. Descripción del sistema de climatización y ACS

El sistema de climatización de hospital de Écija está compuesto por dos enfriadoras para enfriar agua para refrigeración, por diversas bombas de calor tanto para refrigeración como para calefacción y por una caldera para calefacción y ACS.

Dispone de un sistema de placas solares térmicas para calentar agua de ACS y calefacción.

El sistema de refrigeración está compuesto por dos enfriadoras que mediante una serie de motores bombea el agua a las climatizadoras y fan-coils para acondicionar la zona asignada.

El sistema de calefacción está formado por una caldera. También se disponen de diversas bombas de calor cuyas unidades terminales son tipo Split.

Por último, el sistema de placas solares térmicas es usado tanto para calefacción como para ACS. Su superficie es de 60 m².

2.1.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

2.1.2.1. Ubicación del edificio

El Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte se encuentra en Constantina, Sevilla, concretamente en la calle Doctor Larrauri s/n, CP 41450. Se trata de un complejo hospitalario. Se adjunta documentación gráfica donde se observa dicha localización.



Figura 9: Ubicación Hospital Sierra Norte. Fuente: Google Maps

Su longitud y latitud son:

Longitud	5° 37' 9.22" O
Latitud	37° 51' 44.42" N

Tabla 4: Longitud, latitud Hospital Sierra Norte

2.1.2.2. Descripción del edificio

El Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte, en adelante Hospital de Sierra Norte, es un edificio construido en el año 2007. No se ha realizado ninguna reforma de importancia desde su construcción.

El hospital posee una superficie construida de 6700 m², con una superficie útil de 2037.05 m².



Figura 10: Fotografía 1 Hospital Sierra Norte. Fuente: EmpresasConSalud



Figura 11: Fotografía 2 Hospital Sierra Norte. Fuente: Google Maps

El edificio dispone de planta baja, primera planta, segunda planta, planta -1 y planta -2.

En la planta -2 se encuentran los laboratorios, unos aseos, un almacén y la oficina del almacén.

En la planta -1 se encuentra un área de fisioterapia, vestuarios, almacenes y aseos.

En la planta baja se encuentran diferentes consultas, zona de urgencias, aseos, la recepción, salas de espera, etc.

En la primera planta se encuentran diversas consultas, quirófanos, aseos, almacenes y áreas de descanso.

En la segunda planta se encuentran diferentes almacenes y aseos.

De manera general:

Superficie acondicionada frío	90%
Superficie acondicionada calor	90%
Superficie ventilada sin climatizar	10%

Tabla 5: Superficie acondicionada Hospital Sierra Norte

La ocupación media mensual se adjunta en la siguiente tabla:

Enero	70%
Febrero	70%
Marzo	70%
Abril	50%
Mayo	50%
Junio	70%
Julio	70%
Agosto	70%
Septiembre	50%
Octubre	50%
Noviembre	70%
Diciembre	70%

Tabla 6: Ocupación mensual Hospital Sierra Norte



Figura 12: Fotografía 3 Hospital Sierra Norte. Fuente: Google Maps

2.1.2.3. Descripción del sistema de climatización y ACS

El sistema de climatización está compuesto por dos plantas enfriadoras para enfriar agua para refrigeración y dos calderas para calentar agua para calefacción y ACS. Así mismo, se disponen de cinco radiadores eléctricos para el sistema de calefacción.

El hospital dispone de un sistema de placas solares térmicas para calentar agua de ACS.

El sistema de refrigeración está compuesto por dos enfriadoras que mediante una serie de motores bombea agua a los climatizadores y fan-coils para acondicionar la zona asignada.

El sistema de calefacción está formado por dos calderas que calientan el agua enviada mediante sistemas de bombeo a los diferentes equipos consumidores (fan-coils y climatizadores). También se disponen de cinco radiadores eléctricos.

Por último, el sistema de ACS dispone de un circuito primario formado por las placas solares térmicas con una superficie de 26 m².

2.1.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

2.1.3.1. Ubicación del edificio

El HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA se encuentra en la localidad de Utrera, Sevilla, concretamente en la avenida Brigadas Internacionales s/n, CP 41710. Se adjunta documentación gráfica donde se observa dicha localización.



Figura 13: Ubicación hospital Utrera. Fuente: Google Maps

Su longitud y latitud son:

Longitud	5° 47' 5.54" O
Latitud	37° 10' 33.51" N

Tabla 7: Longitud, latitud Hospital Utrera

2.1.3.2. Descripción del edificio

El Hospital de Alta Resolución de Utrera es un edificio construido en el año 2005. Las distintas instalaciones se han ido inaugurando a lo largo del año 2007 hasta entrar en pleno funcionamiento el pasado año.



Figura 14: Fotografía 1 Hospital Utrera

El Hospital está compuesto por cinco módulos unidos entre ellos por pasillos. El edificio dispone de una planta sótano, una planta baja, primera planta y azotea.

En la planta sótano se encuentran despachos y salas técnicas, cocina, lavandería, vestuarios y aparcamiento privado.

En la planta baja se encuentran diversas oficinas y despachos de administración del hospital, la recepción, salas de consultas externas, una zona para urgencias, salas de radioanálisis, etc.

En la primera planta se encuentra la hospitalización polivalente, la farmacia, un área quirúrgica y diversas salas de espera.

En la azotea se encuentran instaladas diferentes plantas enfriadoras para la climatización del recinto y placas solares térmicas para ACS.

En el exterior se encuentra un helipuerto y diferentes accesos en zona de urgencias y entrada principal del hospital.



Figura 15: Fotografía 2 Hospital Utrera. Fuente: Google Maps

La ocupación media mensual se adjunta en la siguiente tabla:

Enero	60%
Febrero	75%
Marzo	76%
Abril	80%
Mayo	80%
Junio	70%
Julio	65%
Agosto	70%
Septiembre	75%
Octubre	80%
Noviembre	80%
Diciembre	80%

Tabla 8: Ocupación mensual Hospital Utrera

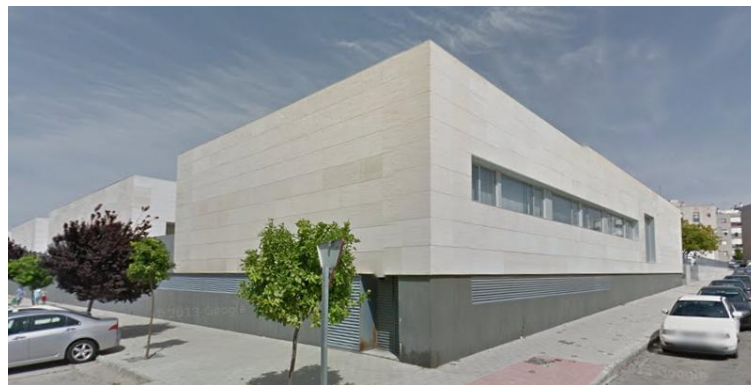


Figura 16: Fotografía 3 Hospital Utrera. Fuente: Google Maps

2.1.3.3. Descripción del sistema de climatización y ACS

El sistema de climatización está compuesto por dos plantas enfriadoras para enfriar agua para climatización y diversas calderas para calentar agua para calefacción.

Dispone de un sistema de placas solares térmicas para calentar agua de ACS (este sistema dispone de una caldera de apoyo donde su régimen de funcionamiento es muy bajo).

El sistema de refrigeración está compuesto por dos enfriadoras (condensación por aire) que mediante una serie de motores bombea agua a los climatizadores y fan-coils para acondicionar la zona asignada.

El sistema de calefacción está formado por diversas calderas que calientan el agua enviada mediante sistemas de bombeo a los diferentes equipos consumidores (fan-coils y climatizadores).

Para la distribución de aire caliente o enfriado se utilizan diversos climatizadores y fan-coils distribuidos por todo el edificio con un control informático para optimizar los parámetros de funcionamiento del sistema.

Por último, el sistema de ACS dispone de un circuito primario formado por las placas solares térmicas y un depósito acumulador-intercambiador. Existe un circuito primario para la impulsión del

agua calentada a los depósitos. El circuito secundario son bombas que hacen llegar el agua a los centros de consumo.

2.2. DATOS DE LOS HOSPITALES

2.2.1. OBTENCIÓN DE DATOS DE LOS HOSPITALES

En primer lugar, los datos de consumo total con los que se ha trabajado en el proyecto han sido los aportados por la Agencia Andaluza de la Energía, desde ahora AAE. Estos datos consisten en el consumo total del edificio durante dos años consecutivos.

El consumo ha sido obtenido gracias a los contadores que se encuentran en cada uno de los hospitales analizados en el presente proyecto. Los contadores miden el consumo cada 15 minutos, y por ello los datos aportados por la AAE son cada 15 minutos.

Los periodos del consumo aportado por la AAE del Hospital de Écija son:

01/11/2013 – 31/10/2014

01/11/2014 – 31/10/2015

Los periodos del consumo aportado por la AAE del Hospital de Sierra Norte son:

01/11/2013 – 31/10/2014

01/11/2014 – 31/10/2015

Los periodos del consumo aportado por la AAE del Hospital de Utrera son:

01/01/2014 – 31/12/2014

01/01/2015 – 31/12/2015

Los datos han sido aportados mediante el programa Microsoft Excel. El número total de documentos aportados por la AAE han sido de seis documentos Microsoft Excel, uno por año y hospital.

En segundo lugar, los datos climáticos han sido obtenidos de la aplicación SiAR del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. A través de la Subdirección General de Regadíos y Economía del Agua, ésta pone a disposición de los usuarios toda la información recogida a través de la Red de estaciones agrometeorológicas de SiAR.

Las estaciones usadas en cada hospital han sido las más cercanas a la localización de los edificios. La estación usada en cada hospital se observa en la siguiente tabla:

HOSPITAL	ESTACIÓN
Écija	Écija
Sierra Norte	Lora del Río
Utrera	Los Morales

Tabla 9: Estaciones hospitales

La aplicación SiAR aporta los datos climáticos cada media hora, mediante el programa Excel.

2.2.2. CORRECIÓN Y CÁLCULOS DE DATOS DE LOS HOSPITALES

Los consumos de cada hospital aportados por la AAE, han sido aportados cada 15 minutos. Por ello, para la realización del proyecto, ha sido necesario calcular el consumo total cada hora, cada día y cada mes. Estos cálculos han sido realizados mediante el programa Microsoft Excel.

Previamente a realizar dichos cálculos, ha sido necesario comprobar que los datos aportados por la AAE no contienen inconsistencias. Para la detección de dichas inconsistencias se ha usado el programa Microsoft Excel. En todos los años se han encontrado un mínimo de tres incongruencias en las series de datos. A modo de ejemplo se adjuntan los fallos encontrados en el Hospital de Sierra Norte, en el año 2015.

DIA	HORA	INCONSISTENCIA IDENTIFICADA
29/03/2015	2:00	Faltan 4 datos
24/07/2015	8:00	Faltan 4 datos
11/09/2015	17:00	Faltan 4 datos
25/10/2015	24:00	Sobran 4 datos

Tabla 10: Inconsistencias Hospital Sierra Norte

De manera general, en todos los meses de Octubre del año 2015, siempre sobra una hora y en los meses de Marzo y Septiembre siempre suele haber un error. Por último, por causas desconocidas, el mes de Abril siempre se encuentra repetido.

Los datos redundantes han sido eliminados. Los datos que faltan se han calculado mediante la media del consumo del día anterior a la misma hora y el día siguiente a la misma hora.

Los datos climáticos obtenidos de la aplicación SiAR han sido la temperatura exterior (°C) y la radiación solar (kW/m²), ya que son las dos variables climáticas más influyentes en el consumo de un edificio, debido a su influencia en la climatización.

La aplicación SiAR genera datos climáticos cada media hora. Por ello, al igual que con el consumo total, ha sido necesario obtener los datos climáticos cada hora, cada día y cada mes.

3.1. ANÁLISIS DEL CONSUMO

En cada uno de los hospitales se ha realizado un análisis del consumo a fin de obtener patrones en dichos consumos.

A modo de ejemplo se adjunta el estudio realizado en el Hospital de Alta Resolución de Écija.

En primer lugar, se ha comparado el consumo eléctrico por mes del año 2014 con del año 2015.

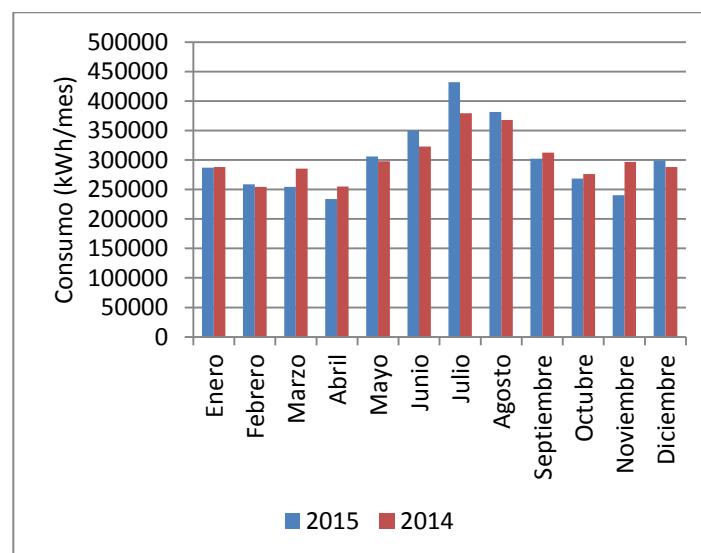


Gráfico 1: Consumo mensual Hospital Écija

Se aprecia que el consumo es similar en ambos años. El mes en el que menos se consume es abril. El máximo consumo se produce en el mes de julio. Esto podría ser debido a las altas temperaturas que se alcanzan en dicho mes, y por lo tanto al consumo de climatización. Se analizará más adelante.

En segundo lugar, se ha comparado el consumo por día de los dos años de los que se disponen datos.

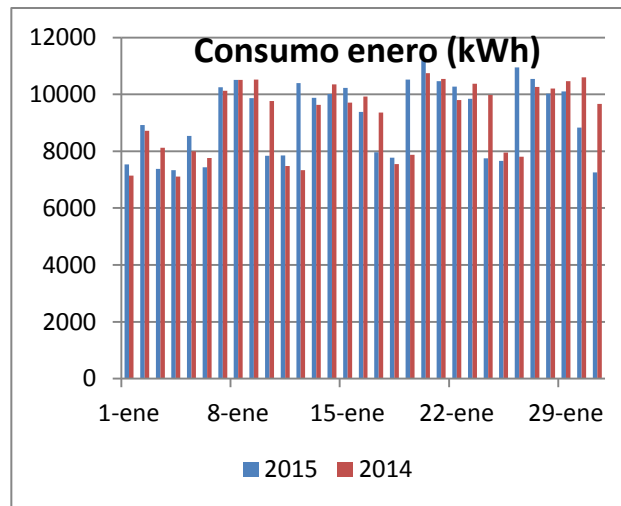


Gráfico 2: 1. Consumo enero Hospital Écija

En principio, se comparó (a modo de ejemplo se ha usado el día 3 de enero) el día 3 de enero del año 2015 con el día 3 de enero del año 2014. Se llegó a la conclusión de que esta comparación no tiene sentido, ya que en el año 2014 este día corresponde a un viernes, y en el año 2015 a un sábado, y por lo tanto el consumo un viernes es muy diferente al de un sábado, debido a diversos factores entre los cuales se encuentran el número de consultas. Por ello, se ha optado por comparar el día 1 de enero del año 2015 con el día 2 de enero del año 2014, correspondiendo ambos a jueves. A continuación se representa la gráfica obtenida.

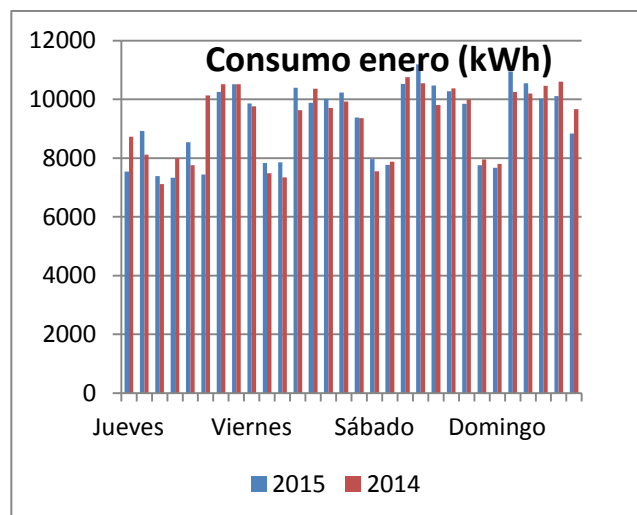


Gráfico 3: 2. Consumo enero Hospital Écija

Se observa que el consumo de los fines de semana es inferior al resto de la semana y que se diferencian fácilmente. Los primeros días del mes tienen un consumo bajo, debido a que coinciden con año nuevo, fin de semana y el día de la epifanía del señor. Los consumos de un año a otro son similares.

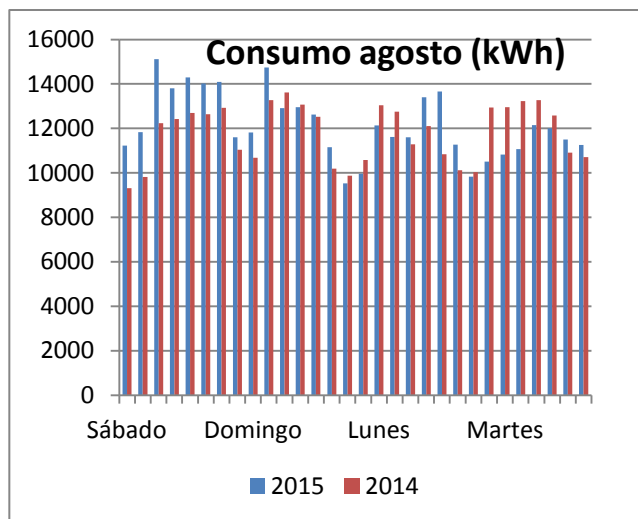


Gráfico 4: Consumo agosto Hospital Écija

En el mes de agosto se aprecia que el consumo de los fines de semana es mucho menor que en el resto de la semana. Así mismo, no se diferencian tan fácilmente los consumos de los fines de semana del resto de la semana.

De la misma manera se han comparado el resto de meses. Por simplicidad no se han explicado todas las gráficas de cada uno de los meses, aunque se ha realizado un estudio del consumo en cada uno de ellos. Dichas gráficas se han adjuntado en “ANEXO I. ANÁLISIS CONSUMO HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA”.

Se ha estudiado la tendencia del consumo con respecto al clima, en especial la temperatura exterior, y se han observado que ambos siguen el mismo patrón.

Para ello, nos basamos en que en los meses de refrigeración, cuanto mayor es la temperatura exterior, mayor será el consumo, debido a que tanto la ocupación, la iluminación como el uso de equipos son pérdidas. En calefacción ocurre lo contrario. Cuando mayor es la temperatura exterior, menor será el consumo, puesto que tanto la ocupación, la iluminación como el uso de equipos son ganancias. En las gráficas se observa dicha dependencia en mayor medida en refrigeración que en calefacción.

También se ha estudiado la influencia de la radiación solar, aunque influye en menor medida. Por ello, en el “ANEXO III. RADIACIÓN SOLAR HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA” se han adjuntado las gráficas correspondientes a la radiación solar.

Por lo tanto, se ha comparado mes a mes la temperatura exterior con el consumo total del edificio.

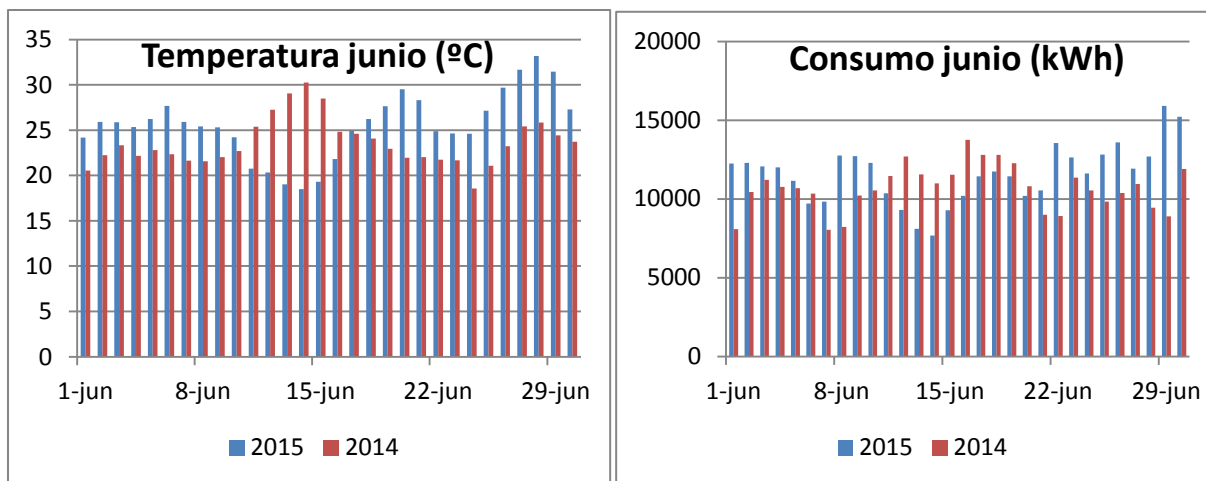


Gráfico 5: Consumo y temperatura junio. Hospital Écija

Se observa en las gráficas adjuntas del mes de junio que durante los primeros y últimos días del mes a mayor temperatura en el año 2015, mayor consumo. Por el contrario, en los días intermedios del mes de junio, la temperatura en el año 2014 fue mayor, y por lo tanto el consumo fue mayor en dicho año.

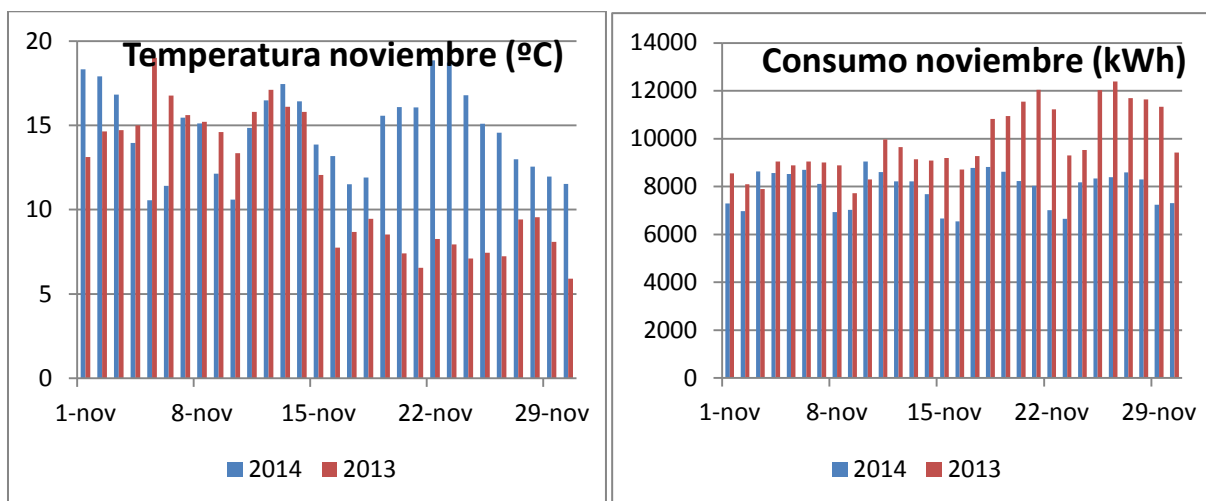


Gráfico 6: Consumo y temperatura noviembre. Hospital Écija

Noviembre es un mes en el que se aprecia fácilmente que pertenece a los meses de calefacción, sobre todo en la última quincena del mes. A mayor temperatura exterior (año 2014), menor consumo, y viceversa.

El estudio realizado en el resto de meses ha sido adjuntado en “ANEXO II. DEPENDENCIA DEL CONSUMO CON RESPECTO A LA TEMPERATURA EXTERIOR HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA”.

El estudio anterior ha sido realizado en el Hospital de Alta Resolución de Écija. Dicho estudio también ha sido efectuado en los Hospitales de Sierra Norte y Utrera pero por brevedad no han sido adjuntados.

3.2. OBTENCIÓN DE LA DURACIÓN DE LAS ESTACIONES

Para la obtención de los meses de calefacción, refrigeración y meses intermedios se ha usado el siguiente procedimiento en base mensual. Dicho procedimiento ha sido implementado en el Hospital de Écija, debido a que es el único hospital que posee calefacción eléctrica.

3.2.1. OBTENCIÓN DE LOS MESES DE REFRIGERACIÓN

Los meses de refrigeración se han obtenido comparando la tendencia lineal que sigue el consumo con la temperatura. A mayor consumo mayor temperatura. Si al añadir un mes la línea de tendencia varía demasiado, dicho mes no sería de refrigeración.

En primer lugar se comienza con el mes de junio, puesto que como se ha comprobado antes, la tendencia del consumo al aumentar temperatura es evidente en las gráficas anteriormente estudiadas.

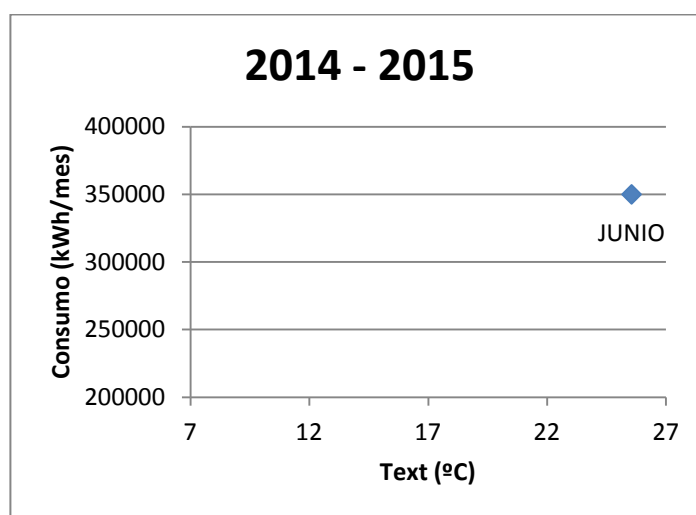


Gráfico 7: Junio. Hospital Écija. Año 14/15

A continuación, se añade el mes de julio.

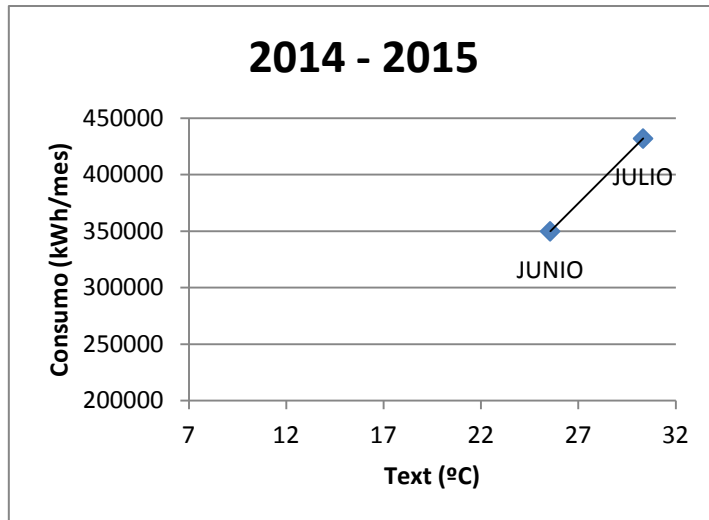


Gráfico 8: Junio, julio. Hospital Écija. Año 14/15

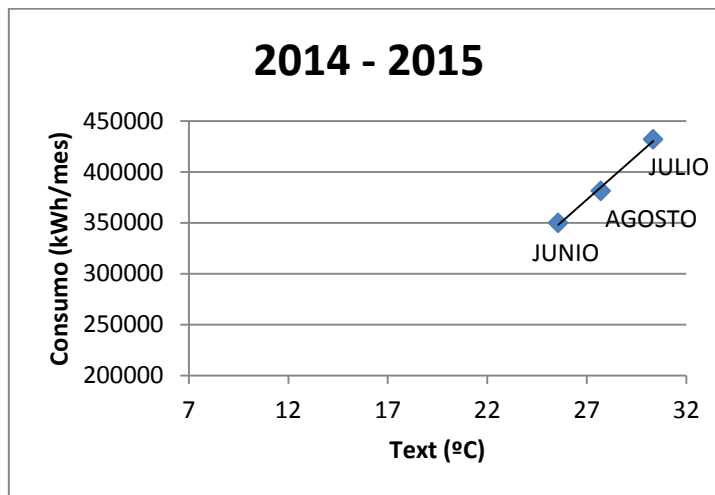


Gráfico 9: Junio, julio, agosto. Hospital Écija. Año 14/15

Al añadir el mes de agosto, los tres meses poseen la misma tendencia lineal. El mes de septiembre también sigue la misma tendencia lineal.

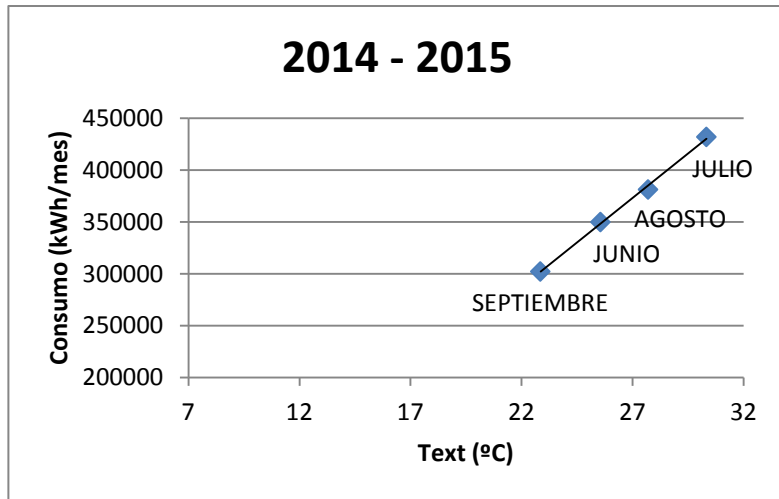


Gráfico 10: Junio, julio, agosto, septiembre. Hospital Écija. Año 14/15

Octubre también sigue dicha tendencia, pero con un consumo mucho menor.

