

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

---

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**Sección de Estudios de Posgrado e Investigación**

Metodología para Estimar los Potenciales  
de Ahorro de Energía Eléctrica  
e Impacto en la Demanda  
en Edificios No Residenciales

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PRESENTA**

**IVÁN ARCHUNDIA ARANDA**



México D.F. Junio de 2005

Confía en Jehová con todo tu corazón, y no te apoyes en tu propio entendimiento. En todos tus caminos tómallo en cuenta, y él mismo hará derechas tus sendas.

Proverbios 3:5,6

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Jehová Dios, por permitirme dar este paso en la vida.

A mis Padres, María Teresa y Raúl, por su amor, por su ejemplo e invaluable apoyo.

A mis hermanos, Israel y Diana, por su motivación.

Al Dr. Ricardo Mota Palomino, por dirigirme en la realización de este trabajo.

A los miembros de la Comisión Revisora: Dr. Daniel Olguín Salinas, Dr. Jaime Robles García, Dr. David Sebastián Baltazar, M. en C. Gilberto Enríquez Harper y M. en C. Jesús Reyes García, por sus valiosas observaciones y contribuciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico durante mis estudios de maestría.

Al Instituto Politécnico Nacional, por formarme profesionalmente.

Al Ing. Alex Ramírez Rivero, por sus consejos y aportaciones, imprescindibles para la realización de este trabajo.

A mis amigos: Ing. Miguel Ángel Ramírez Galán, M.I. Carlos Chávez Baeza e Ing. Azucena Escobedo Izquierdo, por compartir sus experiencias en el ámbito del ahorro de energía.

---

---

# **METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LOS POTENCIALES DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA E IMPACTO EN LA DEMANDA EN EDIFICIOS NO RESIDENCIALES**

## **RESUMEN**

Actualmente, las actividades que implican la vida moderna y el crecimiento de la población, ocasionan un consumo creciente de energía eléctrica, la cual es en su mayoría obtenida a partir de energías primarias no renovables, como aquellas derivadas de los hidrocarburos, que por otra parte, contribuyen drásticamente al deterioro del medio ambiente [H7, H8]. Sin embargo, la solución a los problemas de abastecimiento de energía eléctrica no se plantea desde el punto de vista de no consumir energía eléctrica o de no generarla, más bien, se plantea desde el punto de vista de un consumo óptimo y de la generación de energía eléctrica a partir de energías primarias renovables que no deterioren el medio ambiente. Es por tal motivo, que en las últimas décadas se ha dado un gran auge al desarrollo de programas que incentiven el consumo eficiente y racional de energía eléctrica, así como lo concerniente a la generación de energía a partir de fuentes alternativas, preferentemente no contaminantes, como el sol o el viento.

Es así, que el presente trabajo está enfocado al Uso Eficiente y Racional de la Energía Eléctrica, desde el punto de vista del usuario final, presentando una Metodología para estimar los Potenciales de Ahorro de Energía Eléctrica y sus respectivos Impactos en la Demanda en Edificios No Residenciales.

La Metodología Propuesta, está basada en tomar los criterios más convenientes de las metodologías utilizadas actualmente, clasificándolos de tal manera que sea posible incluirlos en un modelo, el cual es formulado bajo un esquema matricial. El Modelo Matricial Propuesto, permite obtener los impactos en consumo de energía y demanda a través de la comparación de los perfiles de carga, con y sin la aplicación de medidas correctivas.

Por otra parte, el Modelo Propuesto permite la inclusión de medidas que sean exclusivamente para administración de demanda, eliminando la práctica clásica de manejar las medidas para ahorro de energía y administración de la demanda en forma separada. Finalmente, el modelo también permite obtener en forma detallada el impacto neto de cada tipo de medida sobre el resultado final, así como los efectos mutuos entre ellas.

---

---

# **A METHODOLOGY FOR POTENTIAL ELECTRICAL ENERGY SAVINGS AND ITS IMPACT ON LOAD DEMAND ASSESSMENT FOR NON-RESIDENTIAL BUILDINGS**

## **ABSTRACT**

Now a days, modern life-style and the population rise, cause a growing electrical energy consumption, which is obtained from non-renewable primarily energy sources, like fossil fuel. However, the solution to this problem is not approached by stopping consumption and generation, instead the solution is focused on reaching an optimum and smartest consumption joined to generation from clean renewable primarily energy sources, like wind or sun.

That's why this work is focused on the efficient and smart consumption of electrical energy, paying attention to the final user viewpoint, by presenting a methodology that allows to assess the potential electrical energy savings and its impact on the load demand for non-residential buildings.

Making a gathering and classification on the more convenient existing criteria, the proposed methodology takes advantage from them in order to include them into one model that is formulated under a matrixial scheme, from which it is possible to obtain the net impact on energy consumption and load demand comparing the building load profiles, with and without corrective measures.

On the other hand, the proposed model allows to include such measures that just intend the load management. This way, the classical practice of handling separately the measures for getting energy savings and load management, is eliminated. Finally, the model allows to obtain in a disaggregated form the net and mutually impact of all kind of measures on the final results.

# ÍNDICE

	Pag.
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tablas	xiv
Glosario	xv
Simbología	xvi
<b>CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN -----</b>	<b>1</b>
1.1.- OBJETIVO	2
1.2.- JUSTIFICACIÓN	3
1.3.- APORTACIONES	6
1.4.- ANTECEDENTES	7
1.4.1.- Ámbito internacional	7
1.4.2.- La experiencia mexicana	10
1.5.-ESTRUCTURA DE LA TESIS	13
<b>CAPITULO 2.- ANTECEDENTES TEÓRICOS -----</b>	<b>14</b>
2.1.- EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	15
2.2.- PRINCIPALES USOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	16
2.2.1.- Energía mecánica	17
2.2.2.- Energía luminosa	17
2.2.3.- Energía calorífica	17
2.2.4.- Energía eléctrica	17
2.3.- DESGLOSE DE ENTRADAS Y CONSUMOS DE ENERGÍA	18
2.3.1.- Energía de entrada	19
2.3.1.1.- Abastecimiento externo	19
2.3.1.2.- Abastecimiento interno	19
2.3.2.- Pérdidas en procesos de conversión	19
2.3.3.- Energía de salida	20
2.3.3.1.- Energía utilizada necesaria	20
2.3.3.2.- Energía utilizada no necesaria	20
2.3.3.3.- Energía no utilizada	20
2.4.- ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA RACIONALIZAR LOS CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	21
2.4.1.- Uso eficiente	21
2.4.2.- Uso racional	22
2.4.3.- Autonomía energética	22
2.5.- ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA OTROS BENEFICIOS ECONÓMICOS	22
2.5.1.- Administración de la demanda	22
2.5.2.- Optimización del factor de potencia	23
2.6.- MEDIDAS ORIENTADAS AL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDUCCIÓN EN LA DEMANDA	23
2.6.1.- Medidas pasivas	24
2.6.1.1.- Aislamiento y eliminación de fugas	24
2.6.1.2.- Mantenimiento	24
2.6.1.3.- Optimización de procesos	25

	Pag.
2.6.1.4.- Reciclaje de energía interna	25
2.6.1.5.- Aprovechamiento de otras formas de energía	25
2.6.2.- Medidas activas	25
2.6.2.1.- Cambios en equipos	26
2.6.2.2.- Cambios en unidades instaladas	27
2.6.2.3.- Cambios en operación	28
2.6.2.4.- Generación convencional	30
2.6.2.5.- Cogeneración	30
2.6.2.6.- Generación Alternativa	30
2.7.- MEDIDAS ORIENTADAS A LA OBTENCIÓN DE OTROS BENEFICIOS ECONÓMICOS	31
2.8.- INTEGRACIÓN DE LAS MEDIDAS	31
2.9.- IMPACTO ECONÓMICO DE LAS MEDIDAS	32
2.9.1.- Cargo por consumo de energía	33
2.9.2.- Cargo por demanda	34
2.9.3.- Cargo por factor de potencia	34
2.9.4.- Cargo por medición en baja tensión	35
2.9.5.- Impuesto el valor agregado	35
2.9.6.- Derecho de alumbrado público	35
2.9.7.- Cargo total por energía y cargo total por demanda	36
<b>CAPITULO 3.-DESARROLLO ANALÍTICO DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA -----</b>	<b>39</b>
3.1.- DEFINICIONES Y CONVENCIONES	40
3.1.1.- Edificio no residencial	40
3.1.2.- Equipo de utilización	40
3.1.3.- Perfil de carga	40
3.1.4.- Caso actual	41
3.1.5.- Caso propuesto	41
3.1.6.- Sectores de consumo	41
3.2.- REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN Y ALCANCES	42
3.2.1.- Información necesaria	43
3.2.2.- Alcances	43
3.2.3.- Integración de medidas orientadas al ahorro de energía y reducción en la demanda	44
3.2.3.1.- Modelado simple del caso actual	44
3.2.3.2.- Modelado simple del caso propuesto	45
3.2.3.3.- Cambios en el consumo de energía	45
3.3.- DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	47
3.3.1.- Establecimiento del periodo de análisis	49
3.3.2.- Registro de parámetros eléctricos	49
3.3.3.- Establecimiento de sectores de consumo	50
3.3.4.- Censo y clasificación de equipos de utilización	51
3.3.5.- Análisis de equipos de utilización	52
3.3.6.- Análisis de facturaciones eléctricas	53
3.3.7.- Modelado del caso actual	53
3.3.7.1.- Vector de perfil de carga actual del inmueble	53
3.3.7.2.- Matriz de potencias actuales	55
3.3.7.3.- Matriz de equipos instalados actuales	55
3.3.7.4.- Matriz de operación actual	56
3.3.7.5.- Matriz de carga instalada actual	57

	Pag.
3.3.7.6.- Matriz de perfiles de carga actuales	58
3.3.7.7.- Vector de perfil de carga actual de los equipos involucrados	58
3.3.7.8.- Perfil de carga del sector de consumo constante	59
3.3.7.9.- Matriz de consumo de energía actual	59
3.3.7.10.- Consumo total actual del inmueble	60
3.3.8.- Elaboración de medidas de ahorro de energía eléctrica y reducción en la demanda	60
3.3.9.- Modelado del caso propuesto	61
3.3.9.1.- Matriz de potencias propuestas	61
3.3.9.2.- Matriz de equipos instalados propuestos	62
3.3.9.3.- Matriz de operación propuesta	63
3.3.9.4.- Matriz de carga instalada propuesta	64
3.3.9.5.- Matriz de perfiles de carga propuestos	65
3.3.9.6.- Vector de perfil de carga propuesto de los equipos involucrados	66
3.3.9.7.- Matriz de consumo de energía propuesto	66
3.3.9.8.- Consumo total propuesto del inmueble	67
3.3.9.9.- Vector de perfil de carga propuesto del inmueble	67
3.3.10.- Cambios en energía y demanda	67
3.3.10.1.- Ahorro potencial de energía eléctrica	69
3.3.10.2.- Reducción potencial en demanda	73
3.4.- RESUMEN	74
<b>CAPITULO 4.- SIMULACIÓN DE UN CASO HIPOTÉTICO -----</b>	<b>77</b>
4.1.- GENERALIDADES	78
4.2.- DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	78
4.2.1.- Establecimiento del periodo de análisis y registro de parámetros	78
4.2.2.- Establecimiento de sectores de consumo	80
4.2.3.- Censo, clasificación y análisis de equipos de utilización	80
4.2.4.- Modelado del caso actual	81
4.3.- ELABORACIÓN DE MEDIDAS ORIENTADAS AL AHORRO DE ENERGÍA Y DISMINUCIÓN EN DEMANDA	85
4.3.1.- Cambios en equipos	85
4.3.2.- Cambios en unidades instaladas	86
4.3.3.- Cambios en operación	86
4.4.- MODELADO DEL CASO PROPUESTO	86
4.5.- CAMBIOS EN ENERGÍA Y DEMANDA	89
<b>CAPITULO 5.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN CASO REAL -----</b>	<b>92</b>
5.1.- GENERALIDADES	93
5.1.1.-Análisis de facturaciones	93
5.1.2.- Registro de mediciones eléctricas	93
5.1.3.- Censo de sistemas de iluminación	95
5.2.- RESULTADOS OBTENIDOS POR LA FIRMA DE CONSULTORÍA	96
5.3.- RESULTADOS OBTENIDOS CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA	98
5.3.1.- Modelado del caso actual	100
5.3.2.- Modelado del caso propuesto	100
5.3.3.- Cambios en energía y demanda	101
5.4.- COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS	104



	Pag.
<b>CAPITULO. 6-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> -----	<b>106</b>
6.1.- CONCLUSIONES	107
6.2.- APORTACIONES	109
6.3.- RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	110
6.4.- RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	111
<b>REFERENCIAS</b> -----	<b>112</b>
Anexo-Tarifa HM -----	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Fig. 2.1.- Principales usos de la energía eléctrica	16
Fig. 2.2.- Entradas y salidas de energía	18
Fig. 2.3.- Medidas orientadas al ahorro de energía y reducción en demanda	23
Fig. 2.4.- Cambios en equipos	26
Fig. 2.5.- Cambios en unidades instaladas	28
Fig. 2.6.- Cambios en operación	29
Fig. 2.7.- Impacto e integración de medidas	38
Fig. 3.1.- Sectores de consumo	42
Fig. 3.2.- Desarrollo de la metodología propuesta	48
Fig. 3.3.- Periodo de análisis	49
Fig. 3.4.- Registro de parámetros eléctricos	50
Fig. 3.5.- Censo y clasificación de equipos	51
Fig. 3.6.- Modelado del caso actual	54
Fig. 3.7.- Modelado del caso propuesto	62
Fig. 3.8.- Cambios en energía y demanda	68
Fig. 3.9.- Desarrollo desglosado de la metodología propuesta	76
Fig.4.1.- Perfiles de carga-Caso actual	79
Fig.4.2.- Perfiles de carga actuales-total y equipos involucrados	91
Fig.4.3.- Perfiles de carga propuestos-total y equipos involucrados	91
Fig.4.4.- Comparación de perfiles de los equipos involucrados- actual y propuesto.	91
Fig.5.1.- Consumo histórico	94
Fig.5.2.- Demanda histórica	95
Fig.5.3.- Perfil de carga Semanal	95
Fig.5.4.-Perfiles de carga-caso actual	100
Fig.5.5.-Perfiles de carga-caso propuesto	101
Fig.5.6.- Comparación de perfiles	101
Fig. 5.7.- Ahorros propuestos	101
Fig.5.8.- Variación entre casos	103

---

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 4.1.- Registro de mediciones	79
Tabla 4.2.- Sectores de consumo (zonificación)	80
Tabla 4.3.- Censo, clasificación y análisis de equipos de utilización	81
Tabla 4.4.- Unidades fuera de servicio por zona	81
Tabla 4.5.- Matriz P-Potencias actuales	82
Tabla 4.6.- Matriz U-Equipos instalados actuales	82
Tabla 4.7.- Matriz H-Operación actual	82
Tabla 4.8.- Matriz C-Carga instalada actual	82
Tabla 4.9.- Matriz L transpuesta-Perfiles de carga actuales	83
Tabla 4.10.- Perfiles de carga de equipos involucrados, constante y total actuales.	84
Tabla 4.11.- Cambios propuestos en equipos	85
Tabla 4.12.- Matriz P'-Potencias propuestas	87
Tabla 4.13.- Matriz U'-Equipos instalados propuestos	87
Tabla 4.14.- Matriz H'-Operación propuesta	87
Tabla 4.15.- Matriz C'-Carga instalada propuesta	88
Tabla 4.16.- Matriz L' transpuesta-Perfiles de carga propuestos	88
Tabla 4.17.- Perfiles de carga de equipos involucrados, constante y total propuestos.	89
Tabla 4.18.- Cambios en energía	90
Tabla 4.19.- Cambios en demanda	90
Tabla 5.1.- Registro histórico de facturaciones eléctricas	94
Tabla 5.2.- Censo de sistemas de iluminación	96
Tabla 5.3.- Resultados obtenidos por la firma de consultoría	97
Tabla 5.4.- Zonificación y horarios de funcionamiento de los sistemas	99
Tabla 5.5.- Matriz U-Unidades instaladas actuales por zona	99
Tabla 5.6.- Resultados en consumos de energía- Metodología propuesta	103
Tabla 5.7.- Resultados en demandas- Metodología propuesta	103
Tabla 5.8.- Comparación de resultados entre metodologías	104

## GLOSARIO

Bulbo T12: Bulbo de las lámparas fluorescentes lineales con diámetro de 1.5 pulgadas.

Bulbo T8: Bulbo de las lámparas fluorescentes lineales con diámetro de 1 pulgada.

Bulbo MR: Bulbo de las lámparas incandescentes o fluorescentes compactas con reflector acabado en facetas múltiples.

Bulbo PAR: Bulbo de las lámparas incandescentes o fluorescentes compactas con reflector parabólico aluminado.

Factor de coincidencia: Relación entre la demanda máxima que presenta un sistema y las demandas máximas individuales de las cargas que componen dicho sistema, en cierto periodo de tiempo.

Factor de diversidad: Recíproco del factor de coincidencia.

---

## SIMBOLOGÍA

**LT:** Vector de perfil de carga actual del inmueble

**P:** Matriz de potencias actuales

**U:** Matriz de equipos instalados actuales

**H:** Matriz de operación actual

**C:** Matriz de carga instalada actual

**CT:** Carga instalada actual

**L:** Matriz de perfiles de carga actuales

**LS:** Vector de perfil de carga actual de equipos involucrados

**LC:** Vector de perfil de carga del sector de consumo constante

**E:** Matriz de consumo de energía actual

**t:** Intervalo de tiempo

**ET:** Consumo total actual del inmueble

**P':** Matriz de potencias propuestas

**U':** Matriz de equipos instalados propuestos

**H':** Matriz de operación propuesta

**C':** Matriz de carga instalada propuesta

**CT':** Carga instalada propuesta

**L':** Matriz de perfiles de carga propuestos

**LS':** Vector de perfil de carga propuesto de equipos involucrados

**E':** Matriz de consumo de energía propuesto

**ET':** Consumo total propuesto del inmueble

**LT':** Vector de perfil de carga propuesto del inmueble

**AE:** Ahorro potencial de energía

**RD:** Reducción potencial en demanda

**$\Delta E$ :** Matriz de cambios en el consumo de energía

**$\Delta P$ :** Matriz de cambios en potencias de equipos

**$\Delta U$ :** Matriz de cambios en unidades instaladas

**$\Delta H$ :** Matriz de cambios en operación

**AEP:** Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos

**AEU:** Potencial de ahorro de energía por Cambios en Unidades Instaladas

**AEH:** Potencial de ahorro de energía por Cambios en Operación

**AEPU:** Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos y Unidades Instaladas

**AEPH:** Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos y Operación

**AEUH:** Potencial de ahorro de energía por Cambios en Unidades Instaladas y Operación

**AEPUH:** Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos, Unidades Instaladas y Operación.

# **CAPITULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo contiene las generalidades del presente trabajo, las cuales son:

Objetivo

Justificación

Aportaciones

Antecedentes

Estructura de la Tesis

## **1.1-OBJETIVO**

El objetivo del presente trabajo, es desarrollar una Metodología para estimar los Potenciales de Ahorro de Energía Eléctrica e Impacto en la Demanda en Edificios No Residenciales, basada la formulación de una Herramienta Matemática que compare los perfiles de carga, con y sin las medidas correctivas, que pudieran aprovechar dichos Potenciales.

