



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Caracterización del consumo de energía y potencial
de ahorro energético en el sector bancario español

Autor

M^a Pilar Andrés Bailón

Director

Ignacio Zabalza Bribián

Universidad de Zaragoza/Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año Académico 2012/2013

CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA Y POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO EN EL SECTOR BANCARIO ESPAÑOL

RESUMEN

Dentro de las diversas organizaciones existe un conjunto de empresas conocidas como multi-punto. Se les conoce con ese nombre ya que perteneciendo a una misma entidad, ofrecen servicios en áreas geográficas extensas con un amplio número de establecimientos donde el consumo de energía está altamente atomizado, como es el caso de las sucursales bancarias.

Si estos gastos son multiplicados por el total de sucursales, los costes derivados del consumo de energía representan un volumen importante por lo que resulta necesaria la definición de una estrategia que permita a la organización llevar a cabo un control y una gestión energética, así como un conocimiento de su situación actual desde el punto de vista de la eficiencia energética.

Lo anterior obliga a pensar en adoptar medidas de ahorro energético con una alta replicabilidad en el conjunto de sedes a través de un plan de ahorro energético que proporcione una estrategia de inversión cuantificando su volumen y rentabilidad.

El primer paso para proponer inversiones en la reducción de los costes energéticos, es conocer las instalaciones típicas y tecnologías existentes en la tipología de organización a estudio, así como las variables que afectan en el consumo final de cada sucursal. Estas variables pueden permitir encontrar modelos de regresión que caractericen el consumo de energía, detectando desviaciones entre el consumo real y el esperado proporcionado por la regresión, que manifiesten la necesidad de un estudio de eficiencia energética más detallado.

Para ello, en el presente proyecto se propone la caracterización energética de un Grupo Bancario basada en una metodología a través de la cual se pueda llegar a la creación de un plan de acción global de Ahorro Energético, definiendo la regresión estadística que describe el consumo de energía en las sucursales bancarias, el potencial existente en la reducción del coste energético, así como el listado de medidas necesarias y sus costes de inversión.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN	9
1.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	10
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.2 CONTENIDO DE LA MEMORIA.....	11
CAPÍTULO 2- ESTADO DEL ARTE.....	12
Capítulo 2	12
2.1 POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO EN SECTOR SERVICIOS	12
2.2 AUDITORÍAS ENERGÉTICAS Y MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO.....	12
2.3 MODELO DE REGRESIÓN MATEMÁTICA	14
2.3.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	14
2.3.2 ANÁLISIS MULTIVARIABLE. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.....	15
2.3.2.1 COEFICIENTES DE REGRESIÓN	17
2.3.2.2 BONDAD DE AJUSTE	17
2.3.2.3 CONTRASTES DE HIPÓTESIS.....	17
2.3.2.4 INTERVALO DE CONFIANZA.....	18
2.3.2.5 GRÁFICO DE DISPERSIÓN	18
2.3.2.6 PRUEBA DE NORMALIDAD	18
CAPÍTULO 3- METODOLOGÍA.....	19
Capítulo 3	19
3.1 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA REGRESIÓN MATEMÁTICA QUE CARACTERICE EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS SUCURSALES BANCARIAS	19
3.1.1 SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	19
3.1.2 SELECCIÓN DE VARIABLES POTENCIALMENTE RELEVANTES.....	19
3.1.3 CALCULO DEL MODELO DE REGRESIÓN	21
3.2 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL EXISTENTE EN LA REDUCCIÓN DEL COSTE ENERGÉTICO DE LAS SUCURSALES.....	23
3.2.1 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO DE LOS CENTROS DE CONSUMO..	23
CAPÍTULO 4- CASO DE ESTUDIO Y RESULTADOS.....	25

CAPÍTULO 5- CONCLUSIONES Y DISCUSIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXO I.....	48
ANEXO I.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Severidad climática de invierno según el CTE y considerada para el estudio. .	20
Tabla 2:	Severidad climática de verano según el CTE y considerada para el estudio.	21
Tabla 3:	Estudio de correlación entre variables independientes.....	26
Tabla 4:	Tabla resumen del modelo de regresión	27
Tabla 5:	Análisis de varianza del modelo de regresión.....	27
Tabla 6:	Coefficientes predictores y sus estadísticos.....	28
Tabla 7:	Indicadores de consumo por sucursal y en la población total a estudio.	32
Tabla 8:	Resumen de medidas propuestas para el grupo 1 de entidades bancarias	35
Tabla 9:	Potencial de ahorro del grupo 1 de sucursales vs inversión necesaria.....	36
Tabla 10:	Resumen de medidas propuestas para el grupo 2 de entidades bancarias.....	37
Tabla 11:	Potencial de ahorro del grupo 2 de sucursales vs inversión necesaria	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final en España 9
Figura 2.	Nube de puntos y correlación para Cons_ener y Nemp..... 25
Figura 3.	Nube de puntos y correlación para Cons_ener y Sup_Util 26
Figura 4.	Gráficos de los residuales estandarizados generados por la ecuación de regresión y frente a los valores ajustados estandarizados..... 29
Figura 5.	Histograma de los residuales estandarizados generados por la ecuación de regresión. 29
Figura 6.	Gráfico de probabilidad de la distribución normal de los residuales generados por la ecuación de regresión..... 30
Figura 7.	Consumo porcentual por centros de demanda 31
Figura 8.	Plan de Actuación propuesto 40

CAPÍTULO 1- INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de energía final aumenta un 2% anual por término medio, e incluso en algunos países emergentes este crecimiento supera el 6% [1].

Se estima, que en el año 2050, la Tierra podría contar con más de 9,5 millones de habitantes, con una potencia media demandada de unos 5,3 kW/hab, representando un total mundial superior a 50TW; unas seis veces y media el dato actual [2].

Este hecho hace surgir temores sobre el agotamiento de los recursos naturales. La comunidad científica, ha alertado sobre algunas de las consecuencias de las actuaciones del ser humano sobre el medio ambiente, muchas relacionadas directamente con el elevado consumo de energía [3, 4].

Durante el año 2011, el consumo de energía en la UE-27, fue de 1.694 Mtep, suponiendo el 13,8% del consumo a nivel mundial. Por sectores, la industria representa un 25,3 % del consumo, un 31,6 % el sector transporte, un 26,7 % el sector doméstico y finalmente un 16,4 % el sector servicios y otros [5].

En España, el consumo de energía final el mismo año, fue de 93.238 ktep, lo que supuso un 4,4% inferior al de 2010. Este dato se debe a la situación económica, junto con las distintas condiciones climáticas y de laboralidad entre los dos años. Por sectores, la demanda energética en 2011 tanto en el sector industrial como en los sectores residencial y terciario disminuyó por la bajada de actividad. Así mismo, la demanda de transporte ha seguido la tendencia decreciente registrada desde 2008 [6].

La Figura 1 muestra como el sector servicios representó aproximadamente un 10% de la demanda de energía final en España en 2011.

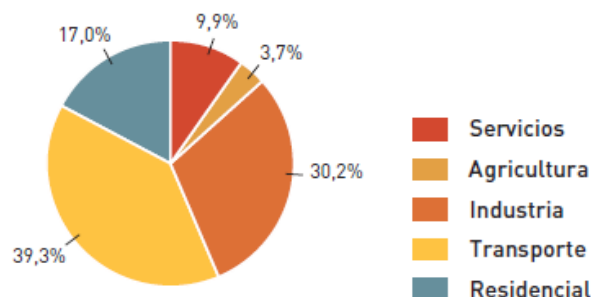


Figura 1. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final en España

Además, se espera que el sector servicios y en concreto los establecimientos de oficinas, tengan una demanda creciente en los próximos años, lo que hace interesante el estudio de las posibilidades de mejora existentes encaminadas a la reducción del consumo de energía en dichas instalaciones [7].

El consumo de energía anual en edificios de oficinas europeos varía de 100 a 1.000 kWh/m² de espacio acondicionado, dependiendo de la localización, la construcción, tipología de equipos instalados, tipo de oficina y uso, etc [8].

En EEUU, el consumo de energía media en edificios de oficinas [9] es de 293 kWh/m², superior al dato de Grecia (dato europeo disponible) [10], donde el consumo medio de energía se sitúa en torno a 187 kWh/m².

En este contexto se hace evidente la necesidad de una planificación a nivel nacional que fije los objetivos de ahorro a alcanzar mediante la puesta en marcha y ejecución de medidas de ahorro energético en los sectores consumidores de energía. La consecución de estos objetivos exige la articulación de diferentes mecanismos, normativos o regulatorios, de apoyo o colaboración entre administraciones que en el caso de España se plasman en el Plan de Acción 2011- 2020 [6].

Las medidas de eficiencia energética incluidas en este plan, para el sector edificación van destinadas a la mejora de la eficiencia energética de la envolvente edificatoria y las instalaciones térmicas y de iluminación del parque edificatorio existente, la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial, la construcción y rehabilitación de 8,2 millones de m²/año con alta calificación energética y la construcción de edificios de consumo de energía casi nulo [6].

Así mismo, en España, la normativa actual, RD 235/2013 [11], obliga desde junio de 2013 que los edificios públicos o de uso público-privado con una determinada superficie, y todos aquellos edificios o parte de ellos que se quieran vender o alquilar tienen que disponer de un certificado energético. Además, se mantiene la obligación de certificar todos los edificios de nueva construcción, tal y como se ha venido haciendo desde el año 2006.

A pesar de que según lo expuesto anteriormente, existe un interés en la mejora de la eficiencia energética en el sector servicios, se ha detectado que los estudios de investigación dedicados a dicho fin y particularmente centralizados en oficinas bancarias son escasos.

En este contexto, el proyecto presentado se centra en la caracterización energética de sucursales de un Grupo Bancario Español. Los objetivos y alcance del proyecto se muestran a continuación.

1.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este proyecto es el análisis del comportamiento energético de un Grupo Bancario a través del estudio de una muestra de sus sucursales situadas en España, con el fin de realizar una caracterización estadística que lo pueda predecir, sirviendo como fuente de información previa para la estimación del comportamiento energético de otras sucursales no incluidas en la muestra. Con la obtención de esta caracterización también se pretende caracterizar energéticamente a las sucursales de la muestra.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para abordar el objetivo general, se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Obtener el modelo o los modelos estadísticos que permitan caracterizar el consumo energético de las oficinas de un Grupo Bancario.
- Analizar las variables independientes influyentes en el consumo de energía de las sucursales bancarias.
- Conocer la situación energética actual de las sucursales bancarias analizadas, es decir, determinar el estado actual, funcionamiento y eficiencia energética de las instalaciones y equipos.
- Obtener el balance energético global de los equipos e instalaciones en consumos de energía para su cuantificación.
- Identificar las áreas de oportunidad que ofrecen potencial de ahorro de energía.

- Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo.
- Analizar las relaciones entre los costes y los beneficios de las diferentes oportunidades dentro del contexto financiero y gerencial, para poder priorizar su implementación.

1.2 CONTENIDO DE LA MEMORIA

Para poder alcanzar los objetivos generales y específicos planteados anteriormente, la memoria del proyecto se estructura en los siguientes capítulos:

En el capítulo 2 se realiza una revisión bibliográfica sobre los fundamentos teóricos más importantes para determinar el modelo de regresión correcto y se analizan las metodologías y documentos de referencia para la caracterización del potencial de ahorro del sector a estudio. En el capítulo 3, se desarrolla la metodología propuesta para la obtención del modelo de regresión y para la obtención de las medidas de eficiencia a implementar, así como su potencial de ahorro. En el capítulo 4, se aplica la metodología propuesta en el capítulo anterior a un Grupo de sucursales bancarias y se analizan los resultados obtenidos. Por último, el capítulo 5, presenta las conclusiones obtenidas del presente proyecto y muestra futuras líneas de trabajo que continuarían la labor de investigación de la temática propuesta en el presente proyecto.

CAPÍTULO 2- ESTADO DEL ARTE

En este capítulo, tras abordar una amplia revisión del estado del arte del consumo de energía en sector servicios se muestra un resumen de los principales trabajos relacionados con la temática analizada.

Además, se van a analizar las metodologías y documentos de referencia existentes para la caracterización del potencial de ahorro del sector a estudio.

Por otro lado, se va a realizar una revisión bibliográfica sobre los fundamentos teóricos más importantes para determinar el modelo de regresión correcto que caracterice el consumo de energía de una población a estudio, describiendo el concepto de variables y sus diferentes tipos y realizando un análisis de los parámetros más significativos que influyen en la selección de la ecuación más adecuada para obtener el modelo de regresión lineal múltiple buscado.

2.1 POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO EN SECTOR SERVICIOS

Existe un interés importante y una tendencia significativa tal y como se ha mencionado en el capítulo 1 dirigido hacia el estudio e investigación de la reducción de consumos energéticos en todos los sectores consumidores de energía [9, 12-15] y en el sector servicios particularmente analizado en el presente proyecto.

En la literatura especializada existen diferentes estudios dirigidos a analizar el consumo de energía en el sector servicios. S. Chen, N. Li y J. Guan [16] aplican la metodología estadística para investigar el consumo de energía en edificios públicos en China. Sectores específicos como el comercial [17-19], sanitario [20], educación [21] u hotelero [22] también han sido analizados desde el punto de vista energético, obteniendo el impacto en el medio ambiente de las emisiones asociadas a su consumo de energía y analizando el reparto en la demanda de energía por usos en las instalaciones de dichos sectores [23].