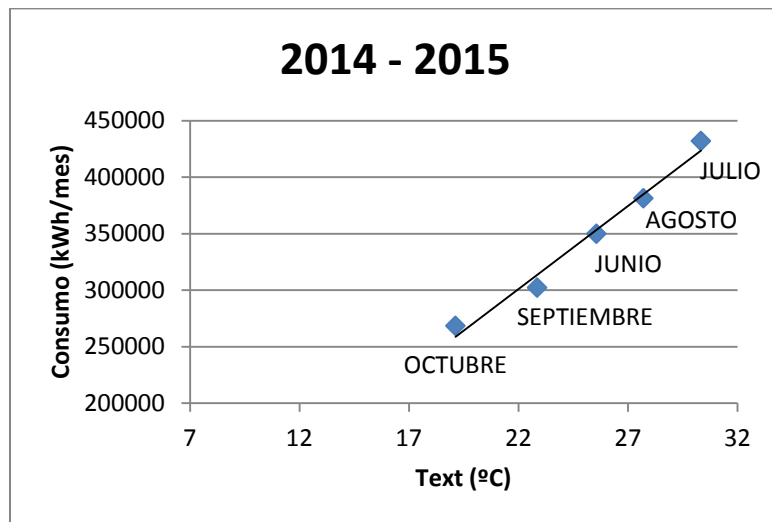


Gráfico 11: Junio, julio, agosto, septiembre, octubre. Hospital Écija. Año 14/15

Se observa que mayo también sigue dicha tendencia.

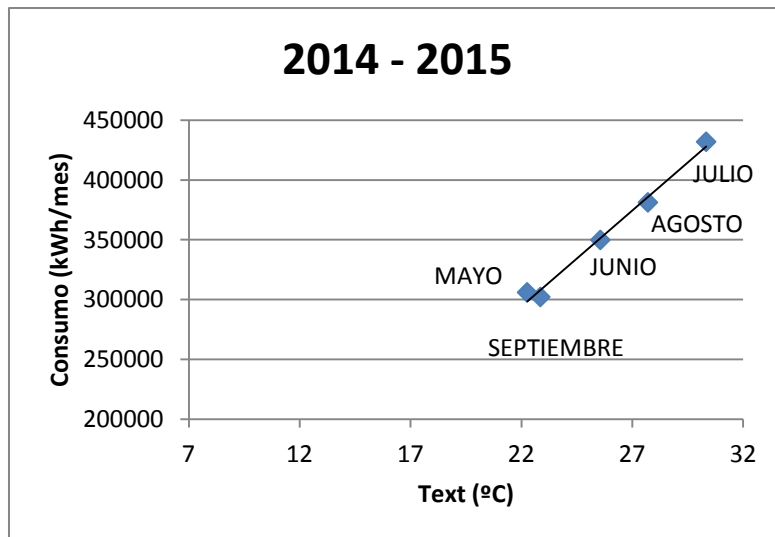


Gráfico 12: Junio, julio, agosto, septiembre, mayo. Hospital Écija. Año 14/15

De cada hospital estudiado se dispone del consumo de dos años consecutivos, por ello comprobamos lo anteriormente estudiado en el año 14/15 en el año 13/14. Los pasos a seguir son los mismos. Se comienza con el mes de junio.

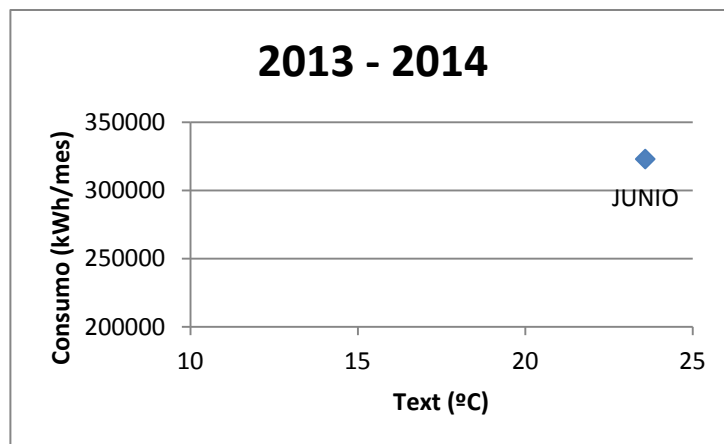


Gráfico 13: Junio. Hospital Écija. Año 13/14

Se añade el mes de julio, y posteriormente el mes de agosto.

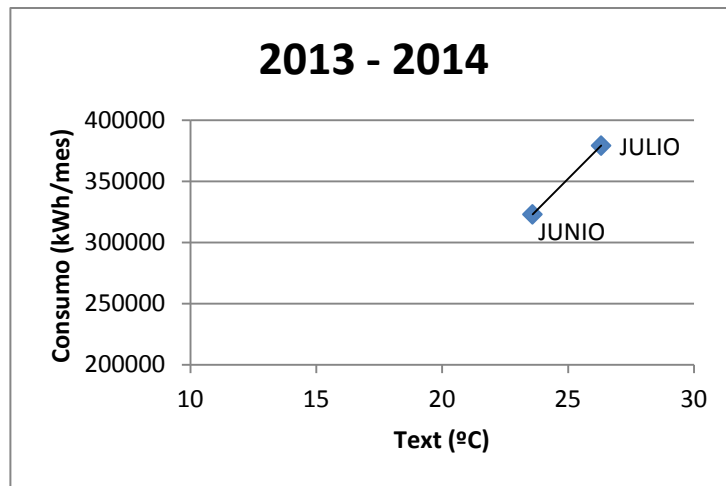


Gráfico 14: Junio, julio. Hospital Écija. Año 13/14

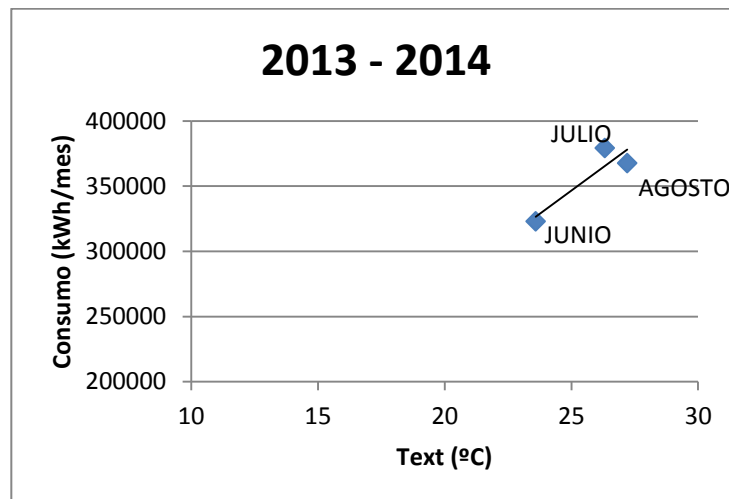


Gráfico 15: Junio, julio, agosto. Hospital Écija. Año 13/14

Por último, se añade el mes de septiembre. En el año 2014 se confirma que los meses de junio, julio, agosto y septiembre pertenecen a los meses de refrigeración.

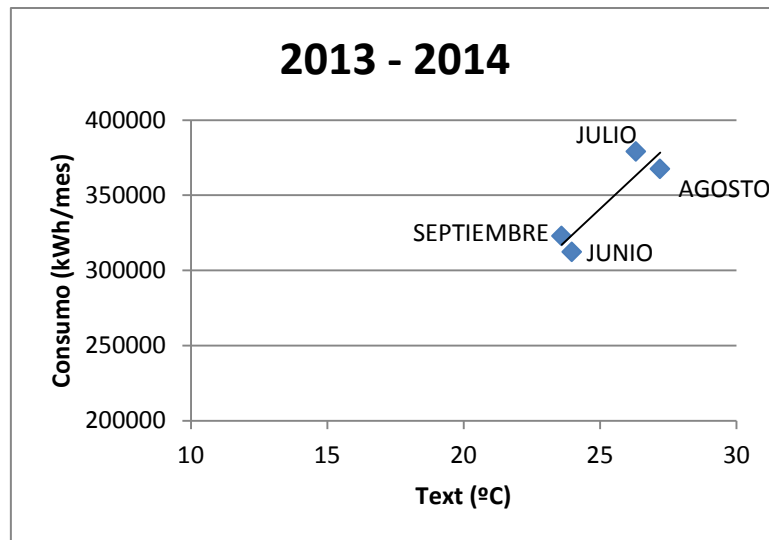


Gráfico 16: Junio, julio, agosto, septiembre. Hospital Écija. Año 13/14

Octubre presenta un consumo mucho menor, al igual que mayo, por ello no se han considerado meses de refrigeración.

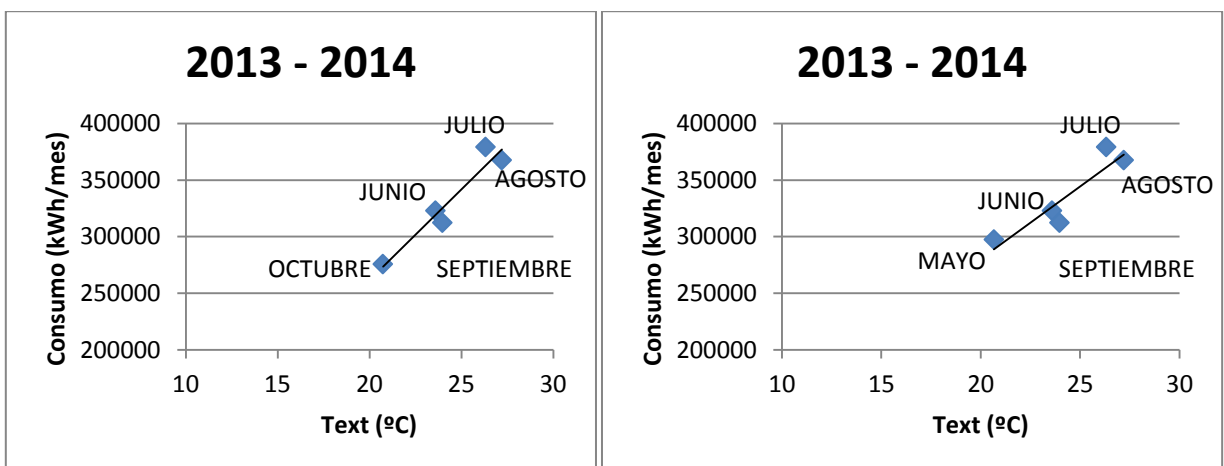


Gráfico 17: Junio, julio, agosto, septiembre, mayo, octubre. Hospital Écija. Año 13/14

Por lo tanto, los meses de refrigeración son junio, julio, agosto y septiembre.

3.2.2. OBTENCIÓN DE LOS MESES DE CALEFACCIÓN

Los meses de calefacción han sido obtenidos mediante el mismo método utilizado para la obtención de los meses de refrigeración. Se ha comparado la tendencia lineal que sigue el consumo con la temperatura. A mayor consumo, menor temperatura. Si al añadir un mes la línea de tendencia varía demasiado, dicho mes no sería de calefacción.

Se comienza con el mes de noviembre, puesto que como se ha comprobado antes, la tendencia a disminuir del consumo al aumentar temperatura es evidente en las gráficas anteriormente estudiadas.

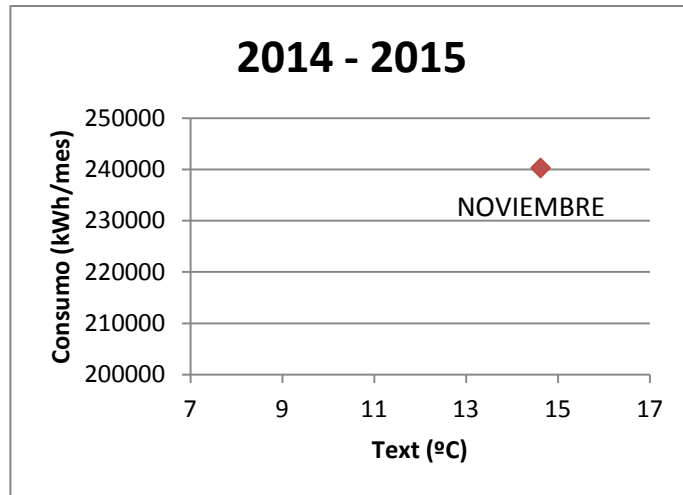


Gráfico 18: noviembre. Hospital Écija. Año 14/15

Se añade el mes de diciembre.

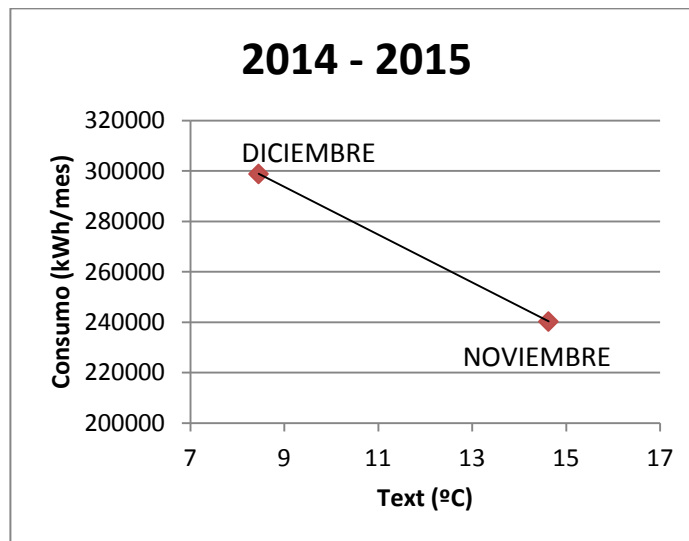


Gráfico 19: noviembre, diciembre. Hospital Écija. Año 14/15

Se añade a la gráfica anterior el mes de enero.

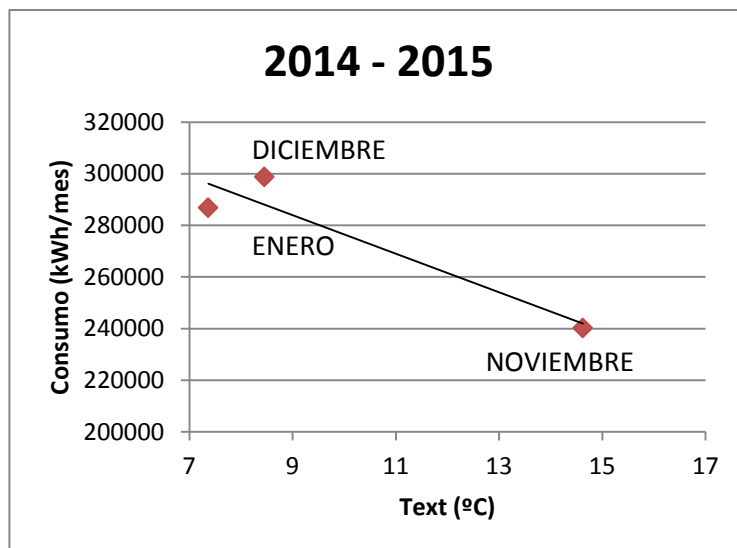


Gráfico 20: noviembre, diciembre, enero. Hospital Écija. Año 14/15

Se añade febrero. Se puede observar en la gráfica adjunta que tanto febrero como diciembre distan lo mismo de la línea de tendencia. Todos ellos serían meses de calefacción.

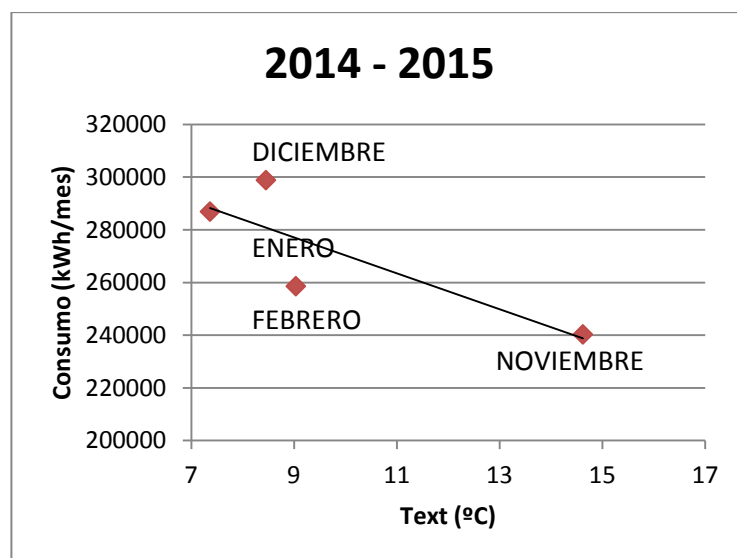


Gráfico 21: noviembre, diciembre, enero, febrero. Hospital Écija. Año 14/15

Por último, se añade el mes de marzo.

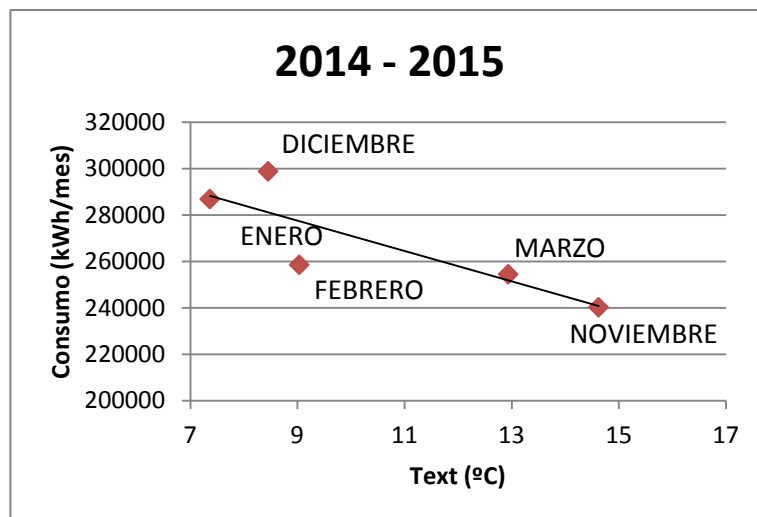


Gráfico 22: noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo. Hospital Écija. Año 14/15

Marzo se encuentra en la misma línea a tendencia, por lo que también pertenecería a los meses de calefacción.

Se ha comprobado con el año 13/14, de igual manera que con los meses de refrigeración, y se comprueba que dichos meses son de calefacción.

Por ello, los meses de calefacción son noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo.

3.2.3. OBTENCIÓN DE LOS MESES INTERMEDIOS

Los meses intermedios son aquellos que no pertenecen a los meses de refrigeración ni calefacción. Se les ha dado el nombre de meses intermedios debido a que en hospitales siempre habrá un consumo mínimo de climatización durante todo el año.

Por lo tanto, los meses intermedios son abril, mayo y octubre.

3.3. OBTENCIÓN DE LOS PERIODOS DE REFRIGERACIÓN, CALEFACCIÓN E INTERMEDIOS

La obtención de las estaciones por meses es un método demasiado general puesto que por ejemplo la primera quincena de un mes puede pertenecer al periodo calefacción, y la otra mitad al periodo intermedio. Por lo tanto, en lugar de meses de calefacción, refrigeración e intermedios se han obtenido periodos.

Por ello, el método en base mensual anteriormente descrito ha sido descartado. En su lugar, se han tipificado los días en calefacción, refrigeración o intermedios en función de los grados hora, y a partir de dichos días se han obtenidos los diferentes periodos.

En primer lugar, han sido obtenidos los grados hora. Los grados hora se calculan a partir de la temperatura exterior.

Han sido calculados los grados hora correspondientes a los días de calefacción (GH_{20}), y los grados hora correspondientes a los días de refrigeración (GH_{25}). Para ello, se ha considerado una temperatura de referencia en calefacción de 20°C , y en refrigeración de 25°C .

Los GH_{20} se calculan de diferente manera según la temperatura exterior sea mayor o menor de 20°C . Si la temperatura exterior es menor de 20°C , se calcula de la siguiente manera:

$$GH_{20} = 20 - T_{ext} \quad \text{si} \quad 20 > T_{ext}$$

En caso contrario, los GH_{20} tomarían el valor de cero.

$$GH_{20} = 0 \quad \text{si} \quad 20 < T_{ext}$$

De la misma manera han sido calculados los GH_{25} . En este caso hay que tener en cuenta si la temperatura es mayor o menor de 25°C .

$$GH_{25} = T_{ext} - 25 \quad \text{si} \quad T_{ext} > 25$$

$$GH_{25} = 0 \quad \text{si} \quad T_{ext} < 25$$

Dichos cálculos han sido realizados cada hora. Los grados hora correspondientes a un día se calculan como el sumatorio de los de los GH cada hora.

A continuación, se obtiene el periodo de calefacción. Para ello se representa el consumo de cada día durante un año con respecto a sus GH_{20} correspondientes. En función de la gráfica obtenida, se clasifican los días en calefacción o intermedio en función de sus GH_{20} . Se ha observado que en la gráfica de consumo con respecto a GH_{20} siempre existe un punto mínimo. Por lo tanto, se ha tomado este punto como límite entre el periodo de calefacción e intermedio. Los días con GH_{20} mayor a dicho punto mínimo han sido considerados como calefacción, y los menores como intermedios.

Por otro lado, se representa el consumo de cada día durante un año con respecto a sus GH_{25} correspondientes. De esta manera obtenemos el periodo de refrigeración. Se ha observado que en dichas gráficas la nube de puntos posee una tendencia positiva y no se observa ningún mínimo.

A modo de ejemplo se adjunta la gráfica Consumo- GH_{25} del Hospital de Alta Resolución de Écija en el año 14/15.

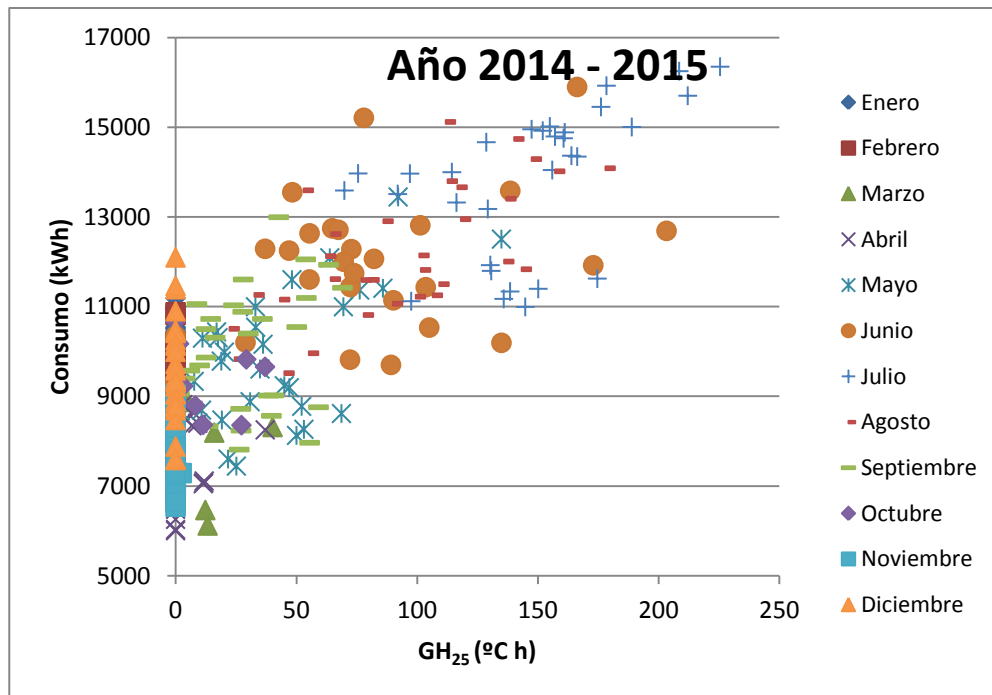


Gráfico 23: Consumo-GH₂₅. Hospital Écija. Año 14/15

Se ha optado por tomar como límite de GH₂₅ un valor cercano a 0 con respecto al intervalo considerado. Un valor razonable es 25°C h. Se ha calculado el porcentaje del número de días con un valor de GH₂₅ mayor a 25 y se ha definido este valor como límite entre los días de refrigeración y los días intermedios. Los valores superiores a dicho valor son considerados como días de refrigeración, mientras que los días con GH₂₅ inferiores son intermedios. El porcentaje obtenido es del 30%.

En el resto de hospitales, se ha definido el límite entre los días de refrigeración y los días intermedios como el percentil al 30% de los GH₂₅.

Tras la asignación de los días según calefacción, refrigeración o intermedio, se obtienen los diferentes periodos.

3.4. TIPIFICACIÓN DE LOS DÍAS DE CADA PERIODO

En cada periodo han sido diferenciados los días según su consumo a fin de obtener un método más exacto en el modelo de la línea base.

En cada periodo, se han obtenido el percentil al 20% y al 80% de los consumos. Para la obtención de dichos percentiles no se han tenido en cuenta los días que se encuentran en el periodo considerado pero no pertenecen a él (por ejemplo en un periodo de refrigeración pueden haber ciertos días que pertenezcan a intermedio).

A continuación, se clasifican en cada periodo los días en tipo 0, 1, 2 y 3. Los días tipo 1 son aquellos cuyo consumo es inferior al percentil al 20% de todos los días pertenecientes al periodo de la estación considerada. Los días tipo 3 son aquellos cuyo consumo es superior del percentil al 80% de todos los días del periodo considerado. Los días tipo 2 son aquellos cuyo consumo se encuentra entre el percentil al 20% y al 80%. Por último, los días tipo 0 son aquellos días que se encuentran en el

periodo considerado pero no pertenecen a dicha estación. Por ejemplo, en el periodo de calefacción, al obtener el periodo mediante los GH₂₀, algunos días de dicho periodo pueden pertenecer a intermedio. Dichos días serían tipo 0 (son los días que no se han tenido en cuenta para el cálculo del percentil en la obtención de los diferentes periodos).

A modo de resumen, se adjunta la siguiente tabla:

1	Consumo < 20%
2	20 % < Consumo < 80%
3	Consumo > 80%
0	No coincide con su estación

Tabla 11: Tipificación de días

Por lo tanto, en cada periodo han sido definidos cuatro tipos de días.

3.5. OBTENCIÓN DEL MODELO DE LA LÍNEA BASE

Una línea base es una estimación de consumos que sirve de referencia para una vez iniciado el proyecto poder valorar las desviaciones que se produzcan tras la implantación de mejoras.

La estimación del consumo se ha realizado tomando como variables la temperatura exterior, la radiación, el tipo de día y el consumo de días anteriores.

La ecuación que responde a dicha estimación es la siguiente:

$$\text{Consumo (día)} = b_0 \cdot T_{\text{EXT}}(\text{día}) + b_1 \cdot T_{\text{EXT}}(\text{día}-1) + b_2 \cdot T_{\text{EXT}}(\text{día}-2) + \dots + d_0 \cdot \text{Rad}(\text{día}) + d_1 \cdot \text{Rad}(\text{día}-1) + d_2 \cdot \text{Rad}(\text{día}-2) + \dots + c_0 \cdot \text{tipo_día}(\text{día}) + c_1 \cdot \text{tipo_día}(\text{día}-1) + c_2 \cdot \text{tipo_día}(\text{día}-2) + \dots + e_1 \cdot \text{Consumo}(\text{día}-1) + e_2 \cdot \text{Consumo}(\text{día}-2) + \dots + \text{CTE}$$

Para establecer la metodología más exacta del modelo de la línea base para la estimación del consumo se han realizado diferentes estudios. A modo de ejemplo se expone el periodo de refrigeración del Hospital de Écija en el año 14/15.

En primer lugar, la primera cuestión a determinar es la posible implementación del modelo de la línea base con los días tipo 0, ya que son días que no pertenecen al periodo considerado y por lo tanto el modelo no lo estima de manera adecuada. Por ello, se han considerado tres alternativas.

La primera de ellas consiste en obtener el modelo teniendo en cuenta los días tipo 0, y estimando su consumo. La constante se ha considerado nula (hasta que se exprese lo contrario, en todos los siguientes modelos la constante se ha considerado nula).

En primer lugar, se ha implementado esta alternativa estimando el consumo teniendo en cuenta únicamente el día anterior.

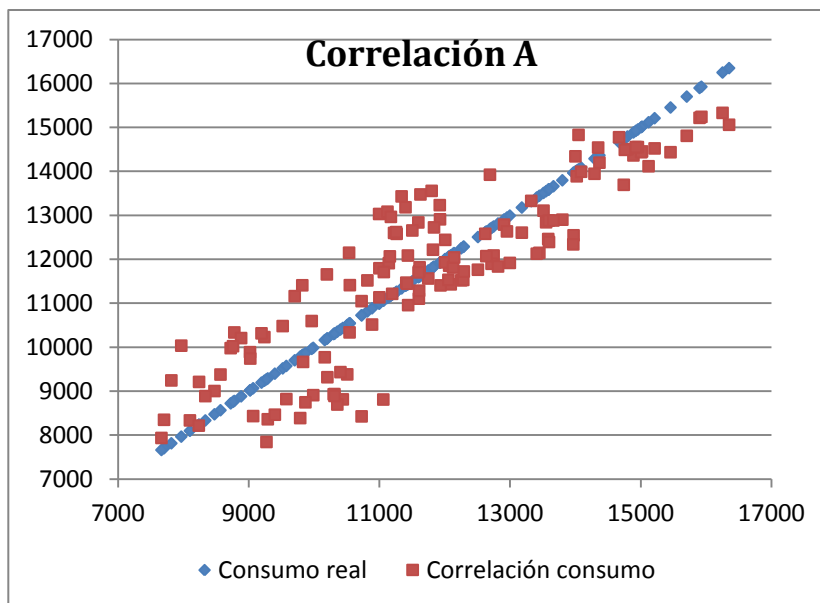


Gráfico 24: Correlación A. Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

Se observa que la aproximación no es exacta. El error cuadrático es de 0.9945.

Debido a ello se ha estimado el consumo en función de dos días anteriores, pero teniendo en cuenta únicamente el consumo del día anterior.