## 1.2-JUSTIFICACIÓN

Desde la década pasada, se han llevado a cabo en México, muchos proyectos de ahorro de energía que han arrojado resultados exitosos al aplicar principalmente las metodologías de la CONAE y recomendaciones del FIDE [B14, B15, C1-C3]. Sin embargo, se han detectado algunas barreras [G1] que son muy particulares de las instalaciones eléctricas de utilización en México, ya que las condiciones reales al llevar a cabo un diagnóstico energético son, en su mayoría, muy desfavorables. Esto debido a la carencia de información técnica, como planos eléctricos actualizados, bitácoras de mantenimiento y un amplio historial de las facturaciones eléctricas.

En el caso de los planos, la falta de información respecto a la topología del sistema eléctrico, impide el uso de técnicas, hoy en día bastante desarrolladas en el área de la ingeniería eléctrica, como la simulación de flujos de carga [A16]. Por otra parte, también repercute en el desconocimiento de puntos factibles de medición, los cuales en su caso, permiten obtener el comportamiento de parámetros eléctricos de interés y precisar la carga eléctrica demandada por cada transformador, tablero de distribución y línea, asumiendo que la mayoría de los sistemas son redes polifásicas, así como la forma de control de los equipos consumidores de energía eléctrica.

Respecto a las bitácoras de mantenimiento, estas serían de gran utilidad para estimar el grado de conservación de los equipos consumidores involucrados en el estudio y conocer algunos puntos relevantes de interconexión de nuevos equipos y ampliaciones o modificaciones en el sistema eléctrico que no pudieran aparecer en planos.



Por último, la poca información de la facturación eléctrica [G1], que en el mejor de los casos se logra obtener lo correspondiente a un año, impide obtener un comportamiento más confiable de los consumos de energía eléctrica y demandas. El contar con varios años completos de registros de facturación permitiría aplicar técnicas de pronóstico y conocer por separado las tendencias y los comportamientos estacionales.

Por otra parte, en un sistema eléctrico, y en el caso particular de los correspondientes a edificios no residenciales, se encuentran conectados diversos tipos de equipos de consumidores de energía. Estos equipos, debido a sus características físicas, son modelados matemáticamente en forma diferente unos de otros, inclusive aunque todos consumen energía eléctrica, forman parte de procesos donde intervienen especialistas de diversas disciplinas para determinar su comportamiento, lo cual repercute en que en la ejecución de un diagnóstico energético, no se pueda integrar el análisis individual de todos los tipos de equipos de utilización involucrados en el estudio, con el fin de obtener un solo modelo del sistema completo. Considérese por ejemplo, un diagnóstico energético en el cual se tiene como objetivo analizar los equipos de iluminación y aire acondicionado, donde la práctica común es analizar por separado cada sistema y no superponer sus efectos en cuanto a consumos de energía y contribución a la demanda se refiere, y mucho menos ver la interacción que tienen como la carga de enfriamiento que proporcionan los sistemas de iluminación a los de aire acondicionado [A9]. Ahora bien, cuando se realizan propuestas de racionalización de consumos de energía eléctrica, derivadas de un diagnóstico energético, por lo general se considera que el perfil de carga del sector de consumo en cuestión disminuye conservando sus proporciones como si dicha curva fuese multiplicada por una constante y estimar un factor de diversidad que contribuye a la disminución de la demanda máxima o facturable [B14, B15], según se trate o no de una tarifa horaria, lo cual no se cumple en la mayoría de los casos, y que es uno de los puntos que se tratan de demostrar en este trabajo.

Es por lo anterior que se tiene la necesidad de desarrollar Metodologías y Herramientas más elaboradas que permitan atacar estos problemas, permitiendo obtener resultados más confiables al obtener los Potenciales de Ahorro de Energía Eléctrica e Impacto en la Demanda en edificios No Residenciales, tomando en cuenta las situaciones reales en las que se encuentran la mayoría de las redes eléctricas de utilización en el país.

### **1.3-APORTACIONES**

1.- Se analiza ordenadamente las formas en que la energía eléctrica es obtenida y utilizada, identificando las áreas de oportunidad que permitan racionalizar sus consumos, así como aquellas otras áreas que ofrezcan beneficios económicos al usuario final.

2.- Desarrollo de un Modelo Matricial para estimar los potenciales de ahorro de Energía Eléctrica y Reducción en Demanda, el cual permite incluir bajo un solo esquema, todas las medidas correctivas consideradas. Las medidas que acepta dicho modelo pueden ser aquellas que tengan el propósito de racionalizar los consumos de energía, aquellas que sean para administración de la demanda o las que tengan ambos propósitos.

## **1.4-ANTECEDENTES**

En México, actualmente se están llevando a cabo diversos programas para incentivar el ahorro y uso racional de la energía eléctrica. Dichos programas son auspiciados por diversos organismos federales o privados. Por ejemplo, en el sector federal se tiene a la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). En el sector privado se tiene principalmente al Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) y las Compañías de Servicios Energéticos (ESCO, por sus siglas en inglés) [C4]. Todas las anteriores, ya sean de origen gubernamental o privado, persiguen un mismo objetivo, obtener ahorros de energía eléctrica, teniendo como resultados principales; la conservación de los recursos energéticos primarios y evitar incrementar la capacidad instalada en el sistema eléctrico nacional, en el caso de entidades gubernamentales, y en el caso de entidades privadas, remuneraciones económicas a través de estos ahorros.

Para lograr los beneficios que ofrece el ahorro de energía eléctrica, ha sido necesario desarrollar metodologías que permitan identificar las áreas de oportunidad para obtener dichos ahorros a través de la ejecución de diagnósticos energéticos. A continuación, se verán las contribuciones a estas áreas, haciendo una división clara en lo que respecta a la práctica internacional y a la experiencia mexicana.

### **1.4.1.-AMBITO INTERNACIONAL**

Actualmente en otros países, existe gran contribución al conocimiento para la realización de Diagnósticos Energéticos, cuya finalidad es la conservación de la energía y una adecuada administración de la demanda. Por ejemplo, en las prácticas recomendadas por la norma IEEE-739 [A1, A2], se abordan estos temas analizando en forma aislada los beneficios que ofrece una adecuada administración de la demanda, así como las disminuciones en los consumos de

energía eléctrica al implementar medidas en la aplicación, diseño y operación de equipos consumidores de energía, como también lo concerniente a los sistemas o procesos a los que pertenecen, inclusive, también aborda el tema de la cogeneración.

Dentro de las medidas consideradas para el manejo de la demanda, destacan aquellas que diversifiquen la operación de las cargas para conseguir disminuciones en la, o las, demandas máximas que presenta el sistema, así como aquellas que permitan reducir los costos de los consumos de energía, mencionando aquellas acciones que van desde la operación manual hasta aquellas que involucran controles automáticos que impiden la ocurrencia de los altos picos de demanda, utilizando técnicas de pronóstico. Respecto a las medidas consideradas para disminuir los consumos de energía, destacan el uso de motores, equipos de iluminación y transformadores de bajas pérdidas, como también su adecuado dimensionamiento, según el proceso o el sistema al que pertenezcan, aunado a prácticas óptimas de mantenimiento.

Otro aspecto importante a destacar de las normas del IEEE, son sus procedimientos de prueba para determinar las pérdidas, y por consiguiente la eficiencia, de motores de inducción y transformadores. En el caso de motores de inducción, la norma IEEE-112 [A4, A5] es reconocida como la norma que contiene los métodos de prueba oficiales en Estados Unidos para determinar la eficiencia en motores fuera de servicio [D1]. El inconveniente de aplicar dicha norma en la ejecución de un diagnóstico energético, es la complejidad que se presenta al tratarse de motores en servicio y que difícilmente pueden desacoplarse para evaluar sus parámetros. Este inconveniente ya ha sido atacado al desarrollar técnicas que permiten evaluar la eficiencia de motores de inducción en servicio, como las revisadas por Wallace y otros [A13], así como la metodología propuesta por El-Ibiary [A12].

Respecto a las pérdidas en transformadores, la norma IEEE C57.120 [A3] constituye una guía para su evaluación técnica y económica. Inclusive, la norma IEEE C57.110 [A6], determina la capacidad de los transformadores cuando alimentan cargas no lineales, evaluando las pérdidas en ellos.

Concerniente a los sistemas de iluminación, aunque la IEEE-739 aborda el tema, sus recomendaciones están fuertemente basadas en lo publicado por el IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) [F1], quien funge como líder mundial en la materia.

Algunos textos especializados, como los de Thuman [G3, G4], abordan el tema de los diagnósticos energéticos, conservación de la energía y administración de la demanda, en forma similar al estructurado por la IEEE-739.

Por otra parte, existen también algunos trabajos interesantes que han analizado el impacto que tiene la aplicación de medidas de ahorro de energía en iluminación con la carga de enfriamiento de los sistemas de acondicionamiento ambiental, como lo desarrollado por Franconi y Rubinstein [A9], y otros que estudian el impacto de las nuevas tecnologías en la calidad de la energía eléctrica, como el trabajo de Heydt [A10]. Existen también algunos trabajos donde exponen los resultados de programas de ahorro de energía, como los presentados por Wong y Lee [A7] en Honk Kong. Byrne y otros [A15] analizan la inclusión de sistemas fotovoltaicos con sistemas de almacenamiento por baterías en sistemas de edificios comerciales.

También existen otros trabajos importantes, los cuales se centran en el manejo de la demanda, como el presentado por Ashok y Banerjee [A11], donde proponen un método desarrollado con programación lineal entera para encontrar los ciclos óptimos de operación de equipos involucrados en procesos industriales, que

permitan mantener los índices de producción, aumentando la diversidad en la operación de dichos equipos.

Otras contribuciones, no menos importantes, son las recomendaciones emitidas por el Departamento de Energía de los Estados Unidos ( DOE, por sus siglas en ingles), abarcando una amplia diversidad de temas, que van desde la aplicación de equipos consumidores de alta eficiencia, hasta la cogeneración y uso de energías alternativas. Por otra parte, ha publicado protocolos de medición y verificación para determinar los ahorros reales e impacto en demanda cuando se llevan a la práctica medidas de ahorro y uso eficiente de energía eléctrica [E1-E3].

#### **1.4.2.-LA EXPERIENCIA MEXICANA**

Desde su creación en 1989, la CONAE ha fungido como órgano rector en materia de ahorro y uso eficiente de energía. A partir de 1996, ha desarrollado programas de impacto nacional con la meta de identificar los potenciales de ahorro de energía en inmuebles del sector público, para lo que ha tenido que desarrollar metodologías y herramientas que permitan estimar dichos potenciales. Dentro de las metodologías de la CONAE, destacan el Módulo de Iluminación en Inmuebles [C1] y la Metodología de Control de la Demanda [C3].

La Metodología de Iluminación en Inmuebles tiene ejecución bajo la coordinación de la CONAE y los operadores del Inmueble a través del llenado de una serie de formatos que contienen la información del historial de facturación de energía eléctrica, información general del inmueble como: horarios de operación, zonificación de áreas, censo de equipos de iluminación, así como su identificación de acuerdo a sus características técnicas. Posteriormente, toda la información de los formatos, recabada por los operadores del inmueble, es enviada a la CONAE para su evaluación y con los resultados obtenidos, proponen alternativas tecnológicas para conseguir racionalización en los consumos de energía, así como

la obtención de índices energéticos, como la densidad de potencia eléctrica por alumbrado (DPEA), cuyas unidades son  $W/m^2$ . La metodología ya ha sido aplicada en Edificios de la Administración Pública Federal, a través del programa Piloto *Cien Edificios Públicos*, detectando potenciales de ahorro de 19.0 GWh al año, que representan el 21.72% de la energía consumida por los inmuebles analizados, y una disminución de 3.5 MW en demanda máxima mensual. También se detectaron algunas barreras en la aplicación de esta metodología, como el nivel de preparación de los responsables de la recopilación para el llenado de los formatos y la obtención de un amplio historial de los consumos y demandas de los inmuebles, lo cual finalmente repercute en la veracidad de los resultados [G1].

Respecto a la Metodología para el Control de la Demanda, ésta opera bajo el mismo esquema que la anterior, mediante la coordinación de la CONAE y los operadores del inmueble. Esta metodología está dirigida principalmente a usuarios con servicios contratados en tarifa horaria en Mediana Tensión (HM) y tiene como objetivo disminuir el pico de demanda en periodo punta, bajo acciones como la desconexión de equipos cuya operación es coincidente con dicho periodo, así como desplazamientos en los periodos de operación de los mismos.

Otro aspecto importante a mencionar, es lo concerniente a la normatividad de eficiencia energética. La Secretaría de Energía, apoyada en la CONAE, ha emitido dos normas relacionada con los criterios de eficiencia energética en edificios no residenciales; una de estas está relacionada con los sistemas de iluminación, la NOM-ENER-007 [H2, H3], donde es evaluada la carga instalada de iluminación por unidad de área, y la NOM-ENER-008 [H4], aborda el tema de la envolvente de edificios no residenciales, con fines de reducir la ganancia de calor para abatir los consumos demandados por los sistemas de enfriamiento.

La difusión del FIDE, quien es un organismo de carácter privado, creado para fomentar el ahorro de energía eléctrica, ha sido sin duda otra contribución muy



importante, ya que ha emitido material que ha servido [B14, B15], junto con las metodologías de la CONAE, a la elaboración de metodologías que son aplicadas por consultores especialistas en el ramo. Entre estas contribuciones destaca la definición y clasificación de los diagnósticos energéticos según su alcance y grado de complejidad que se pretenda alcanzar, teniendo como resultado tres niveles de diagnósticos energéticos [B1].

Por otra parte, también pone a disposición del público interesado, una serie de fascículos que permiten obtener un conocimiento básico para detectar oportunidades de ahorro de energía y aplicar medidas que permitan aprovecharlas, como aquellas relacionadas con el diseño, operación y mantenimiento de equipos consumidores, así como los sistemas y procesos a los que pertenezcan [B1-B12].

Existen también otros trabajos que han estimado los potenciales de ahorros de energía y reducción en demanda basándose solamente en la evaluación del historial de los consumos y demandas [A8], lo cual parece no tener mucho fundamento ya que, como no existe diagnóstico previo, no se pueden identificar las áreas de oportunidad, precisamente porque no se conocen los sectores de consumo que ofrecen potenciales de ahorro y reducción en demanda.

Montaño [G2], de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME, elaboró una Metodología para desarrollar Programas de Ahorro de Energía, pero con el enfoque de la planeación de la expansión de los sistemas generadores. Dicha metodología está basada en los programas de Conservación de Energía y Administración de Carga (CEAC) modelados en la plataforma SUPER [G5] de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) en cooperación con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Aún así, los temas abordados en este trabajo, han contribuido para la cimentación del presente.

## **1.5.-ESTRUCTURA DE LA TESIS**

La Tesis consta de 6 capítulos, organizados de la forma siguiente:

En el capítulo 2, se analizan y clasifican los conceptos teóricos que permiten identificar las áreas de oportunidad para conseguir racionalización en consumos de energía eléctrica y demandas, así como las medidas correctivas que conduzcan a su aprovechamiento.

En el capítulo 3, se desarrolla analíticamente la Metodología Propuesta, incluyendo la aplicación de algunas de las medidas presentadas en el capítulo 2, con el soporte de una herramienta matricial, la cual obtiene en forma detallada el impacto de las medidas correctivas consideradas.

En el capítulo 4, se aplica la Metodología Propuesta a un caso hipotético, donde se aplican todas las medidas correctivas presentadas en el capítulo 3.

En el capítulo 5, se aplica la Metodología Propuesta a un caso real, donde se comparan los resultados obtenidos por una firma de consultoría con los obtenidos con la Metodología Propuesta.

En el capítulo 6, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

## CAPITULO 2

### ANTECEDENTES TEÓRICOS

Todo sistema en Ingeniería requiere un mínimo consumo de energía para llevarse a cabo. Cualquier incremento mas allá de este mínimo, requiere una evaluación de dicho sistema para determinar si existe alguna forma de minimizar dicho incremento. Esta mínima cantidad de energía es formalmente, el límite inferior de consumo, ya que en la realidad no existen sistemas físicos sin pérdidas de energía. De aquí, que se hace necesario desarrollar y aplicar herramientas que permitan evaluar las pérdidas de energía en los procesos de conversión para determinar si existen alternativas que consigan minimizarlas, así como lo concerniente a obtener un buen aprovechamiento de la energía obtenida como producto final. Al conjunto de técnicas que permiten alcanzar estos objetivos se le conoce como *Diagnóstico Energético* [A2].

## 2.1- EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Según el FIDE [B1], el Diagnóstico Energético, es *“La aplicación de un conjunto de Técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con que la energía es utilizada. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implementación y control de un programa de Ahorro de Energía, ya que se determina dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada”*.

Wong y Lee [A7] se refieren al diagnóstico energético como una actividad similar a una auditoria contable, y la definen como el proceso de examinar una cantidad de energía, analizar la forma en que esta es usada e identificar las áreas donde su desperdicio pueda ser minimizado.

Desde el punto de vista del usuario de energía eléctrica, el objetivo principal de los Diagnósticos Energéticos, cuando se aplican a sistemas de utilización, es el de reducir los costos que implican los consumos de energía eléctrica a través la racionalización de los mismos y otros cargos impuestos por los suministradores, como los cargos por demanda y factor de potencia. Así, para fines de este trabajo, se define al Diagnóstico Energético, y particularmente para la energía en forma de electricidad, como *“El conjunto de técnicas que permiten tener una base para ejecutar medidas que minimicen los costos ocasionados por consumir energía eléctrica, valiéndose de un mejor aprovechamiento de aquellas formas de energía relacionadas con su consumo”*.

Explícitamente, la definición anterior implica lo siguiente:

- 1.-Determinar la eficiencia de los procesos de conversión a los cuales la energía eléctrica es sometida, y si fuera posible, elevarla.

2.-Determinar si la energía obtenida de los procesos de conversión es utilizada convenientemente, e inclusive, si se puede minimizar este consumo.

3.-Determinar si se pueden aprovechar otras formas de energía que sustituyan algunos procesos de conversión.

4.-Determinar si se pueden aprovechar algunas formas de energía para obtener energía eléctrica.

5.-Buscar otras alternativas que permitan minimizar los costos ocasionados por consumir energía eléctrica.

## 2.2- PRINCIPALES USOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Los usos más comunes que se le dan a la energía eléctrica se pueden dividir en cuatro categorías, atendiendo al tipo de energía en la cual se tenga por objetivo convertirla. Estas categorías se ilustran en la figura 2.1, y se detallan a continuación.