G.N. Spyropoulos y C.A. Balaras [24], publicaron un estudio sobre el consumo de energía y el potencial de ahorro de energía en edificios de oficinas utilizados como superficies bancarias donde se analizó el comportamiento de 39 sucursales bancarias de Grecia y cuyos resultados determinaron que el reparto de energía en este tipo de instalaciones se debe a climatización, iluminación y otros equipos, principalmente ofimáticos con un 48%, 35% y 17% respectivamente. Así mismo las medidas de eficiencia energética más relevantes se centran en la regulación de temperaturas con unos ahorros estimados de 56kWh/m² y la mejora de los sistemas de iluminación existentes con un ahorro aproximado de 22 kWh/m².

Así mismo, en España, A.Aranda et al [25], realizaron un estudio de modelo de regresión de consumo de energía para un Grupo de sucursales en España, a partir de 55 oficinas bancarias, en la que obtuvieron un modelo de regresión con una incertidumbre en la variable respuesta del 56,8% como función de las variables independientes usadas en el modelo propuesto.

2.2 AUDITORÍAS ENERGÉTICAS Y MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO.

La dependencia energética de combustibles fósiles, los precios de la energía, la seguridad de suministro, la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y necesidad de mejorar la competitividad de las organizaciones han hecho que la eficiencia energética se convierta en una necesidad [26].

La eficiencia energética actualmente se considera un pilar importante que contribuye a fomentar un marco sostenible en los sectores consumidores de energía, mejorando aspectos económicos, ambientales y sociales [27].

El modo de mejorar la eficiencia energética está basado en la búsqueda de regulación específica y la creación de políticas energéticas a nivel mundial, europeo y nacional [28].

Con estos objetivos, las revisiones energéticas son las herramientas que permiten a las organizaciones saber su estado en lo que concierne al uso de la energía, proporcionando un análisis detallado de los flujos de energía por usos y proponiendo medidas para reducir el consumo de energía en sus instalaciones [29, 30].

Las normas referentes a realización de auditorías energéticas contienen el alcance mínimo que debe tener un estudio de estas características, incluyendo, flujos de energía, cuantificación de consumos y costes, descripción de consumos energéticos y equipos consumidores de energía y opciones de ahorro propuestas, cuantificadas y valoradas [31-33].

En España existen normas UNE (UNE 216501:2009 y UNE-EN 16247-1) [34, 35], que tratan de abordar la carencia de estándares unificados de auditorías y servicios energéticos, donde se establecen los requerimientos y alcance mínimos, así como el procedimiento de trabajo y patrones de calidad objetivo.

La Directiva 2006/32/CE [36], define una auditoría energética como “el procedimiento sistemático para obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de un edificio o grupo de edificios, de una instalación industrial y/o de un servicio privado o público, determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía rentables y elaborar un informe al respecto”.

Hasta la publicación de la norma UNE 216501:2009 [34], no existía una metodología normalizada para la realización de auditorías energéticas, aunque sí que existían procedimientos fijados por el IDAE o por las Comunidades Autónomas [37].

Esta norma es aplicable de forma voluntaria a cualquier tipo de organización independientemente de su tamaño y actividad, que utilice energía en cualquiera de sus formas y, define los requisitos que debe tener una auditoría energética para que, realizada en distintos tipos de organismos pueda ser comparable y describa los puntos clave donde se puede influir para la mejora de la eficiencia energética, la promoción del ahorro energético y evitar emisiones de gases de efecto invernadero.

Sus objetivos son la obtención de un conocimiento fiable del consumo energético y su coste asociado, la identificación y caracterización de los factores que afectan al consumo de energía y la detección y evaluación de las distintas oportunidades de ahorro y diversificación de energía y su repercusión en coste energético y de mantenimiento, así como otros beneficios y costes asociados.

Así mismo, recientemente la norma UNE-EN ISO 50.001, ha sido desarrollada por la Organización Internacional de Normalización a petición de la Organización del Desarrollo Industrial de Naciones Unidas (UNIDO), siendo consciente de la necesidad de un estándar internacional como respuesta al cambio climático.

El objetivo fundamental de esta norma internacional es ayudar a las organizaciones, independientemente de su sector de actividad o tamaño, a establecer los mecanismos necesarios para mejorar su desempeño energético, ahorrar costes energéticos y reducir sus emisiones de gases de efecto de invernadero. Es decir, certifica la existencia de un sistema optimizado para el uso correcto de la energía en cualquier organización.

En esta norma se especifican los requisitos para que una organización establezca, implemente, mantenga y mejore un Sistema de Gestión Energética (SGE), aportando un enfoque sistemático para lograr una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo medición, documentación, prácticas de diseño y aprovisionamiento para equipos consumidores de energía, sistemas y procesos [38].

Por otro lado, para la determinación de las medidas de ahorro a implementar en la realización de las auditorías energéticas, la literatura especializada dispone de estudios realizados a instalaciones similares a las propuestas en el presente proyecto [17-22].

Además a nivel nacional existen guías que muestran los principales equipos y sistemas consumidores de energía en oficinas, la distribución típica de consumos por usos y las medidas in situ necesarias para la detección de ineficiencias energéticas que puedan llevar a la propuesta de actuaciones encaminadas a la reducción de los consumos energéticos [39-42].

2.3 MODELO DE REGRESIÓN MATEMÁTICA

2.3.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Para la caracterización estadística, la primera cuestión que se debe abordar es por qué se utiliza la estadística para caracterizar una variable respuesta en función de unas variables que tienen influencia en el comportamiento de ésta. Se define estadística inferencial como el proceso de lograr generalizaciones acerca de las propiedades del todo, población, partiendo de lo específico, muestra, lo cual lleva implícito una serie de riesgos. La inferencia por lo tanto consiste en obtener las conclusiones correspondientes al conjunto de la población [43]. Para ello, se compone de métodos que permiten alcanzar conclusiones y hacer estimaciones en relación a una población basándose en información de la muestra [44].

La inferencia estadística distingue entre las etapas de estimación y de contrastación de hipótesis. Es estimación cuando se usan las características de la muestra para hacer inferencias sobre las características de la población. Es contrastación de hipótesis cuando se usa la información de la muestra para responder a interrogantes sobre la población [45].

Para que estas generalizaciones sean válidas, la muestra debe ser representativa de la población de la cual ha sido extraída y la calidad de la información debe ser examinada. Si dentro de la población citada existen partes que no representan debidamente a ésta se puede incurrir a la aparición de errores sistemáticos que harán que el proceso de la Inferencia se vicié desde el comienzo. Por otro lado, al no hacerse un estudio exhaustivo de la población existen márgenes de error en el cálculo del modelo que represente la variable respuesta por lo que si se requieren mayores niveles de precisión se exigirá un mayor tamaño muestral [43].

Una variable puede ser definida [44], como una característica que toma diferentes valores. Una de las diversas clasificaciones para las variables es en función de la cantidad y la calidad que representan. Las variables cuantitativas expresan una cantidad y variables cualitativas expresan una cualidad [46].

Dentro de las variables cuantitativas se pueden clasificar en discretas, definidas como variables contables en las que hay un gap entre cada valor posible (a menudo, estas variables resultan de un proceso de recuento y suelen ser números enteros) y variables continuas representan medidas numéricas en una dimensión continua o escala y pueden tomar cualquier valor numérico dentro de un campo continuo o intervalo.

2.3.2 ANÁLISIS MULTIVARIABLE. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.

Dado que el presente proyecto persigue la caracterización del consumo de energía de las sucursales de un Grupo Bancario a través del análisis de un número de ellas, el primer punto a definir es, qué tipos de relación son posibles en estadística entre una población y sus muestras.

Según la dirección de tal relación, la estadística puede ser deductiva, cuando a partir del conocimiento de la población se trata de caracterizar cada muestra posible, o inductiva, cuando a partir del conocimiento derivado de una muestra se pretende caracterizar una población [45].

Una parte de la Estadística Descriptiva desarrolla técnicas que estudian la dependencia que puede existir entre dos o más características observadas en una serie de individuos. Son las denominadas técnicas de regresión y correlación [47].

Cuando se necesita estudiar la posible relación entre varias variables independientes (también llamadas predictoras, exógenas o explicativas) y otra variable dependiente (o variables respuesta o endógenas) se utiliza la regresión múltiple.

La técnica de regresión múltiple se usa frecuentemente en investigación, en este caso lo que se busca es la identificación de variables explicativas para crear un modelo donde se seleccionen las variables que puedan influir en la respuesta, descartando aquellas que no sean significativamente influyentes para esta variable; por otro lado, la detección de interacciones entre variables independientes que afecten a la variable respuesta; y por último, la identificación de variables confusoras, es decir, variables cuyos efectos sobre la variable dependiente no pueden ser diferenciados del resto y hagan que el modelo obtenido no sea el correcto, cuya detección es difícil.

Una de las aplicaciones más importantes de los parámetros estadísticos es la estimación de parámetros a partir de datos muestrales, una vez que se obtienen estas estimaciones se debe decidir si estas estimaciones se aceptan o se rechazan. Para ello se les hace una serie de pruebas de hipótesis [48]. En las pruebas o contrastes de hipótesis se parte de una afirmación que hace referencia a la población objeto de estudio y la pregunta es, si a partir de la información muestral disponible se puede concluir que dicha afirmación es correcta o falsa.

Cuando nos enfrentamos a la descripción de una sola variable respuesta, el análisis de regresión se llama regresión univariante y en los casos donde tenemos dos variables respuesta, la regresión es llamada multivariante.

Para obtener el modelo de regresión se necesita seleccionar la forma de la función en la que se va a basar. Esta función puede ser clasificada en lineal o no lineal.

Si las estimaciones de los parámetros de regresión B_0, B_1, \dots, B_p se denotan como $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ tenemos que la ecuación de regresión se convierte en:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad (ec.1)$$

\hat{Y} es el valor ajustado.

El valor real de Y sería:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \epsilon \quad (ec.2)$$

Donde ϵ es el término del error aleatorio [45].

Los valores $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ describen un cambio esperado en la variable de respuesta Y , por un cambio unitario en x_i cuando se mantienen constantes las demás variables regresoras x_j ($i \neq j$) [49].

Hay que destacar que la ecuación (ec.1) puede ser utilizada para predecir la variable respuesta para cualquier valor de las variables predictoras no observadas en nuestro set de datos de la muestra. En este caso \hat{Y} es el valor predicho. Se recomienda no predecir la variable respuesta para un set de valores de las variables predictoras que están fuera del rango de los datos utilizados para obtener la ecuación de regresión, de lo contrario se incurriría en un error de extrapolación [49].

El análisis de regresión es un proceso iterativo, proceso en que las salidas son utilizadas para diagnosticar, validar y criticar, y posiblemente modificar los inputs. El proceso se debe repetir hasta que se obtiene una salida satisfactoria. Una salida satisfactoria es un modelo estimado que satisface los supuestos y ajusta los datos razonablemente bien [50]. En algunas ocasiones los modelos cuya estructura es más compleja que la ecuación pueden analizarse a través de técnicas de regresión lineal múltiple.

La estimación de los coeficientes de regresión se realiza mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios. Este método estima los coeficientes de regresión de manera que se minimice la suma de los cuadrados de las desviaciones de los datos al modelo de regresión propuesto [51].

En el caso de los modelos de tipo lineal se exige una serie de hipótesis básicas sobre el error aleatorio del modelo para conseguir una estimación de los coeficientes de regresión con buenas propiedades estadísticas. La perturbación aleatoria ha de tener esperanza nula ($E(\epsilon)=0$), ser homocedástica, es decir, la varianza de la perturbación aleatoria sea constante ($\text{Var}(\epsilon)=\sigma^2=\text{cte}$), y las perturbaciones han de ser incorreladas entre sí ($\rho(\epsilon_i, \epsilon_j)=0$). Como hipótesis distribucional se exige que la perturbación siga una distribución normal, propiedad esencial si se desea utilizar el modelo con fines predictivos. Finalmente, las variables explicativas han de ser linealmente independientes y el número de datos con los que se realice el estudio ha de superar el número de variables explicativas en el modelo. Dado que la perturbación aleatoria del modelo no es observable, serán los residuos del modelo los que nos permitirán aproximarla. Se llaman residuos a las diferencias entre los valores calculados por el modelo de regresión ajustado y los realmente observados en la variable dependiente. Serán los que nos permitirán comprobar las hipótesis estructurales y de tipo estadístico bajo las que se construye el modelo de regresión. Debe tenerse muy en cuenta que para construir un modelo de regresión no es suficiente con que los residuos sean pequeños, es necesario que cumplan las hipótesis de homocedasticidad, normalidad e incorrelación [52].

También hay que tener en cuenta que si algunas de las variables independientes están estrechamente relacionadas y son incluidas en el modelo, muy posiblemente ninguna de las dos sea considerada significativa, aunque si se hubiese incluido sólo una de ellas, sí. Cuando las predicciones son sumamente correlacionadas, la estimación del coeficiente de regresión puede ser inestable [53].

Finalmente, se ha de tener especial cuidado en identificar las conocidas como observaciones anómalas, atípicas o extremas, ya que pueden tener gran influencia en el modelo ajustado obtenido mediante la técnica de mínimos cuadrados [54].

Para poder decidir entre utilizar un modelo con unas determinadas variables o con otras será preciso disponer de una medida de comparación entre modelos. La elección de un modelo de regresión se centrará en pruebas de hipótesis referidas a ciertos valores de

interés de los parámetros del modelo, a medidas de ajuste como los coeficientes de correlación y de determinación, intervalos de confianza y de predicción, entre otras [55].

A continuación se describen los principales parámetros estadísticos que cuantifican y explican la calidad del modelo y las hipótesis y restricciones que se han de cumplir.

2.3.2.1 COEFICIENTES DE REGRESIÓN

La desviación típica del valor del coeficiente, nos muestra un valor en el que cuanto mayor es y más se acerca al valor del coeficiente menos recomendable es incluir la variable correspondiente.