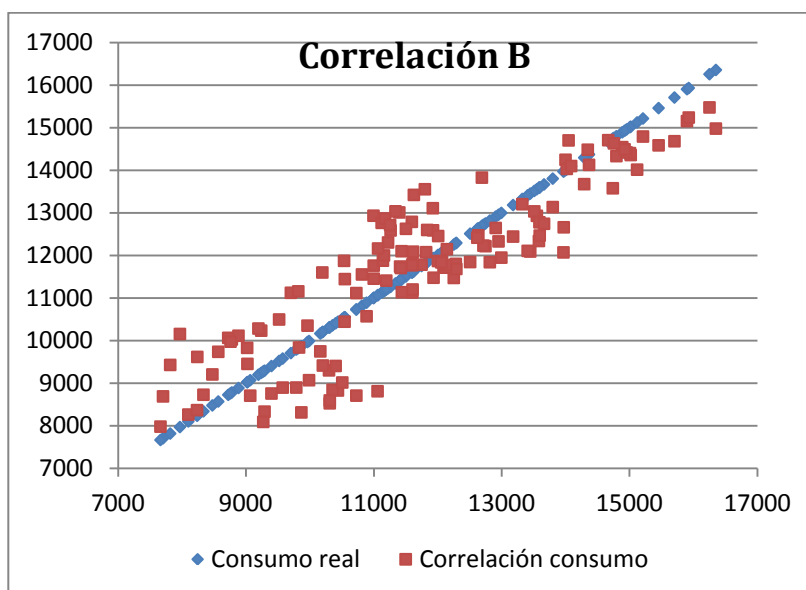


Gráfico 25: Correlación B. Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

El error cuadrático mejora. En este caso es de 0.9937. Aun así la aproximación no es muy buena.

Por ello, se ha estimado el consumo en función de dos días anteriores, teniendo en cuenta el consumo de los dos días anteriores.

La gráfica obtenida es la siguiente:

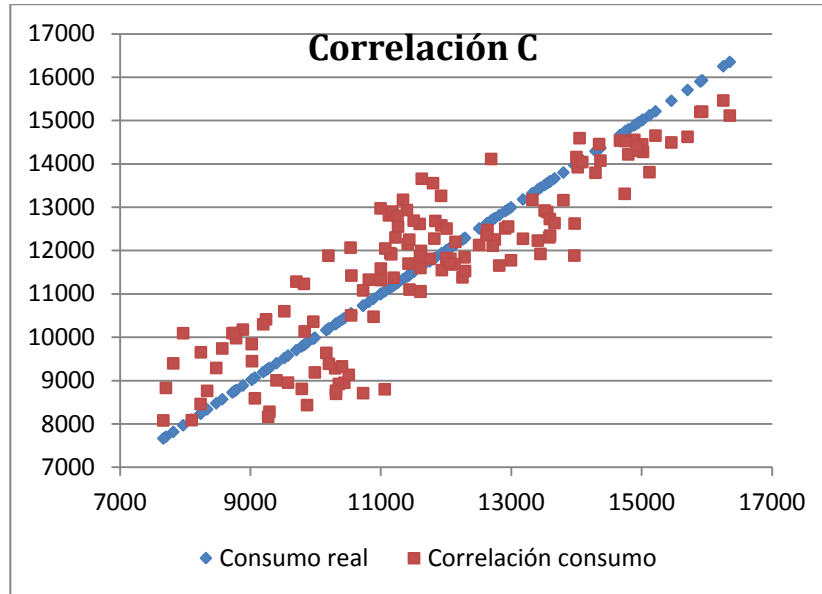


Gráfico 26: Correlación C. Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

El error cuadrático mejora, siendo de 0.994.

La diferencia entre el modelo A, B, y C radica en el número de días anteriores a tener en cuenta para la estimación del modelo. La correlación más exacta es la tipo C. De esta manera, se demuestra que la más exacta es aquella que estima el consumo teniendo en cuenta dos días anteriores (de ahora en adelante ésta será la correlación utilizada, tipo C). Aun así, la aproximación sigue sin ser exacta.

La segunda alternativa considerada ha sido la obtención del modelo sin tener en cuenta los días tipo 0 e igualando el consumo de dichos días al consumo real.

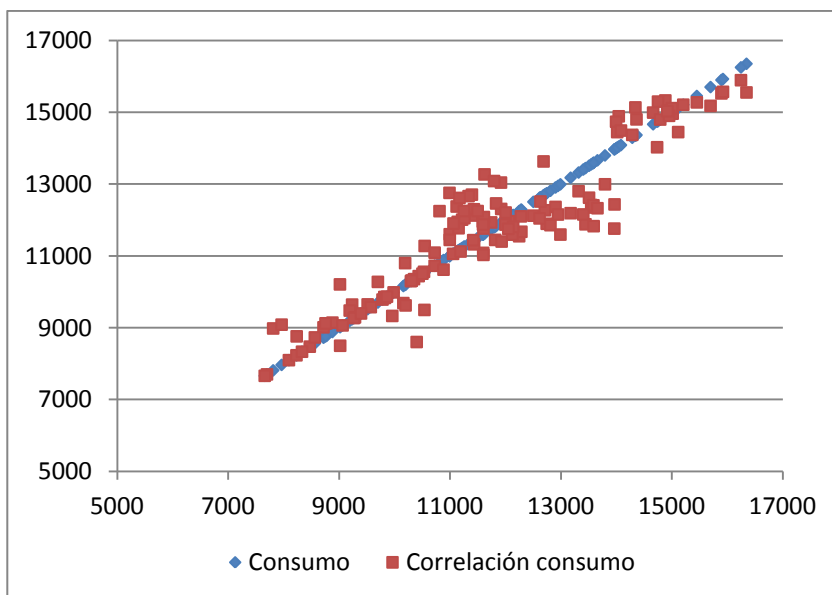


Gráfico 27: Correlación sin 0. Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

Sin embargo, esta alternativa con respecto a los días tipo 0 no es válida, ya que realmente no se ha estimado el consumo en dichos días.

Otra opción posible ha sido realizar el modelo del periodo intermedio junto con los días tipo 0 del periodo de calefacción y refrigeración, eliminando dichos días de los dos periodos y estimando el consumo de los días tipo 0.

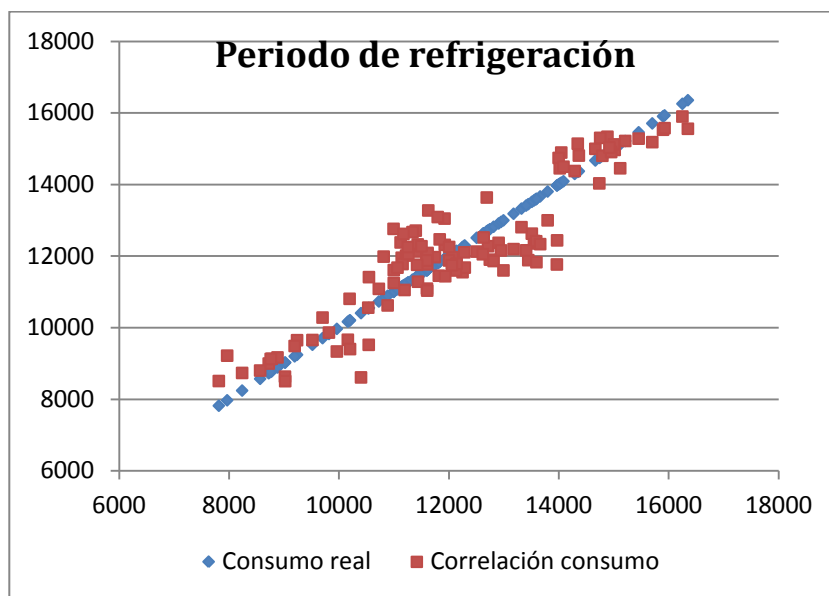


Gráfico 28: Con 0. Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

Los días tipo 0 introducen un alto error en el modelo. Al estudiar el consumo de todos los tipos de días del periodo de refrigeración, los días tipo 0 y 1 comparten los mismos consumos como se observa en la gráfica adjunta.

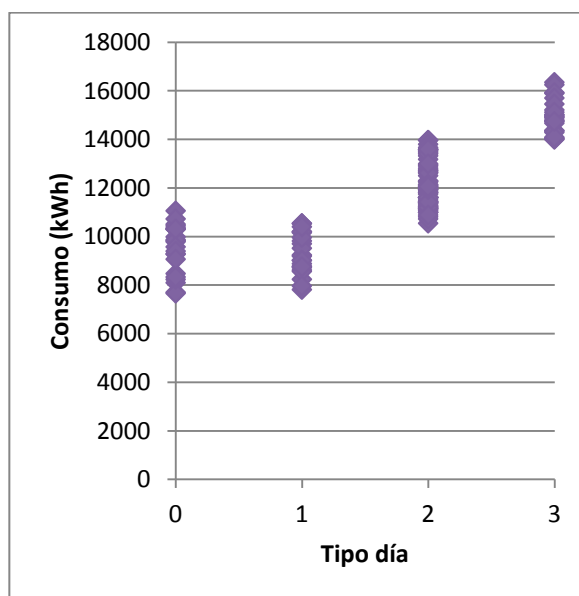


Gráfico 29: Consumo-tipo días (0, 1, 2, 3). Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

Sin embargo, los días tipo 2 y 3 poseen consumos bien diferenciados.

Por ello, se ha obtenido otra tipificación de días, en la que los tipos de días posibles son 1, 2 y 3.

Para la obtención de la nueva tipificación de días ha sido necesario en primer lugar realizar el modelo teniendo en cuenta tanto los días tipo 0 como el término constante. En esta ocasión, el término constante se considera distinto de cero debido a que este término introduce el consumo mínimo del edificio. En cuanto a la estimación del consumo, el consumo estimado de los días tipo 0 han sido igualados a su valor real. El resultado obtenido es el siguiente:

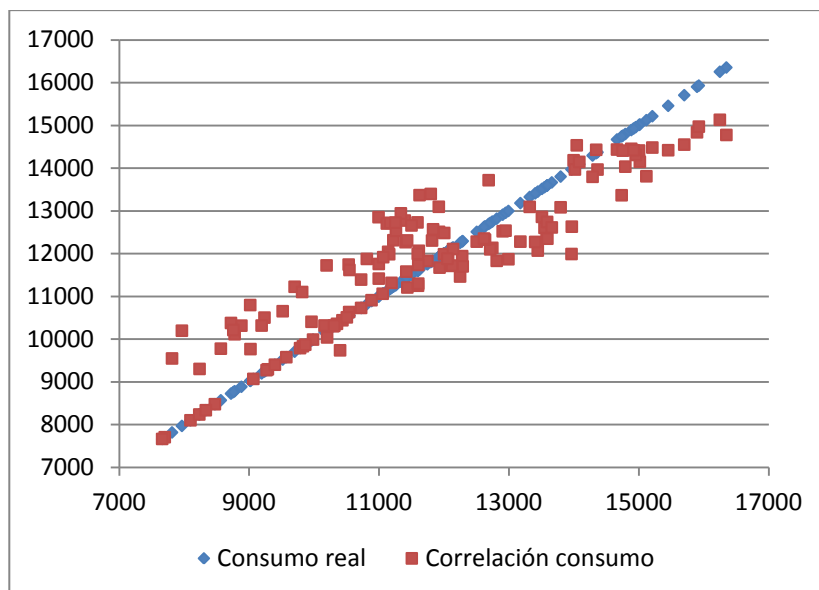


Gráfico 30: Con 0 y CTE. Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

Se observan tres nubes de puntos que corresponden a tres tipos de días.

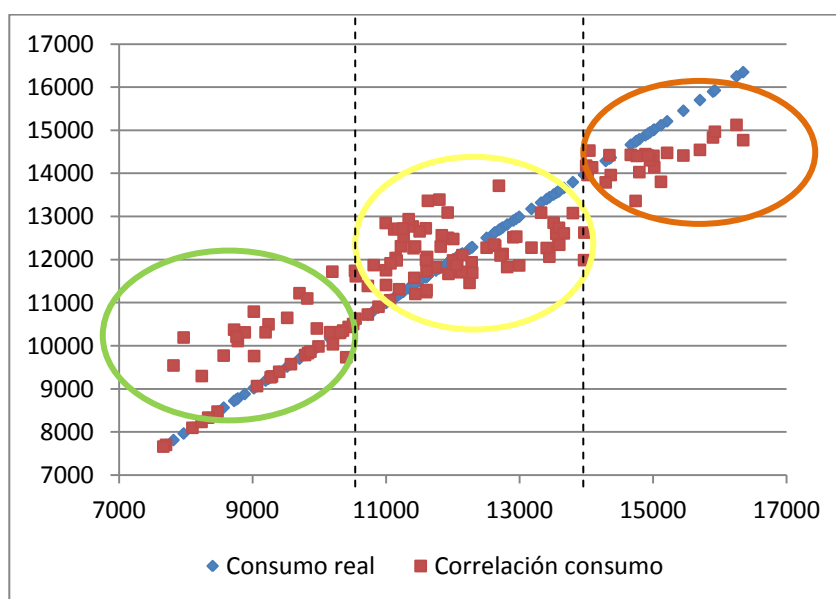


Gráfico 31: Con 0 y CTE, nube de puntos. Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

La tipificación de días obtenida es la siguiente:

1	Consumo < 10900
2	10900 < Consumo < 14000
3	14000 < Consumo

Tabla: Límites tipificación días Hospital de Écija refrigeración 14/15

Al representar la nueva tipificación de días con respecto al consumo se observa que dichos días poseen consumos bien diferenciados.

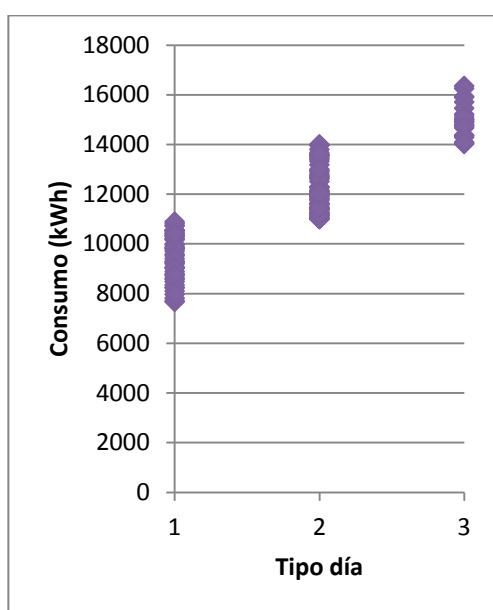


Gráfico 32: Consumo-tipo días (1, 2, 3). Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

De esta manera, se sustituye la anterior tipificación de días (los días tipo 0 corresponden a días que no pertenecen al periodo considerado, los días tipo 1 corresponden a aquellos días en los que el consumo es inferior al percentil al 20% de todos los días pertenecientes al periodo considerado, los días tipo 3 son aquellos cuyo consumo es superior del percentil al 80% de todos los días del periodo considerado y los días tipo 2 son aquellos cuyo consumo se encuentra entre el percentil al 20% y al 80%) por tipos de días 1, 2 y 3 obtenidos mediante la anterior gráfica.

Al implementar el modelo con la nueva tipificación de días se observa la clara diferenciación de tres nubes de puntos, correspondientes a tres tipos de días.

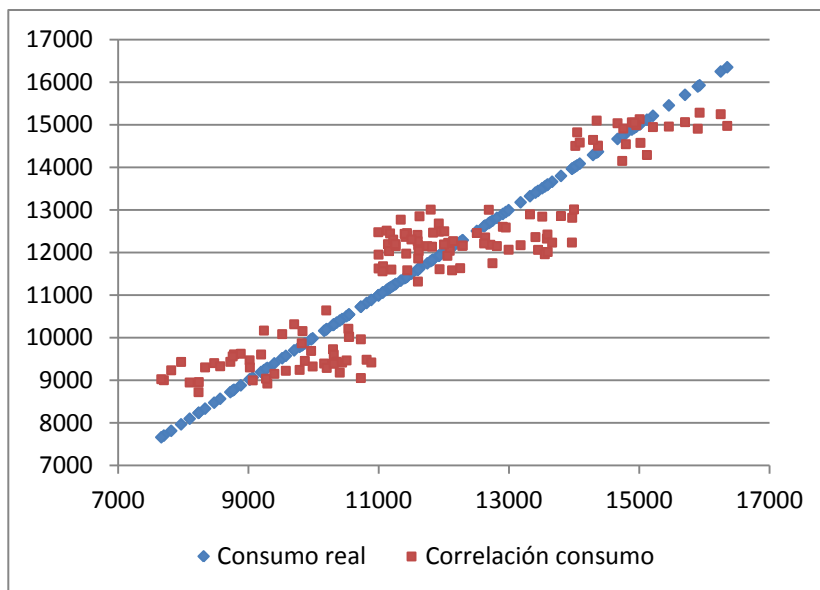


Gráfico 33: Modelo Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

Los errores cometidos a nivel diario disminuyen. El error máximo cometido es aproximadamente de un 15% salvo en cuatro días.

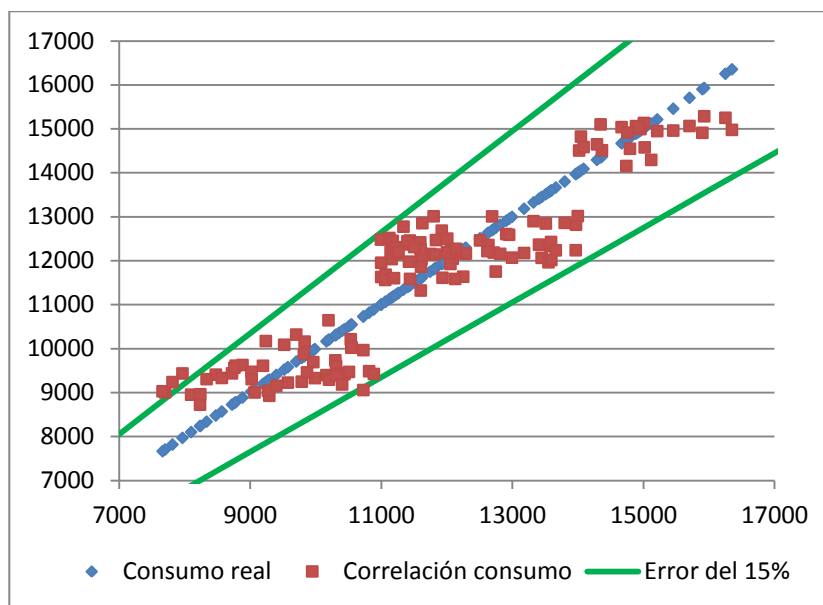


Gráfico 34: Error modelo Hospital Écija. Refrigeración. Año 14/15

El error cometido a nivel diario no es elevado.

La ecuación que responde a dicha estimación es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Consumo (día)} = & 65.3082 \cdot T_{\text{EXT}}(\text{día}) - 17.5933 \cdot T_{\text{EXT}}(\text{día}-1) + 80.7811 \cdot T_{\text{EXT}}(\text{día}-2) + 43.6245 \cdot \\ & \text{Rad}(\text{día}) + 10.1621 \cdot \text{Rad}(\text{día}-1) + 3.3972 \cdot \text{Rad}(\text{día}-2) + 1911.3831 \cdot \text{tipo_día}(\text{día}) - 311.6634 \cdot \\ & \text{tipo_día}(\text{día}-1) + 594.6872 \cdot \text{tipo_día}(\text{día}-2) + 0.3151 \cdot \text{Consumo}(\text{día}-1) - 0.3465 \cdot \text{Consumo}(\text{día}- \\ & 2) + 3913.5579 \end{aligned}$$

A partir de ahora, se utilizará este último modelo de líneas base para la estimación de consumos.

4.1. ESTUDIO 0: DESGLOSE

La finalidad del presente proyecto consiste en la obtención del consumo de climatización en edificios terciarios, concretamente en CHARES, a fin de estimar el consumo de climatización en años posteriores y así de esta manera poder llegar a medir el ahorro conseguido tras las mejoras implantadas.

Por ello, es necesario desglosar el consumo total del edificio en consumo de climatización, de iluminación/usuario, y de otros. El consumo de climatización es aquel derivado del uso de sistemas de climatización del edificio, el consumo de iluminación corresponde al uso de todo tipo de luminarias, el consumo de usuario corresponde al consumo por parte de usuarios del edificio como pacientes o personal hospitalario y por último, el consumo de otros equivale al consumo mínimo del edificio.

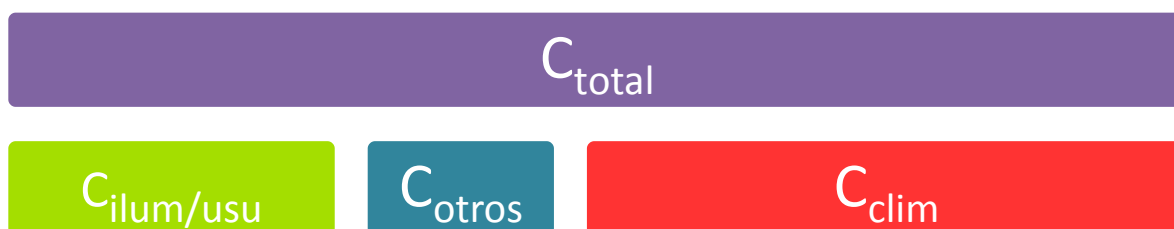


Figura 17: Desglose consumo

El objetivo de obtener el consumo de climatización, es debido a que el consumo de otros y usuario no es posible de disminuir ya que no podemos pedirle a un trabajador que no use su ordenador o a un paciente o visitante que no use el ascensor. El consumo de iluminación puede ser disminuido mediante la instalación de luminarias tipo LED o el uso de sensores. El presente proyecto se centra en el consumo de climatización.

El objetivo final es obtener el consumo de climatización en hospitales de manera rápida y eficaz para así posteriormente, tomando como datos dichos consumos de climatización poder realizar mejoras con el fin de disminuir el consumo energético en el edificio.

La metodología seguida para la obtención del consumo de climatización en hospitales dista de la seguida en oficinas. La simplicidad en oficinas radica en que en estos edificios no se trabaja durante un número de horas, por lo que durante este periodo de tiempo no se producen consumos derivados de la climatización, o de iluminación/usuario. Por lo tanto, en edificios destinados a oficinas se puede obtener el consumo mínimo del edificio. En hospitales no ocurre lo mismo, ya que no existe un momento en el que no haya pacientes o personal hospitalario en el edificio. A parte de la continua

ocupación, en los quirófanos es necesaria una cierta temperatura durante todo el año, por lo que continuamente son usados los sistemas de refrigeración y calefacción. Por ello, la metodología seguida en hospitales es diferente a la usada en edificios de oficinas.

Se ha llegado a la conclusión de que no es posible desglosar el consumo total de hospitales ya que como se ha dicho anteriormente, la ocupación en un hospital es continua, y durante todo el año son usados los sistemas de climatización. Por ello los estudios en el presente proyecto han sido realizados mediante la utilización del consumo total del edificio.

4.2. ESTUDIO 1: PERIODOS DE LAS ESTACIONES

4.2.1. DESCRIPCIÓN

Tal y como se ha comentado anteriormente en el segundo capítulo, las estaciones se han obtenido por periodos, no por meses. De esta manera, se ha realizado la tipificación de las estaciones de manera diaria, en lugar de mensual.

Se han tipificado los días en calefacción, refrigeración e intermedios en función de los grados hora, y a partir de dichos días se han obtenidos los diferentes periodos.

Para ello, se han utilizado los GH_{20} para la tipificación del periodo de calefacción y los GH_{25} para el periodo de refrigeración. Se ha considerado una temperatura de referencia en calefacción de 20°C , y en refrigeración de 25°C .

4.2.2. RESULTADOS

4.2.2.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

En primer lugar, se ha representado el consumo diario durante un año con respecto a sus GH_{20} correspondientes.

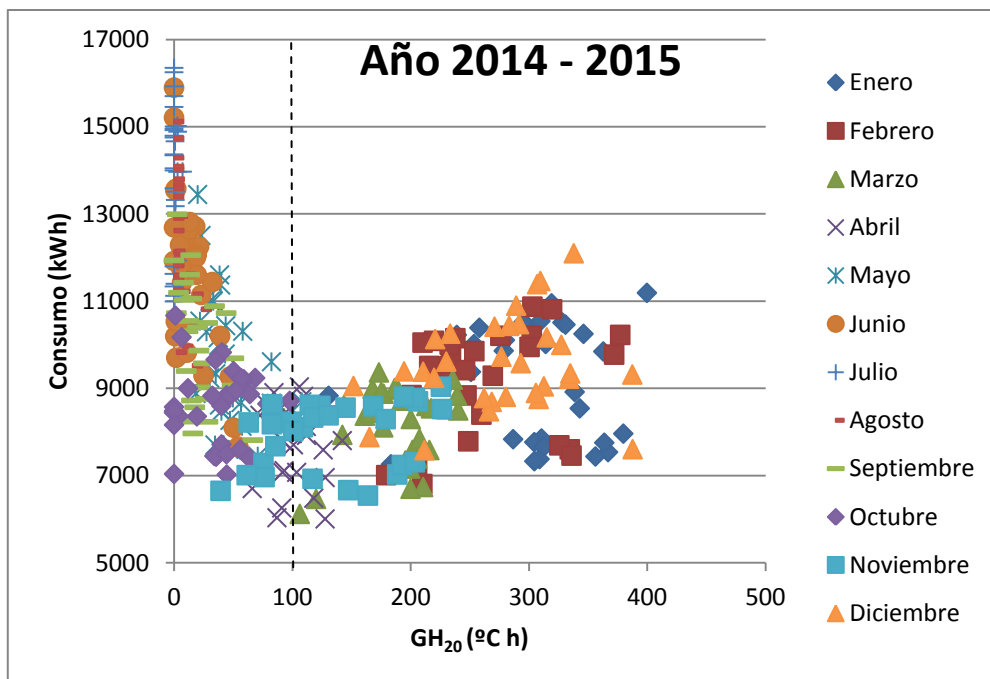


Gráfico 35: Consumo-GH₂₀. Hospital Écija. Año 14/15

En la gráfica se observa que se produce un punto mínimo en $GH_{20} = 100$. Por ello, se ha considerado que todos los días mayores de dicho valor corresponden a calefacción, mientras que todos los valores menores corresponden a días pertenecientes a la estación intermedia.

En segundo lugar, el consumo diario durante un año ha sido representado con respecto a sus GH_{25} correspondientes.

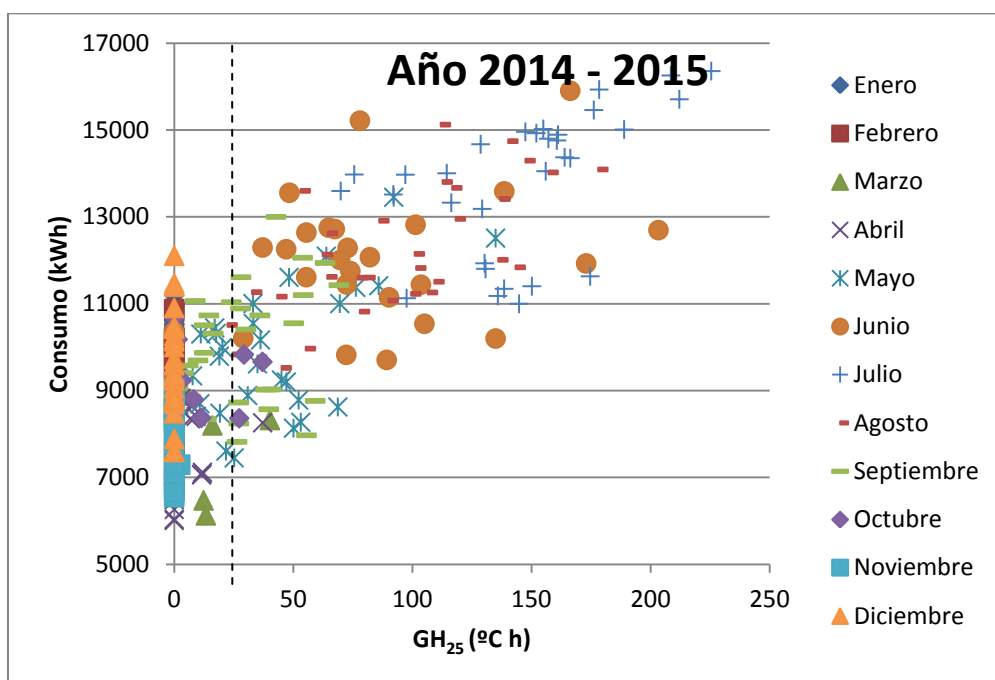


Gráfico 36: Consumo-GH₂₅. Hospital Écija. Año 14/15

El percentil al 30% corresponde a un valor de $GH_{25} = 25$. Debido a ello, todos los valores menores de $25^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$ corresponden a días intermedios, mientras que los mayores corresponden a días de refrigeración.

Tras la tipificación de los días en función de los GH se eligen los periodos de calefacción, refrigeración e intermedios. Los periodos obtenidos son:

INTERMEDIO		CALEFACCIÓN		INTERMEDIO		REFRIGERACIÓN	
28-sep	03-nov	04-nov	30-mar	31-mar	09-may	10-may	27-sep

Tabla 12: Periodos de las estaciones. Hospital de Écija. Año 14/15

En el año 2013–2014 se ha seguido la misma metodología a fin de obtener los diferentes periodos durante un año.

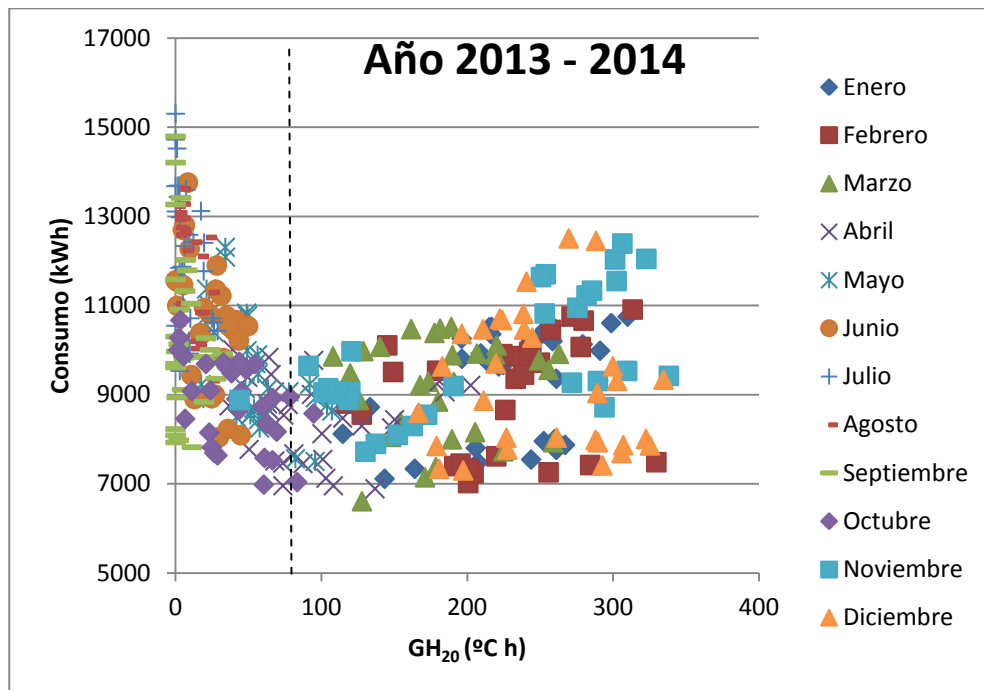


Gráfico 37: Consumo- GH_{20} 13/14 Hospital Écija

En la gráfica adjunta se observa un punto mínimo en $GH_{20} = 75$. Al igual que con el año 2014–2015, se ha considerado que todos los días mayores de dicho valor corresponden a calefacción, mientras que todos los valores menores corresponden a días pertenecientes a la estación intermedia.