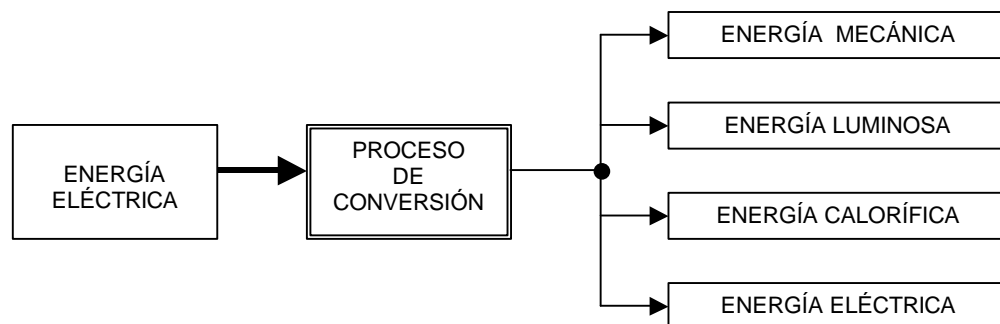


Figura 2.1- Principales usos de la Energía Eléctrica

### **2.2.1. -Energía Mecánica [A1, A2, B6,B7,D1]**

En esta categoría se encuentran aquellos equipos cuya aplicación es proporcionar fuerza motriz a procesos que la requieren, como por ejemplo: sistemas de ventilación, bombeo, compresión y prensado, solo por mencionar algunos. Normalmente, el tipo de equipo más numeroso en esta categoría es el motor eléctrico, pudiendo también figurar los equipos que utilizan la energía de un campo magnético para efectuar algún trabajo mecánico, como las grúas y los equipos de levitación magnética.

### **2.2.2.-Energía Luminosa [A1,A2, F1]**

Dentro de esta categoría se encuentran aquellos equipos que son diseñados para proporcionar energía luminosa, ya sea visible o no al ojo humano. Los dos tipos más comunes de obtener energía luminosa a partir de energía eléctrica son la incandescencia y la descarga en gas.

### **2.2.3.-Energía Calorífica [A1,A2]**

En esta categoría se incluyen todos aquellos equipos cuyo proceso de conversión de energía está enfocado en la obtención de calor. Algunas de las aplicaciones más comunes en esta categoría son aquellos equipos involucrados en fundición y soldadura, como los hornos de arco y las máquinas de soldar, y por otra parte los equipos involucrados en calefacción de ambientes, normalmente a base de resistencias.

### **2.2.4.-Energía Eléctrica [A1,A2,A3]**

Aunque la energía eléctrica, por lo general, no se usa como tal en alguna aplicación práctica, es necesario el uso de equipos que transformen las

características de la misma, valiéndose de algún proceso de conversión de energía. Tal es el caso de los transformadores, en los cuales tiene lugar la transformación de las características de tensión de la energía eléctrica, razón por la cual es necesario incluirla como una categoría.

### 2.3.- DESGLOSE DE LAS ENTRADAS Y CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA [A1,A2]

Para tener una base que permita detectar las áreas de oportunidad y conseguir la racionalización en los consumos de energía y demanda, es necesario analizar las formas en que la energía eléctrica es obtenida y utilizada para llevar a cabo las tareas y los procesos llevados a cabo en los inmuebles. Para esto, considérese la figura 2.2, en la cual se observan la energía de entrada, a través de sus componentes, las pérdidas por procesos de conversión de energía y la energía de salida, también a través de sus componentes.

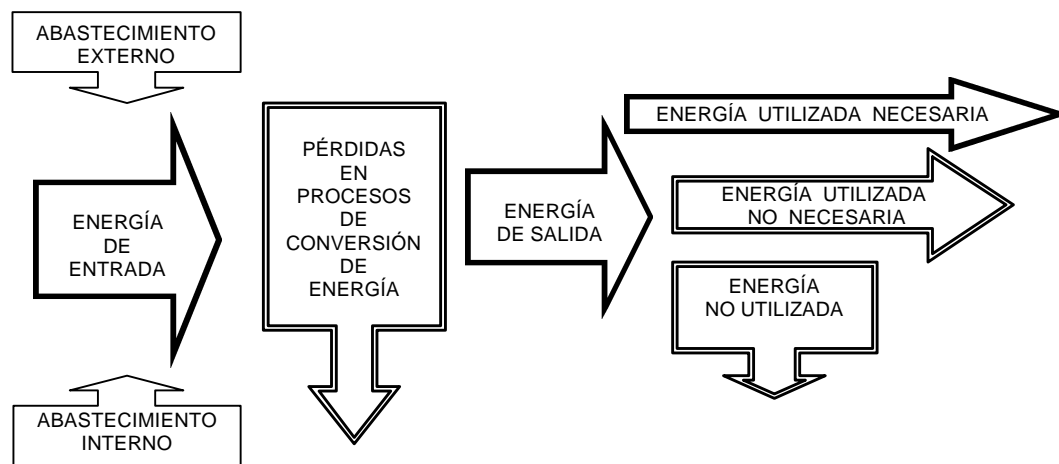


Figura 2.2- Entradas y Salidas de Energía

### **2.3.1.-Energía de Entrada**

La energía de entrada es la totalidad de la energía eléctrica que es consumida por todos los equipos consumidores, y de acuerdo con su forma de obtención, se puede dividir en abastecimiento externo y abastecimiento interno.

#### **2.3.1.1-Abastecimiento Externo**

El abastecimiento externo está constituido por la energía que es obtenida a través de un suministrador, el cual pone a disposición del usuario una diferencia de potencial por medio de un punto de acoplamiento, conocido comúnmente como acometida. La cuantificación de esta energía se lleva a cabo con la ayuda de instrumentos de medición de energía, y los cargos por el servicio de suministro están en función del tipo de contrato celebrado entre el consumidor y el suministrador, siendo los más comunes los cargos por energía activa, cargos por demanda y por factor de potencia [1].

#### **2.3.1.2.-Abastecimiento Interno [C3, H5, H6]**

El abastecimiento interno lo constituye la energía que es provista propiamente por el usuario mismo y constituye toda la energía eléctrica que es generada bajo sus propios recursos.

### **2.3.2.-Pérdidas en Procesos de Conversión [A1,A2]**

Las pérdidas en procesos de conversión son aquellas pérdidas inherentes a todo sistema físico en el que se llevan a cabo procesos de conversión de energía. Dentro de estas pérdidas se encuentran todas aquellas formas de energía las cuales no son aprovechadas para el fin en que fue diseñado el proceso en cuestión, siendo las más comunes las pérdidas por calor y por fricción.



### **2.3.3.-Energía de Salida [A1,A2]**

La energía de salida es la diferencia entre la energía de entrada y la energía pérdida en los procesos de conversión, resultando en la energía que puede ser aprovechada para algún fin en específico. Esta energía, aunque se podría decir que es energía útil, es necesario clasificarla de acuerdo al uso que se le da, prestando especial atención en si es utilizada adecuadamente o no, e inclusive, si fuese posible prescindir de ella. Es así, que la Energía de Salida se divide en tres componentes: Energía Utilizada Necesaria, Energía Utilizada No Necesaria y Energía No Utilizada.

#### **2.3.3.1.-Energía utilizada necesaria**

Esta energía, es aquella cantidad necesaria para llevar a cabo las tareas y procesos que tienen lugar en los inmuebles, sin menoscabo en la calidad de dichas tareas y procesos.

#### **2.3.3.2.-Energía utilizada no necesaria**

Esta cantidad de energía es aquella que es aprovechada en las tareas y procesos llevados a cabo en los inmuebles, y que es susceptible de ser minimizada o eliminada, no alterando en ninguna forma el desempeño de las tareas y los procesos antes mencionados.

#### **2.3.3.3.-Energía no Utilizada**

Este bloque de energía es aquel que no forma parte en las tareas y procesos llevados a cabo en los inmuebles y que es desperdiciada totalmente, es decir, es aquella energía que es usada en forma irracional, ya que su consumo puede ser

eliminado totalmente sin ninguna alteración en la calidad de las tareas y los procesos que tienen lugar en los inmuebles.

## **2.4.- ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA RACIONALIZAR LOS CONSUMOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA [A1,A2]**

Las áreas de oportunidad para conseguir racionalización en los consumos de energía, pueden determinarse después de analizar las formas en las cuales la energía es obtenida y consumida. Para fines de este trabajo, todas estas áreas de oportunidad son aquellas que contribuyan a la minimización del abastecimiento externo, perteneciente a la energía de entrada, lo cual repercute en beneficios económicos percibidos por el usuario de la energía. Según el apartado anterior, la única componente de la energía de salida que se torna realmente imprescindible es la *Energía Utilizada Necesaria*, dando pie a fijar la atención sobre los bloques restantes posteriores a la energía de salida, y por otra parte, el abastecimiento interno, el cual aparte de ofrecer también incentivos económicos al usuario puede ofrecer en algunos beneficios ecológicos de tipo social, y las pérdidas en procesos de conversión. Concretamente, las tres áreas de oportunidad que permiten obtener dicha racionalización son el uso eficiente, el uso racional y la autonomía energética, las cuales se describen a continuación.

### **2.4.1.-Uso Eficiente**

El uso eficiente de la energía está enfocado en aprovechar la mayor parte de la energía de entrada como producto final, de acuerdo a los fines para los cuales esta es consumida. Concretamente, el uso eficiente está enfocado a minimizar las pérdidas *En Procesos de Conversión de Energía* y la energía de *Salida Utilizada No Necesaria*.

### **2.4.2.-Uso Racional**

El uso racional de la energía se refiere a usar la energía con raciocinio, teniendo como objetivo eliminar los desperdicios deliberados de esta. Esta área de oportunidad tiene como objetivo eliminar la *Energía No Utilizada*, perteneciente a la energía de salida.

### **2.4.3.-Autonomía Energética [A15, E12]**

La autonomía energética tiene por objetivo incrementar el *Abastecimiento Interno*, en cualquiera de sus formas, con el fin de minimizar la adquisición de energía por medio del suministrador, siempre y cuando los costos por producir energía eléctrica con recursos propios, sean atractivos en comparación con los cargos impuestos por el suministrador.

## **2.5.-AREAS DE OPORTUNIDAD PARA OTROS BENEFICIOS ECONÓMICOS**

Existen otras dos áreas de oportunidad para obtener beneficios económicos ocasionados por consumir energía eléctrica, la administración de la demanda y la optimización del factor de potencia.

### **2.5.1.-Administración de la Demanda [A1,A2,A11]**

La administración de la demanda tiene por objetivo aumentar la diversidad entre los ciclos de operación de los equipos consumidores de energía, con la finalidad de reducir los valores máximos que se pudieran presentar en el perfil de carga de la potencia activa correspondiente a la energía obtenida a través del abastecimiento externo, y que repercute directamente en altos cargos económicos, así como implementar estrategias de operación para minimizar los costos por consumo de energía.

### 2.5.2.-Optimización del Factor de Potencia [B4,E9]

La optimización del factor de potencia, repercute directamente sobre la energía reactiva que es obtenida del suministrador, ya que existe la posibilidad de generar reactivos dentro de las instalaciones del usuario, obteniendo con esto, beneficios económicos al eliminar los cargos por este rubro.

### 2.6- MEDIDAS ORIENTADAS AL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDUCCIÓN EN LA DEMANDA

Aunque las oportunidades para la racionalización de los consumos de energía y reducción de la demanda se consideraron por separado en los apartados anteriores, las medidas que permiten lograr estos objetivos están fuertemente ligadas debido a que modifican el perfil de carga de la potencia activa obtenida por medio del *Abastecimiento Externo*, y por esa razón se incluyen dentro de una sola clasificación, como puede apreciarse en la figura 2.3

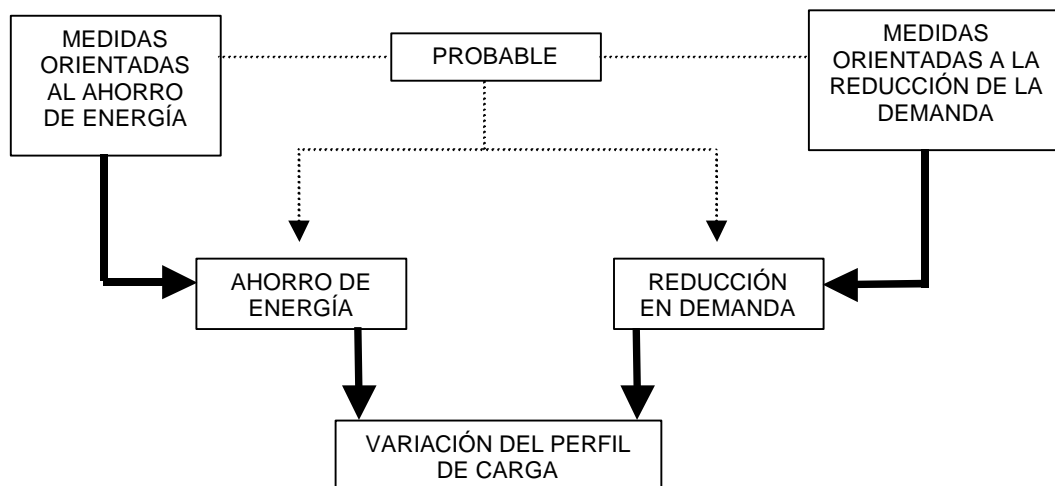


Figura 2.3- Medidas Orientadas al Ahorro de Energía y Reducción en Demanda

Dichas medidas se dividen en dos grandes grupos, Medidas Pasivas y Medidas Activas, los cuales se diferencian sobre si actúan o no directamente sobre los equipos que consumen o generan energía eléctrica.

### **2.6.1.-Medidas Pasivas**

Las Medidas Pasivas son aquellas que inciden en forma indirecta sobre los equipos que consumen y generan energía eléctrica. Estas medidas repercuten directamente sobre las necesidades de consumo de energía, minimizando la componente de la *Energía Utilizada No Necesaria*, teniendo entre las más importantes, las que se describen a continuación.

#### **2.6.1.1.-Aislamiento y Eliminación de Fugas [A1,A9,B10,B11,B13,E10,E11,H4]**

El Aislamiento, constituye una medida de minimizar las transferencias de energía calorífica no deseadas, dando como resultado un control sobre las ganancias o pérdidas de esta energía. En el caso de la eliminación de fugas, estas consisten en erradicar o minimizar las fugas de fluidos que son transportados en algún proceso.

#### **2.6.1.2.-Mantenimiento [A1,A2]**

El mantenimiento consiste en las acciones que contribuyen a la conservación de los equipos consumidores, equipos generadores y procesos a lo largo de su vida útil, y que tienen como finalidad principal mantenerlos cerca de sus parámetros de diseño. Dentro de las acciones de mantenimiento se excluyen aquellas que apliquen directamente al Aislamiento y Eliminación de Fugas.

### **2.6.1.3.-Optimización de Procesos [A1,A2,A11,E6]**

Estas acciones tienen que ver con las partes que integran un proceso y normalmente, involucran a los tipos de energía, las materias primas y la forma en que estos interactúan. En todo caso, el objetivo es minimizar el consumo de energía de dicho proceso, igualando o mejorando el producto final de este. Es otras palabras, tiene que ver con el diseño de los procesos.

### **2.6.1.4.-Reciclaje de Energía Interna [A1,A2]**

Consiste en reutilizar la energía que normalmente es desechada en un proceso, y que puede servir para realizar trabajos adicionales.

### **2.6.1.5.-Aprovechamiento de otras formas de energía externa. [A1,A2,F1]**

El aprovechamiento de otras formas de energía externa se refiere a utilizar directamente otras formas de energía en sustitución de algún proceso de conversión de energía eléctrica.

## **2.6.2.-Medidas Activas**

Las Medidas Activas son aquellas que inciden en forma directa sobre los equipos que consumen y generan energía eléctrica. Estas medidas repercuten directamente sobre los consumos de energía, minimizando las *Pérdidas en Procesos de Conversión*, minimizando o eliminando la componente de la *Energía no Utilizada* e incrementando el *Abastecimiento Interno*, pudiendo también, actuar directamente, sobre la disminución en las demandas. Dentro de las medidas más importantes se encuentran las siguientes:

### 2.6.2.1.-Cambios en Equipos. [C1, E4, E5, E8]

Esta medida tiene una repercusión directa sobre la energía que consumen los equipos de utilización, pudiendo ser originada bajo uno o alguna combinación de los siguientes criterios.

- **Redimensionamiento**

Consiste en el reemplazo total o parcial de equipos de utilización, por otros equipos o componentes, cuya finalidad es un dimensionamiento mas adecuado de acuerdo al trabajo que estos desempeñen.

- **Cambios Tecnológicos**

Consiste en el reemplazo total o parcial de equipos de utilización, por otros equipos o componentes, cuya finalidad sea obtener una mayor eficiencia en el trabajo que estos desempeñen, un menor consumo de energía o una combinación de estos.

Generalmente, el redimensionamiento puede ser afectado posteriormente por un cambio de tecnología, pero no en sentido inverso, como se ilustra en la figura 2.4.

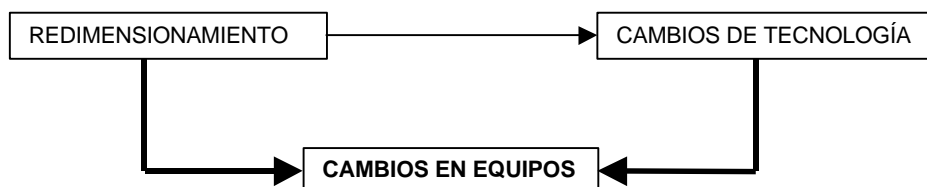


Figura 2.4 - Cambios en Equipos

### **2.6.2.2.-Cambios en Unidades Instaladas**

Los cambios en unidades instaladas repercuten directamente en el número de equipos de utilización que tienen probabilidad de consumir energía eléctrica debido a que afectan el número de unidades instaladas. Estos cambios pueden ser originados por alguna de las siguientes causas:

- **Retiro de Equipos en Operación**

Consiste en retirar de la carga instalada aquellos equipos cuya operación se considera no necesaria.

- **Rehabilitación de Equipos**

Consiste en reincorporar la operación de equipos que se encuentran fuera de servicio.

- **Como una consecuencia de Redimensionamientos de Equipos.**

Consiste en agregar o eliminar equipos, como una consecuencia de decisiones tomadas en el criterio de redimensionamiento de la medida de Cambio de Equipos.

En los casos de la rehabilitación de equipos y lo que resulte como una consecuencia de Redimensionamiento de equipos, probablemente presenten un incremento en los consumos de energía eléctrica y demandas, sin embargo, la viabilidad de estas decisiones quedará determinada en el impacto de todas las medidas sobre la totalidad de los equipos involucrados en el estudio. La figura 2.5 ilustra la relación entre los criterios de la medida de cambios en unidades instaladas.