La columna t corresponde al estadístico t de Student, lo que hace es contrastar la hipótesis nula de que los coeficientes de las variables son iguales a 0, si los valores absolutos de los términos t obtenidos de la ecuación son mayores que el valor del estadístico $t(1-\alpha/2, n-2)$ se rechaza la hipótesis de que el coeficiente correspondiente es igual a 0. A esta prueba se le llama prueba parcial o marginal debido a que un coeficiente de regresión depende de todas las demás variables regresoras que están en el modelo. Donde α es el nivel de significación, fijado normalmente en 0,05, $n-2$ son los grados de libertad para el error residual, n es el número de observaciones [56].

Por otro lado se tiene el p-valor de cada coeficiente para contrastar lo mismo que el estadístico t, cuanto menor sea el p-valor mejor es el modelo y se tiene más seguridad de que el coeficiente de la variable independiente es distinto de cero en la ecuación, se fija como valor límite 0,05 para rechazar la hipótesis nula [44].

2.3.2.2 BONDAD DE AJUSTE

El coeficiente de determinación, R^2 , mide la proporción de variación de Y explicado por las variables X's a través del modelo de regresión lineal.

El término R^2 es una cantidad que puede interpretarse como un factor (porcentaje) de reducción de la incertidumbre cuando son conocidas las variables independientes. Cuanto más se acerque a uno, más poder explicativo tendrá el modelo [57].

Debe tenerse en cuenta que cada vez que se introduce una nueva variable independiente en el modelo, R^2 aumenta. Así, si se introduce artificialmente un número grande de ellas, se podrá llegar a acercarla a uno tanto como se quiera. Por este motivo, los programas estadísticos calculan, también, un coeficiente de determinación R^2 corregido, que tiene en cuenta este hecho, de forma que el valor de este coeficiente corregido disminuye cuando se introduce variables innecesarias [58].

2.3.2.3 CONTRASTES DE HIPÓTESIS

En los contrastes de hipótesis se parte de una afirmación que hace referencia a la población objeto de estudio y la pregunta es, si a partir de la información muestral disponible se puede concluir que dicha afirmación es correcta o falsa.

Se define como hipótesis un supuesto que hace referencia a la población, y las hipótesis contrastables son los supuestos sujetos a verificación. Estas hipótesis consisten, normalmente, en afirmaciones relativas al valor de algún parámetro de la población, a este tipo de hipótesis se les denomina hipótesis nula (H_0), ya que implican que no existe diferencia entre el verdadero valor del parámetro de la población y el que se supone en la hipótesis [53].

Una medida de lo verosímil que es la hipótesis nula es el p-valor, que ha de compararse con un nivel de significación α . En las aplicaciones prácticas es habitual considerar como valor de α 0,05, pero otros valores mayores o menores pueden ser escogidos dependiendo de la exactitud requerida para la prueba [52].

La técnica estadística que nos va a permitir contrastar esta hipótesis nula será un análisis de varianza y a través del p-valor obtenido para esta técnica se tomará la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis. Para rechazar o aceptar la hipótesis nula se considerará un nivel de significación de 0,05; cuando su valor sea menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula, es decir la variable respuesta depende de las variables independientes del modelo de regresión [50].

En el análisis de varianza (ANOVA) se dan otros parámetros, además del p-valor, como son el DF que corresponde a los grados de libertad, el SS corresponde a la desviación típica respecto a las observaciones reales en su conjunto, MS corresponde al error cuadrático medio del modelo y F corresponde al estadístico de la distribución F de Snedecor [53], el cual sirve para determinar si existe relación lineal entre la variable dependiente respuesta y el conjunto de variables predictoras.

2.3.2.4 INTERVALO DE CONFIANZA

Se llama intervalo de confianza en estadística a un rango de valores, que determina un intervalo, en el cual se estima que estará cierto valor desconocido de la población. El intervalo de confianza se calcula a partir de una muestra aleatoria, y el valor desconocido es un parámetro poblacional. El porcentaje de veces que el parámetro se encontrará en dicho intervalo es $(1 - \alpha) 100\%$ y $(1 - \alpha)$ se denomina nivel de confianza del intervalo. En este contexto, α se corresponde con el nivel de significación del contraste de hipótesis asociado al intervalo construido.

Los intervalos de confianza de interés en el modelo de regresión serán, por una parte los asociados a los coeficientes de regresión del modelo y por otra los intervalos de confianza que correspondan al valor medio que toma la variable respuesta para diferentes valores que tomen los regresores [58].

2.3.2.5 GRÁFICO DE DISPERSIÓN

Los gráficos de dispersión de los residuos frente a los valores ajustados para el modelo son una herramienta visual muy apreciada en estadística para contrastar si se cumplen o no las hipótesis bajo las que se construyen los modelos de regresión. Por ejemplo permiten detectar la falta de linealidad, la heterocedasticidad (varianza no constante de la perturbación aleatoria), o la multicolinealidad.

Para detectar que no existe heterocedasticidad debe aparecer una nube de puntos en la que no se aprecie ninguna tendencia especial, es decir que la nube de punto no siga ningún patrón, si la hubiese sería necesario introducir o eliminar nuevos términos para considerar esa falta de linealidad, o bien realizar transformaciones matemáticas de las variables independiente o dependiente [59].

2.3.2.6 PRUEBA DE NORMALIDAD

Se usa para verificar que los datos no se desvían significativamente de una distribución normal. Existen diferentes tests con esta finalidad siendo el de Anderson Darling uno de los comúnmente implementados.

Un p-valor elevado asociado al test de Anderson-Darling indica que los datos pueden provenir de una población con distribución normal. Si es mayor que un nivel de significación α prefijado la desviación de la distribución normal no es significativa desde un punto de vista estadístico, y por lo tanto se acepta que los datos sigan una distribución normal; con un p-valor menor que dicho α se rechaza que los datos sigan una distribución normal [58].

CAPÍTULO 3- METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo del proyecto está dividida en dos puntos:

- Metodología para la obtención de la ecuación de regresión que caracterice el consumo energético de las sucursales en función de variables independientes.
- Metodología para la obtención del potencial de ahorro existente en la reducción del coste energético de las sucursales, así como el listado de medidas necesarias y sus costes de inversión.

3.1 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LA REGRESIÓN MATEMÁTICA QUE CARACTERICE EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS SUCURSALES BANCARIAS

La caracterización de las sucursales bancarias consiste en realizar un análisis inferencial estadístico. Para ello, una vez definidos los objetivos del estudio, el proceso a seguir se basa en la selección de la muestra a estudio, selección de las variables potencialmente relevantes que definirán la caracterización, especificación del modelo elegido que va a definir el análisis, elección del método de ajuste, ajuste del modelo, y por último, validación e interpretación de resultados para próximas predicciones [57].

3.1.1 SELECCIÓN DE LA MUESTRA

La población total a estudio está formada por 6.372 sucursales bancarias repartidas en todo el territorio español. El tamaño de la muestra a utilizar para la obtención del modelo de regresión matemática se ha basado en el método de muestra Z-test perfilado por Douglas C.Montgomery [53], en el que para una población de 6.372 sucursales y un nivel de confianza del 90%, el tamaño de la muestra a elegir es de 72 sucursales bancarias.

Para la elección de la muestra se persigue que todas las sucursales tengan el mismo nivel de representatividad. Para ello se realizará la curva de distribución de la población en consumo y superficie y se eliminarán las sucursales cuyos datos se encuentren en los extremos de dicha distribución. Este análisis nos mostrará las condiciones a seguir para realizar la elección muestral.

3.1.2 SELECCIÓN DE VARIABLES POTENCIALMENTE RELEVANTES

Antes de realizar los diagnósticos energéticos en las diferentes sucursales elegidas, el primer paso consiste en seleccionar una serie de variables predictoras o independientes que podrán ser las que definirán la variable respuesta a explicar o predecir. Se considera como premisa en esta selección que las variables independientes a introducir en la ecuación no requieran de mediciones experimentales.

Para la obtención del dato cuantitativo de cada variable para las oficinas objeto de la muestra se seguirán los siguientes pasos:

- Envío de cuestionarios previos (Anexo 1) que deberán ser cumplimentados por la empresa responsable de suministrar servicios en el Grupo Bancario, entre ellos el mantenimiento de las instalaciones de las sucursales.
- Visitas realizadas a las sucursales elegidas en la muestra.

A continuación se incluye una descripción de las variables que previamente se considera que pueden ser relevantes para la obtención de la regresión matemática que caracterice el consumo energético de las sucursales.

La variable dependiente a considerar en el estudio va a ser:

- Consumo energético anual Total en kWh (Cons_ener), es la suma de los consumos de energía final para iluminación, climatización, equipos ofimáticos y otros. La obtención del valor para las sucursales se va a extraer de los datos cumplimentados en los cuestionarios previos y corroborados en los diagnósticos de cada una de las oficinas.

Las variables independientes que se considera van a influir en la variable dependiente Cons_ener son:

1. La severidad climática de invierno (SC Inv) de la zona en la que se encuentra cada una de las oficinas.

La severidad climática es un número adimensional que cuantifica las condiciones climáticas de cada zona, para obtener este número se combinan los grados-día y la radiación solar sobre superficie horizontal del lugar en cuestión. Su cálculo viene dado por el Documento Básico HE de Ahorro de Energía, apartado HE-1[60]. Existe una clasificación de la severidad climática que consiste en severidad de invierno y de verano.

Para la severidad de invierno existen cinco divisiones distintas que representan las severidades de todas las zonas climáticas en España, codificadas con las letras A, B, C, D y E, indicando de menor a mayor severidad.

Como datos de entrada para el estudio estadístico se han considerado los valores medios del intervalo de severidad del CTE (Código Técnico de la Edificación)[60] para cada zona (ver Tabla 1: fila 2).

Concretamente, el valor medio en el extremo (E) se ha considerado para un intervalo de amplitud 0,3 en esa zona, por lo tanto el valor medio para la zona E es de 1,45 (ver Tabla 1: fila 3).

A	B	C	D	E
SC Inv \leq 0,3	0,3<SC Inv \leq 0,6	0,6<SC Inv \leq 0,95	0,95<SC Inv \leq 1,3	SC Inv>1,3
SC Inv=0,15	SC Inv=0,45	SC Inv=0,775	SC Inv=1,125	SC Inv=1,45

Tabla 1: Severidad climática de invierno según el CTE y considerada para el estudio.

2. La severidad climática de verano (SC Ver) de la zona en la que se encuentra cada una de las oficinas.

Para verano, el CTE [60] distingue entre cuatro divisiones codificadas con los números del 1 al 4, indicando de menor a mayor severidad. Como en la severidad de invierno, se han introducido valores medios del intervalo de severidad para cada zona y en el valor medio del extremo en la zona 4 se ha considerado un intervalo de amplitud 0,3 de severidad, por lo tanto el valor medio considerado es de 1,4 (ver Tabla 2:).

A continuación se incluyen las tablas de severidades para cada zona climática donde se muestran los rangos de valores.

1	2	3	4
SC Ver \leq 0,6	0,6<SC Ver \leq 0,9	0,9<SC Ver \leq 1,25	SC Ver $>$ 1,25
SC Ver=0,3	SC Ver=0,75	SC Ver=1,075	SC Ver=1,4

Tabla 2: Severidad climática de verano según el CTE y considerada para el estudio.

- Superficie de la oficina en estudio (Sup_util) en m². Dato recogido de los cuestionarios previos a los diagnósticos, y corroborados en las visitas a las oficinas bancarias. En esta superficie no se incluyen archivos ni bunker, al corresponder a espacios no calefactados.
- Número de trabajadores de cada oficina (Nemp). Al igual que la superficie, es un dato facilitado previamente a las visitas a las oficinas bancarias.
- Altura de las oficinas (Altura) en m. En caso de que haya discrepancia de altura entre diferentes espacios, se toma la altura de las zonas calefactadas y en caso de haber diferencias dentro de estos espacios se estima la media de la altura correspondiente a estos espacios, dato observado en las visitas a las sucursales.
- Número de cajeros automáticos (Ncajeros) existentes en las sucursales, dato observado en las visitas.
- Superficie acristalada de la fachada de la sucursal en m² (SupCris), dato también observado en las visitas para realizar los diagnósticos de las oficinas.

Hay que reseñar que los equipos ofimáticos que existen en las oficinas son de varios tipos como ordenadores de sobremesa con diferentes potencias, impresoras de diferentes tamaños, etc., y cada uno de ellos representa una unidad diferente que no es comparable con la otra como podría ser la variable superficie, donde un m² es comparable con otro. Debido a esta diversidad de características y a las razones dadas no se incluye el número de éstos como variable independiente para el estudio. Lo mismo pasaría con los equipos de iluminación, se tienen bombillas halógenas, de bajo consumo, incandescentes y fluorescentes, principalmente y cada una de ellas con potencias diferentes. Se podría asociar una variable independiente a cada tipo de lámpara pero se incluirían gran cantidad de variables que haría complejo e inexacto el estudio.

3.1.3 *CALCULO DEL MODELO DE REGRESIÓN*

Una vez seleccionada la muestra de sucursales y definidas las variables independientes que a priori se consideran influyentes en el consumo de energía, se define a continuación el proceso a seguir para obtener la caracterización del consumo energético de las sucursales bancarias mediante el programa MINITAB.

En primer lugar, se hace un análisis para detectar posibles relaciones entre variables y respecto a la variable dependiente, analizar qué tipo de relación existe entre ellas [53] y detectar valores anómalos a través de diagramas de dispersión de los datos.

