

# Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial

## Análisis y Desarrollo de Servicios Energéticos en Hospitales

Autor: Carolina Expósito Padilla

Tutor: Rocío González Falcón

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

Sevilla, 2017





Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Industrial

# **Análisis y Desarrollo de Servicios Energéticos en Hospitales**

Autor:

Carolina Expósito Padilla

Tutor:

Rocío González Falcón

Profesor titular

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

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Carrera: Análisis y Desarrollo de Servicios Energéticos en Hospitales

Autor: Carolina Expósito Padilla

Tutor: Rocío González Falcón

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

*A mi familia*

*A mis maestros*

*A mi pareja*

*A Santa Bárbara*



En la actualidad se está fomentando la contratación pública de los Servicios Energéticos.

La empresa de Servicios Energéticos afronta cierto grado de riesgo económico al condicionar el pago de los servicios prestados a la obtención real de ahorros de energía. En nuestro proyecto fin de carrera, se desarrollará tanto técnicamente como económicamente la instalación de calderas de biomasa en un Hospital público.

El cliente obtiene un beneficio económico de la optimización de su consumo energético a la vez que reduce el riesgo ante variaciones de los precios de la energía, todo ello sin tener que realizar ninguna inversión.

En los próximos apartados, se estudiará un contrato Build-Own-Operate-Transfer (BOOT). Nuestra empresa de servicios energéticos construirá, financiará y operará los equipos calderas de biomasa durante un plazo determinado, en este caso 6 años. Al finalizar dicho plazo, las calderas de biomasa revierten al cliente. Se factura el suministro de energía según los precios pactados en la licitación. La metodología de facturación energética en un proyecto con venta de energía implica, una facturación energética al cliente final en forma de energía final consumida (Kwh térmicos). El control por parte de la ESE de esta energía térmica consumida por el cliente se lleva a cabo mediante un contador de energía térmica. La facturación energética será del tipo tasa fija y variable. Un término fijo (que incluirá los costes fijos asociados a la amortización de equipos, garantías, mantenimiento, seguros, etc.), y un término variable que incluirá la energía térmica consumida por el cliente, a un precio fijado según contrato.

Se explicará que los servicios suministrados por una ESE son normalmente servicios que requieren una inversión económica importante. Esta inversión debe además ser financiada a partir de los ahorros energéticos conseguidos, por lo que las instalaciones en las cuales se podrán implantar estos servicios deben ser instalaciones grandes, con importantes consumos energéticos (intensivas en el consumo de la energía) que permitan la amortización de la inversión, debido a ello, se estudiará la implantación de los Servicios Energéticos en hospitales.

En el apartado 2. Implantación SSEE en hospitales se presentarán las medidas para la eficiencia energética en hospitales. Este apartado, se centrará en la optimización de las instalaciones. En el apartado 2.1. Medidas para la eficiencia energética en hospitales se optimizará el secundario (Iluminación, Climatización, entre otros) y en el apartado 2.2. Producción de calor con biomasa se optimizará el primario.

El caso de aplicación que abordaremos en el apartado 3. Será el siguiente: Un grupo hospitalario ha sacado a concurso público el suministro de energía térmica y servicio para el mantenimiento y gestión energética de las instalaciones generadoras de energía térmica con biomasa.

Los servicios que se prestarán serán:

- P1 Gestión energética
- P2 Mantenimiento
- P3 Garantías Total

Términos de facturación variable

- P4 Obras de Mejora y Renovación de las instalaciones.

Término de facturación fijo

Se suministrará al cliente la energía térmica producida por las nuevas calderas de biomasa y, en el caso que

sea necesario, por las calderas existentes de gasóleo, en cantidad y calidad suficiente para asegurar el funcionamiento y la utilización normal del edificio e instalaciones.

En el apartado 4.1. Se describirá la instalación de climatización existente para en un capítulo posterior describir las deficiencias detectadas y la descripción de propuestas de mejora para una mejor eficiencia energética

En el apartado 4.2. Se describirán las actuaciones a realizar para la mejora de la instalación térmica mediante la implementación de una nueva sala de calderas con biomasa. Para ello se describirán la propuesta de instalación térmica con su instalación hidráulica, almacenamiento y trasiego de combustible.

En el apartado 5 Desarrollo económico la empresa de servicio energético decide a qué precio ofertar sus servicios y tras dos años prestando sus servicios al cliente verifica el ahorro tras la implantación.

En el apartado 6 Conclusiones, se describe la viabilidad técnica tras la implantación y se deja como futuro desarrollo la viabilidad del apoyo de la biomasa en la estación de verano.