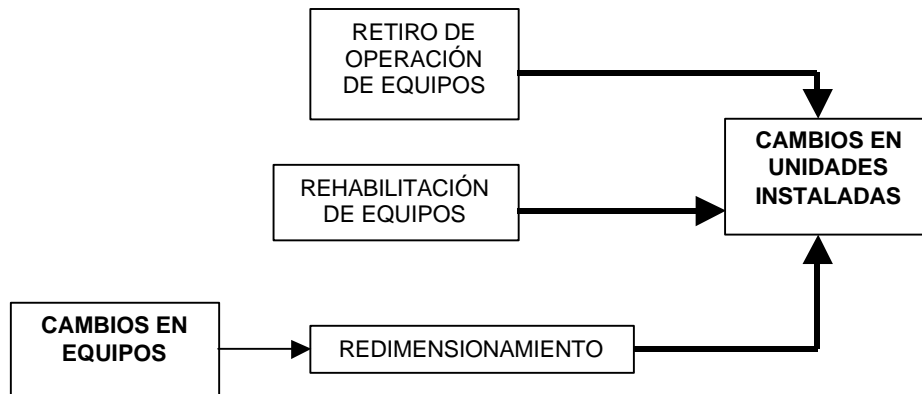


Figura 2.5-Cambios en Unidades Instaladas

### 2.6.2.3.-Cambios en Operación [A14, C1, C3, B8]

Los cambios en operación consisten en variar los patrones de funcionamiento de los equipos de utilización a través del tiempo. Dichos cambios pueden consistir en algunas de las siguientes acciones.

- **Cambios en el número de horas de operación de los equipos**

Resultan en variar el número de horas que operan los equipos. Normalmente, estos cambios tienen lugar cuando los equipos operan en vacío, cuando su operación no es necesaria en determinados intervalos de tiempo o por una reducción de las necesidades de consumo.

- **Desplazamiento en periodos de operación de equipos**

Normalmente, esta es una de las medidas más comunes que se toman para reducir la demanda, y consiste básicamente en desplazar la operación de los equipos a lo largo de un periodo con la finalidad de aumentar la diversidad del

sistema, repercutiendo directamente en la disminución de picos en la curva de demanda y/o en los costos por consumo de energía.

- **Variaciones en la capacidad de operación de equipos con relación a sus valores nominales**

Consiste en operar los equipos a valores diferentes de los nominales, ya sean menores o mayores. Normalmente, estas variaciones pueden resultar como una consecuencia de la reducción en las necesidades de consumo o por operar equipos a valores mayores que los nominales, siempre y cuando estén diseñados para tal fin.

Estos tres criterios pueden darse en forma simultánea, dando como resultado los cambios en operación, como se ilustra en la figura 2.6.

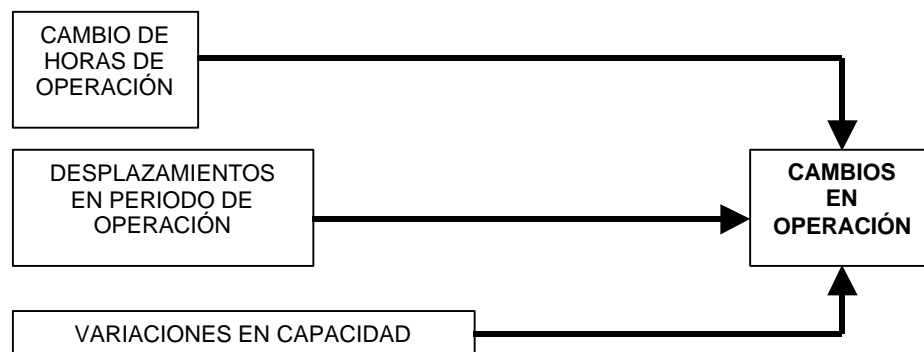


Figura 2.6-Cambios en Operación

#### **2.6.2.4.-Generación convencional<sup>2</sup> [C3]**

La generación convencional es la forma de generar energía eléctrica a través de energías primarias, normalmente no renovables y altamente disponibles, como aquellos derivados de los hidrocarburos. En este rubro se encuentran principalmente los generadores que son impulsados por motores de combustión interna, a base de diesel y gasolina, y que normalmente forman parte de los sistemas de emergencia. Debido a su alta disponibilidad, este tipo de generación ofrece la característica de que su despacho puede ser planeado, razón por la cual, tiene aplicación como una alternativa para reducir la demanda.

#### **2.6.2.5.-Cogeneración [A1,A2]**

La cogeneración, aunque pudiera catalogarse como un medio de generación convencional, se considera como otra categoría, ya que es una consecuencia de una optimización de procesos, en los que normalmente es aprovechada la energía de procesos termodinámicos, para generar energía eléctrica.

#### **2.6.2.6.-Generación alternativa [A15,E12]**

En este rubro se encuentran aquellas formas de generar energía eléctrica por medio del aprovechamiento de energías renovables, como el viento y el sol. El inconveniente de este tipo de generación es que presenta aleatoriedad, no pudiendo planear en forma óptima su despacho, a menos que la energía generada sea almacenada.

---

<sup>2</sup> Para la aplicación de estas medidas, como las dos posteriores, debe considerarse lo establecido por la Ley Federal del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento [H5,H6].

## **2.7.- MEDIDAS ORIENTADAS A LA OBTENCIÓN DE OTROS BENEFICIOS ECONÓMICOS [A1,A2,B4,E9]**

Ya que la administración de la demanda se incluyó en las medidas anteriores, solo queda *El mejoramiento del Factor de Potencia* como una medida para la obtención de otros beneficios económicos.

Los cambios en el factor de Potencia, ofrecen grandes atractivos al eliminar los cargos impuestos por el suministrador como una consecuencia de la energía reactiva que es necesaria para el funcionamiento de los equipos de utilización. Aunque esta no sea una medida directamente orientada al ahorro de energía, contribuye a dicho ahorro al disminuir la corriente eléctrica en algunas secciones de la red eléctrica que, por consiguiente, disminuye las pérdidas por efecto joule.

## **2.8.- INTEGRACIÓN DE LAS MEDIDAS**

Todas las medidas descritas anteriormente se pueden relacionar entre sí, teniendo como resultado final impactos económicos vistos por el usuario de la energía. Según un análisis de la figura 2.7, las *Medidas Pasivas* tienen un mayor impacto sobre las necesidades de consumo, minimizando la componente de *Energía Utilizada no Necesaria* de la energía de salida, lo cual su vez tiene un impacto sobre la operación de los equipos consumidores de energía. Por otra parte, las *Medidas Activas*, aplicadas a los equipos consumidores, tienen un mayor impacto sobre la *Energía de Entrada*, lo cual representa el consumo interno del inmueble sin importar de donde provenga la energía. Por último las *Medidas Activas*, aplicadas a los equipos generadores de energía, tienen un mayor impacto sobre el *Abastecimiento Externo*, debido a que se deja de comprar energía al suministrador, ya que es generada con recursos propios.

Por otra parte, se puede apreciar en la misma figura que existen efectos secundarios o probables (marcados con líneas punteadas), lo cual nos da una idea de los efectos que puede tener una medida con otra.

## 2.9.- IMPACTO ECONÓMICO DE LAS MEDIDAS [I1]

El impacto económico que percibe el usuario de energía al aplicar medidas correctivas, se ve reflejado en el importe total de su facturación eléctrica. Dicho impacto, también estará en función del tipo de tarifa con la cual tenga contratado el suministro. Actualmente en México, existe una gran variedad de tarifas las cuales imponen diferentes tipos de cargos al consumidor. La ecuación (2.1) describe en forma general los cargos para todas las tarifas, los cuales detallan en las siguientes secciones.

$$CT = CE + K_1 CD + K_2 CFP + K_3 CMBT + K_4 IVA + K_5 DAP \quad (2.1)$$

Donde

CT : Cargo o Importe Total

CE: Cargo por Consumo de Energía

CD: Cargo por Demanda

CFP: Cargo por Factor de Potencia

CMBT: Cargo por Medición en Baja Tensión

IVA: Impuesto al Valor Agregado

DAP: Derecho de Alumbrado Público

$K_i$  : Variable binaria que indica la existencia del cargo

$K_i = 1$ , si el cargo se aplica a la tarifa en cuestión

$K_i = 0$ , si el cargo no se aplica a la tarifa en cuestión

### 2.9.1.- Cargo por Consumo de Energía

El Cargo por Consumo de Energía, es el único cargo que existe en todas las tarifas, y resulta de aplicar el consumo en Kwh ocasionado en el periodo de facturación por el precio de la energía impuesto por el suministrador para la tarifa en cuestión. Sin embargo, es más conveniente expresar el precio de la energía como un precio medio debido a que algunas tarifas aplican precios horarios de energía y en otras ocasiones precios escalonados [I1, B2]. A continuación se detalla lo anterior con las siguientes ecuaciones.

$$CE = E Pe \quad (2.2)$$

Donde

E : Consumo Total en el periodo de facturación en kWh

Pe : Precio medio de la energía en \$/kWh

a) Para una Tarifa Horaria

$$Pe = \sum_{i=1}^n FP_i PE_i \quad (2.3)$$

Donde

FP<sub>i</sub> = Factor de Peso que indica la proporción de energía consumida en el periodo horario 'i' con respecto al consumo total E.

PE<sub>i</sub> = Precio de la energía en el periodo horario 'i' en \$/kWh, impuesto por el suministrador<sup>3</sup>.

b) Para una Tarifa Escalonada

$$Pe = E / CE \quad (2.4)$$

c) Para una que no es Escalonada ni Horaria

$$Pe = PE \quad (2.5)$$

Donde

PE : Precio de la energía en \$/kWh, impuesto por el suministrador.

### 2.9.2.- Cargo por Demanda

El cargo por demanda se aplica de acuerdo a la demanda máxima medida en el periodo de facturación, para el caso de tarifas no horarias, o a la demanda facturable, para tarifas horarias. En el caso de tarifas horarias, la demanda facturable se calcula con una ecuación que involucra las demandas máximas medidas en los periodos horarios establecidos (ver anexo 1). En forma general, el cargo por demanda está dado por la siguiente ecuación.

$$CD = D PD \quad (2.6)$$

Donde

D = Demanda Máxima Medida o Facturable, según la tarifa en cuestión en kW

PD = Precio de la Demanda en \$/kW

### 2.9.3.- Cargo por Factor de Potencia

El cargo por factor de potencia resulta del comportamiento promedio del factor de potencia en el periodo de facturación. Este cargo puede resultar en un recargo o bonificación sobre los cargos por energía y demanda, como se ve a continuación.

$$CFP = RB [ CE + CD] \quad (2.7)$$

---

<sup>3</sup> Los precios por energía y demanda impuestos por el suministrador varían mensualmente [1].

Donde

RB : Factor de Cargo o Bonificación por Factor de Potencia (FP)

$$RB = 0.6 ( ( 90/FP)-1), \text{ sí } FP < 90 \quad (2.8)$$

$$RB = -0.25 ( 1-( 90/FP)), \text{ sí } FP > 90 \quad (2.9)$$

#### **2.9.4.- Cargo por Medición en Baja Tensión**

Este cargo es impuesto a los usuarios con servicios en mediana y alta tensión y es aplicable en los casos en que los aparatos de medición del suministrador no se encuentren ubicados en el lado de mediana o alta tensión. Prácticamente, este cargo se origina por las pérdidas en el proceso de transformación y resulta en un 2% adicional sobre los cargos por energía y demanda, como se ve en la ecuación 2.10.

$$CMBT = 0.02 [ CE + CD ] \quad (2.10)$$

#### **2.9.5.- Impuesto al Valor Agregado**

El impuesto al valor agregado resulta en un 15% adicional sobre los cargos por energía, demanda, factor de potencia y medición en baja tensión.

$$IVA = 0.15 [ CE + CD + CFB + CMBT ] \quad (2.11)$$

#### **2.9.6.- Derecho de Alumbrado Público**

El derecho de alumbrado público resulta en un incremento del 10% sobre los mismos cargos que el impuesto al valor agregado.

$$DPA = 0.10 [ CE + CD + CFB + CMBT ] \quad (2.12)$$



### 2.9.7.- Cargo Total por Energía y Cargo Total por Demanda

Como se puede apreciar en las ecuaciones anteriores, todos los cargos están en función de los cargos por energía y demanda, lo cual permite expresar el cargo total como la suma de un Cargo Total por Energía y un Cargo Total por Demanda.

$$CT = CTE + CTD \quad (2.13)$$

Donde:

CTE: Cargo Total por Energía

CTD: Cargo Total por Demanda

Introduciendo las ecuaciones (2.2), (2.6), (2.7), y (2.10) a (2.12) en la ecuación (2.1), se tiene que los Cargos Totales por Energía y Demanda son.

$$CTE = [1 + K_2 RB + K_3 0.02] [1 + K_4 0.15 + K_5 0.10] E Pe \quad (2.14)$$

$$CTD = [1 + K_2 RB + K_3 0.02] [1 + K_4 0.15 + K_5 0.10] K_1 D PD \quad (2.15)$$

Así, de la ecuación (2.13), se obtiene una expresión general para cualquier tarifa.

$$CT = [1 + K_2 RB + K_3 0.02] [1 + K_4 0.15 + K_5 0.10] [E Pe + K_1 D PD] \quad (2.16)$$

Donde se puede apreciar que el cargo total, está realmente en función de los siguientes factores:

- a) E, Consumo total de Energía Eléctrica
- b) D, Valor de la Demanda
- c) Pe, Precio Medio de la Energía
- d) Factor de Potencia, a través del valor de RB
- e)  $K_i$ , existencia del cargo

Según la sección 2.8, todas las medidas, excepto las mejoras al factor de potencia, repercuten directamente sobre el perfil de carga de la potencia activa correspondiente al abastecimiento externo, ya sea a través del consumo de energía o la demanda, pero ésta variación del perfil, actúa directamente sobre factores económicos. En el caso particular de los cambios en el factor de potencia, aunque es una medida propiamente activa, su repercusión es predominantemente económica.

Así, mediante la ecuación (2.16), se puede calcular el impacto económico que tiene el aplicar medidas correctivas simplemente sustituyendo los valores de  $E$ ,  $P_e$ ,  $RB$  y  $D$  por los que se podrían obtener bajo la aplicación de las medidas correctivas.

En la mayoría de los casos, el implementar las medidas implica inversiones, las cuales son recuperables por los beneficios económicos reflejados en el cargo total de facturación, dentro de un periodo de retorno, que puede ser calculado con las técnicas de análisis económico conocidas [A2]. La forma más simple de calcular el periodo de retorno es el Tiempo Simple de Recuperación de la Inversión, en el cual no se toma en cuenta el valor temporal del dinero y solo intervienen los ahorros económicos percibidos y la inversión que implica obtenerlos. Existen otras técnicas que toman en cuenta el valor temporal del dinero como el Valor Presente o el Valor Futuro, donde se pueden manejar otros beneficios como los derivados por reducción en costos de operación y mantenimiento, así como la variación en los precios de energía y demanda impuestos por el suministrador.

En México, el FIDE financia proyectos de ahorro de energía y control de la demanda, en donde el periodo máximo de recuperación de la inversión es de 36 meses [13].

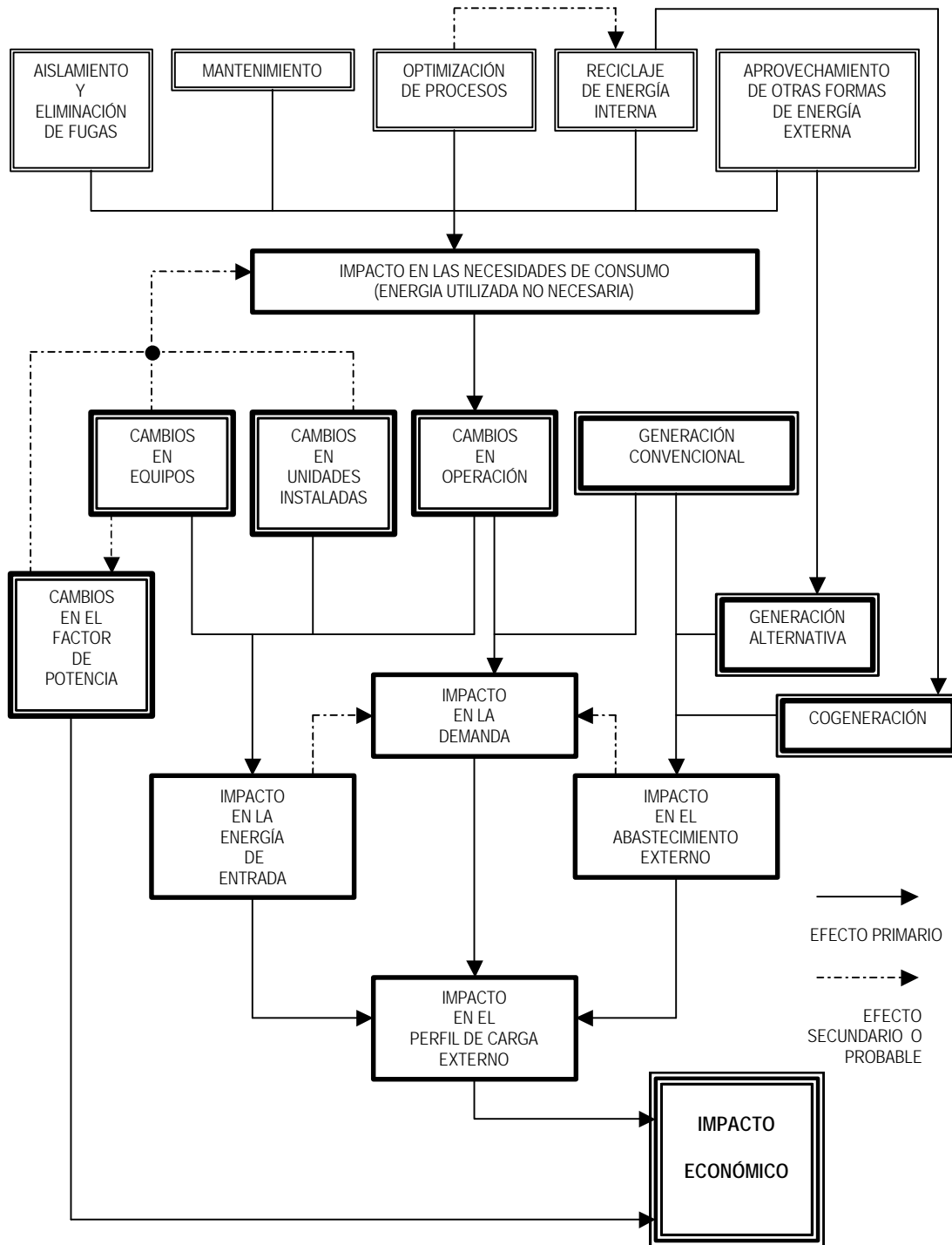


Figura 2.7- Impacto e Integración de Medidas

## **CAPITULO 3**

### **DESARROLLO ANALÍTICO DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA**

Básicamente, la Metodología Propuesta consiste en tomar algunos criterios convenientes de las metodologías actuales para llevar a cabo Diagnósticos Energéticos y Proyectos de Ahorro de Energía, realizando algunas mejoras en ellos. Dentro de su desarrollo, se considera la formulación de una Herramienta general cuyo fin es incluir, en un solo modelo, todos los equipos consumidores de energía eléctrica involucrados en el estudio. Con el uso de la Herramienta, se podrá obtener el estado actual de los consumos de energía eléctrica y demandas del edificio no residencial por analizar, así como los consumos y demandas que se podrían obtener al implementar medidas orientadas al ahorro de energía eléctrica y reducción de la demanda.