En el análisis se obtiene el coeficiente de Pearson para cada par de variables, r , y el estadístico p-valor que contrasta la hipótesis nula de que r entre cada par de variables es nulo. El coeficiente de correlación de Pearson, r , mide la asociación lineal entre dos

variables (el grado en la cual una variable cambia con otra). El valor de r estará siempre entre -1 y 1. El valor 1 indica correlación positiva perfecta, 0 indica inexistencia de relación lineal, y -1 indica una correlación negativa perfecta [55].

Por tanto, se va a analizar las variables consideradas independientes, realizando un análisis de correlación, para evitar dependencias entre ellas lo que desembocaría en un resultado erróneo en el modelo propuesto.

Una vez analizadas las variables que a priori se consideran influyentes en el consumo de energía, el proceso a seguir para elegir los modelos de regresión correctos son:

1. Estimación de los coeficientes β_i .
2. Inferencia sobre los coeficientes.
3. Cálculo de los intervalos de confianza para los diferentes coeficientes.
4. Análisis de la varianza (ANOVA).
5. Test F para la regresión.
6. Coeficiente de determinación: R^2 .
7. Estimación de la respuesta media y predicción, así como sus intervalos de confianza.

Con los pasos anteriores se obtienen los posibles modelos regresores que caractericen a una muestra y posteriormente se comprueba la validez y calidad de los mismos a través de las restricciones e hipótesis que se han de cumplir:

1. Relación lineal.

Se comprueba a través de gráficos matrices y los gráficos de los residuos frente a las variables predictoras observando si existen tendencias o patrones.

2. Estudio de los residuos.

- Observar si los residuos siguen una distribución normal, a través del test de Normalidad de residuos y a través del gráfico de probabilidad.
- Comprobar que su medio es cero.
- Varianza constante (homocedasticidad), para ello se representan los residuos estandarizados frente a los valores ajustados y estos mismos residuos frente a todas las variables predictoras. Si se observa algún tipo de tendencia o relación en estos gráficos existe la posibilidad de que exista heterocedasticidad, es decir varianza de los residuos no constante.
- Independencia entre residuos.

Se detecta en la representación gráfica de los residuos frente al tiempo. En la cual no debe aparecer ningún tipo de patrón, ni tendencia.

- Multicolinealidad entre variables predictoras.

A través de la matriz de gráficos se puede ver si existe algún tipo de relación lineal entre distintas variables predictoras.

Esta característica también se evidencia a través de la existencia de contradicciones entre el test F de la regresión y los test individuales sobre los coeficientes, por ejemplo F tenga un valor alto y una o varias de las variables predictoras posean valores de t incorrectos; contradicción entre la importancia de las variables por separado y en el modelo global; contradicción de los valores de los coeficientes con los valores esperados por experiencias previas; coeficientes con grandes valores de

desviaciones típicas (cerca del valor de los coeficientes de regresión); importantes cambios en los coeficientes al introducir nuevas variables.

Otra opción se encuentra calculando los valores de los factores de inflación de la varianza (VIF), cuanto mayor es este factor más marcada será la colinealidad múltiple. Para algunos autores se fija en un valor límite de 10, a partir del cual la colinealidad empieza a ser un problema, para otros se fija un valor de 4 a 5 [52].

Por último, se realiza la comprobación de la existencia de datos atípicos, con alto residuo o datos influyentes que condicionen la obtención del modelo regresor.

Las observaciones atípicas en Y se observan más fácilmente con los residuos estandarizados, residuos con valor mayor de 2,5 se pueden considerar atípicos. Para el caso de las observaciones atípicas en X se consideran atípicas cuando el valor de Leverage correspondiente a una observación sea superior al valor $2(p+1)/n$ para n grandes y 0,5 para n pequeñas. El Leverage de una observación corresponde al elemento i de la diagonal de $X^T X)^{-1} X^T$ [61].

Por otro lado la detección de datos influyentes, observaciones que al ser eliminadas el modelo de regresión obtenido varía se realiza a través de la distancia de Cook o del coeficiente DFIT. Un dato se considera atípico cuando la distancia de Cook de ese dato es superior a 0,25. Para el caso del DFIT, que mide la desviación típica de y_i al valor ajustado en el modelo de regresión construido sin contar con ella, se considera dato influyente si el DFIT es superior a 1 para n pequeños y a $2\sqrt{((p+1)/n)}$ para n grandes [62].

3.2 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL EXISTENTE EN LA REDUCCIÓN DEL COSTE ENERGÉTICO DE LAS SUCURSALES

La metodología propuesta a continuación pretende mostrar como resultado el análisis de la información necesaria para desarrollar una planificación de inversiones en medidas de eficiencia energética replicables en casi la totalidad de sucursales bancarias de la población existente.

3.2.1 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO DE LOS CENTROS DE CONSUMO

Una vez seleccionada la muestra con los criterios explicados anteriormente, se comienza la realización de los diagnósticos energéticos siguiendo la metodología propuesta en las normas UNE 216501 y UNE-EN 16247-1 [34, 35] para las sucursales seleccionadas.

En estos diagnósticos se determinarán los siguientes puntos:

- Situación energética desde el punto de vista técnico que permita la determinación del desempeño energético actual de la organización a través de la identificación de las instalaciones, equipamiento, sistemas, procesos y personal que trabaja para, o en nombre de, la organización que afecten significativamente al uso y consumo de la energía.
- Mediciones de las principales magnitudes físicas que definen el comportamiento y funcionamiento de los equipos consumidores de energía presentes en las instalaciones.
- Identificación de los usos significativos de la energía y posibles variables influyentes.
- Establecimiento de los indicadores de desempeño energético.

- Estimación del uso y consumo futuro de energía.
- Identificación, priorización, evaluación y registro de oportunidades para mejorar el desempeño energético que permitan establecer una primera lista cuantificada en términos económicos de inversiones en eficiencia energética aplicables al conjunto de la organización.

El análisis de la información recopilada, permite detectar una serie de ineficiencias que podrán ser corregidas adoptando las medidas adecuadas, dando lugar a una operación más eficiente de los sistemas y equipos de los centros analizados.

En este análisis, se proporcionará para cada sistema energético una serie de medidas encaminadas a disminuir su consumo de energía. Estas medidas podrán estar orientadas a la mejora de su mantenimiento, horarios de funcionamiento, regulación, hábitos de uso y demás medidas que no requieran a priori de inversión económica, o bien relacionadas con la sustitución de equipos o partes de los mismos, que den lugar a un ahorro energético.

Con ello, se definirá el catálogo de medidas de ahorro energético con una alta replicabilidad al conjunto de centros en España. Las propuestas serán valoradas de acuerdo a las relaciones entre los costes y los beneficios dentro del contexto financiero y gerencial, para poder priorizar su implementación.

Con ello se pretende que las medidas acometidas en primer lugar tengan un alto impacto en el ahorro energético y por tanto se prioricen las medidas más efectivas usando como método de decisión las curvas de Ahorro vs Inversión [63] en donde se comprobará el incremento que sufre el coste de inversión cuando se incrementa la productividad a partir del ahorro económico de las medidas propuestas. Su análisis permitirá cuantificar los esfuerzos necesarios para lograr unos ahorros de económicos crecientes tendiendo a una curva de saturación del ahorro debido a la ley de los rendimientos decrecientes [64, 65].

Como resultado final, se obtendrá además, la estimación del potencial de ahorro en la reducción del consumo de energía existente en la organización, así como el volumen de inversión necesario.

CAPÍTULO 4- CASO DE ESTUDIO Y RESULTADOS

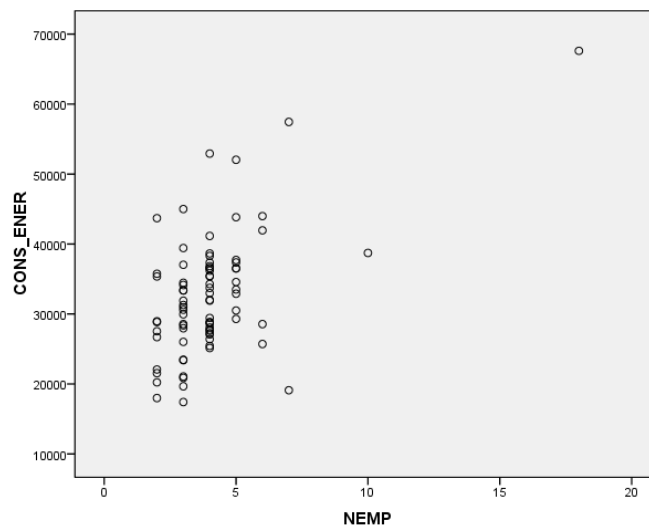
Los criterios de selección de las sucursales pertenecientes a la muestra una vez realizada la distribución en consumo y superficie de la totalidad de población están marcados por los siguientes condicionantes:

- Selección de 6 muestras por severidad climática.
- Se han eliminado de la muestra por no ser representativas, las sucursales con un consumo inferior a 100 kWh/año y superior a 100.000 kWh/año.
- Se han eliminado de la muestra por no ser representativas las sucursales cuya superficie útil (no tiene en cuenta la zona de archivos, o bunker definidas como no habitables y por tanto con un consumo energético significativamente menor) no este comprendida entre 50 y 600 m².

Para la selección de las 72 sucursales, se ha mantenido la curva de distribución de la población total, junto con los valores cuantitativos de las variables independientes a priori consideradas influyentes en el consumo de energía.

Se ha realizado un análisis visual a través de matrices de nubes de puntos con el programa MINITAB entre las variables independientes y a su vez con respecto a la variable dependiente definida para descartar variables independientes sin tendencia y detectar posibles relaciones entre variables.

La variable 'Cons_ener' puede ser posiblemente función de las variables 'Nemp' y 'Sup_util' conjuntamente, esta conclusión debe corroborarse con las siguientes pruebas realizadas.

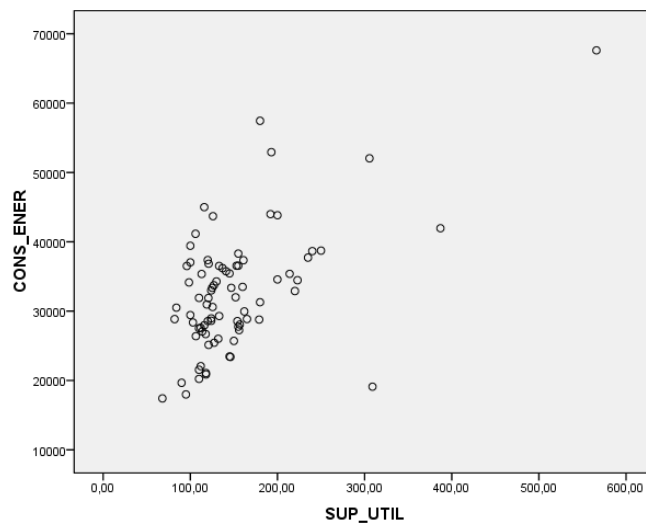


Correlación de Pearson de Cons_ener y Nemp = -0,557

Valor P = 0,000

Figura 2. Nube de puntos y correlación para Cons_ener y Nemp.

2012/2013



Correlación de Pearson de Cons_ener y Sup_util = $-0,565$

Valor P = $0,000$

Figura 3. Nube de puntos y correlación para Cons_ener y Sup_Util

Antes de continuar con el siguiente apartado también es importante analizar las variables que consideramos como potencialmente independientes, para ello se debe realizar un análisis de correlación, para evitar dependencias entre ellas lo que desembocaría en un resultado erróneo en el modelo propuesto.

Correlaciones								
		NEMP	SCINV	SCVER	SUP_UTIL	NCAJEROS	ALTURA	SUPCRIS
NEMP	Pearson Correlation	1	,117	-,050	,779	,158	,266	-,066
SCINV	Pearson Correlation	,117	1	-,666	-,063	-,143	,136	,073
SCVER	Pearson Correlation	-,050	-,666	1	-,057	,234	-,189	-,153
SUP_UTIL	Pearson Correlation	,779	-,063	-,057	1	,065	,279	-,017
NCAJEROS	Pearson Correlation	,158	-,143	,234	,065	1	,014	,119
ALTURA	Pearson Correlation	,266	,136	-,189	,279	,014	1	,088
SUPCRIS	Pearson Correlation	-,066	,073	-,153	-,017	,119	,088	1

Tabla 3: Estudio de correlación entre variables independientes

Como se puede observar la variable 'Nemp' es la más problemática a la hora de obtener el modelo de regresión debido a su alta correlación con la variable 'Sup_util', además de con la variable 'Altura' aunque en menor grado, por el momento se tienen en cuenta para un

posterior análisis y en función de los resultados obtenidos se incluirá esta variable o no en el modelo final.

Por otro lado se tiene que las variables ‘SCInv’ y ‘SCVer’ están correladas, este dato no va a tenerse en cuenta ya que las severidades climáticas son variables categóricas y por tanto el resultado de esta correlación puede llevar a error.

‘SCVer’ y ‘Ncajeros’ también están correladas además de ‘Suputil’ y ‘Altura’. Estas correlaciones no son muy altas por lo que de momento no se tienen en cuenta. En apartados posteriores se analizará la correlación de las variables incluidas en las ecuaciones obtenidas por medio de los estadísticos y tests correspondientes.