Resumen	ix
Índice	xi
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xiv
Notación	xvi
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES DE LAS EMPRESAS DE SERVICIOS ENERGÉTICOS	1
1.1.1. TIPOS DE CONTRATOS DE SSEE	4
1.1.2. SISTEMAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA (SGE)	5
1.1.3. MARCO NORMATIVO	5
1.2. GRADO DE IMPLANTACIÓN DE SERVICIOS ENERGÉTICOS EN HOSPITALES	6
1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO FIN DE CARRERA	7
<b>2 IMPLANTACIÓN SSEE EN HOSPITALES</b>	<b>9</b>
2.1. MEDIDAS PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN HOSPITALES.	9
2.1.1. ESTUDIO DEL CONSUMO	9
2.2. INTRODUCCIÓN: PRODUCCIÓN DE CALOR CON BIOMASA	16
2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE BIOMASA	17
2.2.2. INSTALACIONES DE BIOMASA: VENTAJAS	17
2.2.3. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE PROYECTOS DE VENTA DE ENERGÍA TÉRMICA DE BIOMASA	17
2.2.4. EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN	18
2.2.5. EXPLOTACIÓN DE LA INSTALACIÓN	18
2.2.6. CONTROL DE PRESTACIONES ENERGÉTICAS DE LA INSTALACIÓN	19
2.2.7. VARIABLES A CONSIDERAR EN EL ESTUDIO DE RENTABILIDAD	20
2.2.8. FONDO PARA EL IMPULSO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	23
<b>3 CASO DE APLICACIÓN DE SSEE EN HOSPITALES</b>	<b>25</b>
3.1. INTRODUCCIÓN	25
3.2. ÁMBITO DE ACTUACIÓN	25
3.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA RENOVACIÓN DE INSTALACIONES	25
3.4. CONDICIONES A GARANTIZAR	26
3.4.1. CALEFACCIÓN	26
3.4.2. PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (A.C.S)	26
3.4.3. CONDICIONES AMBIENTALES Y DE CONFORTABILIDAD	27
3.4.4. CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES	27
3.4.4.1. EMISIONES	27
3.4.5. PRESTACIONES ASEGURADAS	27
3.4.6. INSTALACIONES Y ESQUEMA DE PRINCIPIO DE LA SALA DE CALDERAS EXISTENTE	29
<b>4 DESARROLLO TÉCNICO</b>	<b>35</b>
4.1. INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN ACTUAL	35
4.1.1. EQUIPOS PRODUCTORES TÉRMICOS DE CALOR	35
4.1.2. EQUIPOS PRODUCTORES DE A.C.S.	37

4.1.3.	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE	39
4.1.4.	EQUIPOS PRODUCTORES TÉRMICOS DE FRÍO	40
4.1.5.	PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA MAYOR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN	46
4.1.6.	OPTIMIZACIÓN DE TEMPERATURAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN TÉRMICA	52
4.1.7.	OPTIMIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN DE GASÓLEO EXISTENTE	52
4.1.8.	INSTALACIÓN DE CIRCULADORES DE RESERVA EN LA INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN CON BIOMASA	53
4.1.9.	CONTABILIZACIÓN INDEPENDIENTE DE ENERGÍA TÉRMICA PRODUCIDA POR CADA TIPO DE ENERGÍA PRIMARIA	54
4.1.10.	SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA	55
4.1.11.	VENTILACIÓN FORZADA EN NUEVA SALA DE CALDERAS	59
4.1.12.	ACCESIBILIDAD A COMPONENTES PARA MANTENIMIENTO Y DIMENSIONES DE ALMACÉN	60
4.2.	<i>PROYECTO BÁSICO AVANZADO</i>	61
4.2.1.	JUSTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS NUEVAS EDIFICACIONES	62
4.2.2.	OTROS	67
4.2.3.	INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN	69
4.2.4.	INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE CALOR	83
<b>5</b>	<b>DESARROLLO ECONÓMICO</b>	<b>109</b>
5.1.	<i>PRESUPUESTO DE LICITACIÓN Y PRECIO DEL CONTRATO</i>	109
5.1.1.	PRESUPUESTO DE LICITACIÓN	109
5.1.2.	PRECIO	109
5.2.	<i>ESTUDIO ECONÓMICO Y PROPOSICIÓN ECONÓMICA</i>	110
5.2.1.	CONSIDERACIONES AL PROYECTO	111
5.3.	<i>MEDIDA Y VERIFICACIÓN DE AHORRO TRAS IMPLANTACIÓN</i>	112
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>119</b>
6.1.	<i>VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA</i>	119
6.2.	<i>FUTUROS DESARROLLOS</i>	119
<b>7</b>	<b>Referencias</b>	<b>121</b>
<b>8</b>	<b>Glosario</b>	<b>123</b>

# Índice de Tablas

---

Tabla 1: Mejoras potenciales y estimación del ahorro en sistemas de equipamiento	10
Tabla 2: Comparación entre Balasto Convencional y Balasto Electrónico	10
Tabla 3: Comparativa de los costes y rentabilidad entre lámparas compactas e incandescentes	11
Tabla 4: Ahorro energético por sustitución de lámparas	11
Tabla 5: Ahorro de energía en las instalaciones de calefacción con aplicaciones de mejora de eficiencia energética	12
Tabla 6: Ahorros energéticos con Free-Cooling	12
Tabla 7: Porcentaje de ahorro de energía en una instalación de agua caliente	14
Tabla 8: Aplicación práctica de un variador de frecuencia a una bomba de suministro de agua	15
Tabla 9: Precios de la energía para distintos combustibles convencionales	23
Tabla 10: Listado de calderas de gasóleo existentes	29
Tabla 11: Listado de bombas existentes en sala de calor	30
Tabla 12: Listado de equipos para producción y acumulación de A.C.S.	31
Tabla 13: Listado de equipos para almacenamiento y trasiego de gasóleo	32
Tabla 14: Poderes caloríficos y densidades de los combustibles	65
Tabla 15: Necesidades de almacenamiento	67