### **3.1.-DEFINICIONES Y CONVENCIONES**

Con la finalidad de hacer más comprensible el desarrollo de la Metodología Propuesta, se definirán los conceptos y convenciones que serán utilizados frecuentemente en su desarrollo. En la medida que sea posible, se hará referencia a conceptos y definiciones que estén debidamente normalizados o en su defecto, estén bien definidos en la literatura disponible.

#### **3.1.1.-Edificio No Residencial [H2]**

Aquel Edificio destinado para uso no habitacional ni vivienda.

#### **3.1.2.-Equipo de Utilización [H1]**

Aquel equipo que transforma con cierta eficiencia la energía eléctrica en energía mecánica, química, calorífica, luminosa u otras.

#### **3.1.3.- Perfil de Carga**

Gráfica que describe el comportamiento de algún parámetro eléctrico a través de un periodo de tiempo establecido. Normalmente se particulariza al perfil de carga como la gráfica correspondiente a la potencia activa, cuyas unidades son watts. Sin embargo, el concepto es bastante amplio y también aplica a la potencia reactiva, a la potencia aparente, tensión y corriente, pero para fines de este trabajo, se tomará como convención la práctica común de referirse al perfil que representa a la potencia real. En caso de referirse a otro parámetro, se hará mención explícita.

#### **3.1.4.-Caso Actual [E2]**

Se define como caso actual, al estado real que presenta el edificio no residencial por analizar, cuyos consumos de energía eléctrica y demandas son susceptibles de ser racionalizados.

#### **3.1.5.-Caso Propuesto [E2]**

Se define como caso propuesto, al estado ficticio que presentaría el edificio no residencial por analizar, cuyos consumos de energía eléctrica y demandas han sido racionalizados.

#### **3.1.6.- Sectores de Consumo**

Para fines de este trabajo, a la totalidad de la energía eléctrica que es consumida en el inmueble no residencial por analizar, así como los demás parámetros eléctricos que la representen, se le denominará *Consumo Total*.

El consumo total estará dividido en sectores de consumo, según los criterios que se describirán en el desarrollo de la Metodología. A su vez, cada sector de consumo estará integrado por uno o varios tipos de equipos de utilización, como se puede apreciar en la figura 3.1, donde la 'x' entre corchetes representa el número de tipos de equipos de utilización que están presentes en cada sector. Como consecuencia, los consumos y demandas de los sectores de consumo que tengan asociados equipos de utilización, son susceptibles de ser racionalizados.

Como puede apreciarse en la misma figura, a uno de los sectores de consumo no se le asocia ningún equipo de utilización, la razón es debido a que dicho sector es representativo de la energía consumida por los equipos no considerados o no involucrados en el estudio y por lo tanto, permanecerá constante; dicho de otra

manera, los consumos y demandas de este sector no son susceptibles de ser racionalizados. Así, a este sector se le denomina *Sector de Consumo Constante*.

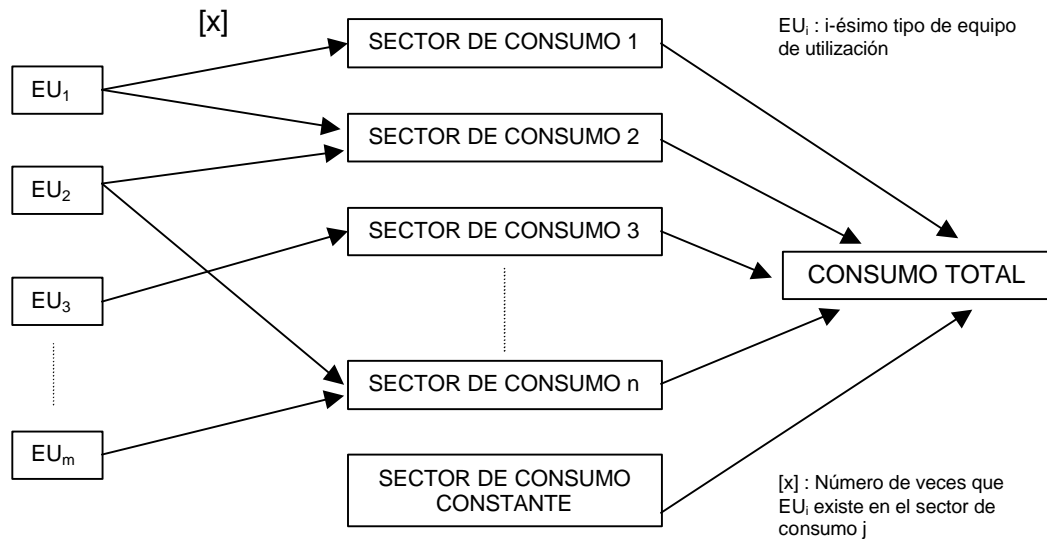


Figura 3.1.- Sectores de Consumo

### 3.2.-REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN Y ALCANCES

Como se mencionó en la sección 1.2, las condiciones reales que se presentan en la ejecución de Diagnósticos Energéticos y proyectos de Ahorro de Energía Eléctrica son en su mayoría, muy desfavorables debido a la carencia de información técnica. Por tal motivo, se mencionarán los requerimientos mínimos de dicha información para poder aplicar convenientemente la Metodología Propuesta.

Por otra parte, se darán los alcances de la Metodología, en cuanto a incorporación de medidas orientadas al ahorro de energía y reducción en la demanda se refiere, así como su integración.

### **3.2.1.-Información necesaria**

El criterio principal para el desarrollo de la Metodología parte del hecho más crítico en el que se desconoce completamente la topología de la red eléctrica del edificio no residencial por analizar, así como también se desconoce el estado de los equipos de utilización involucrados en el estudio y solo se dispone de un año de registros de facturación eléctrica para fines informativos. Así la información necesaria para realizar el diagnóstico energético es obtenida a través de una serie de trabajos de campo y de análisis, los cuales se describirán en la sección correspondiente.

### **3.2.2.-Alcances**

La Metodología Propuesta contempla la inclusión directa de las medidas activas para obtener racionalización en consumos de energía y demanda, en lo que respecta solo a equipos de utilización, excepto lo correspondiente al factor de potencia. Respecto a las medidas pasivas, estas podrán figurar en las medidas activas, tal y como se describió en el capítulo 2, modificando los patrones de operación de los equipos. Concretamente, solo se incluyen las medidas correspondientes a Cambios en Equipos, Cambios en Unidades Instaladas y Cambios en Operación.

Por otra parte, no se pretende abarcar y detallar las técnicas de análisis de eficiencia energética para todos los tipos de equipos de utilización o todos los procesos donde pueda intervenir una combinación de estos ya que, como se mencionó en el capítulo 1, interviene una gran variedad de especialistas en el análisis y modelado de la gran variedad de equipos y procesos que existen hoy en día. En este caso, lo que se pretende, es incluir los resultados del análisis de cada uno de estos en un solo modelo.



Finalmente, la Metodología Propuesta, solo contempla la evaluación de los comportamientos de los consumos y demandas en un periodo de análisis previamente establecido, quedando excluidas las alteraciones que se pudieran presentar debido a factores climáticos y estacionales, así como el efecto del horario de verano.

### **3.2.3.- Integración de Medidas Orientadas al Ahorro de Energía y Reducción de la Demanda.**

Las tres medidas descritas en la sección anterior, pueden integrarse en un solo modelo con el fin de formular el caso actual y el caso propuesto, y así determinar los potenciales de ahorro de energía eléctrica e impacto en la demanda. Para ilustrar esto, considérese el siguiente ejemplo en el cual interactúan las medidas para un solo tipo de equipo de utilización, donde solo se aprecia su influencia sobre el consumo de energía debido al planteamiento del problema.

#### **3.2.3.1.-Modelado Simple del Caso Actual [E2]**

Sea  $p$ , la potencia de línea del  $i$ -ésimo tipo de equipo de utilización involucrado en el estudio;  $u$ , el número de unidades instaladas de dicho equipo y  $h$ , las horas de operación de estos equipos en algún periodo de tiempo establecido como referencia. Entonces, la energía  $e$ , consumida por este conjunto de equipo estará dada por:

$$e = p u h \quad (3.1)$$

donde:

$e$  : energía consumida en w-h

$p$ : potencia de línea en w/unidad

$u$ : número de unidades instaladas y en operación

$h$ : número de horas de operación de los equipos

Todos ellos en el escenario del caso actual

### 3.2.3.2-Modelado Simple del Caso Propuesto [E2]

Supóngase que después de un diagnóstico energético, se toman las decisiones pertinentes para hacer cambios en la potencia de línea, número de unidades instaladas y horas de operación. Así, la energía consumida  $e'$ , en el caso propuesto, estará dada por:

$$e' = p' u' h' \quad (3.2)$$

donde

$e'$  : energía consumida en w-h

$p'$ : potencia de línea en w/unidad

$u'$ : número de unidades instaladas y en operación

$h'$ : número de horas de operación de los equipos

Todos ellos en el escenario del caso propuesto

### 3.2.3.3-Cambios en el Consumo de Energía

Comparando el caso actual y el caso propuesto, el cambio en la energía consumida  $\Delta e$  [E2], esta dado por:

$$\Delta e = e - e' \quad (3.3)$$

o en forma explícita,

$$\Delta e = p u h - p' u' h' \quad (3.4)$$

Ahora sean  $\Delta p$ ,  $\Delta u$ , y  $\Delta h$ , los cambios en potencia de línea, unidades instaladas y horas de uso respectivamente, y que están definidos por:

$$\Delta p = p - p' \quad (3.5)$$

$$\Delta u = u - u' \quad (3.6)$$

$$\Delta h = h - h' \quad (3.7)$$

Introduciendo las ecuaciones (3.5), (3.6) y (3.7) en (3.4), se obtiene una expresión para el cambio en la energía consumida que está dado por.

$$\Delta e = p u h - [(p - \Delta p)(u - \Delta u)(h - \Delta h)] \quad (3.8)$$

Desarrollando la ecuación (3.8), se tiene que el cambio en la energía consumida, al pasar del caso actual al caso propuesto, está dado por:

$$\Delta e = \Delta p u h + p \Delta u h + p u \Delta h - \Delta p \Delta u h - \Delta p u \Delta h - p \Delta u \Delta h + \Delta p \Delta u \Delta h \quad (3.9)$$

De (3.9), podemos obtener que los cambios en el consumo de energía ocasionados por implementar una medida están dados por:

$\Delta p u h$       cambios en equipos

$p \Delta u h$       cambios en unidades instaladas

$\rho u \Delta h$  cambios en operación

Los cambios en el consumo de energía ocasionados por implementar simultáneamente dos medidas están dados por:

$\Delta \rho \Delta u h$  cambios en equipos y cambios en unidades instaladas

$\Delta \rho u \Delta h$  cambios en equipos y cambios en operación

$\rho \Delta u \Delta h$  cambios en unidades instaladas y cambios en operación

Por último, los cambios en el consumo de energía ocasionados por implementar simultáneamente las tres medidas están dados por:

$\Delta \rho \Delta u \Delta h$  cambios en equipos, en unidades instaladas y en operación

### 3.3.-DESAROLLO DE LA METODOLOGÍA

Como puede apreciarse en la figura 3.2, la Metodología Propuesta consta de diez actividades, las cuales se detallan en los siguientes apartados y que consisten en los trabajos de campo y análisis necesarios para obtener el modelado del caso actual, la elaboración de medidas de ahorro de energía y reducción en demanda, así como lo concerniente al modelado del caso propuesto. Así, con estos dos modelos, se obtienen los potenciales de ahorro de energía eléctrica con sus respectivos impactos en la demanda. Es importante comentar que en dicha figura, resalta una región marcada con líneas punteadas donde se engloban las actividades contempladas en el Diagnóstico Energético, concerniente a los puntos 1,2,3 y 5 de la sección 2.1.

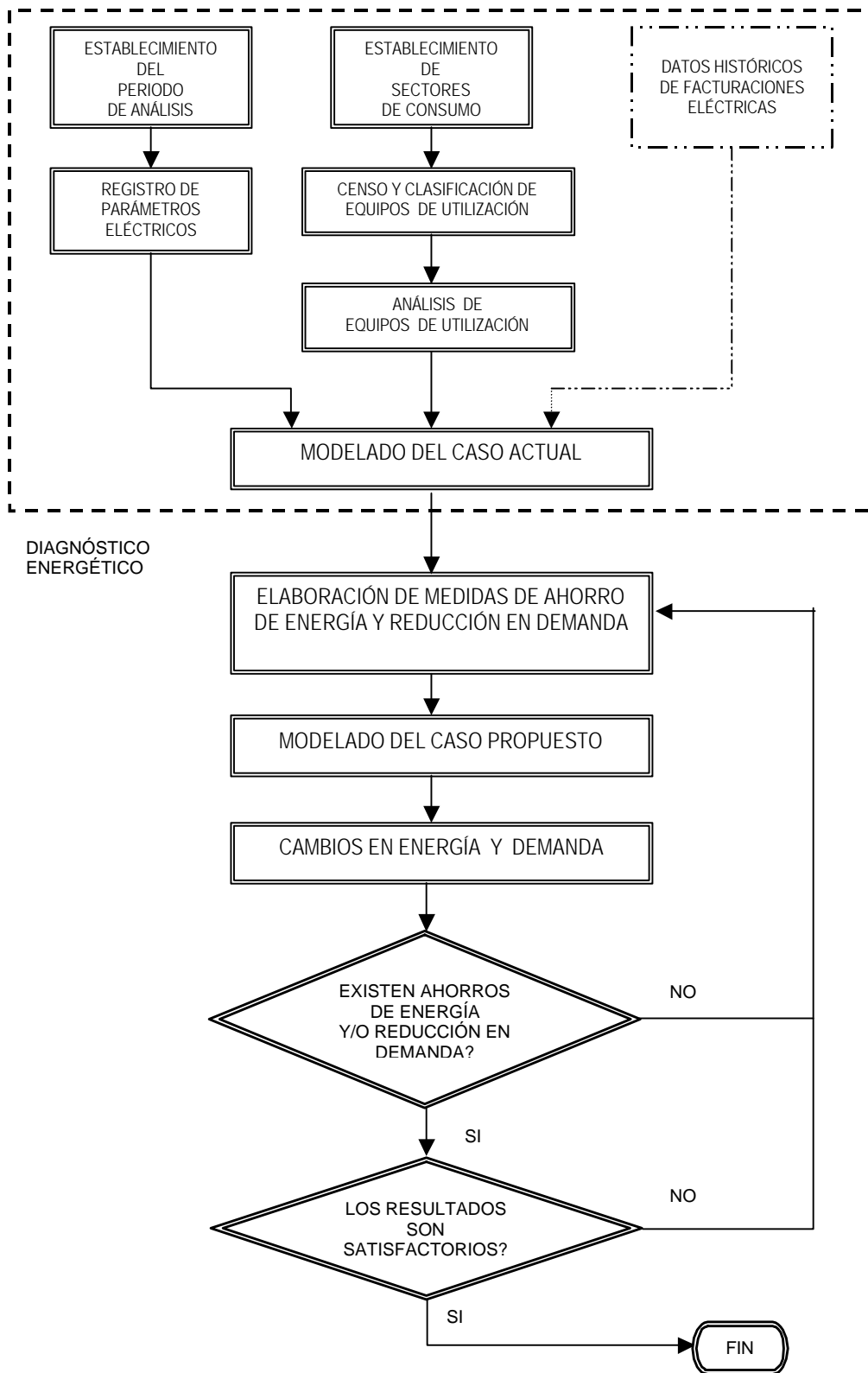


Figura 3.2- Desarrollo de la Metodología Propuesta

### 3.3.1.- Establecimiento del Periodo de Análisis

Consiste en establecer un periodo de análisis en el cual se tenga la certeza de que en el inmueble se lleven a cabo todas las actividades en forma normal y que dicho periodo se pueda tomar como patrón, al considerarse repetitivo en todo un año, o que en su defecto, puedan tomarse parcialidades de este periodo para obtener el comportamiento del año completo, como por ejemplo los días hábiles y no hábiles [G5]. Lo anterior puede apreciarse en la figura 3.3.

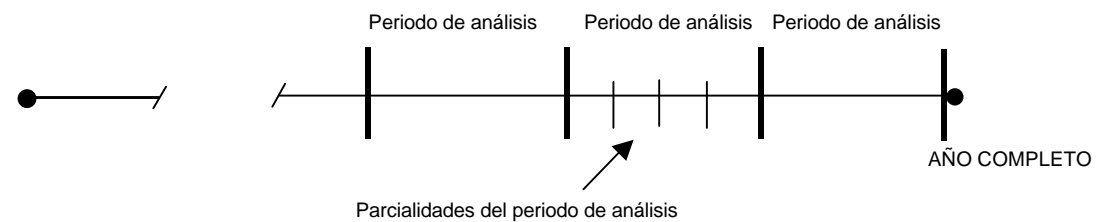


Figura 3.3.-Periodo de análisis

### 3.3.2.-Registro de Parámetros Eléctricos [B1, B3, C3]

Esta actividad consiste en obtener, mediante registros de medición, el comportamiento de los parámetros eléctricos relevantes en el estudio, siendo forzoso obtener el comportamiento de la potencia activa a lo largo del periodo de análisis con la finalidad de construir el perfil de carga del inmueble. Dichos registros deberán obtenerse a intervalos de tiempo iguales durante todo el periodo y serán representativos de la totalidad de la energía que se consume en el inmueble, es decir, deberán de realizarse en el punto de acometida<sup>3</sup>, como puede apreciarse en la figura 3.4.

<sup>3</sup> Véase la sección “Recomendaciones de Aplicación de la Metodología Propuesta” en el Capítulo 6, para aquellos casos en los que el inmueble cuente con más de una acometida.

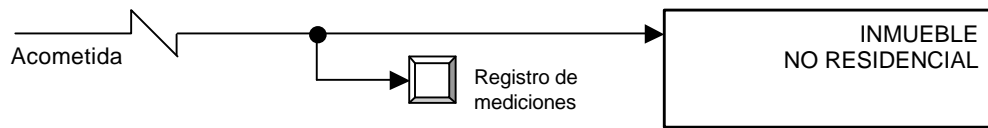


Figura 3.4-Registro de Parámetros Eléctricos

### 3.3.3-Establecimiento de Sectores de Consumo

Esta actividad tiene como fin la formación de los sectores de consumo, como se estableció en la sección 3.1.6, de tal forma que cada sector represente los patrones de funcionamiento<sup>4</sup> de los equipos contenidos en él y se lleva a cabo bajo dos criterios principales: Zonificación de Áreas e Identificación de Procesos.