Después de realizar múltiples pruebas siguiendo la metodología expuesta para la obtención del modelo de regresión, la ecuación que se obtiene es:

$$\text{Cons_ener} = 16308,048 - 4169,615 \text{ SC Ver} + 6549,692 \text{ Ncajeros} + 68,252 \text{ Sup_util} \text{ (ec.3)}$$

Resumen del modelo									
Modelo	R	R Cuadrado	R Cuadrado Ajustada	S	Estadísticos				Durbin-Watson
					F Snedecor	GL1	GL2	p	
1	,802	,643	,627	4.793,982	39,032	3	65	,000	1,882

Tabla 4: Tabla resumen del modelo de regresión

Análisis de Varianza						
Modelo		Suma de Cuadrados	GL	Media de cuadrados	F Snedecor	p
1	Regresión	2,691E9	3	8,970E8	39,032	,000
	Residual	1,494E9	65	2,298E7		
	Total	4,185E9	68			
a. Predictores: (Constant), NCAJEROS, SUP_UTIL, SCVER						
b. Variable Dependiente: Cons_ener						

Tabla 5: Análisis de varianza del modelo de regresión

Coeficientes								
Modelo	Coeficientes predictores		t	p	95,0% Intervalo de confianza para los coeficientes		Test de colinealidad	
	Coefficiente	Error estandarizado			Mínimo	Máximo	VIF	
1	(Constante)	16.308,048	2.122,769	7,682	,000	12.068,585	20.547,511	
	SCVER	-4.169,615	1.439,375	-2,897	,005	-7044,245	-1.294,985	1,088
	NCAJEROS	6.549,692	1.230,944	5,321	,000	4.091,328	9.008,056	1,120
	SUP_UTIL	68,252	8,505	8,025	,000	51,267	85,237	1,041

Variable dependiente: Cons_ener

Tabla 6: Coeficientes predictores y sus estadísticos.

En la Tabla 4: aparece el coeficiente de determinación, R cuadrado ajustado. Para el caso de una regresión múltiple debemos fijarnos en este valor y no en el R cuadrado pues sólo tiene sentido para regresiones simples. En este caso su valor es de 62,7. El mejor modelo corresponde al que tenga este coeficiente mayor, además de cumplir con el resto de condiciones que se han explicado anteriormente.

Por otro lado se tiene el valor de S que corresponde a la desviación de los residuos. Se debe elegir el modelo con la S con menor valor posible que combine con la R cuadrado ajustado más alta.

En la Tabla 5: se muestra el análisis de varianza para establecer la adecuación de haber incluido el conjunto de variables explicativas considerado, donde al ser el p-valor menor de 0,05 (0,00) revela que el modelo de regresión lineal considerado es adecuado en este sentido. Observando el estadístico F, en esta ecuación es igual a 39,032, cuyo valor es mayor que $f(3; 67; 0,750)=1,402$. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa de que como mínimo una de las variables predictoras contribuye de manera significativa al modelo regresor.

Además el dato de la desviación típica SS para la regresión y para el error residual nos indica la fracción de variabilidad que explica la ecuación y la fracción que explican los residuos, cuanto mayor es la fracción correspondiente a la ecuación mejor es el ajuste del modelo a los datos. En este caso la ecuación explica una variabilidad de un 64,3 % y los residuos un 35,7 %.

Los coeficientes regresores se indican en la ecuación dada al comienzo y en la columna donde aparece 'Coeficiente' en la Tabla 6: donde el término constante o intercepto es -16.308,048, el coeficiente para 'SC Ver' es -4.169,615, para 'Ncajeros' es 6.549,692, y para 'Sup' es 68,252.

Si se analiza el valor del Error estandarizado para cada una de las variables predictoras se puede observar que los valores de este parámetro para las variables independientes son menores que el propio valor del coeficiente lo que resultaría en un intervalo de confianza adecuado, lo que indica la significatividad de las variables respecto a la ecuación. También se puede observar que los intervalos de confianza para cada uno de los coeficientes no son relativamente amplios y no contienen el cero lo que le da estabilidad a la inclusión a cada una de estas variables dentro de la ecuación.

Para cada una de los coeficientes de las variables el término t correspondiente al estadístico t de Student. Para el caso de esta ecuación el valor del estadístico del test de Student es de

$t(0,025;68)=1,999$. Observando los valores de t para cada uno de los coeficientes de las variables son superiores a este valor con lo que cumplen la condición de que es correcto incluir las variables independientes correspondientes a cada uno de los coeficientes predictores en la ecuación.

Por otro lado se tiene el p -valor de cada coeficiente y vemos que en todos los casos es menor a 0,05.

Los valores del factor de inflación de la varianza (VIF), muestran la inexistencia de colinealidad, en este caso son valores correctos, ya que son menores del valores fijados a partir de los cuales existe correlación entre variables independientes, de 4 a 5.

Se pasa a analizar los gráficos de residuos:

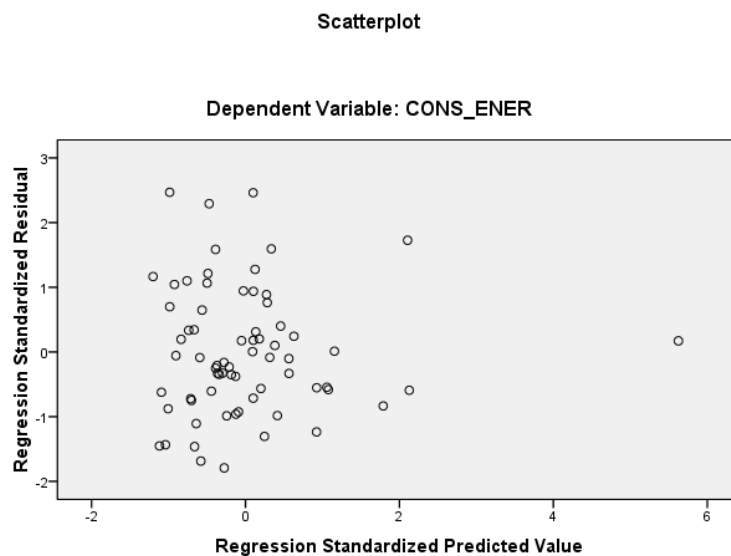


Figura 4. Gráficos de los residuales estandarizados generados por la ecuación de regresión y frente a los valores ajustados estandarizados.

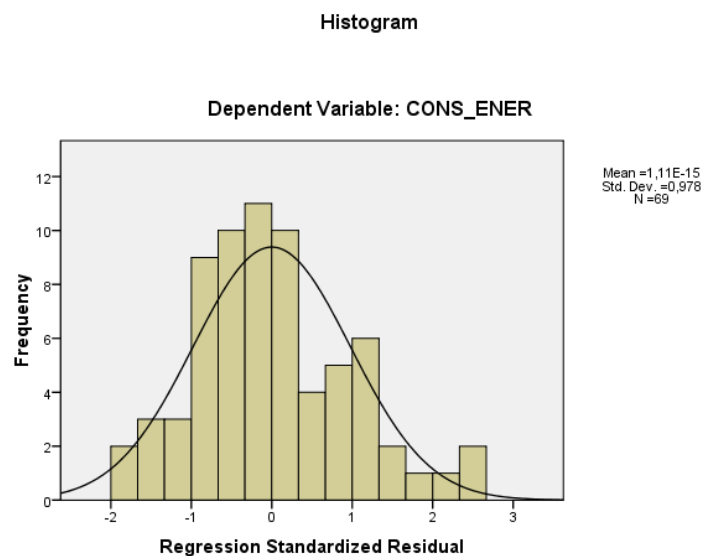


Figura 5. Histograma de los residuales estandarizados generados por la ecuación de regresión.

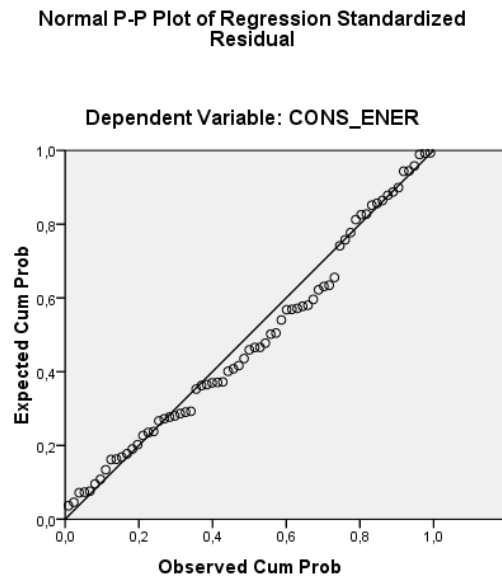


Figura 6. Gráfico de probabilidad de la distribución normal de los residuales generados por la ecuación de regresión.

Observando la Figura 5 de los residuales frente al valor ajustado no se observa ningún tipo de tendencia que marque una influencia que manifieste la existencia de heterocedasticidad, lo que implicaría que la varianza del término error no sea constante.

Observando además el gráfico de probabilidad de la Figura 6 se puede afirmar que los residuos siguen una distribución normal.

Esta ecuación por tanto, es candidata a describir el consumo energético de las oficinas bancarias, donde se puede observar que tanto la superficie calefactada como el número de cajeros aportan positivamente al consumo energético anual, tendencia que sigue la lógica de la realidad.

En el capítulo 6 se recopilan todos resultados obtenidos dentro de este análisis y se contextualiza la ecuación obtenida y elegida.

Una vez encontrado el modelo de regresión que caracteriza el consumo de energía en las sucursales bancarias del grupo analizado, se procede a la caracterización de las sucursales según su potencial de ahorro a través de los diagnósticos energéticos realizados in situ en las sucursales seleccionadas.

Las observaciones tomadas como muestra dentro del conjunto de sucursales entran dentro de los valores promedio de consumo de energía del total de sucursales con las que cuenta el Grupo Bancario permitiendo caracterizar la amplia mayoría de ellas.

Según los datos analizados, todas las sucursales seleccionadas poseen un contrato eléctrico con tarifa de acceso 3.0A (excepto una sucursal con contrato 2.0A y otro con contrato 2.1DHA) correspondiente a clientes en baja tensión con potencia contratada superior a 15 kW en donde se encuadran la amplia mayoría del total, con un 62 % de los contratos (el resto 1 % y 37% corresponden a contratos de alta tensión y baja tensión con potencia contratada inferior o igual a 15 kW respectivamente).

Este tipo de contratos representa el 45 % de la energía consumida por el conjunto de sucursales, quedando un 46 % para los contratos de alta tensión que aunque muy inferiores al resto en número representan grandes centros consumidores de energía. Por último, los

contratos de baja tensión con potencia contratada inferior a 15 kW que aunque por número son significativos, únicamente representan el 9 % de la energía consumida.

Respecto a las dimensiones, las sucursales estudiadas tienen una superficie comprendida entre 100 y 566 m². Además se ha cuantificado en cada caso la superficie exterior acristalada, siendo la altura del falso techo por norma general de 2,8 m. El número de personas que trabajan diariamente en las sucursales se encuentra comprendido entre 2 y 18 empleados. En cuanto a las características de uso de las instalaciones, se ha detectado que el horario oficial de trabajo comprende de lunes a viernes de 8:00 a 15:30 horas. Además del horario oficial de trabajo, es habitual la ampliación de la jornada, ya sea por extensión del horario de mañana, como por la vuelta al trabajo en horario de tarde por lo que se ha considerado 3 horas más de trabajo 4 días a la semana. Por otro lado, cabe destacar la presencia del servicio de limpieza el cual hace uso de las instalaciones en torno a 30 minutos – 1 hora durante cuatro días a la semana, horario que en ocasiones coincide con el de apertura de la sucursal y en otros casos se encuentra fuera del horario laboral general de la sucursal. En resumen, los días laborales tomados como referencia son de 251, siendo el total de horas de uso de las instalaciones semanalmente de 47,5, lo que en el conjunto del año asciende a 2.385 horas/año. El mantenimiento global de las instalaciones lo gestiona una empresa externa mediante diversas empresas de mantenimiento dependiendo de la zona geográfica en la que se ubica la sucursal. Estas realizan un mantenimiento correctivo y preventivo con revisiones periódicas cada 3 meses que comprende la instalación eléctrica y de climatización. En global el mantenimiento realizado se ha comprobado efectivo.

De la muestra analizada se puede comprobar cómo se describe una tendencia en la cual las sucursales bancarias con mayor consumo por superficie (kWh/m²) son aquellas que poseen una mayor potencia instalada en climatización e iluminación, muestra de la influencia que estos dos sistemas tienen en el conjunto de consumo eléctrico de las sucursales analizadas.

La distribución de consumo por usos en las sucursales, se ha obtenido a partir del inventariado de equipos, potencias y horas de uso, así como las mediciones puntuales realizadas en las instalaciones (medición con analizadores de redes eléctricas, luxómetro, cámara termográfica, etc...), dando como resultado la siguiente distribución:

Desglose consumo eléctrico según aplicación

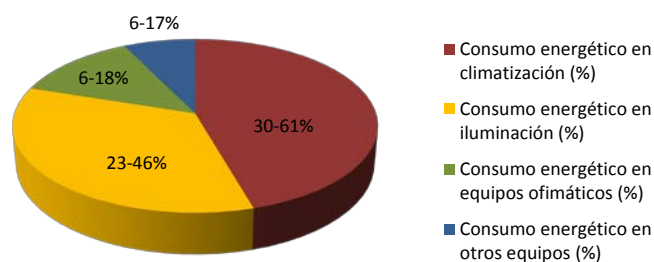


Figura 7. Consumo porcentual por centros de demanda

De su desglose porcentual se desprende que el mayor consumo respecto del total, suponiendo valores en torno a un 30-61 % y 23-46 %, es debido al sistema de climatización e iluminación respectivamente.