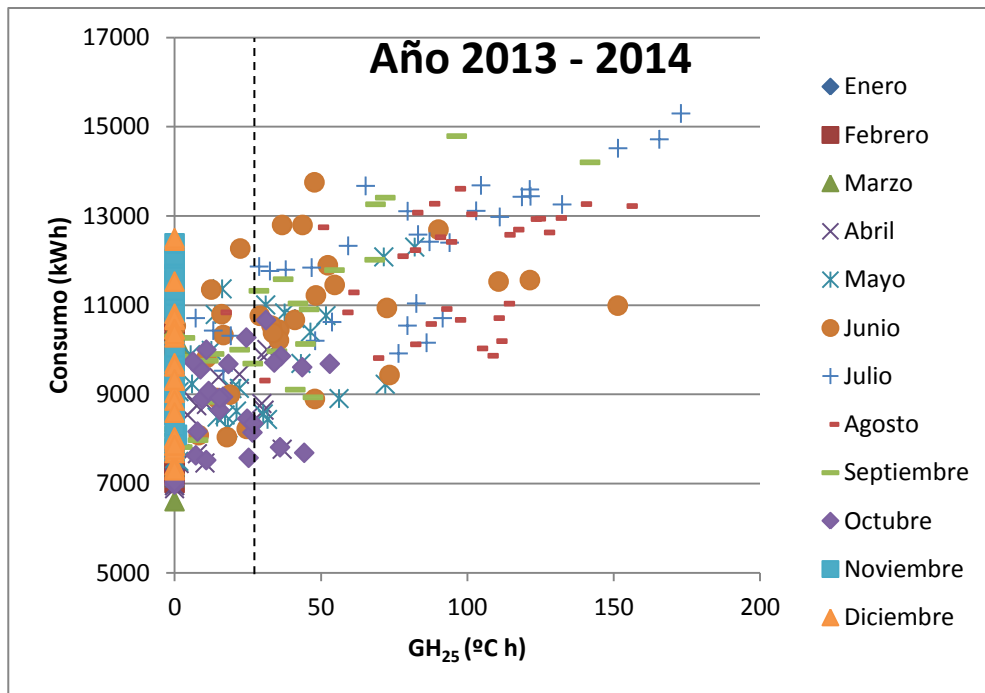


Gráfico 38: Consumo-GH₂₅ 13/14 Hospital Écija

El percentil al 30% corresponde a un valor de GH₂₅ = 25. Todos los valores menores de 25 corresponden a días intermedios, mientras que los mayores corresponden a días de refrigeración.

Los periodos obtenidos en el año 2013–2014 son:

INTERMEDIO		CALEFACCIÓN		INTERMEDIO		REFRIGERACIÓN	
16-sep	31-oct	01-nov	06-abr	07-abr	29-may	30-may	15-sep

Tabla 13: Periodos de las estaciones. Hospital de Écija. Año 13/14

4.2.2.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

La metodología seguida en el Hospital de Sierra Norte ha sido la misma a la seguida en el Hospital de Écija. En primer lugar se ha representado el consumo diario en función de los GH₂₀ en el año 2014–2015.

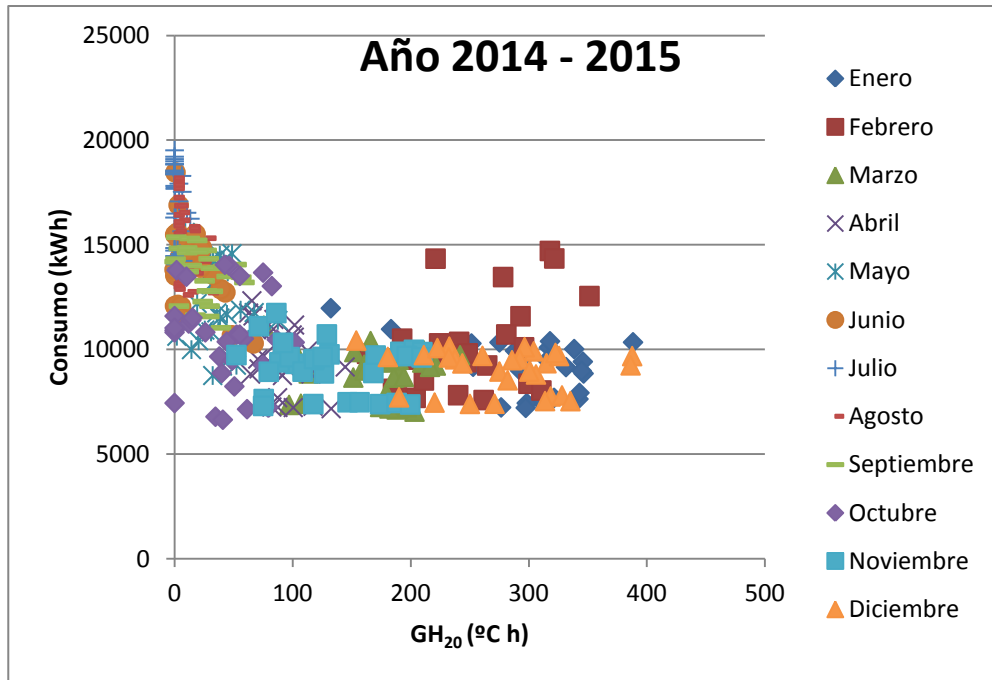


Gráfico 39: Consumo-GH₂₀. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

En la gráfica adjunta se observa que no existe ningún mínimo. Ello es debido a que el Hospital de Sierra Norte dispone de dos calderas para el sistema de calefacción y de cinco radiadores eléctricos, cuya influencia es muy pequeña como se aprecia en la gráfica anterior.

Se aprecian ciertos puntos correspondientes al mes del febrero con un consumo mayor al resto de los días. Ello puede ser debido al uso puntual de los radiadores eléctricos anteriormente comentados. Su influencia es mínima en el consumo eléctrico del edificio.

Por ello, en el Hospital de Sierra Norte no se ha definido periodo de calefacción. Únicamente existen dos periodos, el periodo de refrigeración e intermedio.

Para la obtención tanto de los meses de refrigeración como intermedios, son usados los GH₂₅.

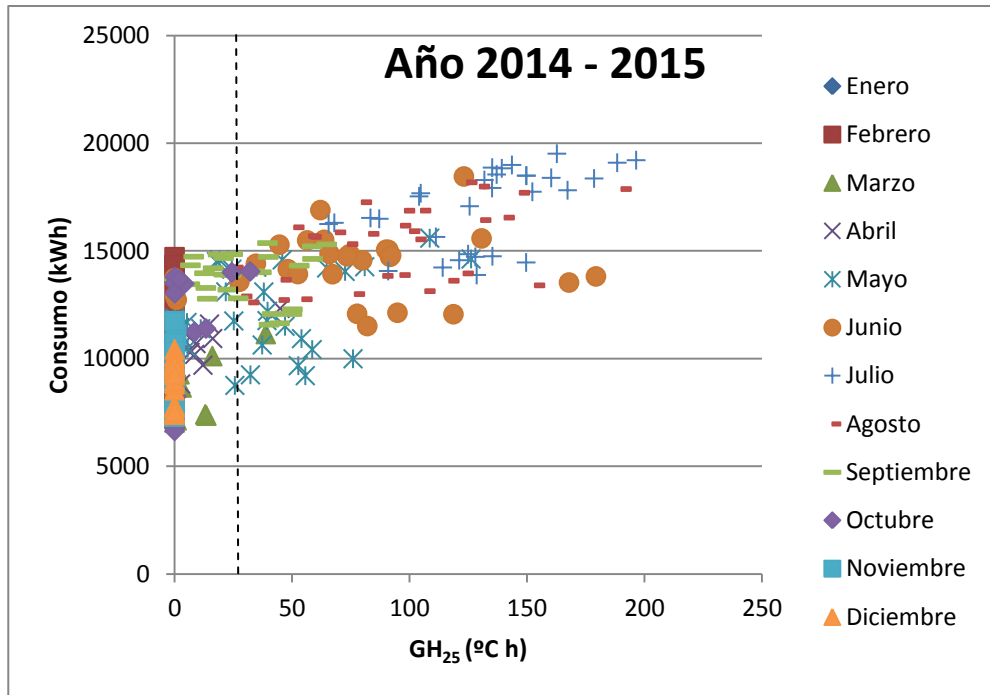


Gráfico 40: Consumo-GH₂₅. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

El percentil al 30% corresponde a un valor de GH₂₅ = 25. Todos los valores menores de 25 corresponden a días intermedios, mientras que los mayores corresponden a días de refrigeración.

Los periodos obtenidos en el año 2014–2015 son:

INTERMEDIO		REFRIGERACIÓN	
28-sep	30-abr	1-may	27-sep

Tabla 14: Periodos de las estaciones. Hospital de Sierra Norte. Año 14/15

En el año 2013 – 2014 se observa que tampoco se produce una tendencia positiva por parte de la nube de puntos en la gráfica consumo-GH₂₀. No hay periodo de calefacción.

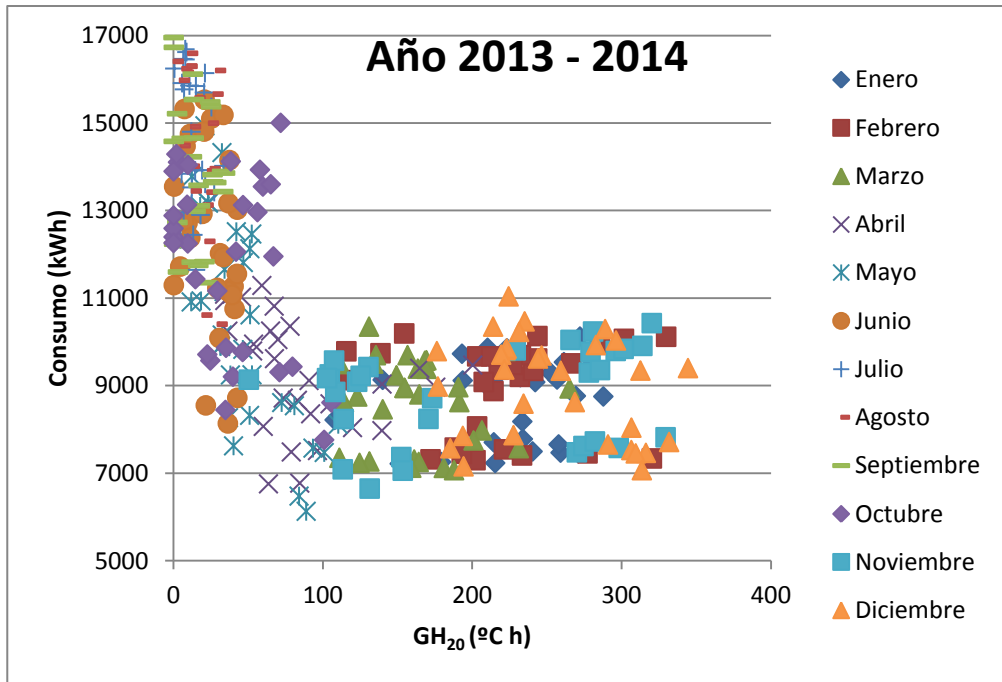


Gráfico 41: Consumo-GH₂₀. Hospital Sierra Norte. Año 13/14

Los periodos de refrigeración e intermedios son obtenidos mediante la gráfica consumo-GH₂₅.

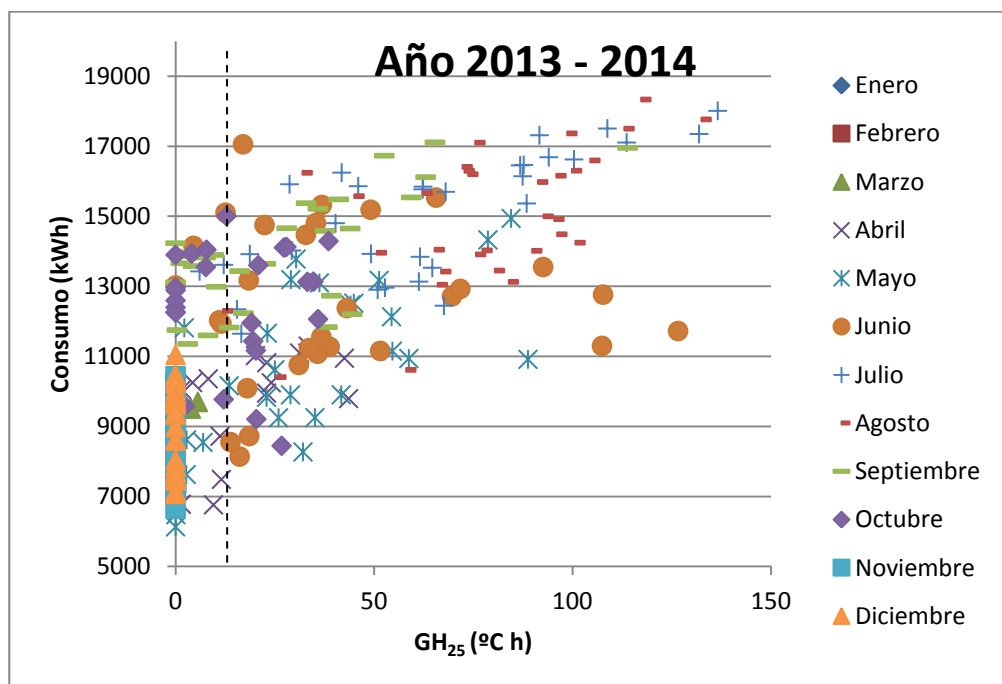


Gráfico 42: Consumo-GH₂₅. Hospital Sierra Norte. Año 13/14

El percentil al 30% corresponde a un valor de GH₂₅ = 20. Todos los valores menores de 20 corresponden a días intermedios, mientras que los mayores corresponden a días de refrigeración.

Los periodos obtenidos en el año 2013–2014 son:

INTERMEDIO		REFRIGERACIÓN	
16-sep	27-abr	28-abr	15-sep

Tabla 15: Periodos de las estaciones. Hospital de Sierra Norte. Año 13/14

4.2.2.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

El Hospital de Utrera dispone de calderas como sistema de calefacción. Debido a ello, el periodo de calefacción no existe en dicho hospital y se confirma al observar la siguiente gráfica que representa el consumo en función de los GH_{25} en el año 2015. Se observa que no se produce ningún punto mínimo y no existe una tendencia positiva por parte de la nube de puntos.

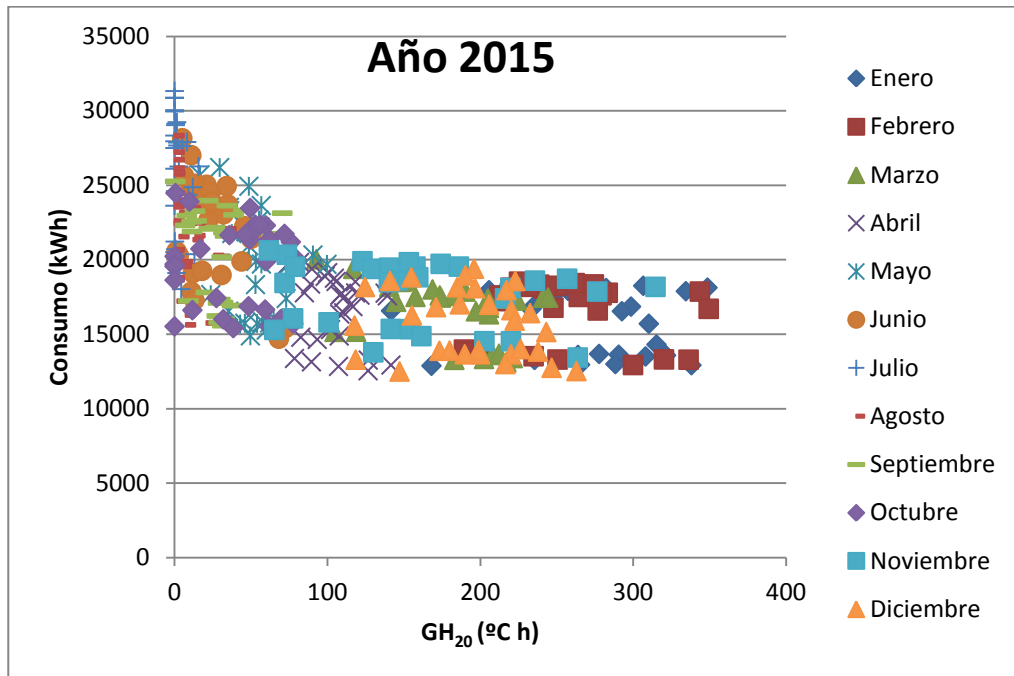


Gráfico 43: Consumo- GH_{20} . Hospital Utrera. Año 2015

Los periodos tanto de refrigeración como intermedio son obtenidos mediante la siguiente gráfica que representa el consumo en función de los GH_{25} .

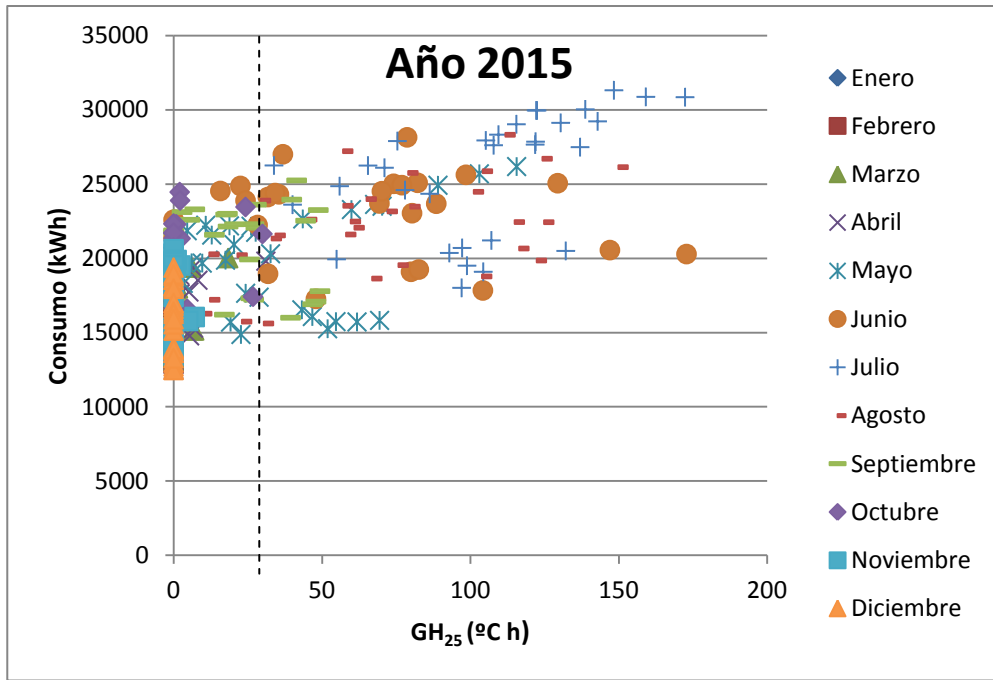


Gráfico 44: Consumo-GH₂₅. Hospital Utrera. Año 2015

El percentil al 30% corresponde a un valor de GH₂₅ = 25. Todos los valores menores de 25 corresponden a días intermedios, mientras que los mayores corresponden a días de refrigeración.

Los periodos obtenidos en el año 2015 son:

INTERMEDIO		REFRIGERACIÓN	
12-sep	25-may	26-may	11-sep

Tabla 16: Periodos de las estaciones. Hospital de Utrera. Año 2015

En el año 2014 también se observa que no se produce ningún punto mínimo en la gráfica que representa el consumo en función de los GH₂₀. No existe periodo de calefacción.

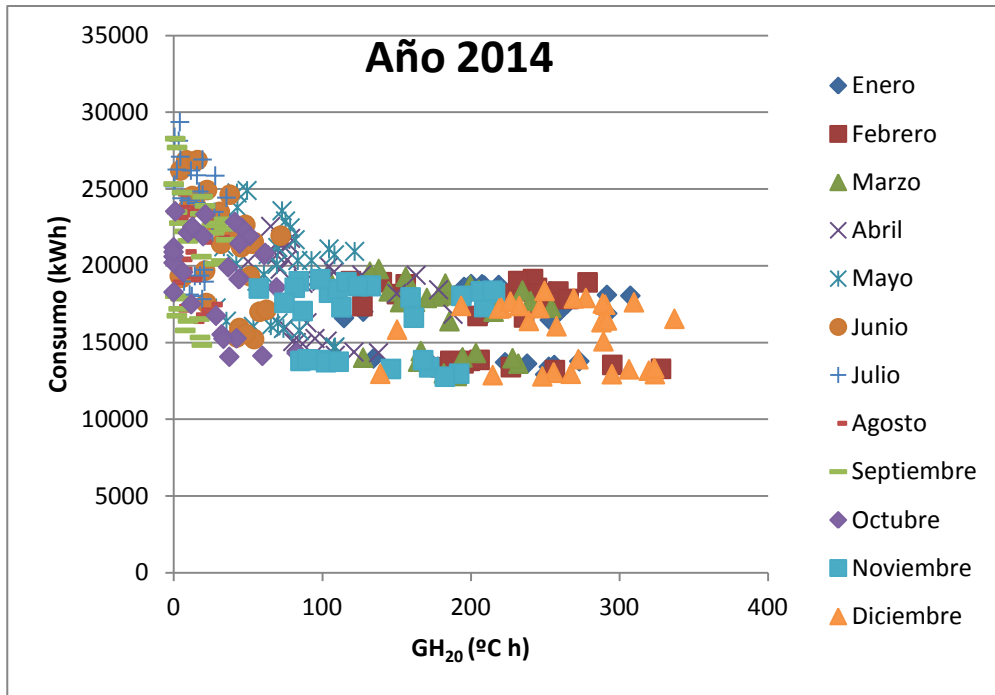


Gráfico 45: Consumo-GH₂₀. Hospital Utrera. Año 2014

A continuación, se obtienen los periodos de refrigeración e intermedios mediante la gráfica consumo-GH₂₅.

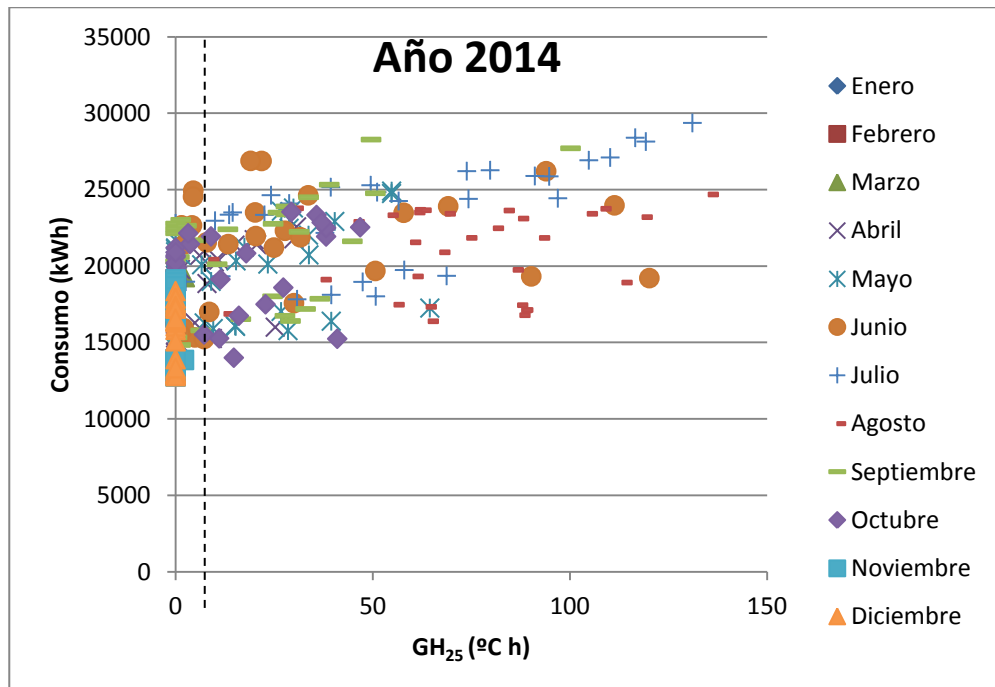


Gráfico 46: Consumo-GH₂₅. Hospital Utrera. Año 2014

El percentil al 30% corresponde a un valor de GH₂₅ = 10. Todos los valores menores de 10 corresponden a días intermedios, mientras que los mayores corresponden a días de refrigeración.

Los periodos obtenidos en el año 2014 son:

INTERMEDIO		REFRIGERACIÓN	
16-sep	08-jun	09-jun	15-sep

Tabla 17: Periodos de las estaciones. Hospital de Utrera. Año 2014

4.2.3. CONCLUSIONES

Como conclusión, la división del año en calefacción, refrigeración e intermedio hay que realizarlo tipificando periodos, no meses. El método de los GH en base diaria es más exacto que el método del consumo con respecto a la temperatura exterior en base mensual.

De la obtención de los periodos a lo largo de dos años en cada uno de los hospitales se concluye:

- Hospital de Alta Resolución de Écija: El periodo intermedio está compuesto por una fracción del mes de septiembre, octubre íntegramente, en ocasiones una parte de noviembre, días de marzo y abril en ocasiones, y parte de mayo. El periodo de calefacción está compuesto por una fracción del mes de noviembre, los meses de enero y febrero íntegramente y en ocasiones por una parte del mes de marzo y días de abril. Por último, el mes de refrigeración está compuesto por una parte de mayo, por los meses de junio, julio, agosto y por una parte de septiembre.
- Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte: El periodo intermedio está compuesto por una fracción del mes de septiembre, por los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo en su totalidad y por unos días de abril. El periodo de refrigeración está constituido por días de abril en ocasiones, por los meses de mayo, junio, julio y agosto en su totalidad y por una parte de septiembre. El periodo de calefacción no ha sido definido por lo anteriormente comentado en el apartado 4.2.2.2. *HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE*.
- Hospital de Alta Resolución de Utrera: El periodo intermedio está compuesto por una fracción del mes de septiembre, por los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril en su totalidad y por una parte de mayo. El periodo de refrigeración está constituido por días de mayo en ocasiones, por una parte de junio durante algunos años, por los meses de julio y agosto en su totalidad y por una parte de septiembre. El periodo de calefacción no ha sido definido por lo anteriormente comentado en el apartado 4.2.2.3. *HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA*.

4.3. ESTUDIO 2: TIPIFICACIÓN DE LOS DÍAS

4.3.1. DESCRIPCIÓN

En cada periodo han sido diferenciados los días según su consumo.

En cada periodo, se han obtenido el percentil al 20% y al 80% de los consumos. Para la obtención de dichos percentiles no se han tenido en cuenta los días que se encuentran en el periodo considerado pero no pertenecen a él (por ejemplo en un periodo de refrigeración pueden haber ciertos días que pertenezcan a intermedio).

A continuación, se clasifican en cada periodo los días en tipo 0, 1, 2 y 3. La tipificación de los días en función del consumo se representa en la siguiente tabla:

1	Consumo < 20%
2	20 % < Consumo < 80%
3	Consumo > 80%
0	No coincide con su estación

Tabla 11: Tipificación de días

Por lo tanto, en cada periodo se han definido cuatro tipos de días.

4.3.2. RESULTADOS

4.3.2.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

Los resultados obtenidos en el Hospital de Alta Resolución de Écija en el año 14/15 se adjuntan en la siguiente tabla. Cada columna corresponde a un mes y cada fila a un día.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	0	0	2	2	2	2	0	2	2
2	2	3	2	1	0	2	2	2	2	0	1	2
3	1	3	2	1	2	2	2	3	0	2	2	2
4	1	3	2	1	2	2	2	2	0	0	2	2
5	2	3	2	1	2	2	2	3	0	3	2	2
6	1	2	2	2	0	1	3	3	1	3	2	2
7	3	2	1	0	0	1	3	3	0	2	2	2
8	3	1	1	0	2	2	3	2	1	2	1	2
9	2	3	2	0	2	2	3	2	2	2	1	3
10	2	3	2	2	1	2	2	3	2	2	2	3
11	2	2	2	0	2	0	2	2	2	2	2	3
12	3	2	2	0	2	0	2	2	1	2	0	3

13	2	2	2	0	2	0	3	2	0	2	0	2
14	2	1	1	2	2	0	3	2	0	2	0	1
15	3	1	1	0	2	0	3	1	0	2	1	3
16	2	2	2	0	1	1	3	1	0	2	1	3
17	2	3	2	2	1	2	3	2	0	2	2	3
18	2	2	2	0	2	2	2	2	1	2	2	3
19	3	2	2	0	0	2	2	2	1	2	2	2
20	3	2	2	0	0	1	3	2	1	2	0	2
21	3	2	1	2	0	1	3	2	2	2	2	2
22	3	2	1	2	0	2	3	2	2	2	0	3
23	2	2	2	2	0	2	3	0	2	2	0	2
24	2	2	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2
25	1	2	2	1	0	2	2	2	1	1	2	2
26	3	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	3
27	3	2	2	0	2	2	3	2	1	2	2	2
28	2	1	1	2	2	2	3	2	3	2	2	2
29	3	1	1	2	1	3	3	2	3	2	1	2
30	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2	1	2
31	1	1	0	1	1	2	2	2	1	1	1	1

Tabla 18: Tipificación días. Hospital Écija. Año 14/15

Se observa que en el periodo de calefacción los días tipo 0 son escasos. En cambio, tanto en el periodo de refrigeración como intermedio los días tipo 0 son múltiples.