- Zonificación de Áreas [C1]

Este criterio, consiste en identificar las actividades que se llevan a cabo en los inmuebles con el fin de agruparlas en diferentes tipos de áreas, a las cuales en lo sucesivo se les llamará *zonas tipo*. La única restricción para determinar una zona tipo es que en ella se encuentre ubicado al menos un equipo de utilización, y que su análisis esté contemplado en el estudio. Dichas zonas serán representativas de los periodos de operación de los equipos contenidos en ellas, presentando su potencial para consumir energía eléctrica y ocasionar demanda.

<sup>4</sup> Si fuera el caso que algunos equipos de utilización, pertenecientes al mismo sector de consumo, presenten patrones de operación distintos, se recomienda desagregar dicho sector en subsectores, con la finalidad de incluirlos adecuadamente en los modelos que se verán posteriormente.

- Identificación de Procesos [A11]

Similar al criterio anterior, consiste en identificar los procesos en los cuales intervenga al menos un equipo de utilización de los considerados en el estudio y que interactúe o no con otros equipos de utilización, involucrados o no en el estudio.

### 3.3.4- Censo y Clasificación de Equipos de Utilización [A11, C1]

Consiste en el conteo y clasificación de los diversos tipos de equipos de utilización involucrados en el estudio de acuerdo a la zona tipo en la que estén físicamente ubicados o el proceso al que pertenezcan, de tal forma que se puedan formar subconjuntos de equipos, según lo presentado en la sección 3.1.6, y que se puede apreciar con detalle en la figura 3.5.

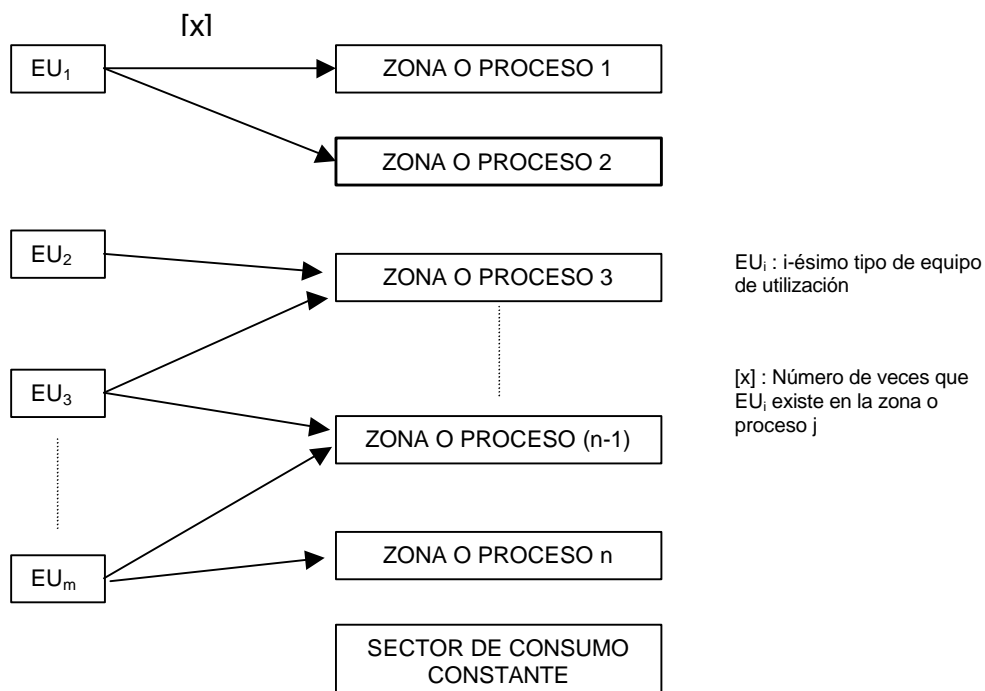


Figura 3.5-Censo y Clasificación de Equipos



De la figura anterior, podemos apreciar que los diversos tipos de equipos de utilización pueden estar presentes 'x' número de veces en cada zona tipo o proceso, los cuales han sido previamente definidos.

### **3.3.5- Análisis de Equipos de Utilización [B1, B3, E5, E8, F2]**

En esta etapa se determinan los parámetros eléctricos de interés como potencia activa, potencia reactiva y corriente de los equipos de utilización involucrados en el estudio. Como se comentó anteriormente, cada tipo de equipo se deberá analizar según las técnicas que apliquen para cada uno de estos, pero deberá determinarse para todos, su estado de operación, según el sector de consumo al que pertenezcan, a lo largo del periodo de análisis definido; de tal manera que se determine si se encuentran o no en operación para cada uno de los intervalos de registro de medición que integran el periodo de análisis o si se encuentran permanentemente fuera de servicio. Además, se deberá determinar, cuando el estado sea de operación, en qué porcentaje de sus valores nominales, o algún valor definido como referencia, se encuentran operando.

Esta etapa es tal vez, la mas crítica del diagnóstico energético, pues en ella tienen lugar todas aquellas actividades que constituye la base para elaborar las medidas de ahorro de energía y reducción en demanda. Dentro de dichas actividades destaca la determinación del estado real de operación de los equipos, ya que se efectúan las mediciones correspondientes para conocer la eficiencia y el dimensionamiento de los equipos consumidores, así como determinar bajo que condiciones se encuentran operando, como por ejemplo: tensión de suministro, desbalanceo, en el caso de equipos polifásicos, frecuencia, etc.

Por otra parte, es práctica recomendable para aquellos equipos, cuya población sea considerable, analizar una muestra que refleje con cierta confiabilidad el estado de toda su población, tomando estos resultados como referencia [G2].

---

### 3.3.6- Análisis de Facturaciones Eléctricas [C1, C3]

Los datos estadísticos de las facturaciones eléctricas son de utilidad para evaluar el comportamiento de los consumos y demandas que presenta el inmueble a lo largo de un periodo. Como se comentó en la sección 3.2.1, esta información es solo con fines informativos y sirve como auxiliar en la comprobación de los registros obtenidos en las mediciones de parámetros eléctricos en la acometida. Como puede verse en la figura 3.2, esta actividad aparece con líneas punteadas, indicando que puede prescindirse de dicha información en caso de no ser posible obtenerla, por los motivos presentados en la sección 1.2.

### 3.3.7- Modelado del Caso Actual

El modelado del caso actual consiste organizar la información que fue obtenida en las actividades descritas en las secciones 3.3.1 a 3.1.6 en un conjunto de matrices, con las cuales se podrán obtener los perfiles de carga de los equipos involucrados en el estudio, así como la energía que consumen en el periodo de análisis establecido. La figura 3.6 describe la secuencia de operaciones que son llevadas a cabo en esta sección y la metodología general para formar cada una de las matrices es como se detalla a continuación.

#### 3.3.7.1- Vector de Perfil de Carga Actual del Inmueble

El perfil de carga actual del inmueble del inmueble  $\mathbf{LT}$ , lo constituye el vector cuyos elementos son los registros de mediciones eléctricas descritos en la sección 3.3.2. Este vector se compone de 'k' elementos, los cuales son los registros de la potencia activa para cada uno intervalos en el periodo de análisis establecido. Su representación general en como sigue.

$$\mathbf{LT} = [LT_1 \quad LT_2 \quad LT_3 \quad \dots \quad LT_k] \quad (3.10)$$

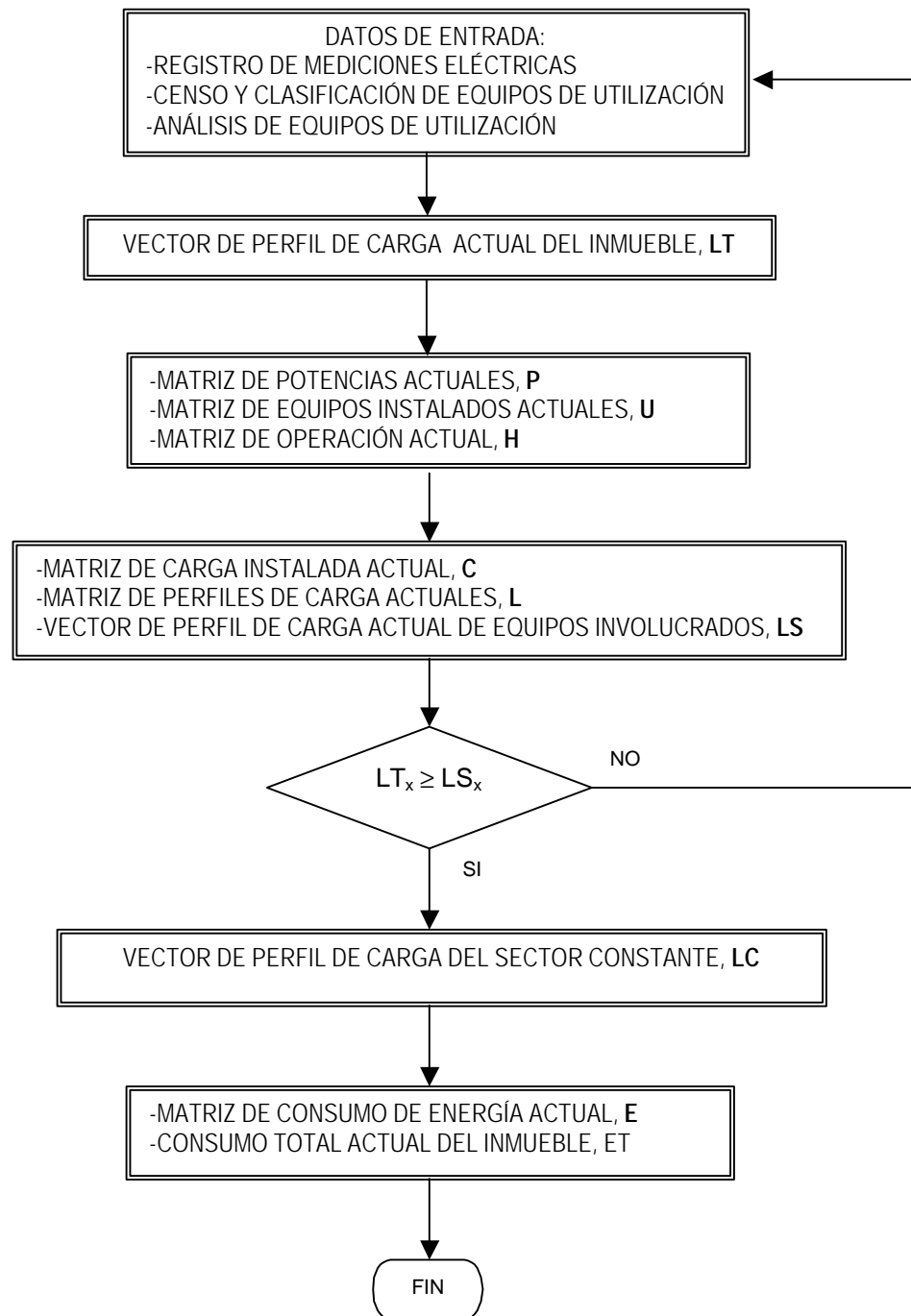


Figura 3.6- Modelado del Caso Actual

### 3.3.7.2-Matriz de Potencias Actuales

La matriz de potencias actuales  $\mathbf{P}$ , contiene el valor de la potencia activa nominal ó la potencia activa definida como referencia, según el análisis de los equipos de utilización, correspondiente a los 'm' tipos de equipos de utilización involucrados en el estudio. Esta matriz es cuadrada con dimensiones  $m \times m$  y diagonal, siendo como se muestra a continuación.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & P_{mm} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Donde cada  $P_{ii}$  en la diagonal principal es la potencia activa actual de cada tipo de equipo de utilización y todos los elementos fuera de la diagonal son cero.

Cabe mencionar que el orden en que se disponen los tipos equipos de utilización en la diagonal principal es arbitrario, pero una vez establecido, se tomará como convención para la formación de las demás matrices.

### 3.3.7.3-Matriz de Equipos Instalados Actuales

La matriz de equipos instalados actuales  $\mathbf{U}$ , contiene la cantidad de equipos de utilización existentes en los sectores de consumo por analizar, según el censo y clasificación de equipos, los cuales se encuentran en condiciones de consumir energía eléctrica y ocasionar demanda, es decir, aquellos equipos que no se encuentran fuera de servicio. Su forma es rectangular con dimensiones  $m \times n$ , y se construye de acuerdo al criterio de sectores de consumo, los cuales permiten formar subconjuntos de equipos de utilización instalados que son correlativos a las potencias indicadas en la matriz  $\mathbf{P}$ , y es como se muestra a continuación.

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} & \dots & U_{1n} \\ U_{21} & U_{22} & U_{23} & \dots & U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ U_{m1} & U_{m2} & U_{m3} & \dots & U_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Donde cada entrada  $U_{ij}$  contiene la cantidad de equipos de utilización instalados cuya potencia es  $P_{ij}$  y que están agrupados en el sector 'j'. Además se tiene que  $U_{ij} \geq 0$ .

### 3.3.7.4-Matriz de Operación Actual

La matriz de operación actual  $\mathbf{H}$ , contiene los estados de operación de los 'n' sectores de consumo de la matriz  $\mathbf{U}$ , para cada uno de los 'k' intervalos en el periodo de análisis definido. Las dimensiones de la matriz son  $n \times k$ , como se muestra a continuación.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & \dots & H_{1k} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & \dots & H_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ H_{n1} & H_{n2} & H_{n3} & \dots & H_{nk} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

La información de esta matriz se obtiene con la información correspondiente a las actividades de Establecimiento de Sectores de Consumo y Censo, Clasificación y Análisis de Equipos de Utilización. Los elementos  $H_{jx}$ , se determinan bajo los criterios siguientes.

$H_{jx} > 1$ , Si el sector 'j' consume energía eléctrica en el intervalo 'x' y además, los equipos contenidos en él operan a un valor de potencia mayor que el definido en la matriz  $\mathbf{P}$ .

$H_{jx} = 1$ , Si el sector 'j' consume energía eléctrica en el intervalo 'x' y además, los equipos contenidos en él operan a un valor de potencia igual que el definido en la matriz **P** [A11].

$0 < H_{jx} < 1$ , Si el sector 'j' consume energía eléctrica en el intervalo 'x' y además, los equipos contenidos en él operan a un valor de potencia menor que el definido en la matriz **P**.

$H_{jz} = 0$ , Si el sector 'j' no consume energía eléctrica en el intervalo 'x' [A11].

### 3.3.7.5-Matriz de Carga Instalada Actual

La matriz de carga instalada actual **C**, contiene los valores de carga instalada correspondientes a los equipos de utilización involucrados en el estudio, según el sector de consumo al que pertenezcan. Sus dimensiones son  $m \times n$  y se obtiene operando las matrices **P** y **U**, como se muestra a continuación.

$$\mathbf{C} = \mathbf{P} \mathbf{U} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & C_{m3} & \cdots & C_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Donde cada  $C_{ij}$  contiene el valor de la carga instalada correspondiente a los  $U_{ij}$  equipos de utilización instalados, que corresponden al sector 'j' y cuya potencia es  $P_{ij}$ .

Adicionalmente, la carga total instalada actual  $CT$ , correspondiente a todos equipos de utilización involucrados en el estudio, estará dada por.

$$CT = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} \quad (3.15)$$

### 3.3.7.6-Matriz de Perfiles de Carga Actuales

La matriz de perfiles de carga actuales **L**, contiene los perfiles de carga correspondientes a cada tipo de equipo de utilización involucrado en el estudio a lo largo del periodo de análisis considerado. Esta matriz, cuyas dimensiones son mxk, se obtiene una vez formadas adecuadamente las matrices **P**, **U** y **H** operando de la forma siguiente.

$$\mathbf{L} = \mathbf{PUH} = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} & \cdots & L_{1K} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} & \cdots & L_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ L_{m1} & L_{m2} & L_{m3} & \cdots & L_{mK} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

de donde se obtiene lo siguiente:

Cada  $L_{ix}$ , contiene el valor actual de la potencia eléctrica demandada por el i-ésimo tipo de equipo de utilización en el intervalo de tiempo 'x', según el sector de consumo al que pertenezcan.

Cada vector fila contiene el perfil de carga del i-ésimo tipo de equipo de utilización en el periodo de análisis considerado.

### 3.3.7.7.- Vector de Perfil de Carga Actual de los Equipos Involucrados

El vector de perfil de carga actual de los equipos involucrados **LS**, representa la potencia demanda por todos los equipos de utilización involucrados en el estudio, en el periodo de análisis considerado, y es como se muestra a continuación.

$$\mathbf{LS} = [LS_1 \quad LS_2 \quad LS_3 \quad \dots \quad LS_k] \quad (3.17)$$

donde cada entrada  $LS_x$ , indica la potencia actual demanda por todos los equipos involucrados en el intervalo de tiempo 'x', y se obtienen como sigue.

$$LS_x = \sum_{i=1}^m L_{ix} \quad (3.18)$$

### 3.3.7.8-Perfil de carga del Sector de Consumo Constante

Como se mencionó en la sección 3.1.6, existe un sector de consumo el cual no contiene equipos de utilización de los que están involucrados en el estudio. Este sector se representa con un vector fila  $\mathbf{LC}$ , de 'k' elementos y se determina como sigue:

$$\mathbf{LC} = \mathbf{LT} - \mathbf{LS} \quad (3.19)$$

La expresión anterior será válida siempre y cuando  $LT_x \geq LS_x$  debido a que el perfil de carga de todos los equipos involucrados en el estudio no puede ser mayor que el perfil que representa la totalidad de la energía consumida en el inmueble. En tal caso será necesario revisar la información de las matrices  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{U}$  y  $\mathbf{H}$

### 3.3.7.9-Matriz de Consumo de Energía Actual

La matriz de consumo de energía actual  $\mathbf{E}$ , contiene el valor de la energía consumida por los diferentes tipos de equipos de utilización según los perfiles de carga obtenidos en la matriz  $\mathbf{L}$ , sus dimensiones son  $m \times k$  y queda definida por la siguiente expresión.



$$\mathbf{E} = t \mathbf{L} = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & E_{13} & \dots & E_{1K} \\ E_{21} & E_{22} & E_{23} & \dots & E_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ E_{m1} & E_{m2} & E_{m3} & \dots & E_{mK} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Donde 't', es un escalar que contiene el valor de tiempo considerado para los 'k' intervalos del periodo de análisis y  $E_{ix}$  es la energía consumida por el i-ésimo tipo de equipo de utilización en el intervalo de tiempo 'x'.