En términos monetarios, el consumo energético total varía según sucursal suponiendo un coste anual comprendido entre 4.300 y 12.100 €/año. Como se ha mostrado anteriormente, la tarifa de acceso generalizada es 3.0A, por lo que le aplica la facturación de energía

reactiva según establece el punto 3 del artículo 9 de Real Decreto 1164/2011 referente a la facturación por excesos de Energía Reactiva, así como, la facturación de potencia según Real Decreto 1164/2001 y sus posteriores actualizaciones, donde se establece la forma de facturar la potencia contratada según maxímetro. Para evitar el recargo por energía reactiva, cabe destacar que en este tipo de instalaciones próxima al cuadro general eléctrico se coloca una batería de condensadores de entre 5 y 12,5 kVA de potencia, cuya función es compensar la energía reactiva generada en las instalaciones. En cada una de las sucursales analizadas se ha comprobado su estado y/o existencia detectándose una amplia mayoría de instalaciones que no poseen este tipo de equipos. En las sucursales donde se penaliza por este concepto el coste mensual está comprendido entre los 5 y los 30 €/mes. En las facturas disponibles para cada sucursal se han comprobado diferencias de importancia entre la potencia contratada y la demanda por el maxímetro y que permitirían una optimización en cuanto a los valores contratados y por tanto en el coste por este concepto.

Además, se ha evaluado el consumo en stand-by a través de la lectura del consumo de energía según periodo horario posibilitado por el tipo de contrato en 3 periodos que establece un horario de punta, llano y valle. El periodo horario valle corresponde prácticamente en su totalidad a horas en las cuales las sucursales bancarias permanecen cerradas por lo que su valor permite realizar una primera estimación de este consumo en stand-by. De forma general se comprueba cómo entre un 14 y 28 % del consumo de energía total de la sucursal se realiza en horas denominadas stand-by.

A continuación se muestran una serie de indicadores energéticos calculados sobre la muestra estudiada y que permiten comparar si una nueva sucursal a estudio tiene desviaciones importantes respecto a la media estudiada que pueden ser debidas a ineficiencias en los equipos instalados o en el uso de éstos.

INDICADORES ENERGÉTICOS				
Consumo por superficie (kWh/m ² .año)	Consumo por trabajador (kWh/trabajador.año)	Consumo por día trabajado (kWh/día trabajado.año)	Potencia de climatización por superficie (W/m ²)	Potencia de iluminación por superficie (W/m ²)
207,4	8.880	152,4	100,6	64,0

Tabla 7: Indicadores de consumo por sucursal y en la población total a estudio.

En cuanto a los equipos instalados, dada la diversidad de tecnologías, equipos y hábitos de uso detectados en el conjunto de sucursales analizadas se presenta un resumen general de los mismos clasificados por centro de consumo.

La iluminación predominante de las sucursales se realiza mediante lámparas fluorescentes de diferentes potencias que varían según tipo dependiendo de la sala en la que se ubican y de la antigüedad de la oficina. Además de ello, es posible encontrar lámparas de una menor eficiencia energética correspondientes a tecnología incandescente tales como halógenos. En otros casos por el contrario, se han detectado lámparas de tecnología LED's de alta eficiencia. El encendido y apagado lo realizan los empleados de las oficinas coincidiendo con el comienzo y la finalización de la jornada laboral mediante los interruptores de sala siendo el valor de iluminancia media medido mediante luxómetro de 700 lux. Además, la ubicación de las sucursales, en la mayoría de los casos en un cruce de calles, provoca que la superficie exterior sea elevada para lo cual hay varios módulos de rótulos y banderolas por

lo que el conjunto de potencia instalada resulta elevada para lo cual se utiliza iluminación fluorescente.

En el caso de la climatización, del total de superficie útil de las sucursales bancarias, las zonas climatizadas corresponden al patio de operaciones, despachos individuales y zona de caja principalmente. Tanto la refrigeración como la calefacción se realizan mediante bombas de calor autónomas con intercambio Aire/Aire generalmente constituidas por equipos partidos donde la unidad exterior se ubica en el falso techo de archivos con acceso al aire exterior, estando la unidad interior ubicada también en el falso techo en una zona más interior desde donde se impulsa y absorbe el aire por la red de conductos de que dispone la sucursal creando un circuito cerrado de aire. Por lo general estos equipos permiten únicamente controlar la temperatura desde un único termostato de control no permitiendo sectorizar salas ni zonas con temperaturas o periodos de encendido diferenciados trabajando por tanto a temperatura y caudal constante. Los datos técnicos muestran de promedio un E.E.R. y un C.O.P. de entre 2,2 y 3 y 2,3 y 3,5 respectivamente, valores que en algunos casos son demasiado bajos en comparación con los que proporcionan equipos de estas características actualmente. Tampoco incorporan el sistema de variación de potencia en el compresor conocido como sistema INVERTER y que permite reducir el consumo de energía para sistemas con continuos arranques y paradas como es el caso, por lo que el compresor funciona al 100 % de su demanda de potencia. A parte de la antigüedad de estos equipos, que en la mayoría de los casos es elevada (superior a 10 años), otro de los problemas que incorporan es el refrigerante que utiliza HCFC R22, cuyo uso actualmente está prohibido por su afección a la capa de ozono terrestre, según el Reglamento CE del Consejo de la Unión Europea. Además de los sistemas descritos de impulsión de aire, la mayoría de sucursales dispone de una red de conductos de extracción del aire interior ubicada en la mayoría de los casos de forma perimetral en el falso techo de la sucursal.

En cuanto a los equipos de ofimática, aunque poseen una potencia inferior a otros sistemas, son otro de los centros de consumo importantes al permanecer conectados toda la jornada laboral e incluso en algunos casos permanentemente. Entre los detectados en las sucursales, destacan ordenadores de sobremesa con sus respectivas pantallas tipo TFT, al menos 1 equipo por puesto de trabajo. Según se ha indicado se procede a la desconexión de la pantalla del ordenador al finalizar la jornada laboral, pudiendo quedar conectada la torre del ordenador durante las 24 horas del día por actualizaciones en el sistema. El resto de equipos informáticos corresponden a impresoras multifunción, impresoras financieras, fax y servidores.

Entre los equipos detectados como otros consumos destacan los cajeros automáticos con una conexión permanente cuya demanda de potencia se establece en torno a 150-250 W según la actividad realizada lo que representa aproximadamente 1.300-2.200 kWh/anuales. Por otro lado, para dotar de agua caliente a las sucursales en cada una de ellas hay instalado un termo eléctrico con un tamaño de almacenamiento de entre 15 y 30 litros cuyo uso más habitual es realizado por el servicio de limpieza. Por último es posible encontrar pequeños electrodomésticos eléctricos como cafeteras.

A continuación, se listan las mejoras energéticas propuestas referentes a los consumos eléctricos clasificadas por tipo de mejora y detallando en los casos que sea posible su análisis energético-económico, así como el coste de implementación. En el Anexo 2 se muestra un diagnóstico energético completo con la descripción de las medidas propuestas y el cálculo de los potenciales de ahorro obtenidos. Actualmente se desconoce exactamente qué cantidad de medidas son aplicables a cada sucursal de la totalidad de población por lo

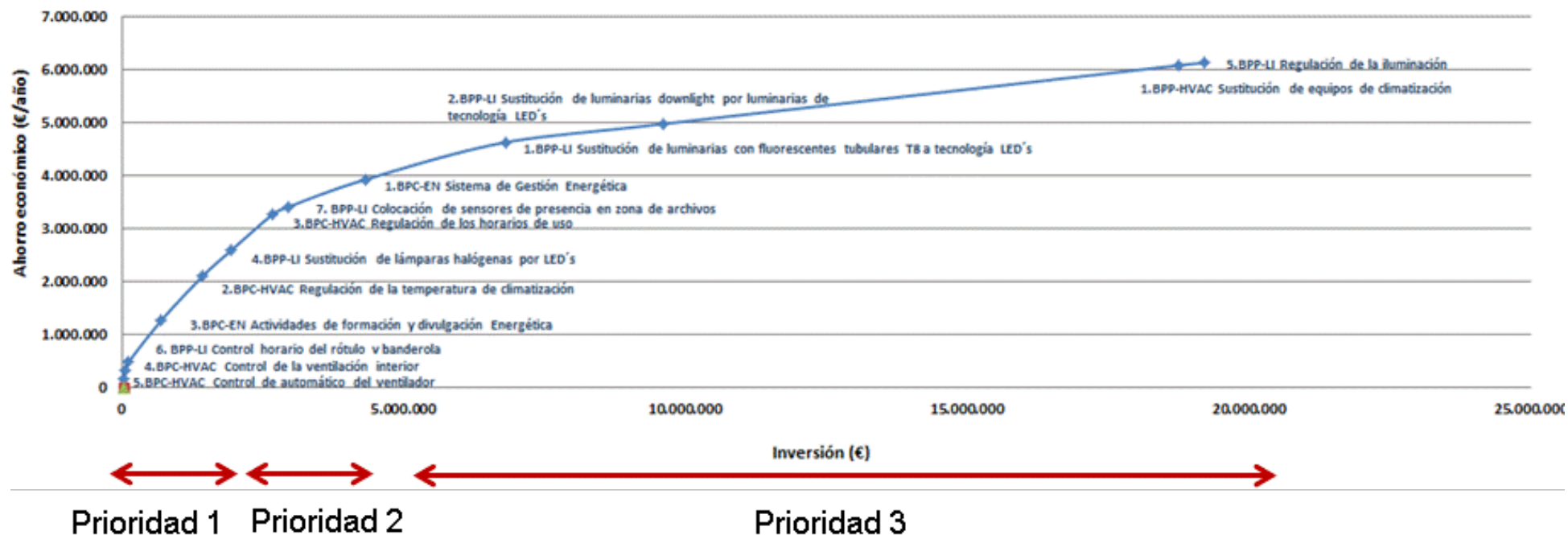
que se han extrapolado los resultados obtenidos en la evaluación de las sucursales de la muestra analizadas al resto de población.

De esta forma se ha obtenido para cada medida el potencial de ahorro e inversión global aproximado y con el conjunto de sucursales y medidas aplicables se ha definido el Plan de Acción. Se presenta este Plan de Acción dividido en dos grupos, ya que aunque se trata de entidades bancarias pertenecientes a un mismo grupo se trata de sucursales de diferentes empresas.

Valoración medidas de eficiencia energética propuestas						
Tipo de mejora	Nº	Medida propuesta	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Inversión (€)	Periodo de Retorno Simple (Años)
Mejoras en iluminación	1	1.BPP-LI Sustitución de luminarias con fluorescentes tubulares T8 a tecnología LED's	3.098.112	464.717	1.831.623	3,9
	2	2.BPP-LI Sustitución de luminarias downlight por luminarias de	5.863.121	879.468	6.911.730	7,9
	3	3.BPP-LI Sustitución de luminarias con PL 36 W por luminarias de	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
	4	4.BPP-LI Sustitución de lámparas halógenas por LED's	2.868.112	430.217	453.150	1,1
	5	5.BPP-LI Regulación de la iluminación	420.833	63.125	514.752	8,2
	6	6. BPP-LI Control horario del rótulo y banderola	825.258	123.789	100.456	0,8
	7	archivos	1.864.472	279.671	256.944	0,9
Mejoras en climatización	8	1.BPP-HVAC Sustitución de equipos de climatización	4.534.918	680.238	7.441.200	10,9
	9	2.BPC-HVAC Regulación de la temperatura de climatización	5.875.012	881.252	658.260	0,7
	10	3.BPC-HVAC Regulación de los horarios de uso	5.637.521	845.628	758.430	0,9
	11	4.BPC-HVAC Control de la ventilación interior	973.080	145.962	34.344	0,2
	12	5.BPC-HVAC Control de automático del ventilador	1.001.700	150.255	25.758	0,2
Mejoras en equipos ofimáticos	13	1.BPP-OF Adquisición de equipos más eficientes	PENDIENTES DE VALORAR			
	14	2.BPP-OF Disminución del consumo energético en Stand-by	PENDIENTES DE VALORAR			
Mejoras en contratos de electricidad	15	1. BPP-EN Optimización de potencia contratada	PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS			
	16	2.BPC-EN Compensación de Energía Reactiva	PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS			
	17	3.BPC-EN Discriminación horaria	PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS			
	18	4.BPC-EN Optimización de la potencia contratada	PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS			
Mejoras en gestión energética	19	1.BPC-EN Sistema de Gestión Energética	1.526.291	228.944	686.880	3,0
	20	2.BPC-BEM Revisión de consumos de energía. Cuadros de Mando	PENDIENTE DE VALORAR			
	21	3.BPC-EN Actividades de formación y divulgación Energética	6.654.763	998.214	572.400	0,6