También se ha realizado la tipificación de los días en el año 13/14. Los resultados obtenidos son los siguientes:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	2	1	2	0	0	2	0	2	0	1	2
2	2	3	2	1	0	2	0	2	2	0	1	2
3	1	3	2	1	2	2	0	3	2	0	2	2
4	1	3	2	1	0	2	2	2	1	0	2	2
5	2	3	2	1	0	2	2	3	1	0	0	2
6	1	2	2	2	0	0	0	2	1	2	2	2
7	3	2	1	0	0	0	3	2	2	2	2	2
8	3	1	2	0	0	2	3	2	1	2	1	2
9	2	3	2	1	0	2	3	2	2	2	1	3
10	2	3	2	0	0	2	2	3	2	2	2	3
11	2	2	2	1	0	1	2	2	2	1	2	3
12	3	2	2	0	0	1	2	2	1	2	2	3
13	2	2	2	2	0	1	3	2	1	0	2	2
14	3	1	1	2	3	1	3	2	1	0	2	1
15	3	1	2	0	3	1	3	1	1	2	1	3
16	2	2	2	2	2	1	3	1	2	2	1	3
17	2	3	2	0	2	2	2	2	2	1	2	3
18	2	2	2	1	3	2	2	2	2	0	2	3

19	3	2	2	1	2	2	0	2	2	0	2	2
20	3	2	2	0	2	0	3	2	2	0	2	2
21	3	2	1	0	0	0	3	2	3	0	2	2
22	3	2	1	0	0	0	3	2	3	0	1	3
23	2	3	2	0	0	0	3	1	2	2	1	2
24	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	2	2
25	2	2	2	0	0	0	2	2	2	0	2	2
26	3	2	2	0	0	2	2	2	2	2	2	3
27	3	2	2	0	0	2	3	2	2	0	2	2
28	3	1	1	0	3	2	3	2	3	2	2	2
29	3		1	0	2	3	3	2	2	2	1	2
30	2		2	0	1	3	2	2	0	2	1	2
31	1		2		1		2	2		1		2

Tabla 19: Tipificación días. Hospital Écija. Año 13/14

4.3.2.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

Los resultados obtenidos en el Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte en el año 14/15 se adjuntan en la siguiente tabla.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	2	1	0	1	2	2	2	2	3	2	2
2	1	3	2	2	1	2	2	2	0	0	2	2
3	2	3	2	2	1	2	2	2	0	2	2	2
4	2	2	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2
5	2	3	2	2	0	2	2	3	0	3	2	2
6	2	2	2	2	0	1	3	3	1	2	2	1
7	2	1	1	2	1	1	3	3	0	2	1	1
8	1	1	1	2	0	2	3	2	2	2	1	2
9	1	2	2	1	1	2	3	2	2	2	1	2
10	2	2	2	1	1	2	2	3	2	2	2	2
11	2	2	1	1	2	0	2	3	2	1	2	2
12	2	2	2	1	2	0	2	2	1	2	2	2
13	2	2	1	2	2	0	3	2	0	2	2	1
14	2	1	1	2	2	0	3	2	0	2	2	1
15	1	1	1	2	2	0	3	1	0	2	1	2
16	1	2	2	2	1	2	3	1	0	1	1	2
17	2	1	2	1	1	2	3	2	0	1	2	2
18	2	2	2	1	2	2	2	2	0	1	2	2
19	2	2	2	1	0	2	2	2	1	2	2	2
20	2	2	1	2	0	1	3	2	1	2	2	1
21	2	1	1	1	0	1	3	2	2	2	2	1
22	1	1	1	2	0	2	3	2	2	2	1	2
23	1	2	2	2	1	2	3	1	2	2	1	2
24	2	2	2	2	0	2	3	2	0	1	2	1
25	2	2	2	1	0	2	2	2	0	1	2	1

26	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2
27	2	2	1	2	2	2	3	2	1	2	2	1
28	2	1	1	2	2	2	3	2	3	2	1	1
29	2		1	2	1	3	3	2	3	2	1	2
30	2		2	2	1	3	3	2	2	2	1	2
31	3		0		1		2	2		1		2

Tabla 20: Tipificación días. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

Como se ha comentado anteriormente, se han tipificado los días únicamente en dos periodos, refrigeración e intermedio puesto que dicho hospital dispone de un sistema de calefacción compuesto por dos calderas.

Los resultados en el año 13/14 son los siguientes:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	0	2	2
2	2	3	2	2	1	2	0	2	2	0	2	2
3	1	3	2	2	1	2	2	2	2	0	2	2
4	1	2	2	2	1	2	2	2	2	0	2	2
5	2	3	2	2	1	2	2	3	1	0	2	2
6	2	2	2	0	1	1	3	3	1	2	2	1
7	2	1	1	0	1	1	3	3	2	3	2	1
8	2	1	1	0	1	2	3	2	2	3	1	2
9	2	2	2	0	1	2	3	2	2	2	1	2
10	1	2	2	0	1	2	2	3	2	2	2	2
11	1	2	1	0	2	2	2	3	2	2	2	2
12	2	2	2	1	2	2	2	3	2	2	2	2
13	2	2	1	0	2	1	3	2	2	2	2	1
14	2	1	1	2	2	1	3	2	2	2	2	1
15	2	1	1	2	2	2	3	2	2	2	1	2
16	2	2	2	2	1	2	3	2	3	1	1	2
17	1	1	2	0	1	2	3	2	2	0	2	2
18	1	2	2	1	2	2	2	2	2	0	2	2
19	2	2	2	1	0	2	2	2	2	0	2	2
20	2	2	1	2	0	1	3	2	0	0	2	1
21	2	1	1	1	0	1	3	2	3	0	2	1
22	2	1	1	2	0	2	3	2	3	0	1	2
23	2	2	2	2	0	0	3	2	3	0	1	2
24	1	2	2	2	0	0	3	2	3	0	2	1
25	1	2	2	1	0	2	2	2	3	0	2	1
26	2	2	2	1	0	2	2	2	0	2	2	2
27	2	2	2	2	0	2	3	2	2	2	2	1
28	2	1	1	1	0	2	3	2	3	2	2	1
29	2		1	1	1	3	3	2	0	2	1	2
30	2		2	1	1	3	3	2	0	2	1	2

31	2	2	1	2	2	1	2
----	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 21: Tipificación días. Hospital Sierra Norte. Año 13/14

4.3.2.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

La tipificación de días en el año 2015 es la siguiente:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	0	0	2	2	1	0	3	1	2
2	2	2	2	1	0	2	2	1	0	0	1	2
3	1	2	2	1	1	2	2	2	0	2	2	2
4	1	2	2	1	2	2	1	2	0	0	2	2
5	2	2	2	1	2	2	2	2	0	3	2	1
6	1	2	2	2	2	1	3	2	1	3	2	1
7	2	1	1	2	0	1	3	2	2	3	2	1
8	2	1	1	2	2	2	3	2	1	2	2	1
9	2	2	2	2	0	2	3	2	2	2	2	2
10	1	2	2	2	0	0	2	3	2	2	2	2
11	1	2	2	1	0	0	1	2	2	2	2	2
12	2	2	2	1	0	0	1	2	2	1	2	1
13	2	2	2	2	0	0	3	2	2	2	2	1
14	2	1	1	2	0	0	3	0	3	2	1	2
15	2	1	1	2	2	0	3	0	2	3	1	2
16	2	2	2	2	0	2	3	1	2	2	2	2
17	1	2	2	2	0	2	3	2	2	2	2	2
18	1	2	2	1	0	2	2	2	0	2	2	2
19	2	2	2	1	2	2	2	2	0	2	2	1
20	2	2	2	2	3	1	3	2	0	2	2	1
21	2	1	1	2	2	1	3	2	0	3	1	2
22	2	1	1	2	2	0	3	0	0	2	1	2
23	2	2	2	2	2	0	3	0	3	2	2	1
24	1	2	2	2	2	1	2	0	3	2	2	1
25	1	2	2	1	3	2	1	2	2	2	2	1
26	2	2	2	1	2	2	2	2	0	2	2	1
27	2	2	2	2	2	1	3	2	0	2	2	1
28	2	1	1	2	2	2	3	2	0	2	1	2
29	2	1	1	2	2	3	3	1	3	2	1	2
30	2	2	2	2	0	2	2	1	3	2	2	2
31	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1

Tabla 22: Tipificación días. Hospital Utrera. Año 2015

Al igual que en el Hospital de Sierra Norte, en el Hospital de Utrera se han tipificado los días únicamente de acuerdo a dos periodos, refrigeración e intermedio. El sistema de calefacción está compuesto por calderas.

La tipificación de días obtenida en el año 2014 se adjunta en la siguiente tabla:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	0	3	2	0	2	0	2	2
2	2	2	2	2	0	0	0	2	2	0	1	2
3	1	2	2	1	0	0	2	3	2	0	2	2
4	1	2	2	1	0	3	1	2	1	0	2	2
5	2	2	2	1	0	0	2	2	1	0	2	1
6	1	2	2	2	0	2	0	2	1	3	2	1
7	2	1	1	0	0	2	3	2	2	2	2	1
8	2	1	1	0	0	3	3	2	1	2	2	1
9	2	2	2	2	0	2	3	2	2	2	2	2
10	1	2	2	0	0	2	2	3	2	2	2	2
11	1	2	2	1	0	2	1	2	2	2	2	2
12	2	2	2	1	0	2	2	2	1	2	2	1
13	2	2	2	2	0	1	3	2	1	2	2	1
14	2	1	1	2	0	1	3	2	2	2	2	2
15	2	1	1	2	0	2	3	1	2	2	2	2
16	2	2	2	2	0	2	3	1	2	2	2	2
17	1	2	2	0	2	2	3	2	2	0	2	2
18	1	2	2	1	2	0	2	2	2	0	2	2
19	2	2	2	1	2	0	2	2	2	0	2	1
20	2	2	2	2	2	0	3	2	0	0	2	1
21	2	1	1	2	2	0	3	2	3	0	1	2
22	2	1	1	2	2	0	3	1	3	0	1	2
23	2	2	2	2	2	0	3	1	2	0	2	2
24	1	2	2	2	2	0	2	2	3	0	2	1
25	1	2	2	1	2	0	2	2	2	0	2	1
26	2	2	2	1	2	2	2	2	0	2	2	1
27	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	1
28	2	1	2	0	3	2	3	2	3	2	1	2
29	2		2	0	2	3	3	1	0	2	1	2
30	2		2	0	2	3	2	1	0	2	2	2
31	1		2		0		2	2		2		1

Tabla 23: Tipificación días. Hospital Utrera. Año 2014

4.4. ESTUDIO 3: MODELO LÍNEA BASE REFRIGERACIÓN

4.4.1. DESCRIPCIÓN

La tipificación de días anteriormente descrita no ha sido la utilizada para la obtención del modelo de la línea base.

En su lugar, se han tipificado los días en 1, 2, 3. Para su obtención, ha sido necesario en primer lugar realizar el modelo en cada periodo teniendo en cuenta tanto los días tipo 0 como el término constante. En cuanto a la estimación del consumo, el consumo estimado de los días tipo 0 han sido igualados a su valor real.

En cada gráfica correspondiente a cada uno de los diferentes periodos se observan tres nubes de puntos que corresponden a tres tipos de días. Según el intervalo en el que se encuentran dichas nubes de puntos se han tipificado los días en 1, 2, y 3. Los días tipo 1 corresponden a los días que poseen un consumo menor, los días tipo 3 son los que poseen un mayor consumo, y los días tipo 2 son los que poseen un consumo que se encuentra entre los días tipo 1 y los días tipo 3.

De esta manera, se sustituye la anterior tipificación de días, por tipos de días 1, 2 y 3 y se implementa el modelo de la línea base con esta nueva tipificación de días.

Esta descripción no es única del periodo de refrigeración, sino que es extensible a los periodos de calefacción e intermedio.

4.4.2. RESULTADOS

4.4.2.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

La estimación del consumo en el periodo de refrigeración ha sido obtenida en función de dos días anteriores, teniendo en cuenta la temperatura exterior, la radiación, el tipo de día y el consumo.

La estimación obtenida en el año 14/15 es la siguiente:

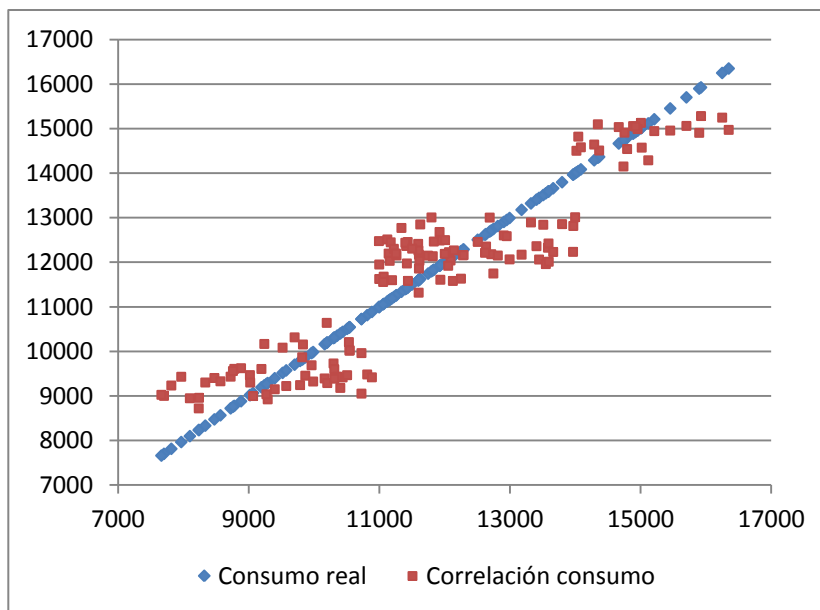


Gráfico 47: Modelo refrigeración. Hospital Écija. Año 14/15

Se observa que existen tres tipos de días con consumos bien diferenciados. El error máximo cometido es del 15% salvo en cuatro días que poseen un error mayor.

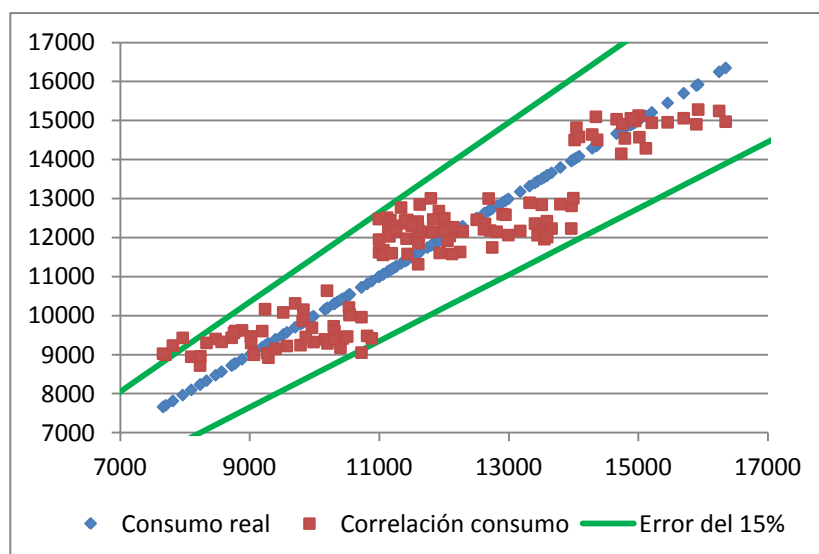


Gráfico 48: Error modelo refrigeración. Hospital Écija. Año 14/15

Al implementar el modelo del año 14/15 en el año 13/14, se ha obtenido el siguiente resultado:

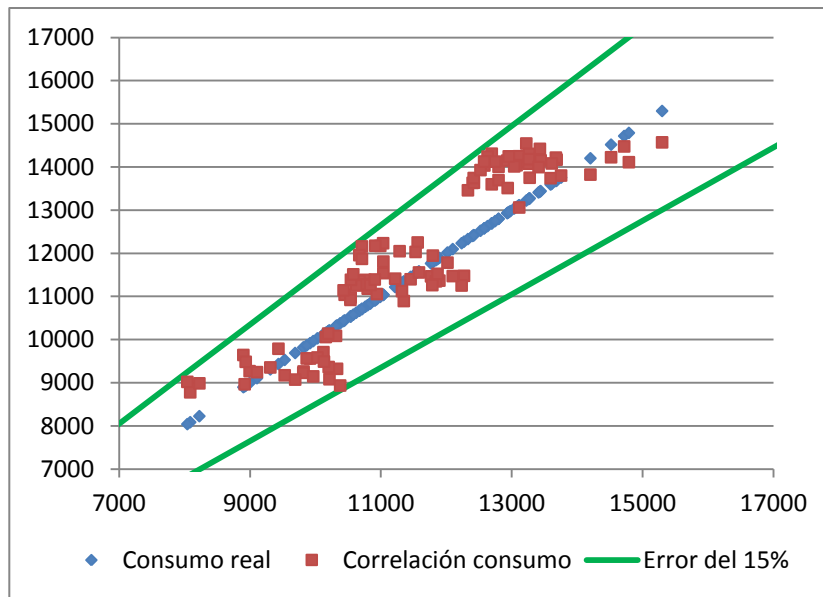


Gráfico 49: Error modelo refrigeración. Hospital Écija. Año 13/14

El error relativo cometido se conserva con respecto al año 14/15, siendo del 15%. El error no es elevado.

4.4.2.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

La estimación obtenida en el Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte en el año 14/15 es la siguiente:

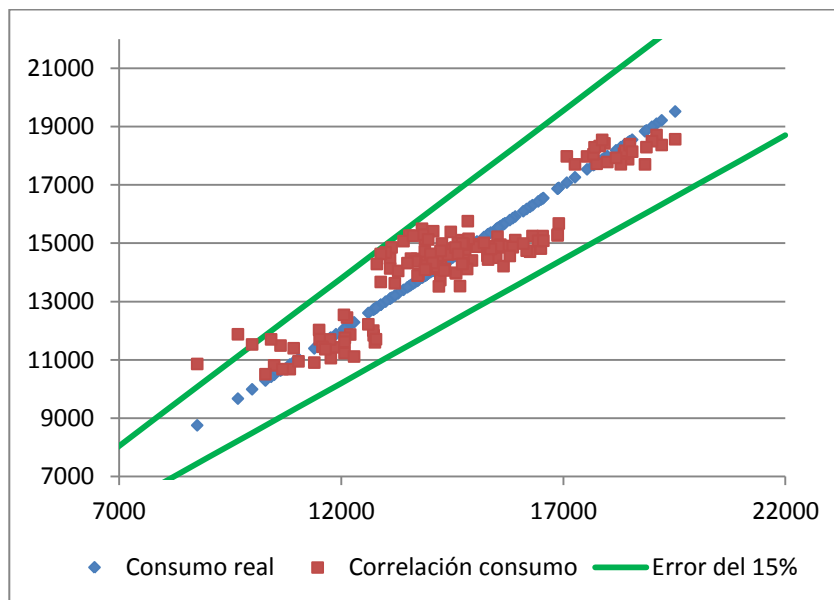


Gráfico 50: Error modelo refrigeración. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

Tal y como se observa en la anterior gráfica adjunta, el error máximo cometido es del 15%, salvo en dos días. Fácilmente son diferenciables tres tipos de días.

Al comprobar el modelo del año 14/15 en el año 13/14, se ha obtenido el siguiente resultado:

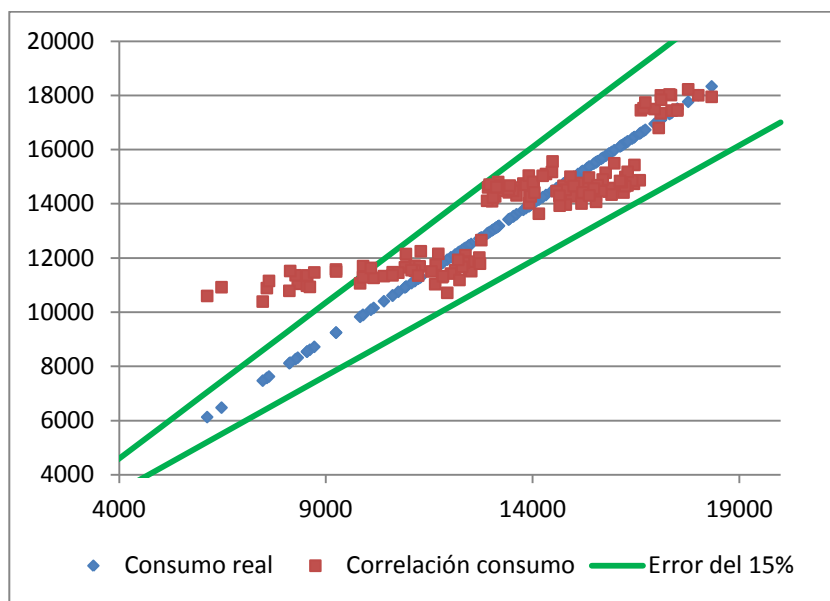


Gráfico 51: Error modelo refrigeración. Hospital Sierra Norte. Año 13/14

El error cometido también es en torno al 15% salvo en ciertos días, tal y como se observa en la anterior gráfica.

4.4.2.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

La estimación obtenida en el Hospital de Alta Resolución de Utrera en el año 2015 es la siguiente:

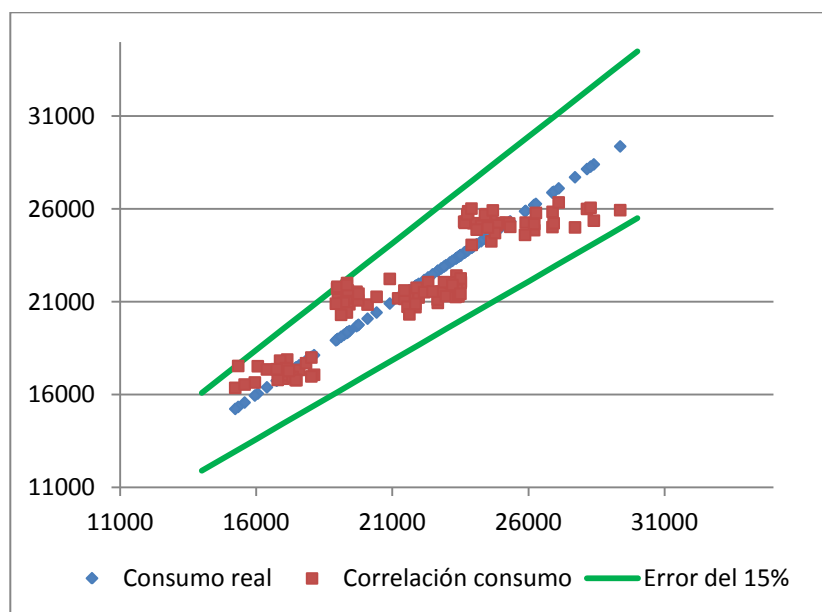


Gráfico 52: Error modelo refrigeración. Hospital Utrera. Año 2015

El error relativo máximo es del 15%.

Al implementar el modelo del año 2015 en el año 2014 el error cometido es bajo, menor del 15%.

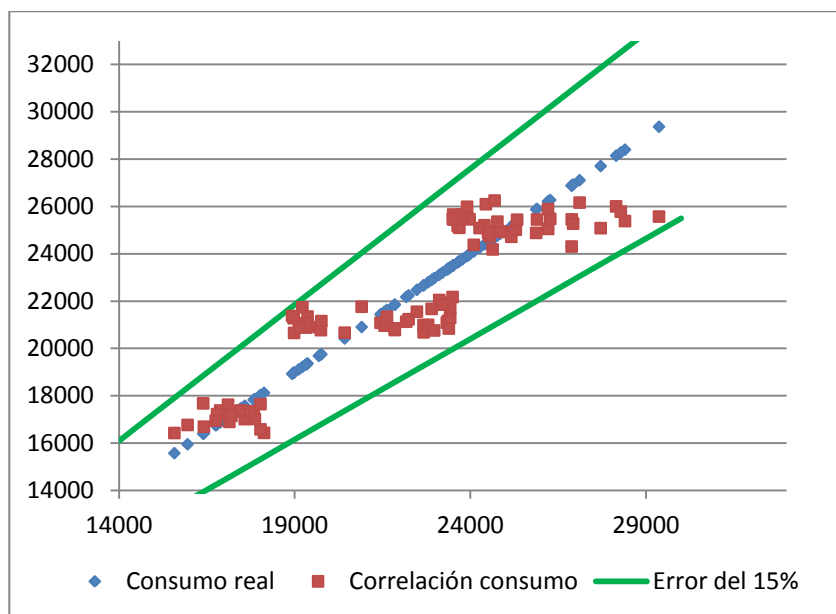


Gráfico 53: Error modelo refrigeración. Hospital Utrera. Año 2014

4.5. ESTUDIO 4: MODELO LÍNEA BASE CALEFACCIÓN

4.5.2. DESCRIPCIÓN

Al igual que en el modelo de la línea base en el periodo de refrigeración, en el modelo para calefacción se ha realizado una nueva tipificación de los días, correspondiente a 1, 2 y 3.

Para su obtención, ha sido necesario realizar el modelo en el periodo de calefacción teniendo en cuenta tanto los días tipo 0 como el término constante. En cuanto a la estimación del consumo, el consumo estimado de los días tipo 0 han sido igualados a su valor real.

En la gráfica obtenida se observan tres nubes de puntos que corresponden a tres tipos de días. Según el intervalo en el que se encuentran dichas nubes de puntos se tipifican los días en 1, 2, y 3. Los días tipo 1 corresponden a los días que poseen un consumo menor, los días tipo 3 son los que poseen un mayor consumo, y los días tipo 2 son los que poseen un consumo que se encuentra entre los días tipo 1 y los días tipo 3.

De esta manera, se sustituye la anterior tipificación de días, por tipos de días 1, 2 y 3 y se implementa el modelo de la línea base con esta nueva tipificación de días.

4.5.3. RESULTADOS

4.5.3.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

El periodo de calefacción ha sido estimado de igual manera que el periodo de refrigeración.

Los resultados obtenidos en el año 14/15 se representan en la siguiente gráfica:

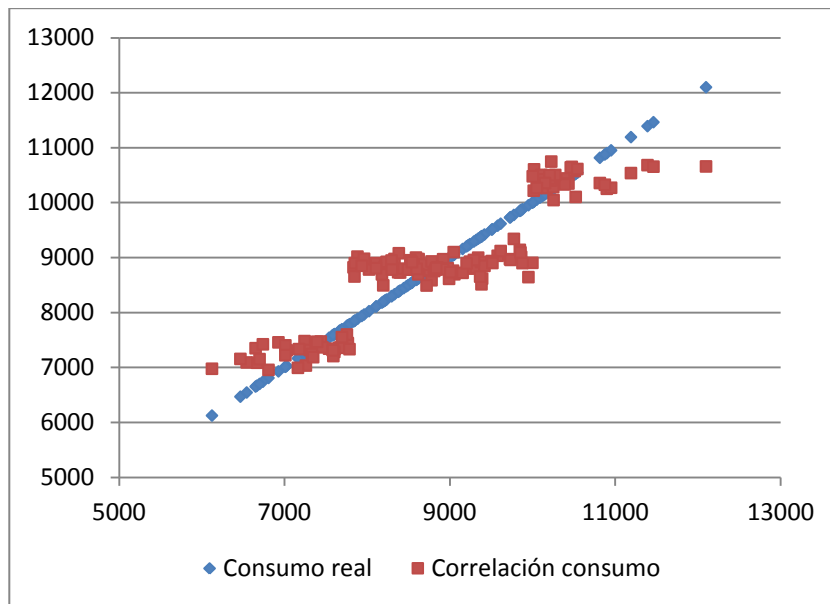


Gráfico 54: Modelo calefacción. Hospital Écija. Año 14/15

El error relativo máximo cometido es del 15%.

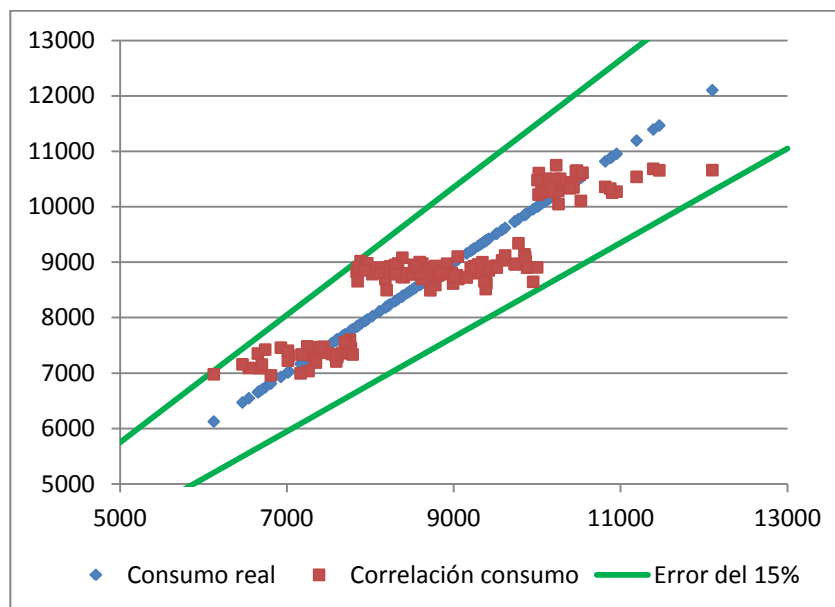


Gráfico 55: Error modelo calefacción. Hospital Écija. Año 14/15

Al utilizar el modelo del año 14/15 en el año 13/14 el resultado obtenido es el siguiente:

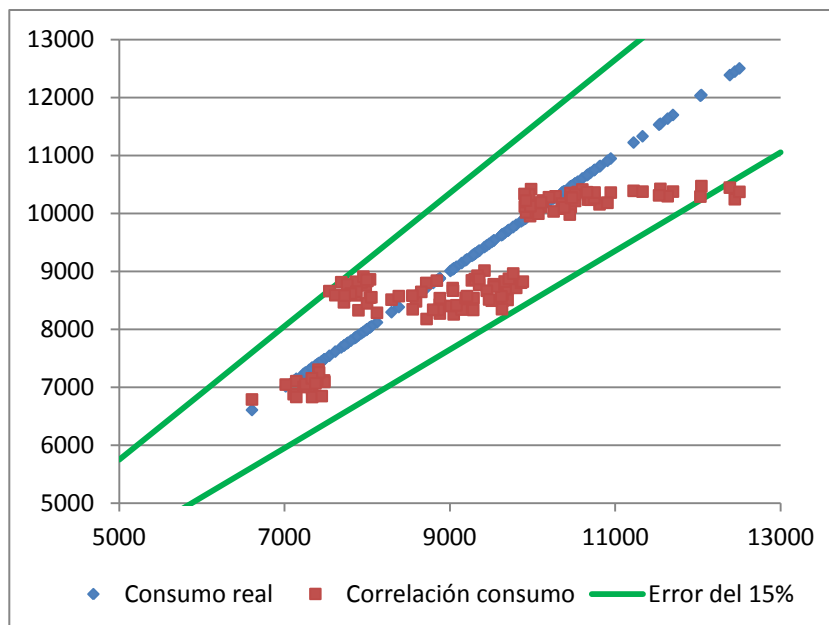


Gráfico 56: Error modelo calefacción. Hospital Écija. Año 13/14

El error relativo máximo cometido a nivel diario es en torno al 15%.