### 3.3.7.10.- Consumo Total Actual del Inmueble

Por último, la energía total consumida en el inmueble ET, para el caso actual, queda definida por la suma de la energía consumida por los equipos involucrados y la energía consumida por el sector constante, como sigue:

$$ET = t \sum_{x=1}^k [LS_x + LC_x] \quad (3.21)$$

### 3.3.8- Elaboración de Medidas de Ahorro de Energía Eléctrica y Reducción en la Demanda.

En esta actividad se elaboran las propuestas que se consideren pertinentes para aprovechar las áreas de oportunidad que permitan obtener racionalización en los consumos de energía y en demanda, como se expone en la sección 2.4. Básicamente estas propuestas son aquellas medidas activas concernientes a Cambios en Equipos, Cambios en unidades Instaladas y Cambios en Operación tal y como se detalla en las secciones 2.6.2.1 a 2.6.2.3.

### 3.3.9- Modelado del Caso Propuesto

El Modelado del Caso Propuesto consiste en definir un conjunto de matrices similares a las formadas para el caso actual, en las cuales se incluye la información correspondiente a las medidas orientadas al ahorro de energía y reducción en la demanda. Con estas matrices, será posible obtener los perfiles de carga de los equipos involucrados en el estudio después de aplicar las medidas correctivas, así como la energía que consumirán en el periodo de análisis establecido. La figura 3.7 describe la secuencia de operaciones que son llevadas a cabo en esta sección y la metodología general para formar cada una de las matrices es como se detalla a continuación.

#### 3.3.9.1-Matriz de Potencias Propuestas

La matriz de potencias propuestas  $\mathbf{P}'$ , contiene el valor de la potencia activa nominal propuesta de los 'm' tipos de equipos de utilización involucrados en los sectores de consumo por analizar. Estos valores de potencia son correlativos con los valores de la matriz de potencias actuales  $\mathbf{P}$ , y resultan por las medidas correspondientes a cambios en equipos, es decir, por cambio de tecnología, por redimensionamiento de equipos o por una combinación de estos dos criterios. Es importante mencionar que no necesariamente  $P'_{ii}$  debe ser menor que  $P_{ii}$ , ya que el valor adecuado lo determinarán los criterios que se obtengan del análisis para cada tipo de equipo de utilización. Similar a la matriz  $\mathbf{P}$ , esta matriz es cuadrada con dimensiones  $m \times m$  y diagonal, siendo como se muestra a continuación.

$$\mathbf{P}' = \begin{bmatrix} P'_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P'_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & P'_{mm} \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Donde cada  $P'_{ii}$  en la diagonal principal es la potencia eléctrica propuesta de cada tipo de equipo de utilización y todos los elementos fuera de la diagonal son cero.

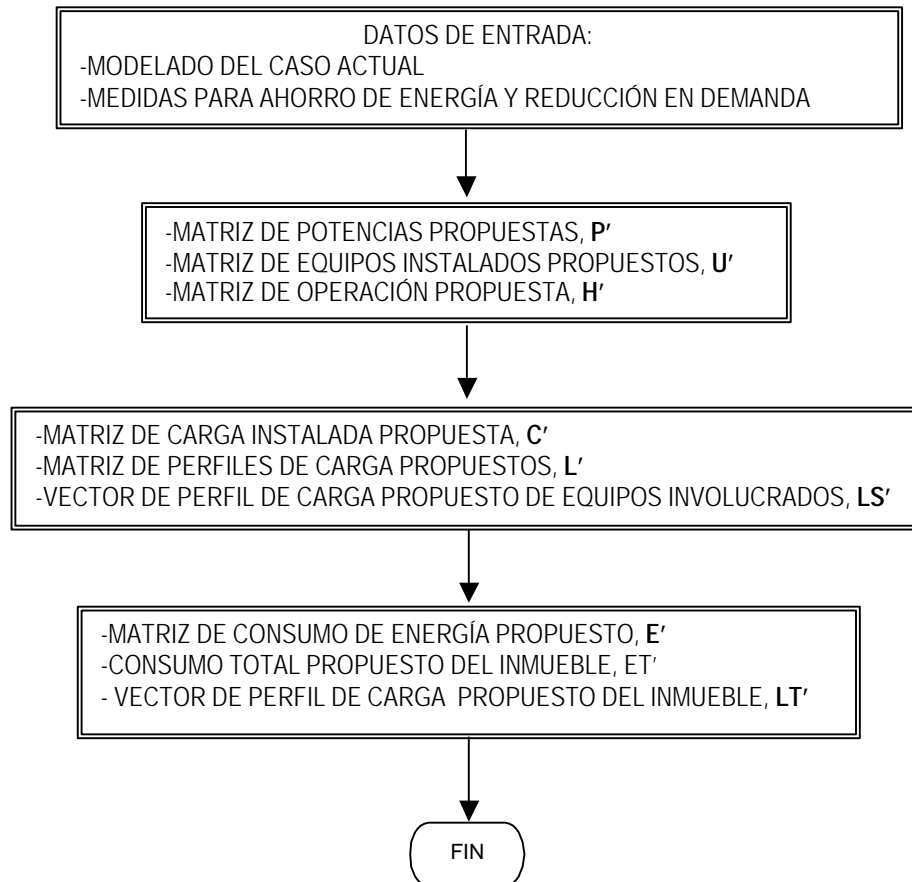


Figura 3.7- Modelado del Caso Propuesto

### 3.3.9.2-Matriz de Equipos Instalados Propuestos

La matriz de equipos instalados propuestos  $U'$ , contiene la cantidad de equipos de utilización instalados propuestos en los sectores de consumo por analizar. Estas cantidades son correlativas con los valores de la Matriz de Equipos Instalados

Actuales  $\mathbf{U}$ , y resultan por cambios en el número de unidades instaladas en los sectores de consumo de energía. Su forma es rectangular, con dimensiones  $m \times n$  como se muestra a continuación.

$$\mathbf{U}' = \begin{bmatrix} U'_{11} & U'_{12} & U'_{13} & \cdots & U'_{1n} \\ U'_{21} & U'_{22} & U'_{23} & \cdots & U'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ U'_{m1} & U'_{m2} & U'_{m3} & \cdots & U'_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Donde cada entrada  $U'_{ij}$  contiene la cantidad de equipos de utilización instalados propuestos cuya potencia es  $P'_{ij}$  y que están agrupados en el sector 'j'. Además se tiene que  $U'_{ij} \geq 0$  y puede ser mayor, igual o menor que su valor correlativo  $U_{mn}$ , debido a que su valor es determinado según el análisis específico para la disciplina que aplique a cada tipo de equipo de utilización.

### 3.3.9.3-Matriz de Operación Propuesta

La matriz de operación propuesta  $\mathbf{H}'$ , contiene los estados de operación propuestos de los 'n' sectores de la matriz  $\mathbf{U}'$  para cada uno de los 'k' intervalos en el periodo de análisis definido. Similar a la matriz de operación actual  $\mathbf{H}$ , sus dimensiones son  $m \times k$ , y cada  $H'_{ix}$  es correlativo con cada  $H_{ix}$ . La matriz es como se muestra a continuación.

$$\mathbf{H}' = \begin{bmatrix} H'_{11} & H'_{12} & H'_{13} & \cdots & H'_{1k} \\ H'_{21} & H'_{22} & H'_{23} & \cdots & H'_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ H'_{n1} & H'_{n2} & H'_{n3} & \cdots & H'_{nk} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Donde los 'n' renglones representan el comportamiento propuesto de cada sector de consumo en el periodo de análisis definido, como resultado de la medida de

Cambios en Operación. Los elementos  $H'_{jx}$ , se determinan bajo los criterios siguientes.

$H'_{jx} > 1$ , Si se propone que el sector 'j' consuma energía eléctrica en el intervalo 'x' y además los equipos contenidos en él operen a un valor mayor que el definido en la matriz  $\mathbf{P}'$ .

$H'_{jx} = 1$ , Si se propone que el sector 'j' consuma energía eléctrica en el intervalo 'x' y además los equipos contenidos en él operen a un valor igual que el definido en la matriz  $\mathbf{P}'$  [A11].

$0 < H'_{jx} < 1$ , Si se propone que el sector 'j' consuma energía eléctrica en el intervalo 'x' y además los equipos contenidos en él operen a un valor menor que el definido en la matriz  $\mathbf{P}'$ .

$H'_{jx} = 0$ , Si se propone que el sector 'j' no consuma energía eléctrica en el intervalo 'x' [A11].

### 3.3.9.4-Matriz de Carga Instalada Propuesta

La matriz de Carga Instalada Propuesta  $\mathbf{C}'$ , contiene los valores de carga instalada después de haber aplicado las medidas de Cambios en Equipos y Cambios en Unidades instaladas. Sus dimensiones son  $m \times n$  y, similar a la matriz  $\mathbf{C}$ , se obtiene operando las matrices  $\mathbf{P}'$  y  $\mathbf{U}'$ , como se muestra a continuación.

$$\mathbf{C}' = \mathbf{P}' \mathbf{U}' = \begin{bmatrix} C'_{11} & C'_{12} & C'_{13} & \cdots & C'_{1n} \\ C'_{21} & C'_{22} & C'_{23} & \cdots & C'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ C'_{m1} & C'_{m2} & C'_{m3} & \cdots & C'_{mn} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Donde cada  $C'_{ij}$  contiene el valor de la carga instalada propuesta correspondiente a los  $U'_{mn}$  equipos de utilización instalados propuestos, que corresponden al sector 'j' y cuya potencia es  $P'_{ii}$ .

Adicionalmente, la carga total instalada actual correspondiente a todos equipos de utilización involucrados en el estudio  $CT'$ , estará dada por.

$$CT' = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C'_{ij} \quad (3.26)$$

### 3.3.9.5-Matriz de Perfiles de Carga Propuestos

La matriz de perfiles de carga propuestos  $L'$ , contiene los perfiles de carga que presentan los equipos involucrados en el estudio, una vez aplicadas las medidas correctivas consideradas. Similar a la matriz  $L$ , esta matriz tiene dimensiones  $m \times k$  y se obtiene operando las matrices  $P'$ ,  $U'$  y  $H'$  de la forma siguiente.

$$L' = P' U' H' = \begin{bmatrix} L'_{11} & L'_{12} & L'_{13} & \cdots & L'_{1K} \\ L'_{21} & L'_{22} & L'_{23} & \cdots & L'_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ L'_{m1} & L'_{m2} & L'_{m3} & \cdots & L'_{mK} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

de donde se obtiene lo siguiente:

Cada  $L'_{ix}$ , contiene el valor propuesto de la potencia eléctrica demandada por el  $i$ -ésimo tipo de equipo de utilización en el intervalo de tiempo 'x', según el sector de consumo al que pertenezca.

Cada vector fila contiene el perfil de carga propuesto del  $i$ -ésimo tipo de equipo de utilización en el periodo de análisis considerado.

### 3.3.9.6.- Vector de Perfil de Carga Propuesto de los Equipos Involucrados

El vector de perfil de carga propuesto de los equipos involucrados  $\mathbf{LS}'$ , representan la potencia demanda por todos los equipos de utilización involucrados en el estudio en el periodo de análisis considerado, como se muestra a continuación.

$$\mathbf{LS}' = [LS'_1 \quad LS'_2 \quad LS'_3 \quad \dots \quad LS'_k] \quad (3.28)$$

donde cada entrada  $LS'_x$ , indica la potencia propuesta demanda por todos los equipos involucrados en el intervalo de tiempo 'x', y se obtienen como sigue.

$$LS'_x = \sum_{i=1}^m L'_{ix} \quad (3.29)$$

### 3.3.9.7-Matriz de Consumo de Energía Propuesto

La matriz de consumo de energía propuesto  $\mathbf{E}'$ , queda definida por la siguiente expresión.

$$\mathbf{E}' = t \quad \mathbf{L}' = \begin{bmatrix} E'_{11} & E'_{12} & E'_{13} & \dots & E'_{1K} \\ E'_{21} & E'_{22} & E'_{23} & \dots & E'_{2K} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ E'_{m1} & E'_{m2} & E'_{m3} & \dots & E'_{mK} \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Donde 't', es el mismo escalar que el caso actual, el cual contiene el valor de tiempo considerado para los 'k' intervalos del periodo de análisis y  $E'_{ix}$  es la energía consumida por el i-ésimo tipo de equipo de utilización en el intervalo de tiempo 'x'.

### 3.3.9.8.- Consumo Total Propuesto del Inmueble

La energía total consumida en el inmueble  $ET'$ , para el caso propuesto, queda definida por la suma de la energía consumida por los equipos involucrados y la energía consumida por el sector constante, como sigue:

$$ET' = t \sum_{x=1}^k [LS'_x + LC_x] \quad (3.37)$$

### 3.3.9.9.- Vector de Perfil de Carga Propuesto del Inmueble

El perfil de carga Propuesto del inmueble  $LT'$ , lo constituye el vector cuyos elementos son el resultado de sumar el Perfil de carga propuesto de los equipos involucrados en el estudio  $LS'$  y el perfil de carga del sector constante  $LC$ . Similar al vector  $LT$ , este vector se compone de 'k' elementos, y se obtiene como sigue.

$$LT' = LS' + LC = [LT'_1 \quad LT'_2 \quad LT'_3 \quad \dots \quad LT'_k] \quad (3.38)$$

### 3.3.10.- Cambios en Energía y Demanda

Una vez modelados el caso actual y el caso propuesto, es posible estimar los cambios en consumo de energía y demanda que se pueden obtener aplicando las medidas correctivas consideradas. Determinando estos cambios, es posible evaluar si existen ahorros potenciales en energía y reducción en la demanda, así como sus respectivas cuantificaciones. La figura 3.8 describe la secuencia de acciones llevadas en esta actividad, las cuales se detallan a continuación.



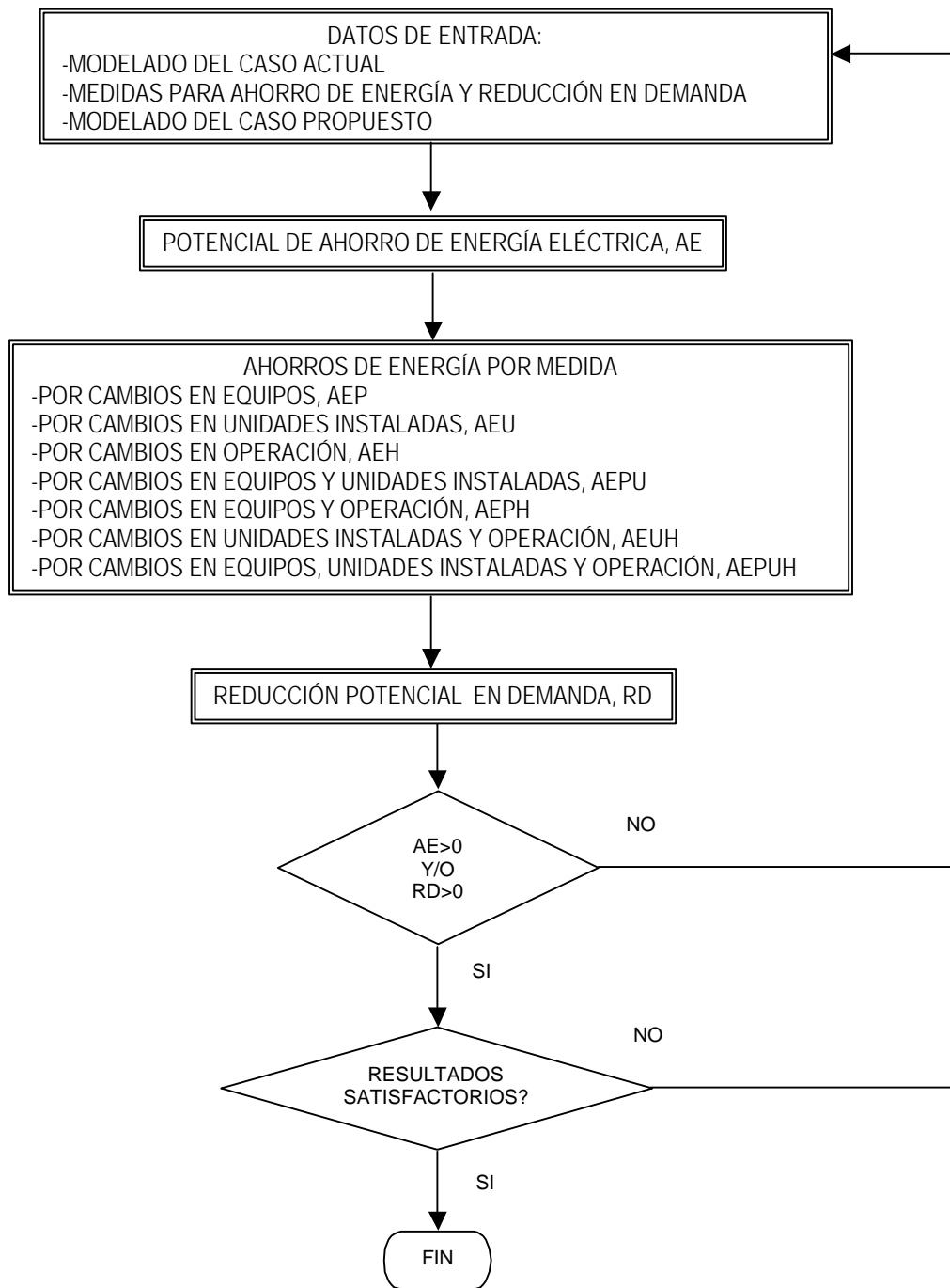


Figura 3.8- Cambios en Energía y Demanda

### 3.3.10.1- Ahorro Potencial de Energía Eléctrica

El potencial de ahorro de energía eléctrica AE, está dado por la diferencia de consumos de energía en el inmueble en los escenarios del caso actual y el caso propuesto, y queda determinado por la siguiente expresión.

$$AE = ET - ET' \quad (3.39)$$

Si  $AE \leq 0$  o su valor no es el deseado, es significativo de que las medidas consideradas para reducir los consumos de energía no son convenientes, y por lo tanto deberán replantearse, si fuera el caso.

Por otra parte, como se comentó en el resumen de este trabajo, es posible determinar el peso que tiene cada medida correctiva sobre el potencial de ahorro de energía total, así como los efectos mutuos entre ellas. Para esto considérese lo siguiente.