# Índice de Figuras

---

Figura 1 Tipos de servicios ofrecidos por las ESE [3]	2
Figura 2 Modelo de consumos de Empresa de Servicio Energético [3]	3
Figura 3 Medidas de ahorro y eficiencia energética a desarrollar por una ESE [3]	4
Figura 4 Esquema de un Sistema Integrado de Gestión que incluye un Sistema de Gestión Energética. Fuente: ITE	5
Figura 5 Perfil de consumo de energía de un hospital [6]	6
Figura 6: Actuales calderas de gasóleo para producción térmica	30
Figura 7: Actual sala de bombeo y distribución de calor	31
Figura 8: Acumuladores de A.C.S.	31
Figura 9: Intercambiadores de A.C.S.	32
Figura 10: Compuertas de acceso a depósitos de gasóleo enterrados	32
Figura 11: Grupo de presión de gasóleo	33
Figura 12 Grupos térmicos Vulcano Sadeca	35
Figura 13 Bombas circuitos primarios de calderas	36
Figura 14 Bombas retorno de A.C.S.	37
Figura 15 Intercambiadores de placas circuito de producción de A.C.S.	37
Figura 16 Depósitos de acumulación de A.C.S.	38
Figura 17 Colectores solares planos producción de A.C.S.	38
Figura 18 Bombas circuito A.C.S. Solar	39
Figura 19 Estructura de contención de los depósitos de gasóleo	39
Figura <b>20 Grupo de bombeo de gasóleo marca INPRO</b>	40
Figura 21 Unidades enfriadoras de agua marca CARRIER	40
Figura 22 Bombas secundarias circuitos de frío	42
Figura 23 Unidad de tratamiento de aire a 4 tubos	43
Figura 24 Unidad de tratamiento de aire a 4 tubos	43
Figura 25 Cuadro de control de la sala de calderas	44
Figura 26 Cuadro de control de la sala de bombas	44
Figura 27 Pantallazo del sistema de control de producción térmica de calor	45
Figura 28 Pantallazo del sistema de control de producción térmica de A.C.S. convencional	45
Figura 29 Pantallazo del sistema de control de producción térmica de A.C.S. solar	45
Figura 30 Circuito de impulsión y 3 circuitos de primario de calderas	46

Figura 31 Temperatura del colector común (88°C)	47
Figura 32 Pantallazo del sistema de control de producción térmica de calor	47
Figura 33 By-pass en una instalación de climatización	48
Figura 34: Tipología del sistema de gestión energética propuesto	56
Figura 35: DEXCELL ENERGY MANAGER	57
Figura 36: Tarifificador	57
Figura 37: Alarmas Web/Email/SMS	58
Figura 38: Informes	59
Figura 39: Dimensiones de las salas de máquinas con quemador de combustión atmosférico: Plano de Planta	63
Figura 40: Dimensiones de las salas de máquinas con quemador de combustión atmosférico: Plano de alzado	63
Figura 41: Dimensiones de las salas de máquinas con quemador de combustión atmosférico: Separación entre calderas	64
Figura 42: Distribución de ventilaciones en una sala de calderas	68
Figura 43: Silo de almacenamiento de obra civil con dos lados inclinados	72
Figura 44: Silo de almacenamiento de obra civil con un lado inclinado	72
Figura 45: Silo de almacenamiento de obra civil con suelo horizontal (Suelo móvil)	73
Figura 46: Silo de almacenamiento de obra civil con un lado inclinado y suministro mediante agitador	73
Figura 47: Silo de almacenamiento de obra civil con suelo horizontal	74
Figura 48: Bolsas pequeñas y big-bag para el suministro de biomasa	76
Figura 49: Sistema de suministro mediante camión tipo volquete	76
Figura 50: Sistema de suministro mediante camión cisterna neumático	77
Figura 51: Suministro mediante sistema neumático a silo de almacenamiento	77
Figura 52: Disposición de toberas en un silo	78
Figura 53: Sistema de llenado para silos	79
Figura 54: Tornillos sin fin de alimentación a calderas	80
Figura 55: Propiedades de los tornillos sinfín convencionales	80
Figura 56: Tornillo Sinfín rígido	80
Figura 57: Tornillo Sinfín en codo	82
Figura 58: Disposiciones posibles de tornillo Sinfín en codo	82
Figura 59: Recogida de biomasa mediante agitadores y tornillo Sinfín en codo	83
Figura 60: Sistema de acumulación en el tubo de equilibrador del colector	87
Figura 61: Tabla de selección del tipo de chimenea de evacuación a cubierta según la potencia de los generadores	98
Figura 62: Representación esquemática del sistema de producción por biomasa	98

# Notación

---

MEUR

Millones de euros