4.5.3.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

El Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte dispone de un sistema de calefacción con caldera y cinco radiadores eléctricos. La influencia de dichos radiadores es muy pequeña por lo que se ha supuesto que no existe periodo de calefacción.

4.5.3.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

Al igual que el Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte, el Hospital de Alta Resolución de Utrera tampoco dispone de periodo de calefacción. Ello es debido a que el sistema de calefacción está compuesto únicamente por calderas.

4.6. ESTUDIO 5: MODELO LÍNEA BASE INTERMEDIO

4.6.2. DESCRIPCIÓN

Al igual que en el modelo de la línea base en el periodo de refrigeración y calefacción, en el modelo intermedio se ha realizado una nueva tipificación de los días, correspondiente a 1, 2 y 3.

Para su obtención, ha sido necesario realizar el modelo en el periodo intermedio teniendo en cuenta tanto los días tipo 0 como el término constante. En cuanto a la estimación del consumo, el consumo estimado de los días tipo 0 han sido igualados a su valor real.

En la gráfica obtenida se observan tres nubes de puntos que corresponden a tres tipos de días. Según el intervalo en el que se encuentran dichas nubes de puntos se tipifican los días en 1, 2, y 3. Los días tipo 1 corresponden a los días que poseen un consumo menor, los días tipo 3 son los que poseen un mayor consumo, y los días tipo 2 son los que poseen un consumo que se encuentra entre los días tipo 1 y los días tipo 3.

De esta manera, se sustituye la anterior tipificación de días, por tipos de días 1, 2 y 3 y se implementa el modelo de la línea base con esta nueva tipificación de días.

4.6.3. RESULTADOS

4.6.3.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

En cuanto al periodo intermedio, la estimación obtenida en el año 14/15 en el Hospital de Alta Resolución de Écija es la siguiente:

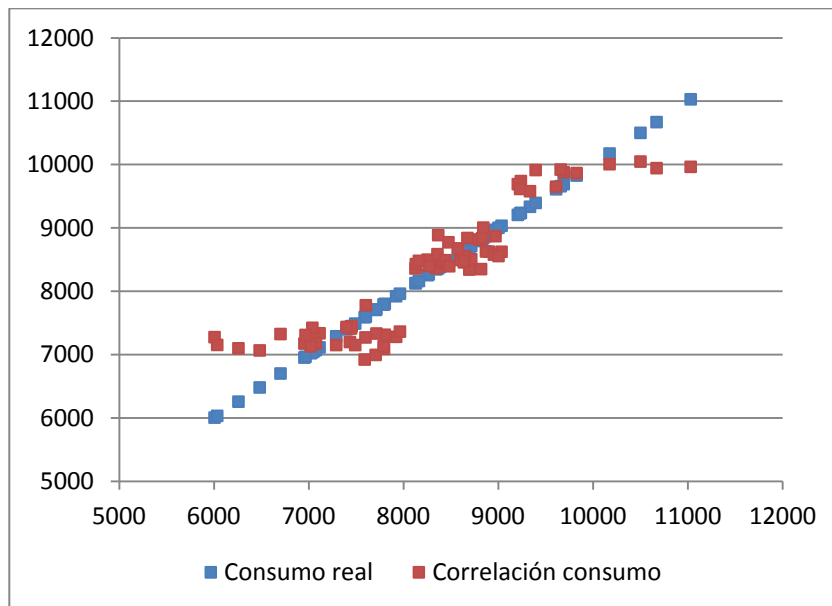


Gráfico 57: Modelo intermedio. Hospital Écija. Año 14/15

El error máximo cometido a nivel diario es del 10% como se observa en la gráfica adjunta, salvo en tres días.

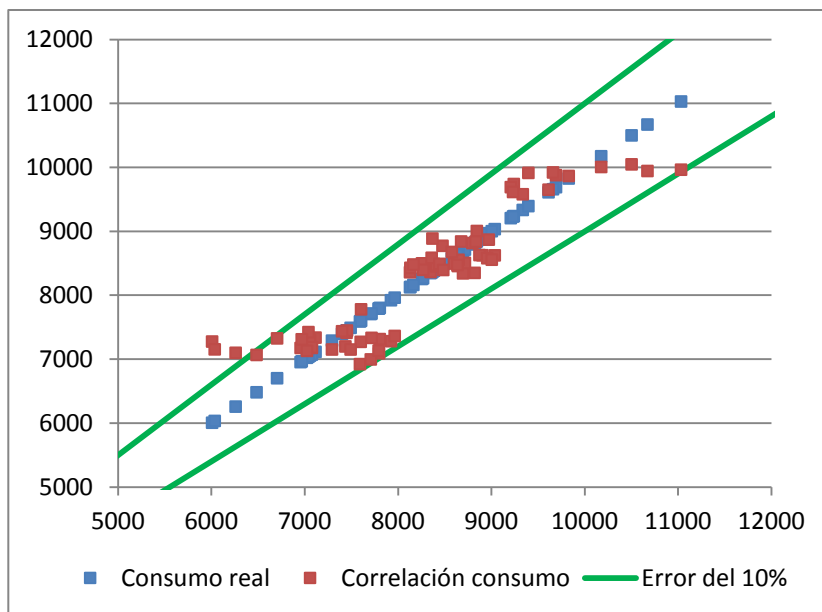


Gráfico 58: Error modelo intermedio. Hospital Écija. Año 14/15

Al tomar el modelo del año 14/15 y comprobarlo en el año 13/14 el resultado obtenido se representa en la siguiente gráfica:

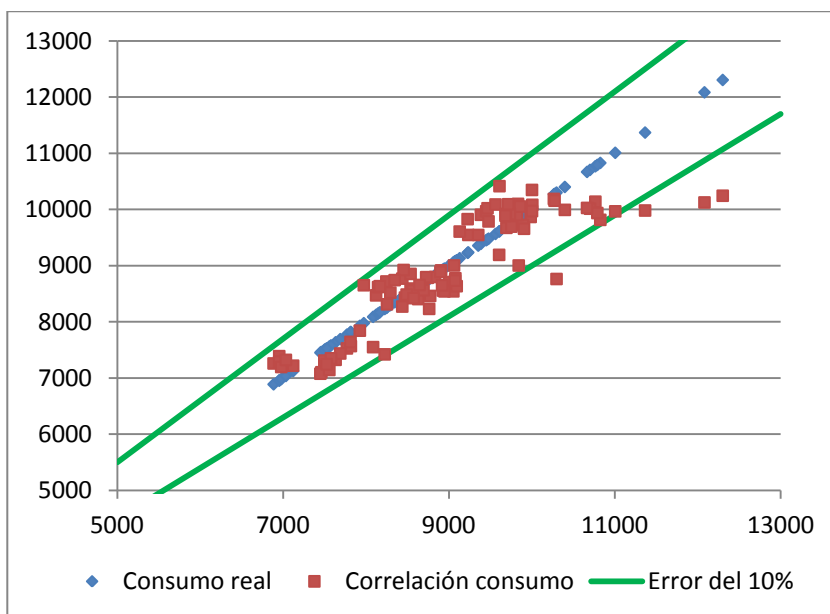


Gráfico 59: Error modelo intermedio. Hospital Écija. Año 13/14

Se observa que el error relativo cometido no es muy elevado, siendo inferior al 10% en la mayoría de los días salvo en cuatro días.

4.6.3.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

Los resultados obtenidos en el periodo intermedio del Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte en el año 14/15 se representan en la siguiente gráfica:

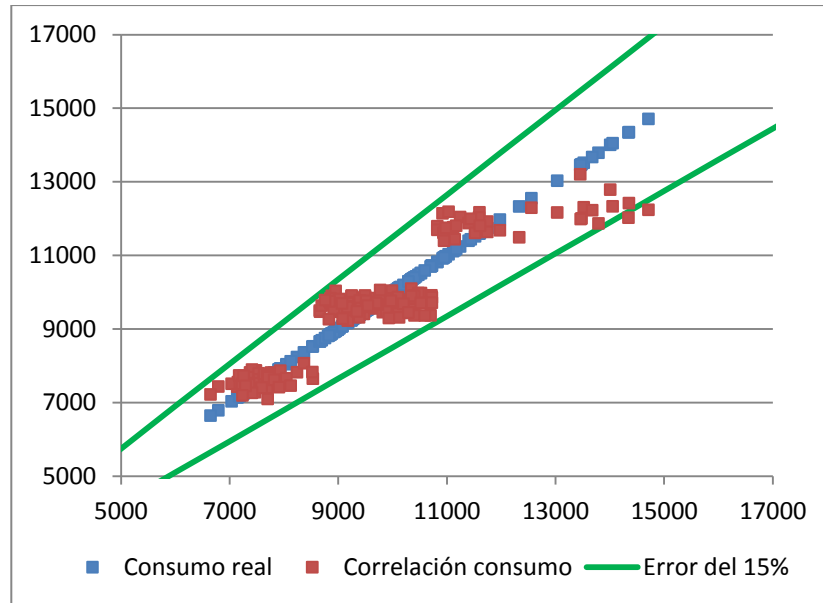


Gráfico 60: Error modelo intermedio. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

El error relativo máximo cometido es en torno al 15%, salvo en dos días.

Al implementar el modelo del año 14/15 en el año 13/14 el error relativo máximo obtenido es en torno al 15%.

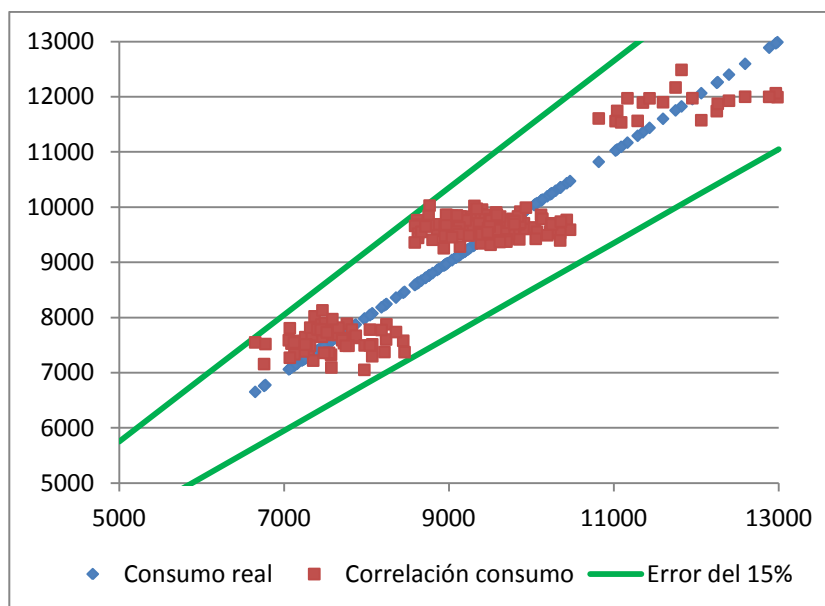


Gráfico 61: Error modelo intermedio. Hospital Sierra Norte. Año 13/14

4.6.3.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

La estimación obtenida en el Hospital de Alta Resolución de Utrera en el año 2015 es la siguiente:

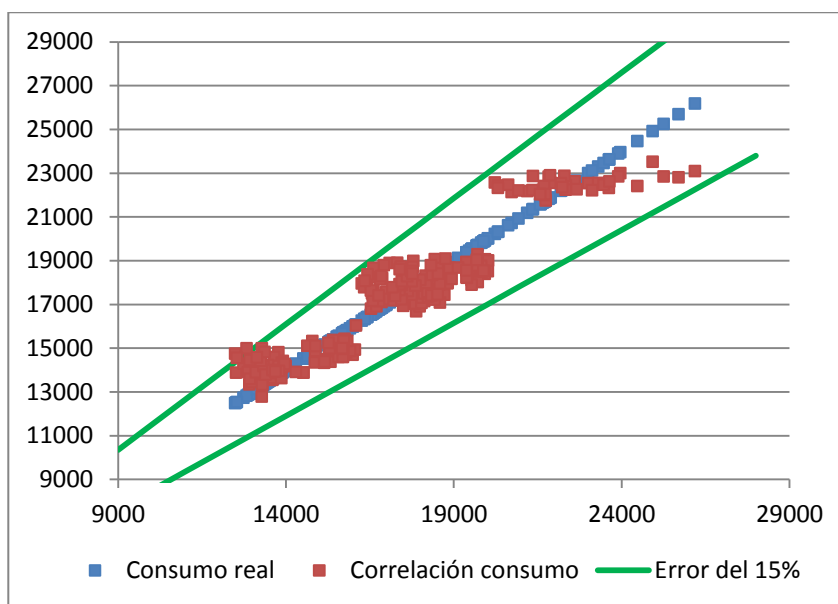


Gráfico 62: Error modelo intermedio. Hospital Utrera. Año 2015

El error relativo cometido a nivel diario es en torno al 15%.

Al implementar el modelo del año 2015 en el año 2014 el error relativo obtenido es inferior al 15%.

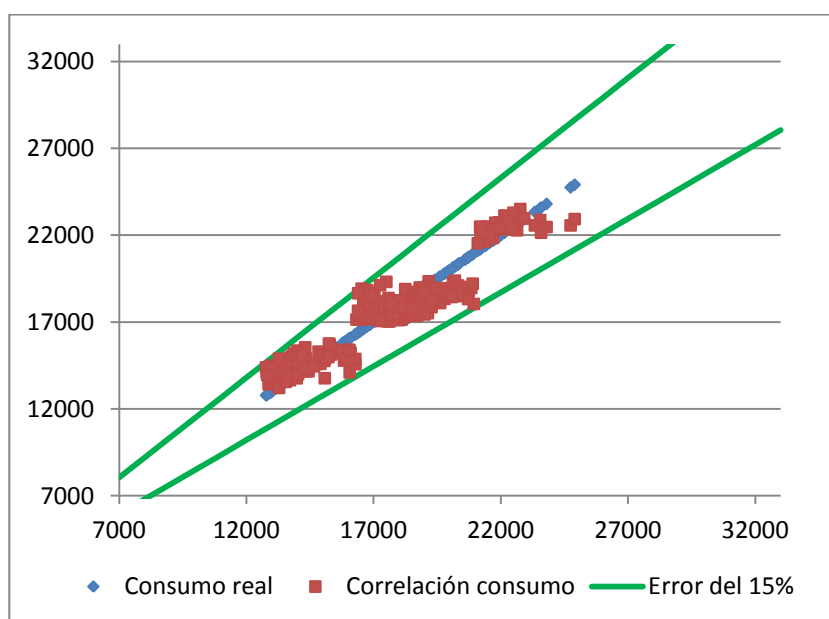


Gráfico 63: Error modelo intermedio. Hospital Utrera. Año 2014

4.7. ESTUDIO 6: MODELO ANUAL

4.7.2. DESCRIPCIÓN

A partir de las estimaciones de los consumos obtenidas de los diferentes periodos en cada hospital, se han obtenido las gráficas a nivel diario durante un año.

4.7.3. RESULTADOS

4.7.3.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

De manera general, la estimación del consumo en el Hospital de Alta Resolución de Écija durante un año es la siguiente:

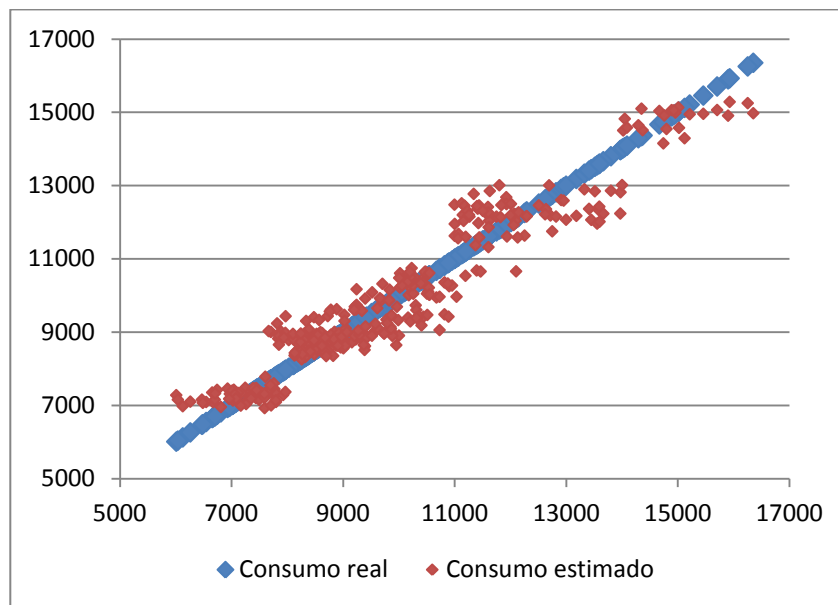


Gráfico 64: Modelo anual. Hospital Écija. Año 14/15

La tipificación del consumo por estación es la siguiente:

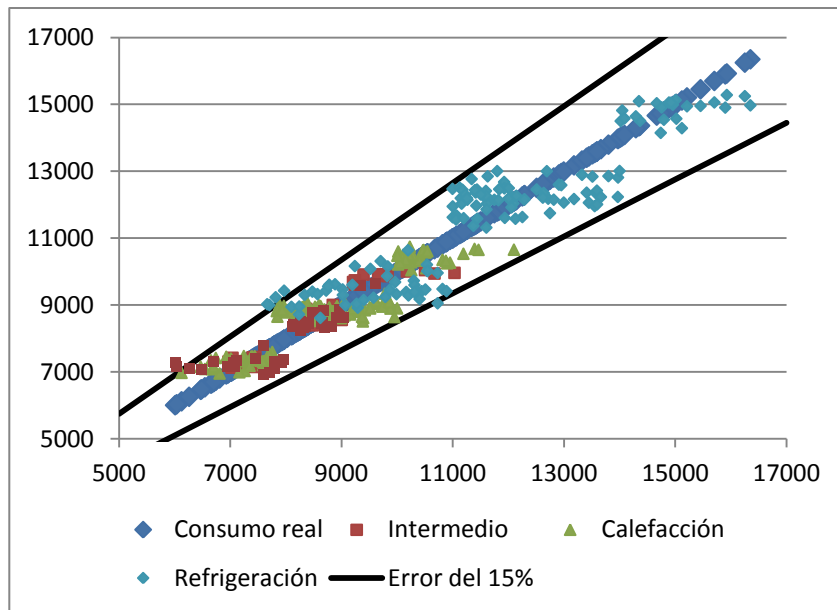


Gráfico 65: Error modelo anual. Hospital Écija. Año 14/15

4.7.3.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

La estimación del consumo a lo largo del año 14/15 en el Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte es la siguiente:

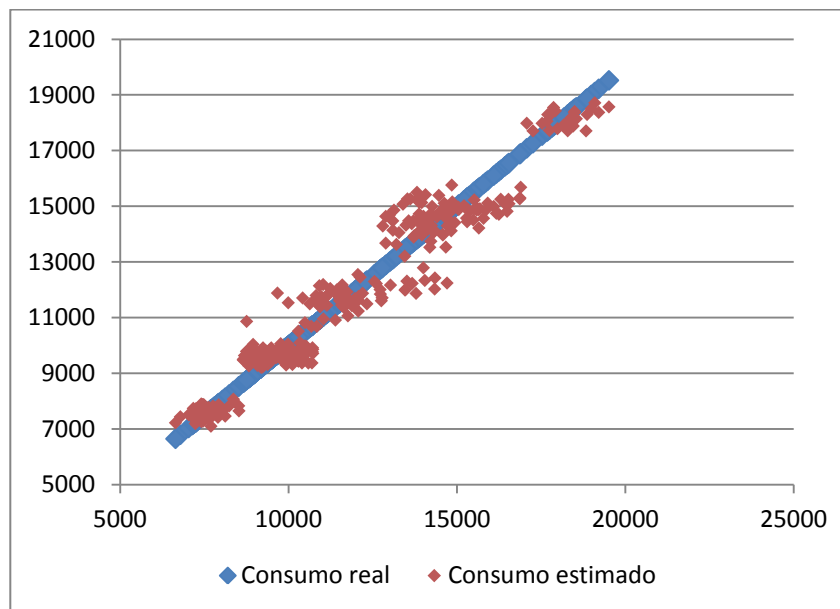


Gráfico 66: Modelo anual. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

Se ha tipificado el consumo en función del periodo al que pertenece. La gráfica obtenida es la siguiente:

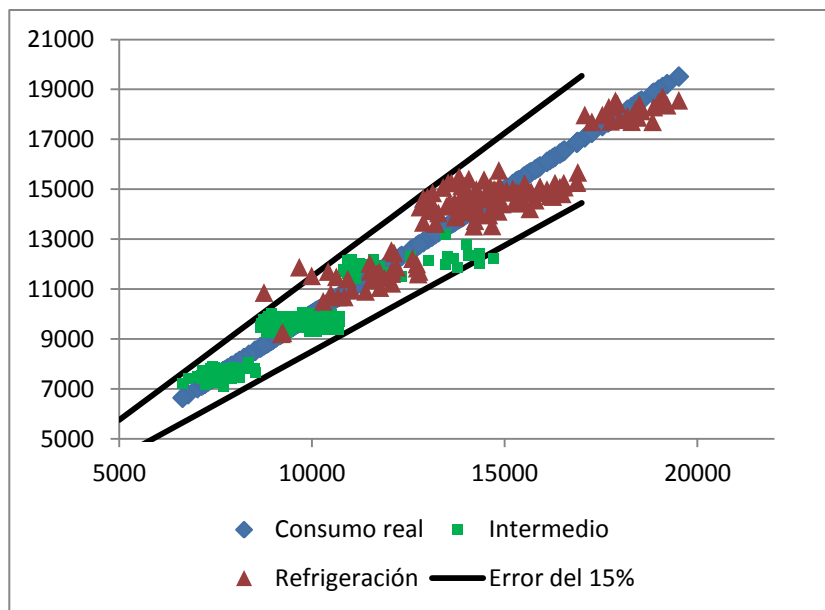


Gráfico 67: Error modelo anual. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

4.7.3.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

La estimación del consumo a lo largo del año 2015 es la siguiente:

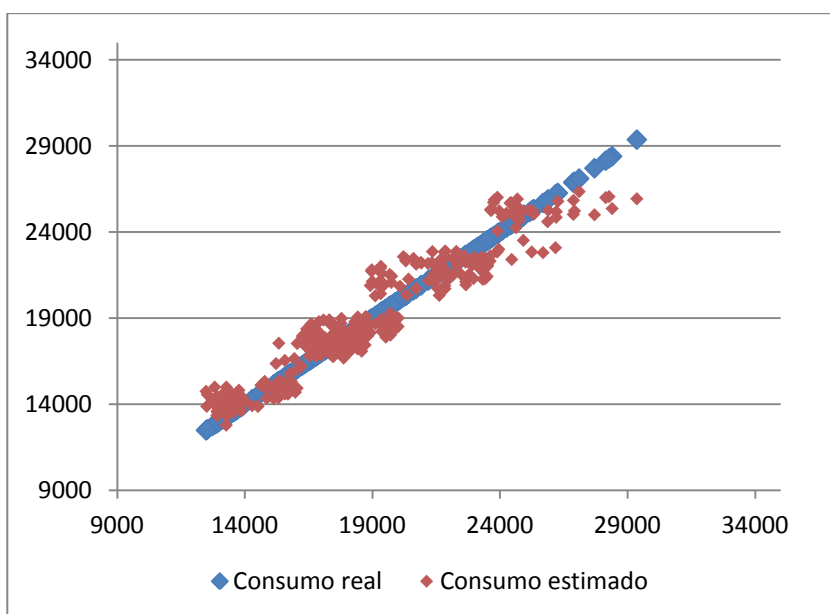


Gráfico 68: Modelo anual. Hospital Utrera. Año 2015

Los consumos obtenidos en función de su estación son los siguientes:

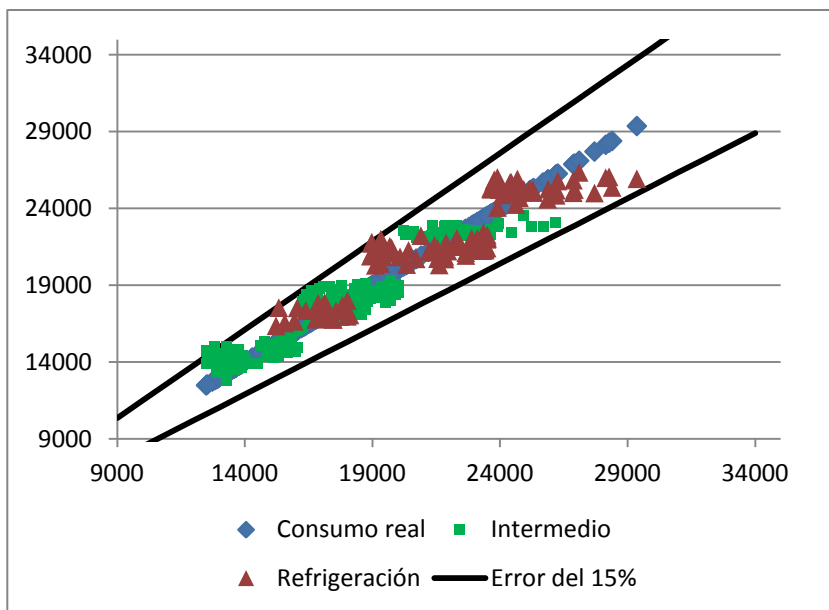


Gráfico 69: Error modelo anual. Hospital Utrera. Año 2015

4.8. ESTUDIO 7: MODELO MENSUAL A PARTIR DEL MODELO DIARIO

4.8.2. DESCRIPCIÓN

A partir de la estimación del consumo a nivel diario se ha obtenido el consumo estimado mensual y se ha comparado dicho consumo con el consumo real.

4.8.3. RESULTADOS

4.8.3.1. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

La estimación del consumo a nivel mensual en el año 14/15 es la siguiente:

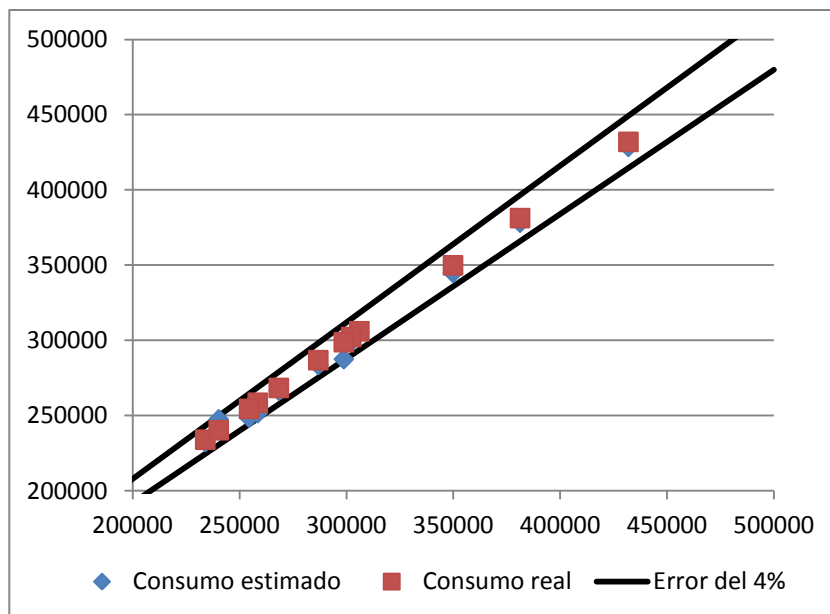


Gráfico 70: Modelo mensual. Hospital Écija. Año 14/15

El máximo error es del 4% y se produce en el mes de diciembre, mes característico del periodo de calefacción, debido a que los mayores errores se producen en dicho periodo.

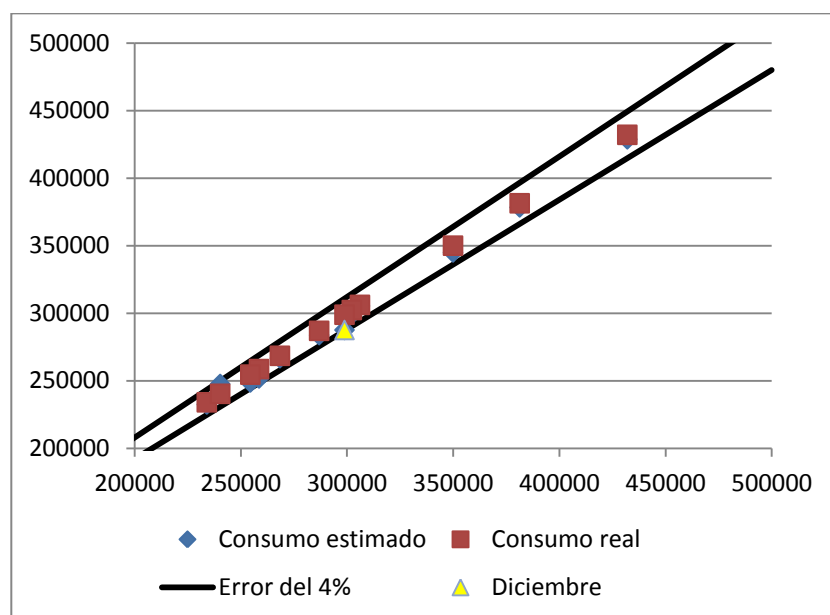


Gráfico 71: 2. Modelo mensual. Hospital Écija. Año 14/15

Se adjuntan los errores mensuales en la siguiente tabla:

MES	ERROR RELATIVO (%)
Enero	1.116
Febrero	2.755

Marzo	2.338
Abril	0.679
Mayo	0.269
Junio	1.455
Julio	0.779
Agosto	0.801
Septiembre	1.060
Octubre	0.675
Noviembre	2.939
Diciembre	3.930

Tabla 24: Errores mensuales. Hospital de Écija. Año 14/15

El error relativo mínimo se produce en el mes de mayo. De manera general, los meses pertenecientes al periodo de refrigeración poseen un error bajo. Los mayores errores se producen en los meses pertenecientes al periodo de calefacción.