Tabla 8: Resumen de medidas propuestas para el grupo 1 de entidades bancarias

Potencial de ahorro económico VS Inversión necesaria



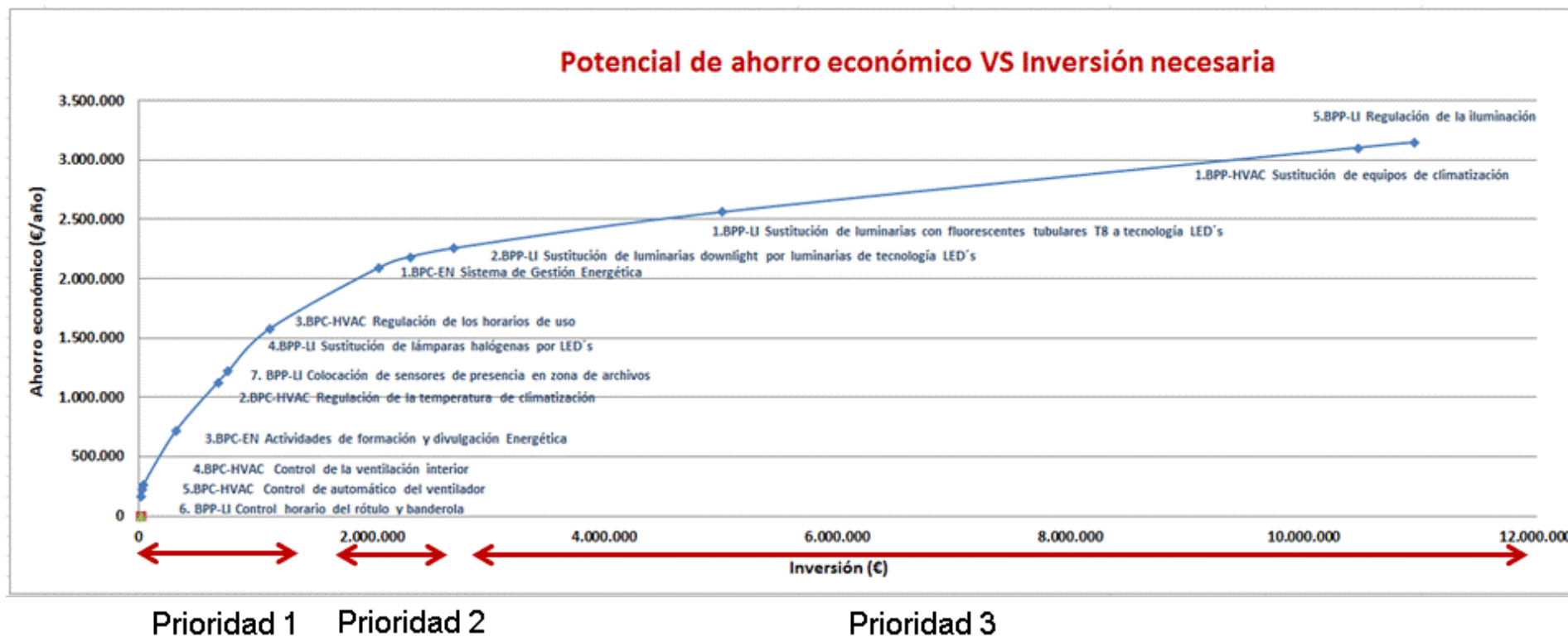
- Prioridad 1 → Medidas con retorno inferior a 1 año
- Prioridad 2 → Medidas con retorno de 1 a 3 años
- Prioridad 3 → Medidas con retorno superior a 3 años

Tabla 9: Potencial de ahorro del grupo 1 de sucursales vs inversión necesaria

2012/2013

Valoración medidas de eficiencia energética propuestas						
Tipo de mejora	Nº	Medida propuesta	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Inversión (€)	Periodo de Retorno Simple (Años)
Mejoras en iluminación	1	1.BPP-LI Sustitución de luminarias con fluorescentes tubulares T8 a tecnología LED's	2.030.842	304.626	2.303.302	7,6
	2	2.BPP-LI Sustitución de luminarias downlight por luminarias de tecnología LED's	476.403	71.460	369.576	5,2
	3	3.BPP-LI Sustitución de luminarias con PL 36 W por luminarias de tecnología LED's	3.617.904	542.686	5.457.443	10,1
	4	4.BPP-LI Sustitución de lámparas halógenas por LED's	2.401.418	360.213	359.893	1,0
	5	5.BPP-LI Regulación de la iluminación	299.347	44.902	479.717	10,7
	6	6. BPP-LI Control horario del rótulo y banderola	1.106.959	166.044	20.985	0,1
	7	7. BPP-LI Colocación de sensores de presencia en zona de archivos	597.653	89.648	83.940	0,9
Mejoras en climatización	8	1.BPP-HVAC Sustitución de equipos de climatización	2.171.080	325.662	4.197.000	12,9
	9	2.BPC-HVAC Regulación de la temperatura de climatización	2.746.830	412.025	363.740	0,9
	10	3.BPC-HVAC Regulación de los horarios de uso	3.414.632	512.195	931.734	1,8
	11	4.BPC-HVAC Control de la ventilación interior	237.830	35.675	8.394	0,2
	12	5.BPC-HVAC Control de automático del ventilador	419.700	62.955	8.394	0,1
Mejoras en equipos ofimáticos	13	1.BPP-OF Adquisición de equipos más eficientes		PENDIENTES DE VALORAR		
	14	2.BPP-OF Disminución del consumo energético en Stand-by		PENDIENTES DE VALORAR		
Mejoras en contratos de electricidad	15	1. BPP-EN Optimización de potencia contratada		PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS		
	16	2.BPC-EN Compensación de Energía Reactiva		PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS		
	17	3.BPC-EN Discriminación horaria		PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS		
	18	4.BPC-EN Optimización de la potencia contratada		PENDIENTES DE VALORAR POR FALTA DE DATOS		
Mejoras en gestión energética	19	1.BPC-EN Sistema de Gestión Energética	630.680	94.602	279.800	3,0
	20	2.BPC-BEM Revisión de consumos de energía. Cuadros de Mando		PENDIENTE DE VALORAR		
	21	3.BPC-EN Actividades de formación y divulgación Energética	3.028.472	454.271	279.800	0,6

Tabla 10: Resumen de medidas propuestas para el grupo 2 de entidades bancarias



Prioridad 1 → Medidas con retorno inferior a 1 año

Prioridad 2 → Medidas con retorno de 1 a 3 años

Prioridad 3 → Medidas con retorno superior a 3 años

Tabla 11: Potencial de ahorro del grupo 2 de sucursales vs inversión necesaria

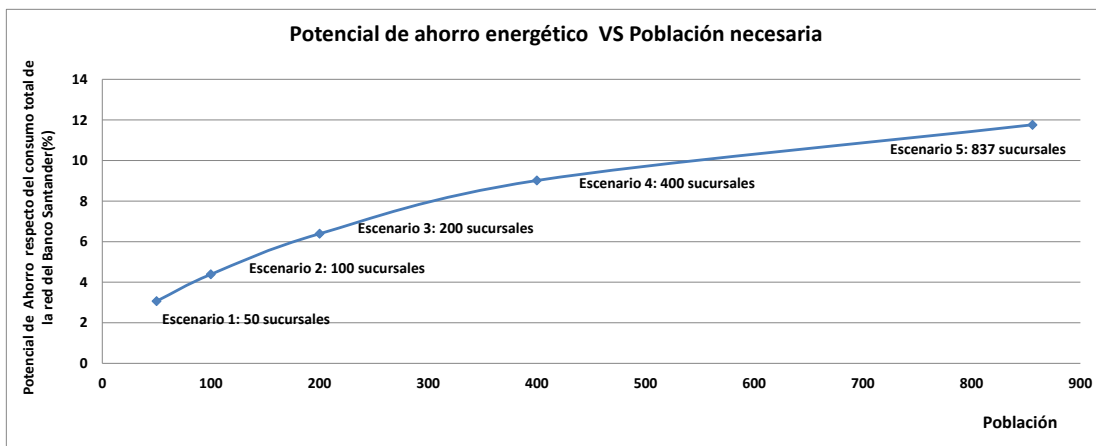
Con los datos anteriores se posee la información relativa a las medidas de ahorro energético a implantar, así como su ahorro e inversión para el conjunto de sucursales pero se desconoce aquellas prioritarias en su implantación. Es por ello que para detectar las sucursales donde actuar de forma planificada, la aplicación del modelo de regresión obtenido ha sido ampliada a toda la red de sucursales del Grupo Bancario permitiendo establecer la comparación entre los consumos de energía reales correspondientes al año 2012 y los obtenidos de la aplicación del modelo matemático propuesto.

La diferencia entre ambos valores es indicativo de un consumo superior a lo que una sucursal bancaria de sus características debe demandar y debe ser motivo de estudio particular.

Posteriormente se ha procedido a filtrar los resultados obtenidos a través de la clasificación de las sucursales por su porcentaje de desviación considerando únicamente aquellas que se desvían del consumo esperado al menos un 5 % al alza. Los valores calculados muestran el consumo de energía que una sucursal bancaria de similares características debería poseer, por lo que la desviación respecto de los valores reales, establece un punto de partida en donde comenzar a actuar en medidas de eficiencia energética.

Esta clasificación ha sido distribuida, creando un plan de actuación por paquetes de sucursales en las que actuar, definiendo 5 escenarios ordenados por su potencial de ahorro tal y como se muestra en la Figura 8.

Este ahorro corresponde a la diferencia entre el consumo de energía anual esperado y el consumo real de la sucursal. Cabe reseñar, que el potencial de ahorro energético ha sido restringido a un límite superior del 40 % correspondiente al máximo valor de potencial de ahorro identificado en las auditorías energéticas realizadas para el proceso de caracterización.



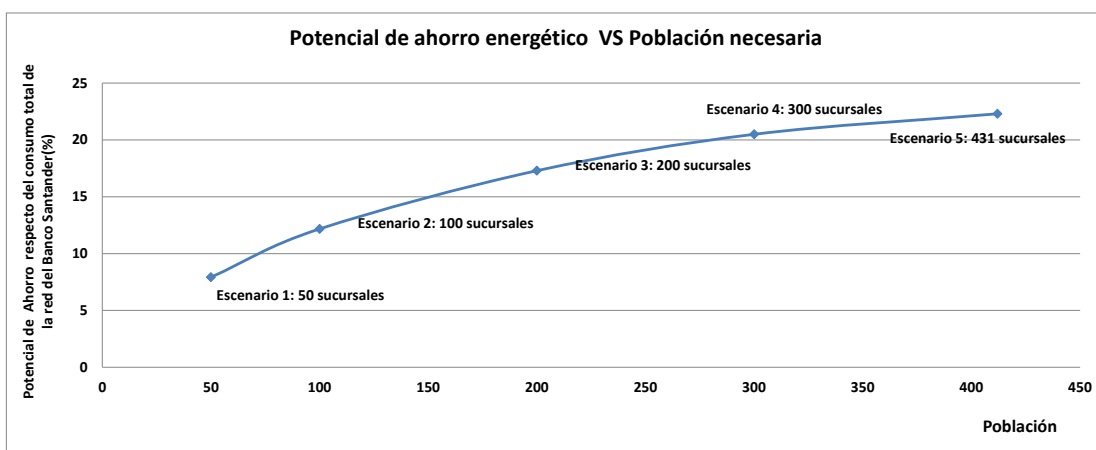


Figura 8. Plan de Actuación propuesto

CAPÍTULO 5- CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

El modelo de regresión se ha construido con la premisa de que las variables independientes a introducir en la ecuación no requieren mediciones experimentales, siendo el modelo propuesto en el presente proyecto el siguiente:

$$\text{Cons_ener} = 16308,048 - 4169,615 \text{ SC Ver} + 6549,692 \text{ Ncajeros} + 68,252 \text{ Sup_util} \text{ (ec.4)}$$

Observando la ecuación se deduce que el número de cajeros supone una aportación importante al consumo energético anual total de las sucursales (1.300-2.200 kWh/anuales), lo que conlleva que cuanto mayor número de cajeros existe mayor consumo se genera, lo cual está relacionado con el consumo eléctrico de estos equipos.

Por otro lado, cuanto más alta es la severidad climática de verano menor es el consumo energético en relación al consumo de climatización, la cual está relacionada con la radiación solar recibida en función de las cuatro zonas climáticas I-IV definidas por el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Por último, si la superficie a climatizar aumenta, el consumo de climatización tanto de calor como de frío se ve incrementado.

A continuación se realizan una serie de observaciones a tener en cuenta respecto al modelo obtenido.

- El modelo puede reducir la incertidumbre del valor de la variable respuesta en un 62,7 % en función de las variables independientes, frente al valor obtenido en estudios similares en los cuales la R^2 obtenida era 56,8% [25]. Existe todavía una incertidumbre del 37,3 %, que no se puede explicar con el modelo obtenido.
- La ecuación de regresión es válida en el rango de datos que determinan las variables independientes consideradas (sucursales con superficie entre 50 y 600 m² y consumos entre 100 y 1.000 kWh/año). Fuera de este rango no se asegura que los resultados sean satisfactorios.
- El modelo de regresión permite detectar posibles ineficiencias en el uso o estado de las instalaciones consumidoras de energía existentes en una sucursal bancaria si se observa una desviación importante del consumo total real frente al obtenido mediante la ecuación propuesta.

Además, del estudio de eficiencia energética realizado a las sucursales, se observa que en el total de sucursales bancarias analizadas la única fuente energética consumida es electricidad y fundamentalmente ésta es destinada al uso de climatización e iluminación, 30-61 % y 23-46 %, respectivamente. Estas conclusiones, han sido también identificadas en estudios similares [24].

Tras la valoración de las medidas de eficiencia energética propuestas para la totalidad de sucursales del Grupo Bancario, los resultados muestran que la inversión a realizar por el Grupo para la implementación de la totalidad de medidas propuestas sería de aproximadamente 36 millones de euros, el ahorro obtenido con la implementación de la totalidad de medidas propuestas 9,6 millones de euros al año calculándose un retorno medio de la inversión de aproximadamente 3,7 años.

En base a estos datos, la cantidad de energía ahorrada sería de 64 millones de kWh/año, obteniendo una reducción respecto al consumo en 2011 de un 35% aproximadamente.

Del estudio realizado también se desprende la necesidad de continuar los estudios de investigación destinados a la caracterización y mejora de la eficiencia energética de sucursales bancarias, dado su potencial de ahorro y la previsión del incremento del consumo energético de este sector en los próximos años.

A continuación se exponen futuras líneas de investigación que darían continuidad al trabajo realizado.

En primer lugar, se propone ampliar el estudio a instalaciones multipunto de otros sectores consumidores de energía.

Existe un número de instalaciones que por sus características ha quedado fuera del presente estudio. Por ejemplo, sería interesante el estudio de oficinas bancarias de gran superficie y consumo ya que aunque como se ha visto en el presente proyecto, en volumen representan el 1%, en consumo de energía representan el 46% del consumo del grupo Bancario analizado.