Al implementar el modelo del año 14/15 en el año 13/14, la estimación del consumo a nivel mensual es la siguiente:

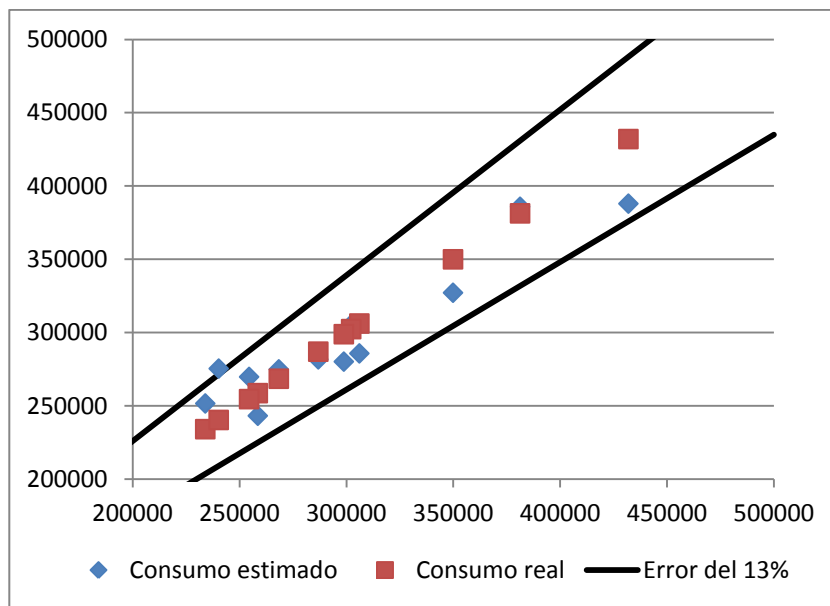


Gráfico 72: Modelo mensual. Hospital Écija. Año 13/14

El error máximo cometido se produce en el mes de noviembre, siendo del 13%. Se adjuntan los errores en la siguiente tabla:

MES	ERROR RELATIVO (%)
Enero	1.865
Febrero	6.345
Marzo	5.634

Abril	6.980
Mayo	7.134
Junio	6.976
Julio	11.359
Agosto	1.166
Septiembre	1.002
Octubre	2.330
Noviembre	12.734
Diciembre	6.683

Tabla 25: Errores mensuales. Hospital de Écija. Año 13/14

4.8.3.2. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE SIERRA NORTE

La estimación del consumo a nivel mensual en el Hospital de Alta Resolución de Sierra Norte es la siguiente:

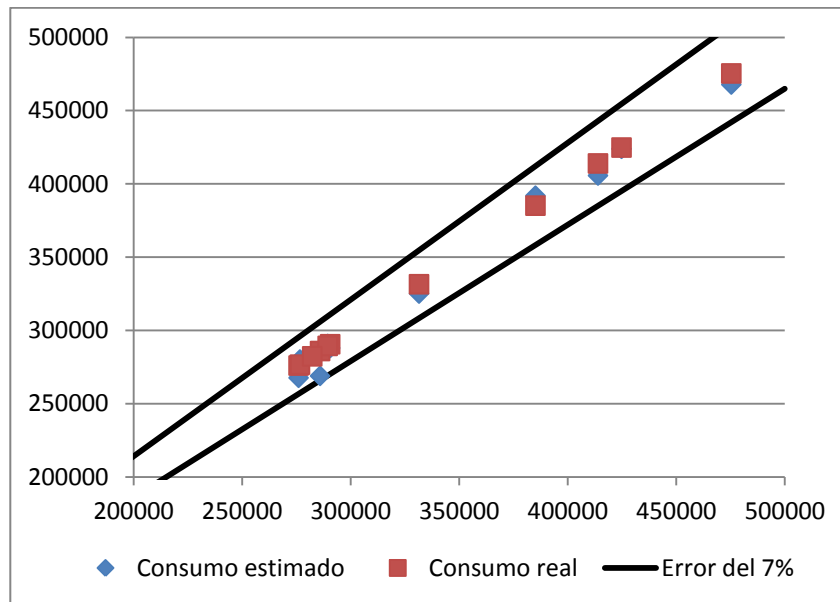


Gráfico 73: Modelo mensual. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

El máximo error cometido es del 7% y se produce en el mes de febrero, mes característico de calefacción (aun así, en el Hospital de Sierra Norte dicha estación no se ha definido).

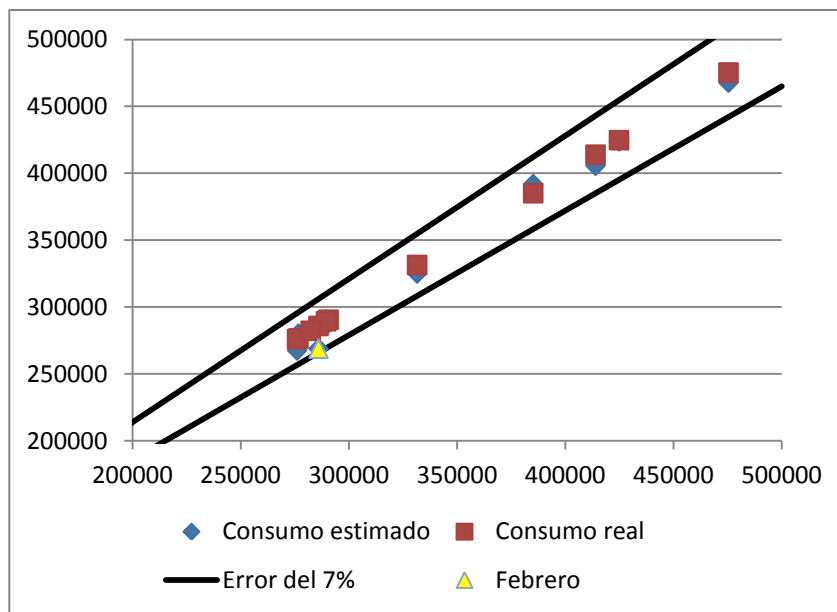


Gráfico 74: 2. Modelo mensual. Hospital Sierra Norte. Año 14/15

Los errores mensuales son los siguientes:

MES	ERROR RELATIVO (%)
Enero	0.902
Febrero	6.312
Marzo	3.128
Abril	0.462
Mayo	1.734
Junio	0.205
Julio	1.609
Agosto	1.619
Septiembre	2.035
Octubre	1.957
Noviembre	1.250
Diciembre	0.453

Tabla 26: Errores mensuales. Hospital de Sierra Norte. Año 14/15

Al igual que en el Hospital de Alta Resolución de Écija, los errores mínimos se producen en los meses pertenecientes al periodo de refrigeración. Los máximos errores se producen en los meses característicos de calefacción (en el Hospital de Sierra Norte no se ha definido periodo de calefacción).

Al implementar el modelo del año 14/15 en el año 13/14, la estimación del consumo a nivel mensual obtenida es la siguiente:

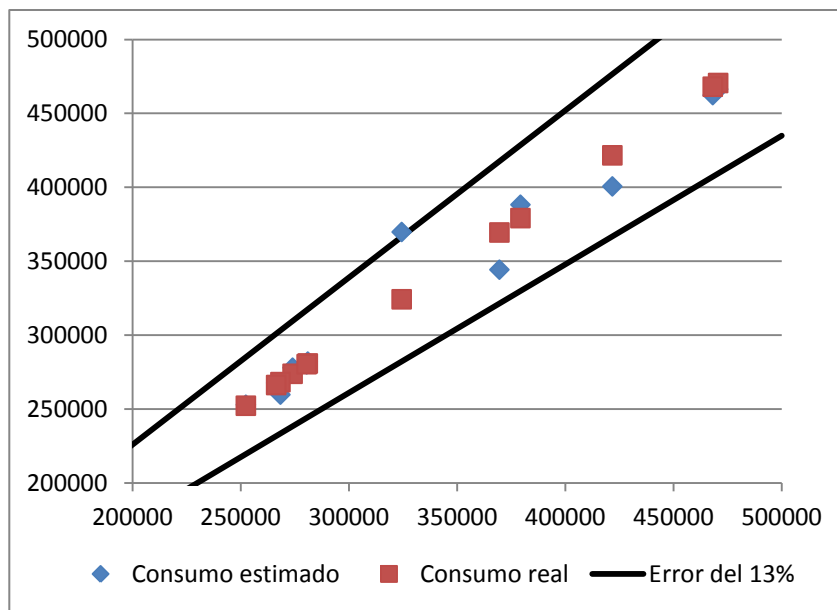


Gráfico 75: Modelo mensual. Hospital Sierra Norte. Año 13/14

El máximo error es del 13%. Dicho error se comete en el mes de mayo.

Se adjuntan los errores cometidos:

MES	ERROR RELATIVO (%)
Enero	1.495
Febrero	0.275
Marzo	3.252
Abril	0.443
Mayo	12.304
Junio	2.339
Julio	0.895
Agosto	1.232
Septiembre	5.243
Octubre	7.303
Noviembre	0.553
Diciembre	0.042

Tabla 27: Errores mensuales. Hospital de Sierra Norte. Año 13/14

4.8.3.3. HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE UTRERA

La estimación del consumo a nivel mensual en el Hospital de Alta Resolución de Utrera es la siguiente:

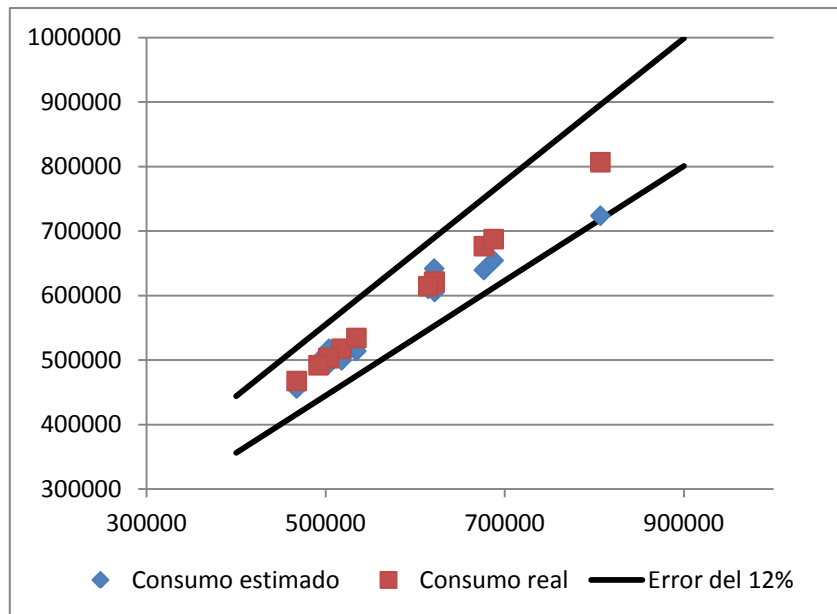


Gráfico 76: Modelo mensual. Hospital Utrera. Año 2015

El máximo error cometido es del 12%. Dicho error se produce en el mes de julio.

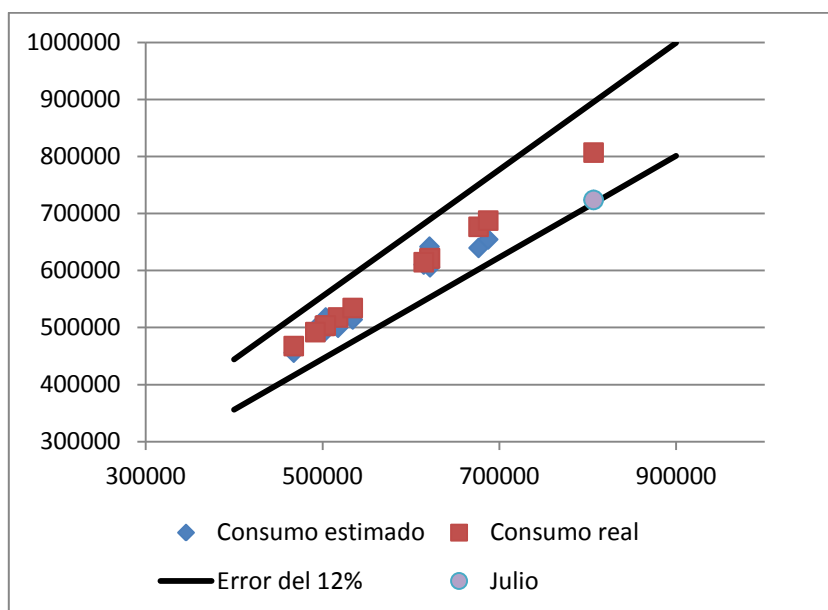


Gráfico 77: 2. Modelo mensual. Hospital Utrera. Año 2015

Los errores cometidos en cada mes se representan en la siguiente tabla:

MES	ERROR RELATIVO (%)
Enero	1.994
Febrero	2.552
Marzo	3.601
Abril	2.697

Mayo	2.650
Junio	5.791
Julio	11.464
Agosto	5.049
Septiembre	3.239
Octubre	0.684
Noviembre	3.923
Diciembre	1.280

Tabla 28: Errores mensuales. Hospital de Utrera. Año 2015

En este caso, el error mínimo se comete en el mes de octubre. Los errores máximos se obtienen en los meses característicos del periodo de refrigeración.

Al implementar el modelo del año 2015 en el año 2014, la estimación del consumo a nivel mensual obtenida es la siguiente:

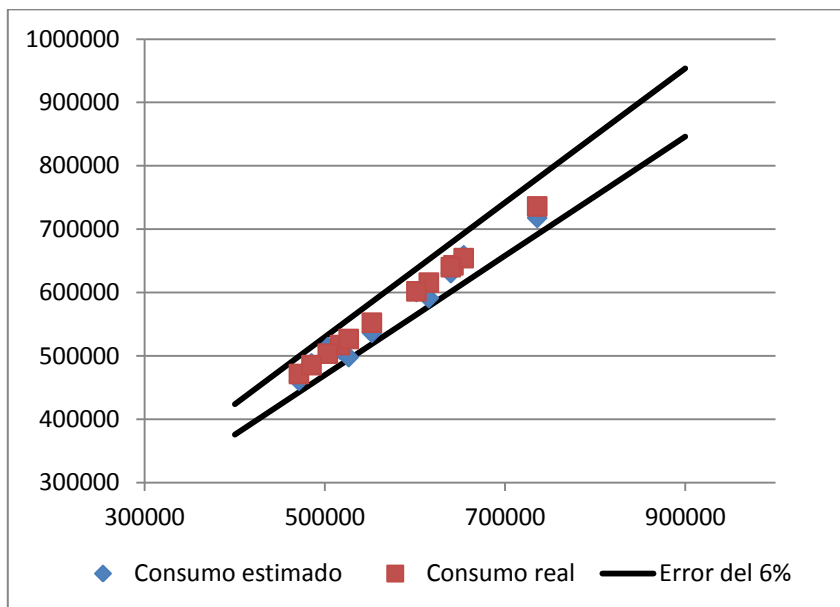


Gráfico 78: Modelo mensual. Hospital Utrera. Año 2014

Los errores cometidos en cada mes se adjuntan en la siguiente tabla:

MES	ERROR RELATIVO (%)
Enero	1.412
Febrero	2.339
Marzo	5.764
Abril	2.974
Mayo	4.147
Junio	0.277
Julio	2.525

Agosto	0.676
Septiembre	1.504
Octubre	0.174
Noviembre	2.023
Diciembre	0.567

Tabla 29: Errores mensuales. Hospital de Utrera. Año 2014

Para concluir, las conclusiones obtenidas tras los estudios realizados son diversas.

El proyecto consiste en obtener una metodología fiable para la estimación del consumo en edificios terciarios, concretamente en CHARES ubicados en la comunidad autónoma de Andalucía. Dicha estimación del consumo se realiza mediante el método de la línea base, estimando el consumo a partir de un periodo de referencia para así posteriormente medir el ahorro conseguido tras las mejoras implantadas.

Uno de los objetivos del proyecto consiste en desglosar el consumo eléctrico para obtener el consumo de climatización. Dicho desglose no es posible debido a que a diferencia de los edificios destinados a oficinas, la ocupación en un hospital es continua, y durante todo el año son usados los sistemas de climatización. Por ello los estudios en el presente proyecto han sido realizados mediante la utilización del consumo total del edificio.

En el tercer capítulo se han realizado diferentes estudios para obtener la metodología más exacta posible para la obtención de líneas base. Las conclusiones obtenidas son varias.

En primer lugar, se ha realizado un estudio del consumo total en hospitales. Los consumos de un año a otro son similares, obteniéndose los mayores consumos en los meses de refrigeración debido al uso de los sistemas de climatización. Se ha demostrado la dependencia del consumo con respecto a la temperatura exterior.

En segundo lugar, el año debe ser dividido en periodos y no meses. Al elegir los periodos hay que tener en cuenta si el hospital a estudio posee sistema de calefacción compuesto por calderas o bombas de calor. En caso de que el hospital disponga únicamente de calderas, el periodo de calefacción no existiría y se definirían únicamente los periodos de refrigeración e intermedio. Los periodos se obtienen mediante los GH. Los límites de los GH elegidos para diferenciar días de refrigeración, intermedios, o de calefacción son de gran importancia ya que influyen en gran medida en la estimación posterior de los consumos.

En tercer lugar, la tipificación de días es de gran importancia. Se ha realizado en cada periodo una tipificación de días correspondiente a 0, 1, 2 y 3. Como conclusión, dicha tipificación es demasiado escasa y debería realizarse en más detalle. Al igual que la elección de los periodos, la tipificación de días influye notablemente en la exactitud del modelo de la línea base.

Por último, a partir de la anterior tipificación de los días se ha obtenido una nueva tipificación para la implementación del modelo de la línea base. Ello es debido a que se han realizado diferentes estudios para obtener la metodología más exacta posible para la obtención de líneas base y la óptima es

aquella en la que se utiliza la tipificación de días anterior para obtener una nueva. Se ha demostrado que dicho método es el que posee menor error.

Se ha estudiado la dependencia del consumo con respecto a los límites tomados para la segunda tipificación de días. Se concluye que el límite superior (límite entre los días tipo 2 y 3) corresponde a un 75-85% del consumo máximo en el periodo considerado. Así mismo, también se ha estudiado el límite inferior (límite entre los días tipo 1 y 2). El consumo mínimo en el periodo considerado corresponde al 70-80% del límite inferior.

En el cuarto capítulo se han adjuntado los diferentes resultados obtenidos en cada uno de los hospitales. Tras el estudio de los resultados, se concluye que el método obtenido de la línea base aproxima adecuadamente el consumo. Los errores a nivel diario se encuentran en torno al 15%, mientras que a nivel mensual se encuentran en torno a un 4%-7%, siendo en el peor de los casos de un 13%.

Gracias a todo ello, se ha definido un protocolo de obtención de líneas base que permite evaluar el impacto de medidas de mejora de la eficiencia energética.

Todo ello se ha realizado de manera consecutiva, comenzando cada paso únicamente cuando se ha finalizado el anterior mediante el programa Excel. Como conclusión, el método sería más exacto si se realizaran tanto la obtención de los periodos y la tipificación de días como el modelo de la línea base de manera simultánea. De esta manera, se podría obtener la solución óptima entre todas las posibles.

REFERENCIAS

- [1] “Estrategia Energética de Andalucía 2020” - Agencia Andaluza de la Energía.
www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/estrategia-energetica-de-andalucia-2020
- [2] “REDEJA” - Agencia Andaluza de la Energía.
www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/redeja
- [3] M. Plana I Turró “Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos” – Comunidad de Madrid, 2011. www.fenercom.com
- [4] “Verificaciones y validaciones de ahorros energéticos” – TUV NORD. www.tuv-nord.com
- [5] J. M. Paredes Parra “Medida y verificación de ahorros energéticos” – CETENMA, marzo 2012. jornadas.fremm.es
- [6] “El Protocolo Internacional de Medida y Verificación de ahorros energéticos ya tiene representante en España” – Energías Renovables, diciembre 2010. www.energias-renovables.com
- [7] A. Muñoz Trejo, “Importancia de las Normas en un Sistema de Gestión de Energía” – NORMEX, agosto 2015. www.congresodeenergia.com
- [8] IPSOM. www.ipsom.com
- [9] “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Hospitales” – Comunidad de Madrid, 2010. www.fenercom.com
- [10] J. Sánchez Ramos, “Metodología Aplicada de Caracterización Térmica Inversa para Edificios”, 2015.
- [11] R. Estévez, “Consecuencias de un consumo energético insostenible” – ECOinteligencia, 10 abril 2013. www.ecointeligencia.com
- [12] “Energía segura, limpia y eficiente” – ESHORIZONTE2020. www.eshorizonte2020.es
- [13] I. G. Mardones, “Así serán los edificios en 2019” – Economía el país, 15 mayo 2009. www.economia.elpais.com
- [14] “Medida y verificación del ahorro energético” – EnergyLab, 21 junio 2012. www.energylab.es

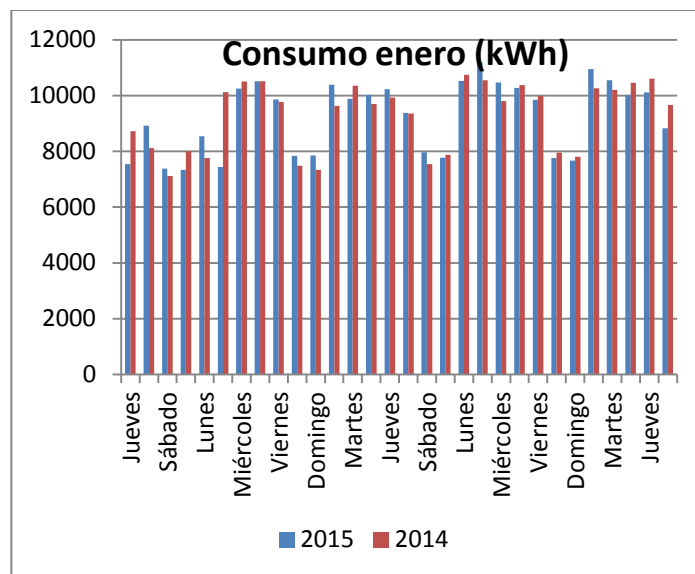
ANEXOS

ANEXO I. ANÁLISIS CONSUMO: HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

En cada uno de los hospitales se ha realizado un análisis del consumo eléctrico a fin de obtener patrones en dichos consumos. Se adjuntan los estudios realizados en el Hospital de Alta Resolución de Écija.

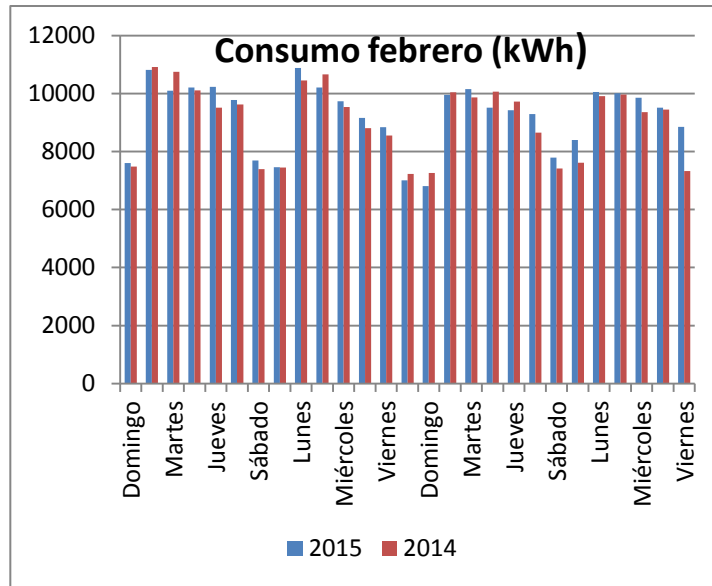
Han sido adjuntadas las gráficas de todos los meses a lo largo de los dos años de los que se disponen datos.

En el mes de enero, tal y como ha sido comentado anteriormente en el tercer capítulo, se observa que es fácilmente diferenciable el consumo de los fines de semana con respecto al resto de la semana. . Los primeros días del mes tienen un consumo bajo, debido a que coinciden con año nuevo, fin de semana y el día de la epifanía del señor. Los consumos de un año a otro son similares.

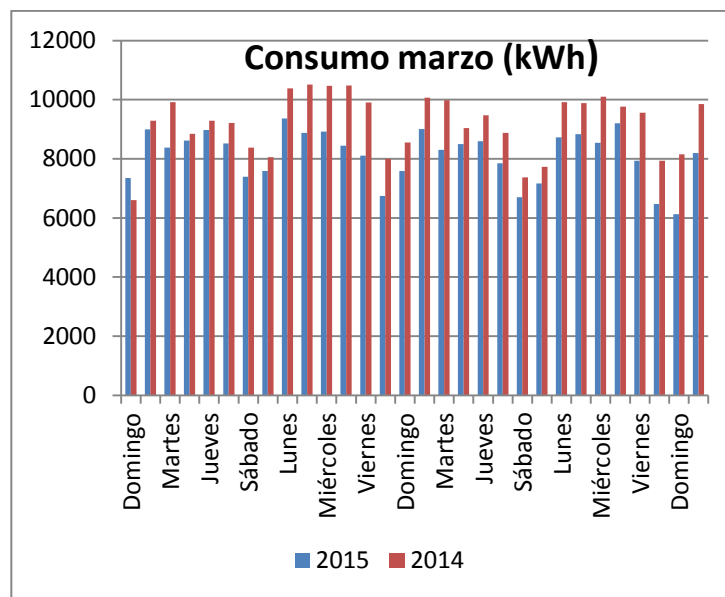


De la misma manera han sido comparados el resto de meses.

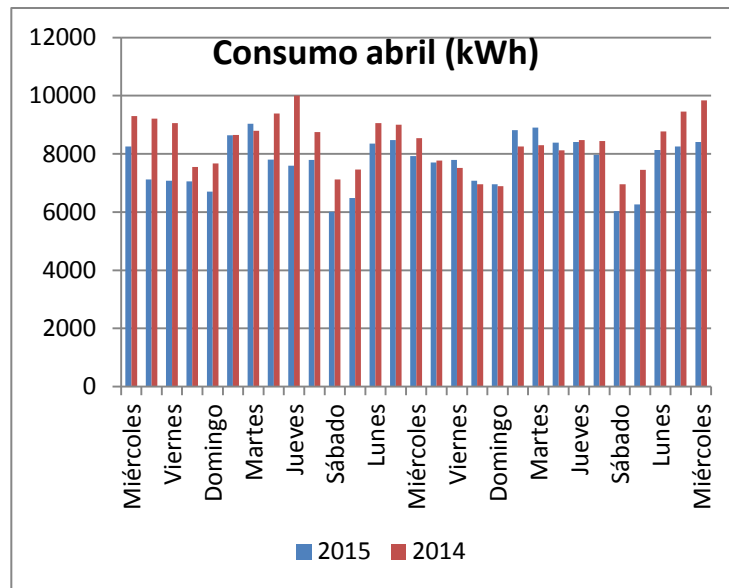
En el mes de febrero también es posible diferenciar los fines de semana con respecto al resto de la semana. Los consumos de un año a otro son similares.



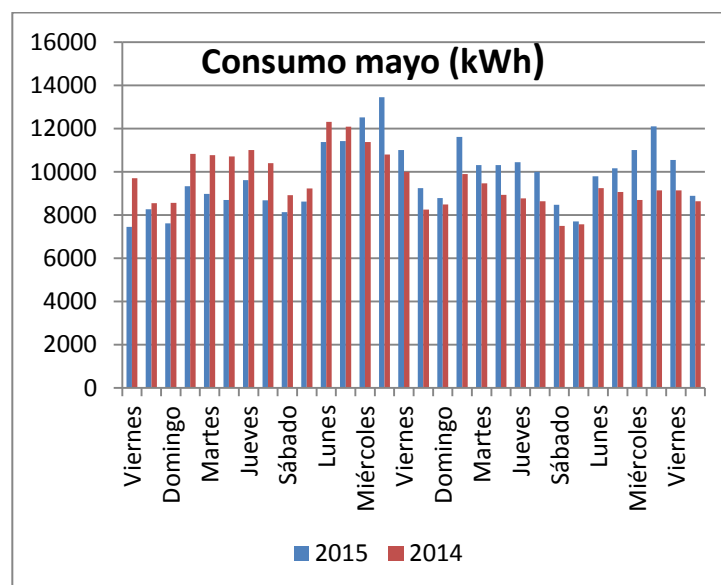
En el mes de marzo del año 2014 se consumió más con respecto al año 2015.



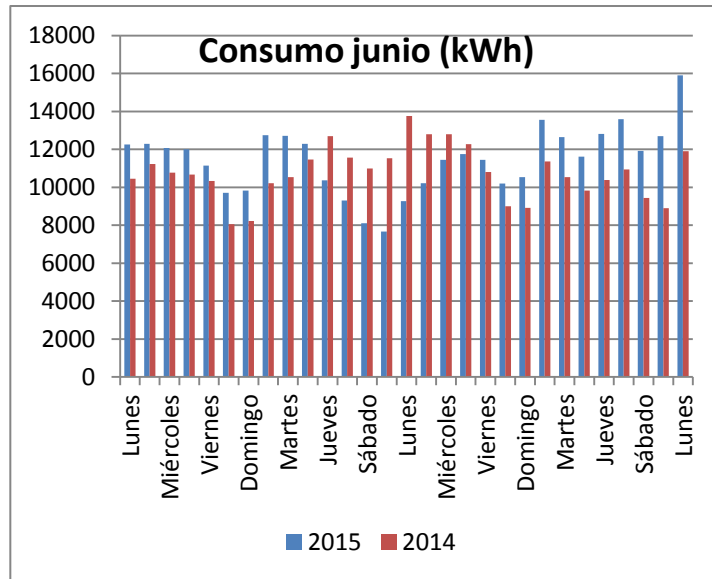
En los primeros y últimos días del mes de abril se consume más en el año 2014 que en el año 2015. También se observa una mayor dificultad de diferenciar sábados y domingos de días no festivos.



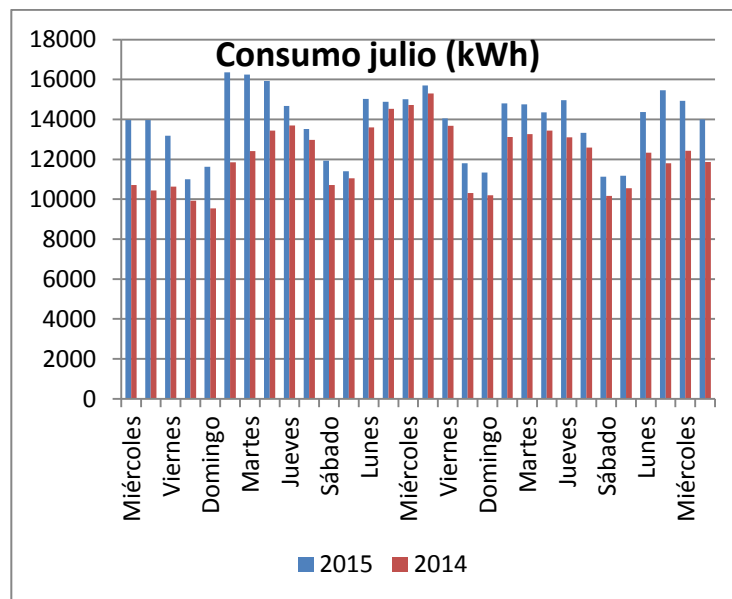
En el mes de mayo el consumo de los fines de semana no se diferencia del resto de la semana. En la primera quincena se observa que el consumo en el año 2014 es mayor con respecto al año 2015. En la segunda quincena del mes el consumo es mayor en el año 2015.



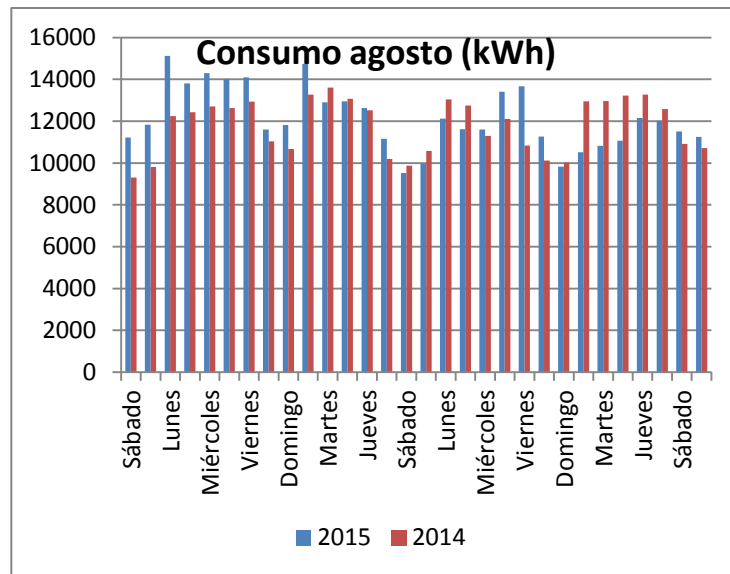
El mes de junio presenta una mayor dificultad para diferenciar los fines de semana con respecto a los días no festivos.



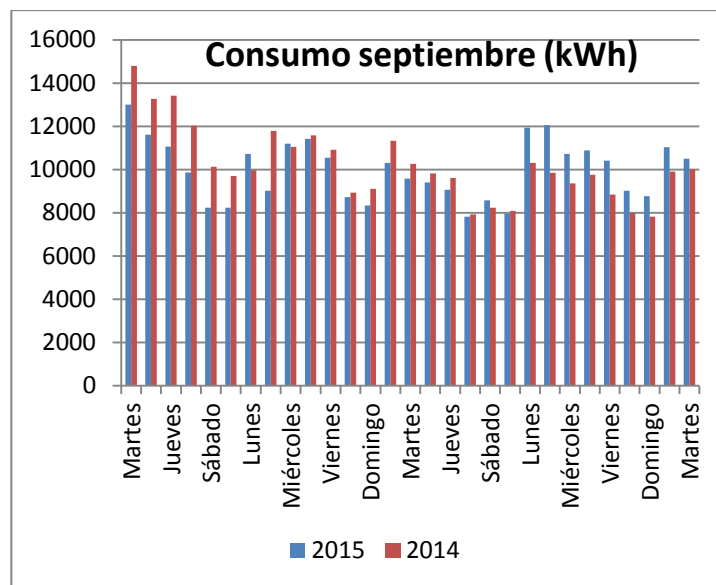
En el mes de julio el consumo en el año 2015 es mucho mayor que en el año 2014.



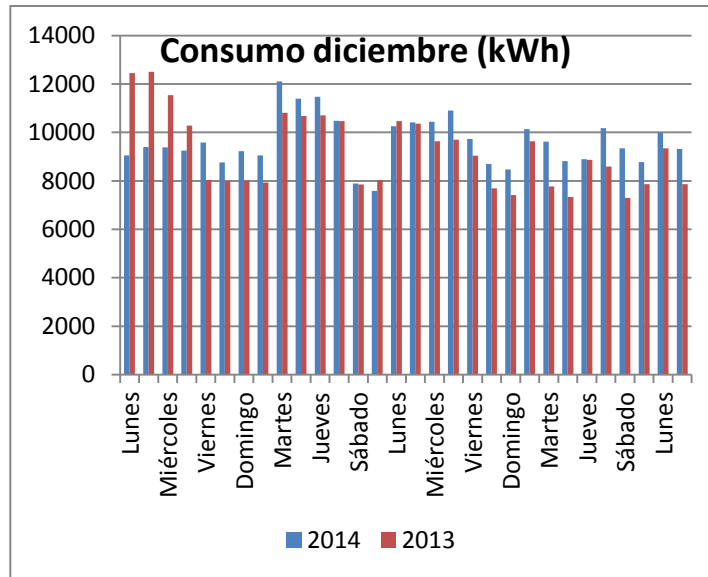
En el mes de agosto se produce un gran consumo durante todo el mes. Algunos fines de semana se diferencian, otros no.



En el mes de septiembre se aprecia dificultad para diferenciar los fines de semana.



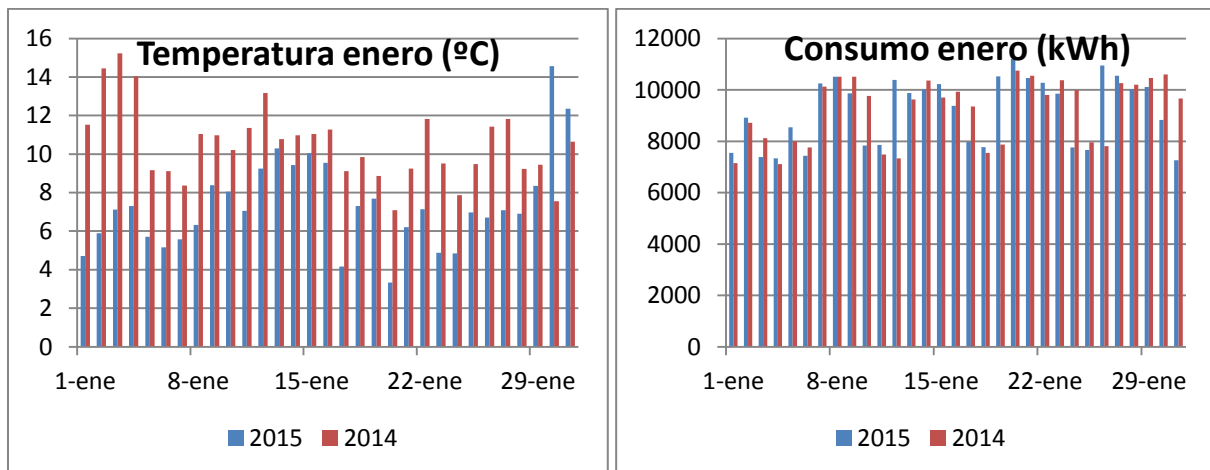
Sin embargo, el mes de octubre presenta mayor facilidad para diferenciar los fines de semana.



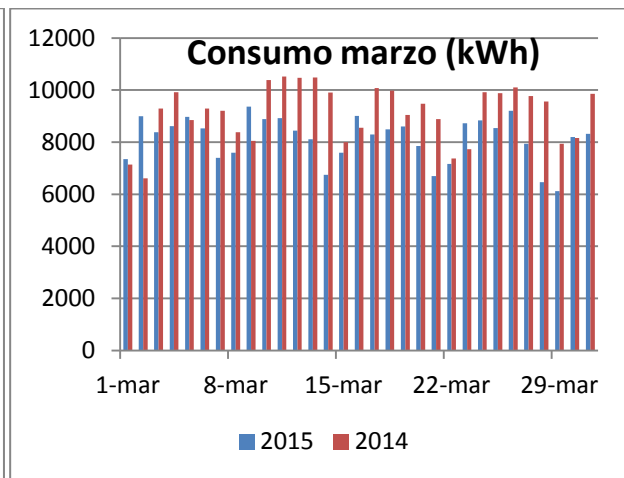
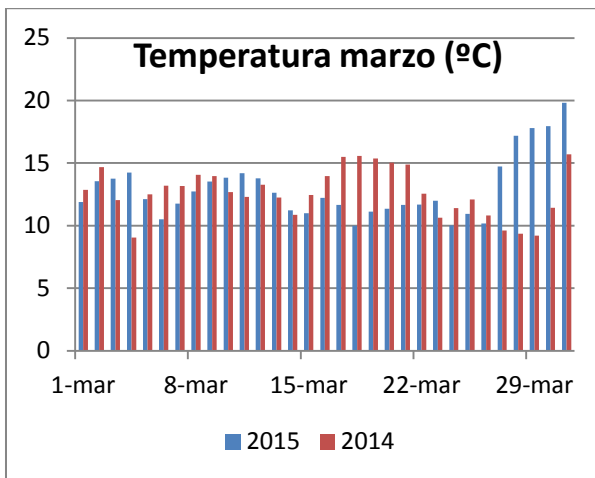
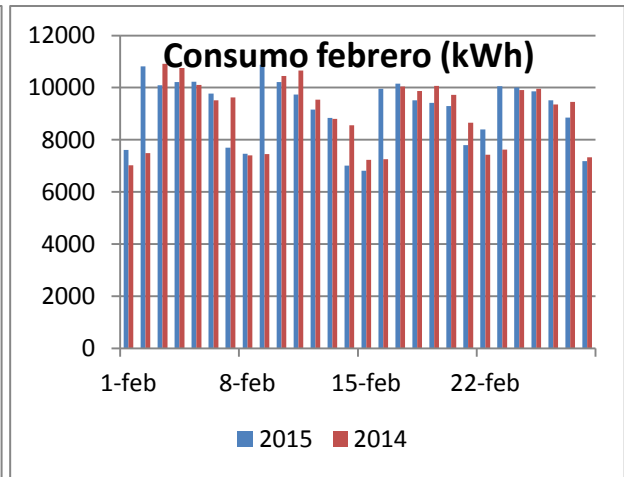
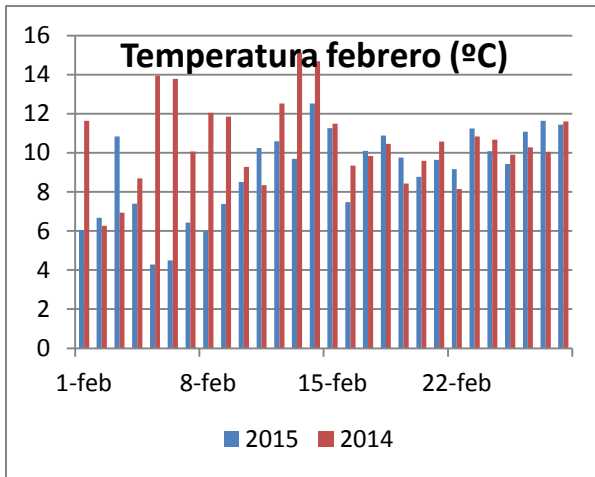
ANEXO II. DEPENDENCIA DEL CONSUMO CON RESPECTO A LA TEMPERATURA EXTERIOR: HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

Se ha estudiado la dependencia del consumo con respecto al clima, en especial la temperatura exterior.

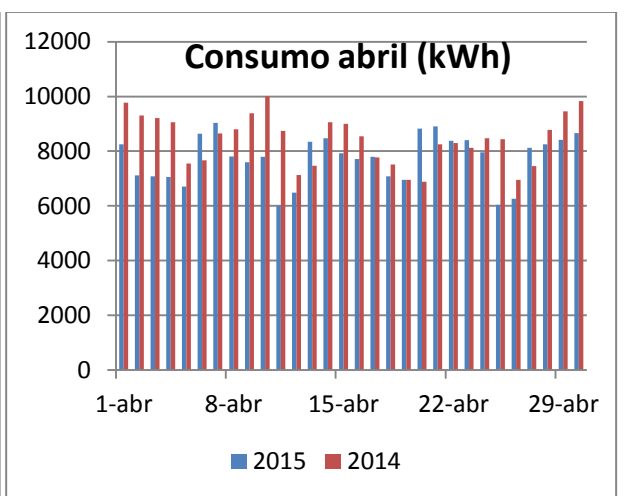
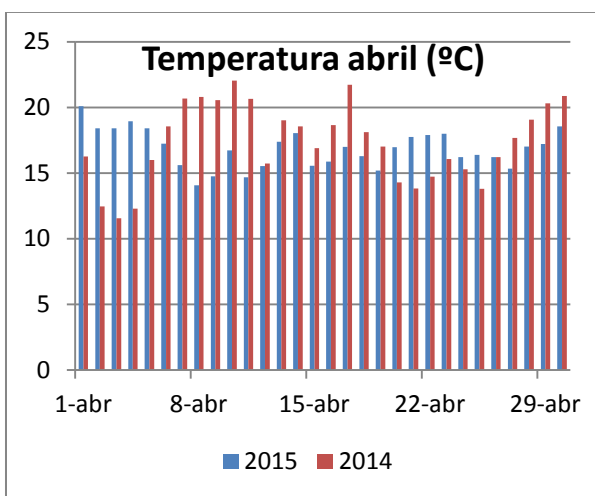
En el mes de enero no se aprecia la tendencia anteriormente descrita. Podría tratarse de un mes de calefacción.



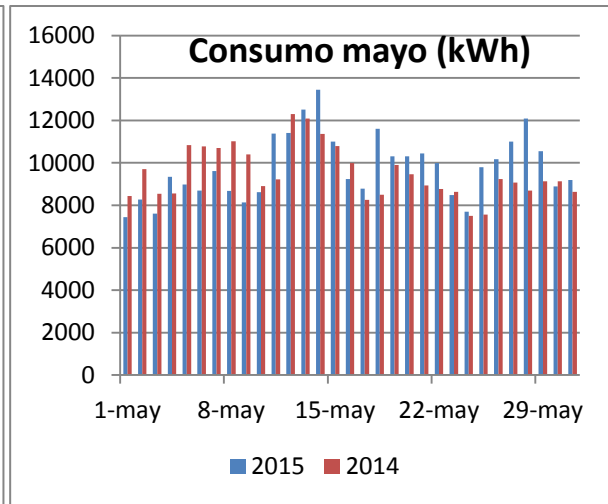
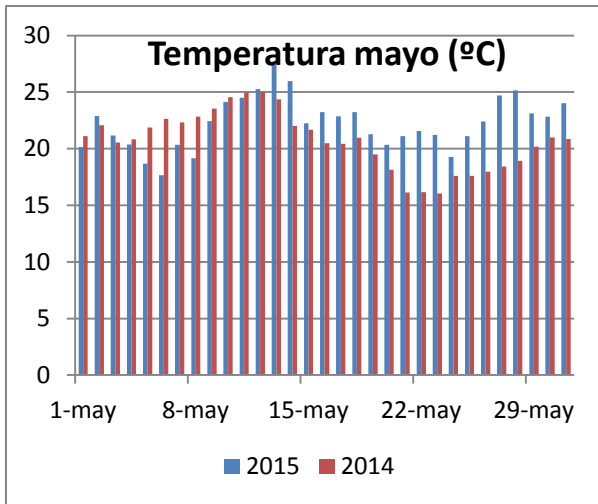
En los meses febrero y marzo tampoco se aprecia la tendencia anteriormente descrita. Se debe a que estos meses son meses de calefacción o de no clima.



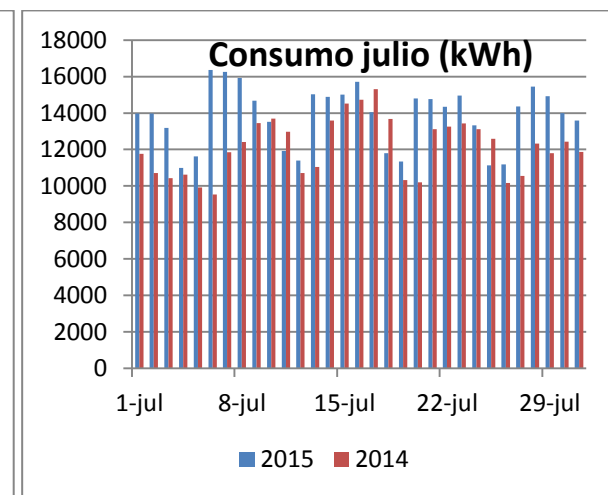
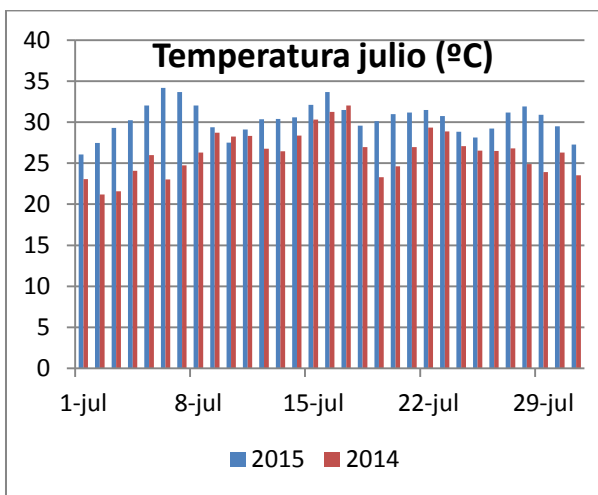
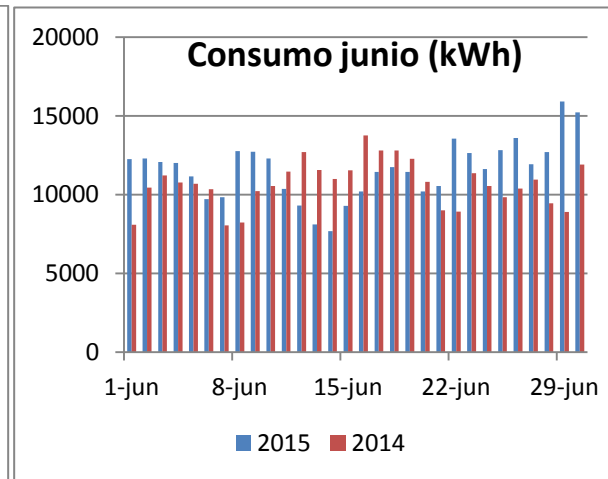
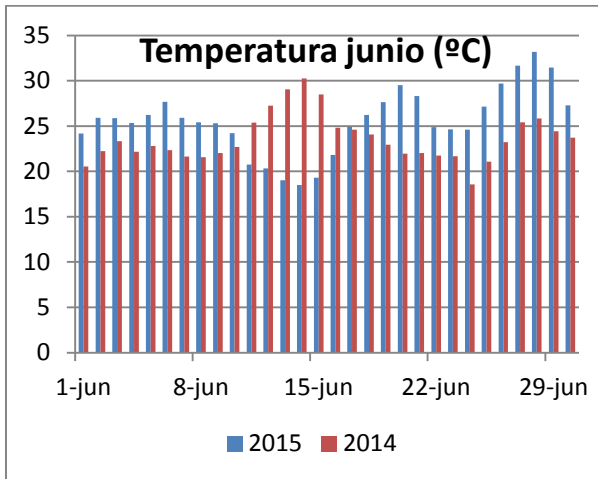
Del 1 al 5 de abril se aprecia que cuando mayor es la temperatura, menor es el consumo (año 2015). Del 5 de abril a final de mes, se observa lo contrario, cuanto mayor es la temperatura, mayor es el consumo.

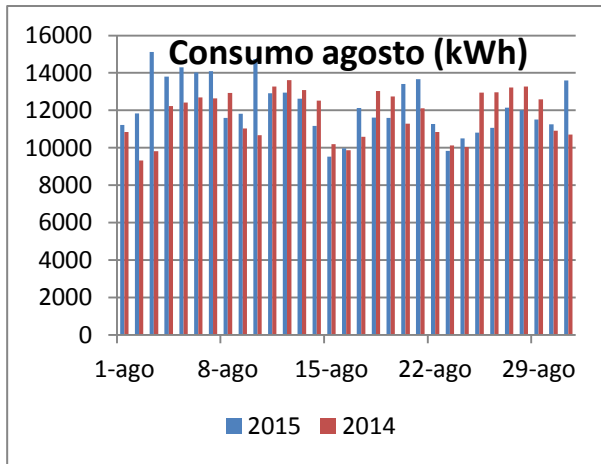
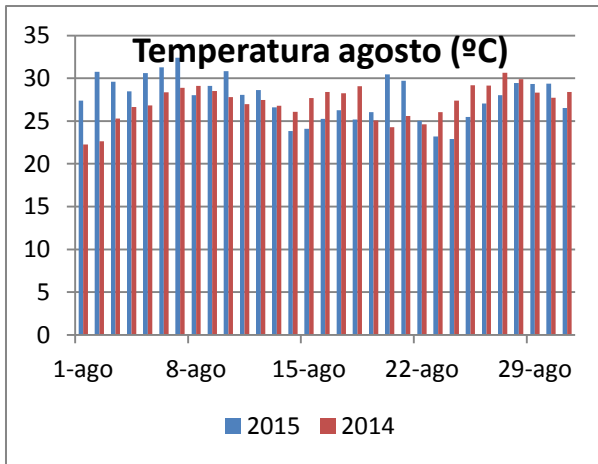


Durante todo el mes de mayo se aprecia que a mayor temperatura, mayor consumo.

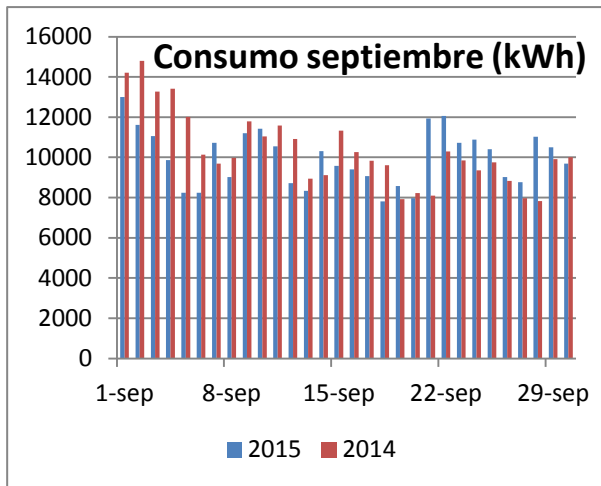
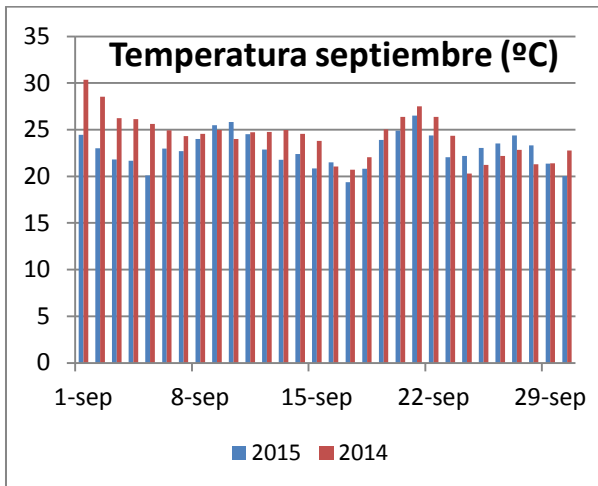


En los meses de junio, julio y agosto se diferencia fácilmente que a mayor temperatura, mayor consumo.

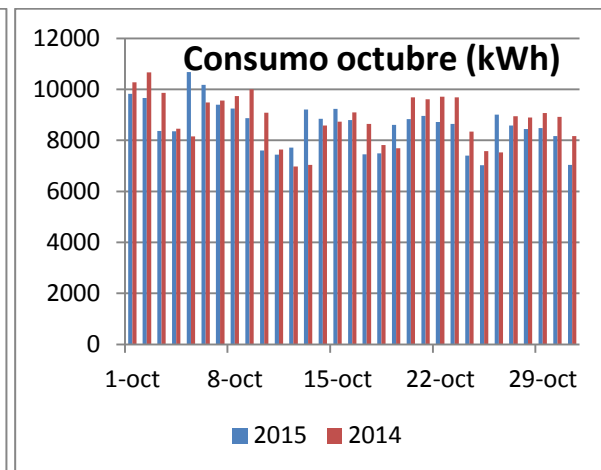
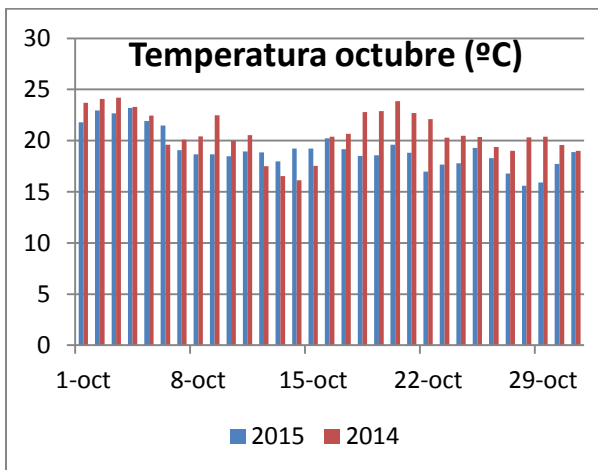




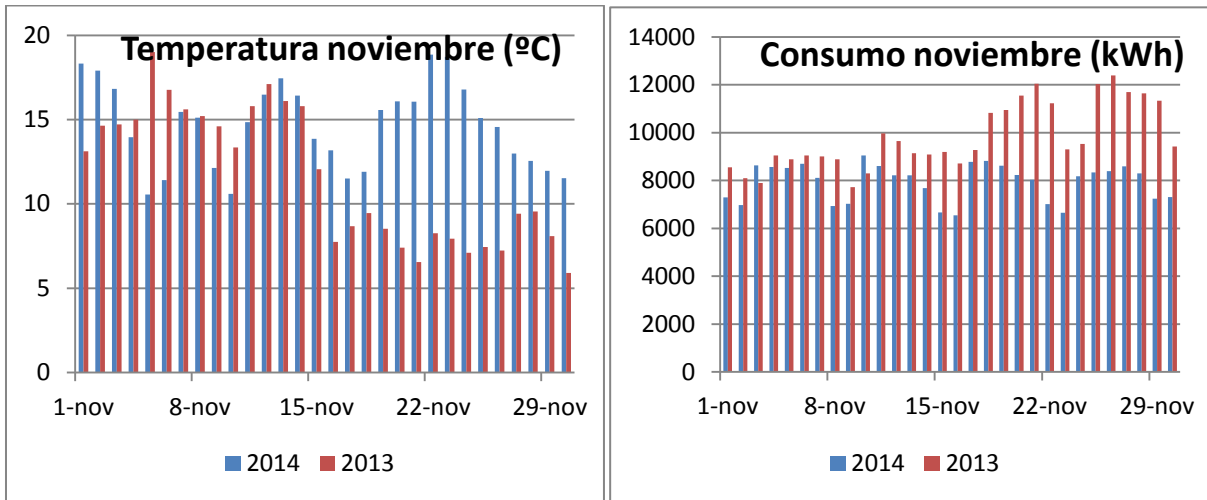
En el mes de septiembre se sigue apreciando dicho patrón (mayor temperatura, mayor consumo) aunque con mayor dificultad.



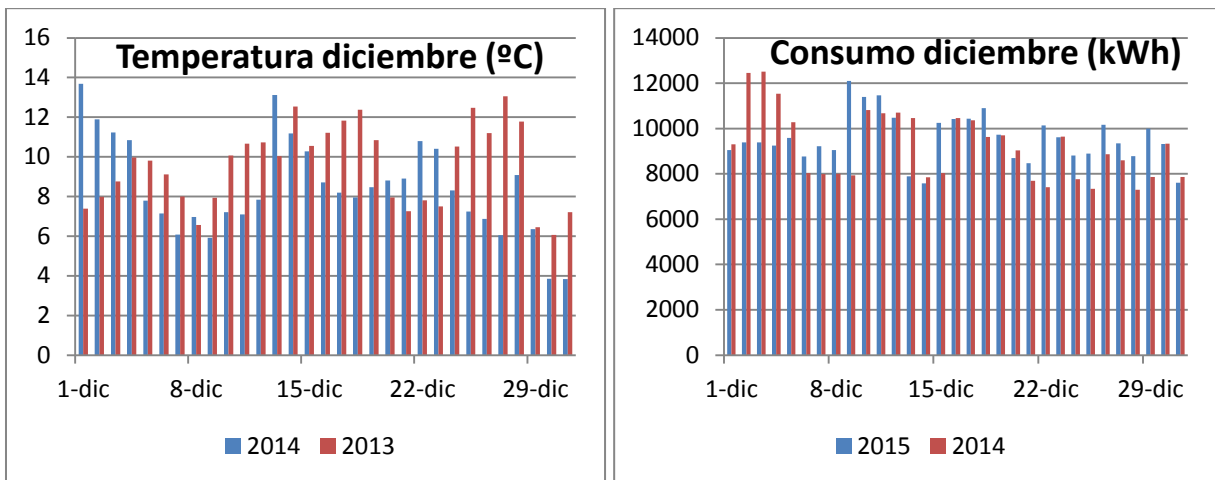
En el mes de octubre hay mayor dificultad para apreciar la dependencia del consumo con respecto a la temperatura.



Noviembre es un mes en el que se aprecia fácilmente que es de calefacción, sobre todo en la última quincena del mes. A mayor temperatura exterior, menor consumo, y viceversa.



En el mes de diciembre hay un poco mas de dificultad para apreciar dichos patrones.



ANEXO III. RADIACIÓN SOLAR: HOSPITAL DE ALTA RESOLUCIÓN DE ÉCIJA

Con respecto a la radiación, también se ha estudiado su influencia en el consumo. Se ha llegado a la conclusión de que la radiación influye en el consumo en menor medida que la temperatura exterior.