Así mismo, el modelo de regresión propuesto está realizado con 72 sucursales bancarias. Si este número se incrementase, el modelo obtenido tendría una R^2 superior aproximándose en mayor medida al consumo real de las instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dirección General de Industria, Energía y Minas., El buen uso de la energía. El recorrido de la energía. 2002.
2. U.S.Energy Information Administration, World Population Data Sheet, ed. P.R. Bureau2007.
3. Hernández, F., et al., Energy sustainability and global warming in Spain. Energy Policy, 2004. **32**(3): p. 383-394.
4. Kharseh, M. and L. Altorkmany, How global warming and building envelope will change buildings energy use in central Europe. Applied Energy, 2012. **97**(0): p. 999-1004.
5. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, La Energía en España2011.
6. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, 2011, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE): Madrid.
7. Subdirección General de Planificación Energética, Planificación de los sectores de electricidad y Gas 2008-2016. 2008.
8. Caccavelli, D. and H. Gugerli, TOBUS — a European diagnosis and decision-making tool for office building upgrading. Energy and Buildings, 2002. **34**(2): p. 113-119.
9. Pérez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout, A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 2008. **40**(3): p. 394-398.
10. Balaras, C.A., et al., Assessment of energy and natural resources conservation in office buildings using TOBUS. Energy and Buildings, 2002. **34**(2): p. 135-153.
11. Ministerio de la Presidencia., Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios., 2013: Boletín Oficial del Estado.
12. Aranda-Usón, A., et al., Energy consumption analysis of Spanish food and drink, textile, chemical and non-metallic mineral products sectors. Energy, 2012. **42**(1): p. 477-485.
13. Inglesi-Lotz, R. and J.N. Blignaut, South Africa's electricity consumption: A sectoral decomposition analysis. Applied Energy, 2011. **88**(12): p. 4779-4784.
14. Oğulata, R.T., Sectoral energy consumption in Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2002. **6**(5): p. 471-480.
15. Sonnino, T., Energy consumption in Israeli industry and agriculture. Energy, 1982. **7**(2): p. 221-230.
16. Chen, S., N. Li, and J. Guan, Research on statistical methodology to investigate energy consumption in public buildings sector in China. Energy Conversion and Management, 2008. **49**(8): p. 2152-2159.

17. Lam, T.N.T., et al., Impact of climate change on commercial sector air conditioning energy consumption in subtropical Hong Kong. *Applied Energy*, 2010. **87**(7): p. 2321-2327.
18. Nekrasova, O.A., An energy consumption forecast for the Soviet residential and commercial sector. *Energy Economics*, 1991. **13**(1): p. 10-18.
19. Jaber, J.O. and S.D. Probert, Purchased-energy consumptions in Jordan's commercial and public-service sector. *Applied Energy*, 2002. **71**(1): p. 31-43.
20. Salem Szklo, A., J. Borghetti Soares, and M.c. Tiomno Tolmasquim, Energy consumption indicators and CHP technical potential in the Brazilian hospital sector. *Energy Conversion and Management*, 2004. **45**(13-14): p. 2075-2091.
21. Ward, I., A. Ogbonna, and H. Altan, Sector review of UK higher education energy consumption. *Energy Policy*, 2008. **36**(8): p. 2939-2949.
22. Becken, S., C. Frampton, and D. Simmons, Energy consumption patterns in the accommodation sector—the New Zealand case. *Ecological Economics*, 2001. **39**(3): p. 371-386.
23. Mairet, N. and F. Decellas, Determinants of energy demand in the French service sector: A decomposition analysis. *Energy Policy*, 2009. **37**(7): p. 2734-2744.
24. Spyropoulos, G.N. and C.A. Balaras, Energy consumption and the potential of energy savings in Hellenic office buildings used as bank branches—A case study. *Energy and Buildings*, 2011. **43**(4): p. 770-778.
25. Aranda, A., et al., Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector. *Energy and Buildings*, 2012. **49**(0): p. 380-387.
26. Ang, B.W., A.R. Mu, and P. Zhou, Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends. *Energy Economics*, 2010. **32**(5): p. 1209-1219.
27. Bunse, K., et al., Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature. *Journal of Cleaner Production*, 2011. **19**(6-7): p. 667-679.
28. Abdelaziz, E.A., R. Saidur, and S. Mekhilef, A review on energy saving strategies in industrial sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011. **15**(1): p. 150-168.
29. Murphy, L., The influence of energy audits on the energy efficiency investments of private owner-occupied households in the Netherlands. *Energy Policy*, (0).
30. Kong, L., et al., Potential for reducing paper mill energy use and carbon dioxide emissions through plant-wide energy audits: A case study in China. *Applied Energy*, 2013. **102**(0): p. 1334-1342.
31. Gazi, A., G. Skevis, and M.A. Founti, Energy efficiency and environmental assessment of a typical marble quarry and processing plant. *Journal of Cleaner Production*, 2012. **32**(0): p. 10-21.

32. Klugman, S., M. Karlsson, and B. Moshfegh, A Scandinavian chemical wood pulp mill. Part 1. Energy audit aiming at efficiency measures. *Applied Energy*, 2007. **84**(3): p. 326-339.
33. Saidur, R. and S. Mekhilef, Energy use, energy savings and emission analysis in the Malaysian rubber producing industries. *Applied Energy*, 2010. **87**(8): p. 2746-2758.
34. UNE 216501. Auditorías Energéticas. Requisitos, 2009, AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
35. UNE-EN 16247-1 Auditorías energéticas. Requisitos Generales, 2012, AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
36. Parlamento Europeo y del Consejo, Directiva 2006/32/CE de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo, 2006.
37. Comunidad de Madrid, Guía de auditorías energéticas en el sector hotelero de la Comunidad de Madrid.
38. Dörr, M., S. Wahren, and T. Bauernhansl, Methodology for Energy Efficiency on Process Level. *Procedia CIRP*, 2013. **7**(0): p. 652-657.
39. Comunidad de Madrid, Guía Técnica de iluminación eficiente. Sector Residencial y Terciario 2006.
40. Comunidad de Madrid, Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos. 2007.
41. IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía), Guía Técnica de Eficiencia en Iluminación. Oficinas. 2001.
42. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas. 2008.
43. Mirando, I.E., Inferencia Estadística 2007, Universidad de Cadiz.
44. D.M Levine, P.P.R., R.K Smidt, Applied Statistics for engineers and scientists 2001, Prentice Hall.
45. D.C. Montgomery, E.A.P., C.G. Vining, Introduction to Linear Regression Analysis 2009.
46. Trivez, J., Introducción a la econometría'2000, Universidad de Zaragoza.
47. S. Fernández Fernández, J.M.C.S., A. Córdoba Largo, Estadística descriptiva'. Vol. 2ª edición. 2002.
48. Yeo, I.K., Variable selection and transformation in linear regression models 2005, Sookmyung Women's University.
49. N.R. Draper, H.S., Applied Regression Analysis'. Vol. 3rd edition. 1998, Wiley.
50. F. Beccacece, E.B., Functional ANOVA, ultramodularity and monotonicity: Applications in multivariate utility theory 2010, Department of Decision Sciences

- and ELEUSI Research Center, Boccony University. Milano Italy. *European Journal of Operational Research*.
51. Peña, D., *Regresión y Diseño de Experimentos*, ed. A.U. Textos2002.
 52. R. Kan, X.W., On the distribution of the sample autocorrelation coefficients, ed. *J.o. Econometrics*2010, University of Toronto.
 53. Montgomery, R., *Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería*. Vol. 2ª edición. 2007, Wiley.
 54. López, F.J.B., *Apuntes de Bioestadística*'2005, Departamento de Matemática Aplicada. Universidad de Málaga.
 55. Gravier, J., et al., The use of linear regression methods and Pearson's correlation matrix to identify mechanical–physical–chemical parameters controlling the micro-electrochemical behaviour of machined copper. *Corrosion Science*, 2008. **50**(10): p. 2885-2894.
 56. Myers, R.H., *Classical and Modern Regression with Applications*. Vol. 2nd edition. 1990, Duxbury.
 57. S. Chatterjee, A.S.H., B. Price, *Regression Analysis by Example*. Vol. 3rd edition. 2000, Wiley.
 58. Volterman, W. and N. Balakrishnan, Exact nonparametric confidence, prediction and tolerance intervals based on multi-sample Type-II right censored data. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 2010. **140**(11): p. 3306-3316.
 59. Deschepper, E., O. Thas, and J.P. Ottoy, Regional residual plots for assessing the fit of linear regression models. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2006. **50**(8): p. 1995-2013.
 60. Ministerio de Fomento, *Código Técnico de la Edificación*2006-2013.
 61. Jensen, D.R., Leverage and subset efficiencies in regression. *Statistical Methodology*, 2010. **7**(5): p. 541-551.
 62. Kim, C., Y. Lee, and B.U. Park, Cook's distance in local polynomial regression. *Statistics & Probability Letters*, 2001. **54**(1): p. 33-40.
 63. Lozano, M.A. and A. Valero, Theory of the exergetic cost. *Energy*, 1993. **18**(9): p. 939-960.
 64. Hartmann, P. and M. Reuter, Spearman's "Law of Diminishing Returns" tested with two methods. *Intelligence*, 2006. **34**(1): p. 47-62.
 65. Fogarty, G.J. and L. Stankov, Challenging the "law of diminishing returns". *Intelligence*, 1995. **21**(2): p. 157-174.



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Anexos

Caracterización del consumo de energía y potencial
de ahorro energético en el sector bancario español

Autor

M^a Pilar Andrés Bailón

Director

Ignacio Zabalza Bribián

Universidad de Zaragoza/Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año Académico 2012/2013

ANEXO I

Caracterización del consumo de energía y potencial de ahorro energético en el sector bancario español

2012/2013

Fecha: Mes Día

1.- GENERALIDADES Datos cuestionario inicial

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre:	
Entidad bancaria:	
Superficie total sucursal (m ²):	
Superficie iluminada (m ²):	
Superficie climatizada (m ²):	
Altura media del techo (m):	
Número de empleados (al medio del último año):	
Antigüedad del edificio o año de la última rehabilitación:	
Ubicación:	

PERSONA DE CONTACTO	
Nombre:	
Telefono:	
Fax:	
Email:	
Cargo:	
Dirección:	
Localidad:	
Provincia:	
CP:	

Horario de trabajo habitual					
		desde	a	desde	a
Dia de la semana	lunes				
	martes				
	miércoles				
	jueves				
	viernes				
sábado					

Total horas trabajo/ semana:

Semanas de trabajo habituales/año:

Horario de trabajo reducido					
		desde	a	desde	a
Dia de la semana	lunes				
	martes				
	miércoles				
	jueves				
	viernes				
sábado					

Total horas trabajo/ semana:

Semanas de trabajo reducidas/año:

Días de no ocupación por festividad para el año de referencia 2012:

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

CONTACTO RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO	
Nombre:	
Empresa:	
Telefono:	
Fax:	
Email:	
Cargo:	
Dirección:	
Localidad:	
Provincia:	
CP:	

1.2 DATOS GENERALES

¿Existe algún responsable de la gestión energética?

¿Existe algún responsable del mantenimiento del edificio?

¿Se realizan revisiones periódicas de mantenimiento?

1.3 DATOS CONSTRUCTIVOS

¿Tiene acristalamiento la fachada? En caso afirmativo, ¿qué porcentaje de acristalamiento?

Tipo de acristalamiento:	Orientación fachada principal:	Tipo de marco:	Porcentaje:

Tipo de puerta de entrada a la sucursal:

1.4 DATOS DE CONSUMO

Consumo eléctrico total (kWh/año)	Consumo térmico total (kWh/año)

¿Existen otros tipos de combustibles?

1.5 CONSUMO EN ILUMINACIÓN (kWh)

Tipo de lámpara	Ubicación	Número	Potencia (W)	Equipo auxiliar (Reactivancia)	Tipos de Lámparas	Potencia total (W)	Horas de uso semanales	Consumo (kWh/semana)
TOTAL								

TIPO		UBICACIÓN	

¿Existen sistemas de ahorro? Si lámparas de bajo consumo

¿Existe sectorización de la iluminación?

¿Existe un protocolo de encendido y apagado de los equipos?

¿Se realizan labores de limpieza y de mantenimiento?

1.6 CONSUMO EN CLIMATIZACIÓN (kWh)

Temperatura de consigna de verano:

Temperatura de consigna de invierno:

¿Existen sistemas de control de la temperatura?

¿Permite modificación por parte de los usuarios?

¿Existe un protocolo de encendido y apagado de los equipos?

Periodicidad de mantenimiento:

¿Existen cortinas o protecciones interiores?

¿Existen toldos o protecciones exteriores?

¿Existe la conexión de equipos calentadores o ventiladores?

En caso afirmativo, ¿permiten su sectorización?

Equipo de generación	Unidad Terminal	Antigüedad del equipo (años)	Potencia eléctrica (kW)	Ubicación	Rendimiento (η) o COP/EER	Horas de uso calefacción (h/año)	Horas de uso refrigeración (h/año)	Consumo (kWh/año)
TOTAL								

1.7 CONSUMO EQUIPOS OFIMÁTICA Y OTROS EQUIPOS (kWh)

Equipo	Número	Antigüedad (años)	Horas de uso al año (h/año)	Potencia (kW)	Consumo (kWh/año)
TOTAL					

Periodicidad de mantenimiento:

¿Se apagan completamente los equipos en horarios fuera de trabajo?

¿Incorporan funciones de ahorro de energía?

1.8 CONSUMO EN Agua Caliente Sanitaria

Equipo	Potencia (kW)	Horas de uso al año (h/año)	Consumo (kWh/año)

1.8 Otros consumos energéticos

Describir otros equipos cuyo consumo energético no se identifique dentro de los usos nombrados anteriormente