Sea  $\Delta E$ , la matriz que define el cambio en la energía consumida por los equipos involucrados en el estudio, dada por la siguiente expresión.

$$\Delta E = t [L - L'] \quad (3.40)$$

o en función de las matrices de potencias, unidades instaladas y operación,

$$\Delta E = t [PUH - P'U'H'] \quad (3.41)$$

Y sean  $\Delta P$ ,  $\Delta U$  y  $\Delta H$ , las matrices que definen los cambios respectivos en potencia de equipos de utilización, unidades instaladas y cambios en la operación respectivamente, del caso base con respecto al caso propuesto, y que están definidas por:

$$\tilde{P} = P - P' \quad (3.42)$$

$$\tilde{U} = U - U' \quad (3.43)$$

$$\tilde{H} = H - H' \quad (3.44)$$

Entonces, expresando el cambio en el consumo de energía  $\Delta E$ , en función del caso base y sus variaciones con respecto al caso propuesto, se tiene.

$$\tilde{E} = t [\tilde{P}U + P\tilde{U} + P\tilde{U}\tilde{H} - \tilde{P}\tilde{U}H - \tilde{P}\tilde{U}\tilde{H}] \quad (3.45)$$

Desarrollando la expresión anterior.

$$\tilde{E} = t [\tilde{P}U + P\tilde{U} + P\tilde{U}\tilde{H} - \tilde{P}\tilde{U}H - \tilde{P}\tilde{U}\tilde{H} + \tilde{P}\tilde{U}\tilde{H}] \quad (3.46)$$

Donde los términos del lado derecho de la ecuación anterior tienen los siguientes significados:

**t [ΔP U H]:** Representa el cambio en el consumo de energía ocasionado por la variación de la potencia activa de cada tipo de equipo de utilización.

**t [P ΔU H]:** Representa el cambio en el consumo de energía ocasionado por la variación de unidades instaladas por sector de consumo.

**t [P U ΔH]:** Representa el cambio en el consumo de energía ocasionado por la variación de la operación de los equipos de utilización en el periodo de análisis considerado.

**t [ $\Delta P \Delta U H$ ]**: Representa el cambio en el consumo de energía ocasionado por el efecto combinado de la variación de la potencia activa de cada tipo de equipo de utilización y las unidades instaladas por sector de consumo.

**t [ $\Delta P U \Delta H$ ]**: Representa el cambio en el consumo de energía ocasionado por el efecto combinado de la variación de la potencia activa de cada tipo de equipo de utilización y por la variación de la operación de equipos de utilización en el periodo de análisis considerado.

**t [ $P \Delta U \Delta H$ ]**: Representa el cambio en el consumo de energía ocasionado por el efecto combinado de la variación de unidades instaladas por sector de consumo y la variación de la operación de equipos de utilización en el periodo de análisis considerado.

**t [ $\Delta P \Delta U \Delta H$ ]**: Representa el cambio en el consumo de energía ocasionado por el efecto combinado de la variación de la potencia activa de cada tipo de equipo de utilización, la variación de unidades en instaladas por sector de consumo y la variación de la operación de equipos de utilización en el periodo de análisis considerado.

Renombrando cada una de estas siete matrices, para facilitar la notación

$$t [\Delta P U H] = \Delta E P \quad (3.47)$$

$$t [P \Delta U H] = \Delta E U \quad (3.48)$$

$$t [P U \Delta H] = \Delta E H \quad (3.49)$$

$$t [\Delta P \Delta U H] = \Delta E P U \quad (3.50)$$

$$t [\Delta \mathbf{P} \Delta \mathbf{U} \Delta \mathbf{H}] = \Delta \mathbf{EPH} \quad (3.51)$$

$$t [\mathbf{P} \Delta \mathbf{U} \Delta \mathbf{H}] = \Delta \mathbf{EUH} \quad (3.52)$$

$$t [\Delta \mathbf{P} \Delta \mathbf{U} \Delta \mathbf{H}] = \Delta \mathbf{EPUH} \quad (3.53)$$

Así, el impacto de cada medida correctiva sobre el potencial total queda determinado por la suma de las entradas de las matrices de las ecuaciones 3.47 a 3.53, y se determinan como sigue.

$$AEP = \sum_{x=1}^k \sum_{i=1}^m \Delta EP_{ix} \quad (3.53)$$

$$AEU = \sum_{x=1}^k \sum_{i=1}^m \Delta EU_{ix} \quad (3.54)$$

$$AEH = \sum_{x=1}^k \sum_{i=1}^m \Delta EH_{ix} \quad (3.55)$$

$$AEPU = \sum_{x=1}^k \sum_{i=1}^m \Delta EPU_{ix} \quad (3.56)$$

$$AEPH = \sum_{x=1}^k \sum_{i=1}^m \Delta EPH_{ix} \quad (3.57)$$

$$AEUH = \sum_{x=1}^k \sum_{i=1}^m \Delta EUH_{ix} \quad (3.58)$$

$$AEPUH = \sum_{x=1}^k \sum_{i=1}^m \Delta EPUH_{ix} \quad (3.59)$$

donde:

AEP: Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos

AEU: Potencial de ahorro de energía por Cambios en Unidades Instaladas

AEH: Potencial de ahorro de energía por Cambios en Operación

AEPU: Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos y Unidades Instaladas

AEPH: Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos y Operación

AEUH: Potencial de ahorro de energía por Cambios en Unidades Instaladas y Operación

AEPUH: Potencial de ahorro de energía por Cambios en Equipos, Unidades Instaladas y Operación.

Ahora, expresando la ecuación (3.39) en función de las ecuaciones (3.46) y (3.53) a (3.59), se tiene que en forma explícita, los ahorros potenciales están dados por.

$$AE = AEP + AEU + AEH - AEPH - AEUH + AEPUH \quad (3.60)$$

### 3.3.10.2- Reducción Potencial en Demanda

Como se comentó en la sección 2.6, las medidas orientadas al ahorro de energía y reducción en la demanda, ocasionan una variación en el perfil de carga, lo que lleva consigo un impacto en la demanda máxima que presenta el inmueble en dos formas: en magnitud y en tiempo de ocurrencia. Así, la reducción potencial en la demanda RD, queda definida por la siguiente expresión:

$$RD = \max\{LT\} - \max\{LT'\} \quad (3.61)$$

Si  $RD \leq 0$  o su valor no es el deseado, es significativo de que las medidas consideradas para reducir la demanda no son convenientes y por lo tanto, deberán replantearse, si fuera el caso.

En el caso de determinar el impacto en varios sub-periodos dentro del periodo definido para el estudio, como ocurre en las tarifas horarias, la expresión anterior deberá aplicarse para cada uno de estos, y con ello se podrá determinar el impacto total sobre la demanda facturable, según lo especifique la tarifa en cuestión (ver anexo 1).

### 3.4.-RESUMEN

La figura 3.9, muestra en forma desglosada la información contenida en las figuras 3.2, 3.7 y 3.8, donde se aprecian todas las actividades de campo, así como las matrices y vectores<sup>5</sup> que tienen lugar en cada modelado, mostrando el símbolo que los representa, ya que todos han sido previamente definidos.

A continuación se resume como se ocurren las operaciones fundamentales en cada modelado, con el fin de tener una perspectiva general de cada uno de estos.

El modelado del caso actual, comienza por formar, con los registros de mediciones eléctricas, el vector que contiene el perfil de carga del inmueble, **LT**. Posteriormente, se forman las matrices **P**, **U** y **H**, con la información de las potencias activas de los equipos de utilización, las unidades instaladas, según el sector al que pertenezcan, y los patrones de operación de dichos equipos. Estas tres matrices, cuando son operadas por multiplicación, arroja la matriz de perfiles de carga actuales **L**, que a su vez, multiplicada por el escalar 't' que contiene el valor de tiempo de los intervalos de los patrones de operación, arroja la matriz de consumos de energía actuales **E**. Con la información de la matriz **L**, se forma el vector **LS**, verificando que sus entradas sean menores a las del vector **LT**, y posteriormente se obtiene el vector del perfil de carga del sector de consumo constante **LC**. Por último, con la información obtenida anteriormente, se obtiene la energía actual consumida en el inmueble ET.

El caso propuesto, similar al caso actual, está determinado por tres matrices que son correlativas con las matrices **P**, **U** y **H**; En este caso **P'**, **U'** y **H'**, las cuales contienen las medidas activas en equipos de utilización que son propuestas para

---

<sup>5</sup> La notación de las matrices y vectores ya ha sido definida en las secciones anteriores y también se define en la sección *Simbología*, al comienzo del presente trabajo.

conseguir racionalización en consumos de energía y demanda, a saber: cambios en equipos, cambios en unidades instaladas y cambios en operación. Estas matrices, al ser operadas bajo multiplicación, arrojan la matriz de perfiles de carga propuestos  $L'$ , que a su vez multiplicada por el mismo escalar 't' del caso actual, resulta en la matriz  $E'$ , que contiene los consumos de energía propuestos de los equipos involucrados. Con la información obtenida hasta el momento es posible obtener el perfil de carga propuesto de los equipos involucrados  $LS'$ , y por consiguiente el perfil de carga propuesto para el inmueble  $LT'$ , así como el consumo propuesto en el inmueble  $ET'$ .

Debe observarse que en todo caso el orden de las matrices es consistente, permitiendo su multiplicación. Así, los potenciales de ahorro de energía eléctrica y reducción en demanda quedan determinados bajo comparación de los consumos y demandas entre los dos escenarios, permitiendo además, obtener las contribuciones al ahorro de energía por cada medida considerada. Si el ahorro y/o reducción en demanda resultan negativos o no satisfactorios, se deberán replantear las medidas correctivas.

Finalmente, es importante comentar que la formación de los modelos matriciales, se puede implementar con el uso de cualquier lenguaje de programación e inclusive, con el uso adecuado de hojas electrónicas de cálculo.



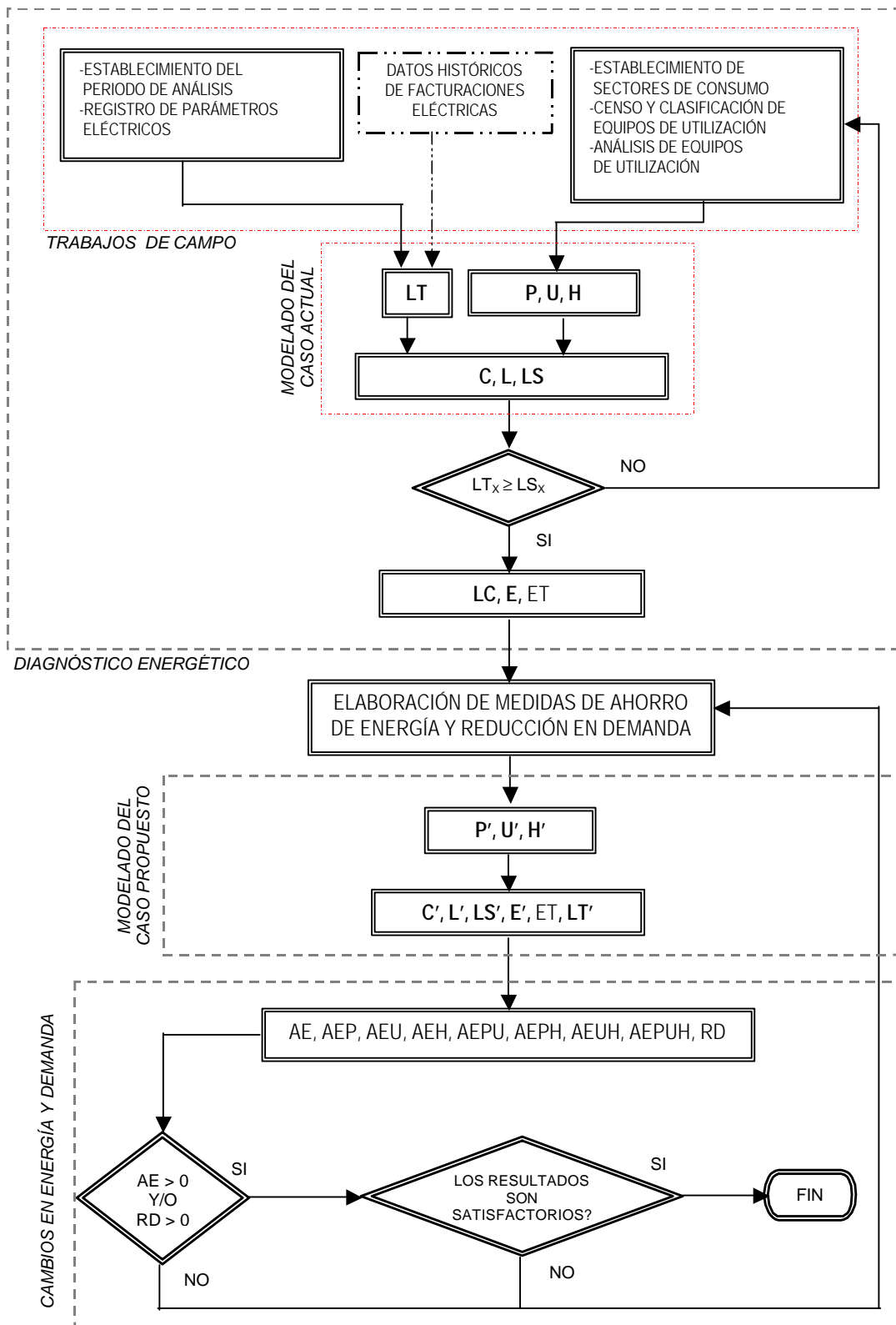


Figura 3.9- Desarrollo desglosado de la Metodología Propuesta

## **CAPITULO 4**

### **SIMULACIÓN DE UN CASO HIPOTÉTICO**

Este capítulo presenta la aplicación de la Metodología Propuesta a un caso hipotético con la finalidad de ilustrar como se pueden incluir todas las medidas correctivas consideradas en su desarrollo. Dichas medidas son las consideradas en el capítulo 3 y son: Cambios en equipos, Cambios en Unidades Instaladas y Cambios en Operación. Debido a que se trata de un caso ficticio, no se incluyen datos históricos de facturación eléctrica. Sin embargo, la carencia de esta información, no repercute en los resultados obtenidos, ya que como se mencionó en el desarrollo de la Metodología, ésta es solo con fines informativos.

#### 4.1.- GENERALIDADES

En este caso hipotético, la Metodología Propuesta se aplica a un edificio no residencial con el fin de analizar los sistemas de iluminación. Se considera que el servicio de energía eléctrica está contratado en tarifa HM zona central, siendo éste el único servicio. Por otra parte, los modelos del caso actual y del caso propuesto están elaborados en hojas electrónicas de cálculo, mostrando sus resultados en las tablas 4.5 a 4.10, para el caso actual, y en las tablas 4.12 a 4.17, para el caso propuesto. Finalmente los cambios en energía y demanda, resultado de aplicar las medidas correctivas consideradas, se muestran en las tablas 4.18 y 4.19.

#### 4.2.- DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

En esta sección se describen en forma resumida los resultados del diagnóstico energético, los cuales servirán de base para la elaboración de medidas correctivas.

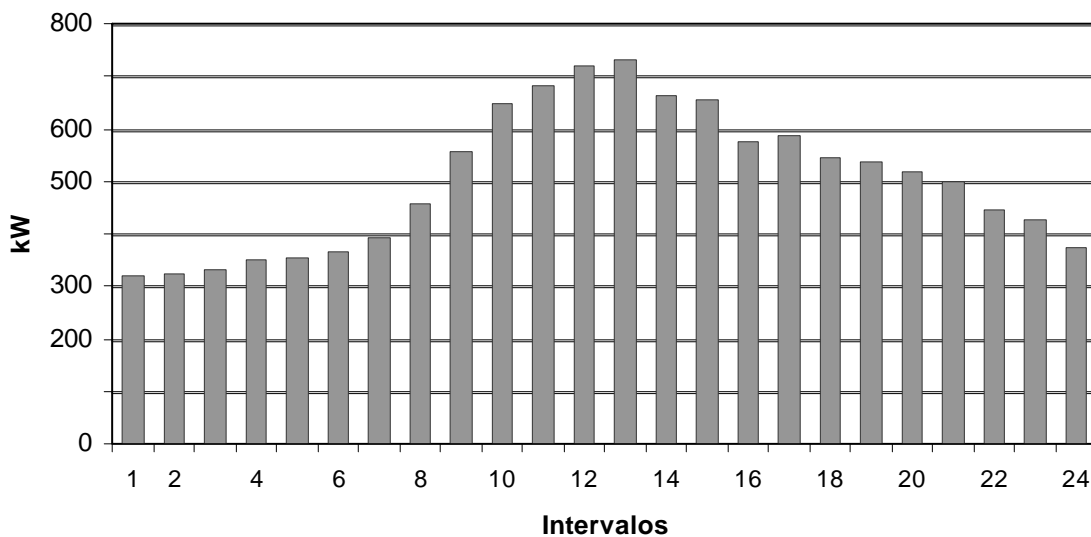


Figura 4.1.- Perfil de Carga- Caso Actual

#### 4.2.1.-Establecimiento del Periodo de Análisis y Registro de Parámetros

Se considera un patrón repetitivo a lo largo de un año de 24 horas, para lo cual, se hacen mediciones en la acometida durante un día, a intervalos de una hora, teniendo como único parámetro eléctrico relevante para el estudio, la potencia activa en kW. Por otra parte, se asume que el valor para cada intervalo es el mismo durante su duración. La tabla 4.1 muestra los valores de estos registros de medición y en la figura 4.1, se puede apreciar el correspondiente perfil de carga.

Tabla 4.1.- Registro de mediciones

INTERVALO	POTENCIA ACTIVA Kw
1	320
2	325
3	330
4	350
5	354
6	366
7	394
8	458
9	558
10	648
11	683
12	721
13	730
14	663
15	655
16	575
17	587
18	544
19	537
20	519
21	497
22	445
23	428
24	375

#### 4.2.2.-Establecimiento de Sectores de Consumo

La tabla 4.2 describe los sectores de consumo formados para el estudio, que en este caso, corresponden a zonificación de áreas.

Tabla 4.2.- Sectores de Consumo (zonificación)

No.	DESCRIPCIÓN
Z1	OFICINAS SIN APORTACIÓN DE LUZ NATURAL
Z2	OFICINAS CON APORTACIÓN DE LUZ NATURAL
Z3	ZONA GENERAL DE TRABAJO
Z4	PASILLOS CON APORTACIÓN DE LUZ NATURAL
Z5	PASILLOS SIN APORTACIÓN DE LUZ NATURAL
Z6	BAÑO PUBLICO
Z7	ALMACEN
Z8	RECEPCIÓN
Z9	EXTERIOR
Z10	ESTACIONAMIENTO

#### 4.2.3.-Censo, Clasificación y Análisis de Equipos de Utilización

La tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos al censar y analizar los diferentes tipos de equipos de utilización o sistemas, existentes en las zonas establecidas. En dicha tabla se puede apreciar la descripción y la potencia de línea de cada sistema. En general, los sistemas a base de lámparas fluorescentes corresponden a sistemas con bulbo lineal T12 operados con balastro electromagnético y a base de lámparas fluorescentes compactas de tecnología reciente. Respecto a los de alta intensidad de descarga, estos son del tipo de vapor de mercurio operados con balastro autorregulado. Por otra parte, también se puede apreciar el número de unidades censadas, indicando cuantas de ellas se encuentran en operación y cuantas se encuentran fuera de servicio. Dentro de las unidades que se encuentran fuera de servicio, es necesario cuantificar las que se encuentren en cada una de las zonas tipo. La tabla 4.4 detalla lo anterior.

Tabla 4.3-Censo, Clasificación y Análisis de Equipos de Utilización

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	POT. LINEA ( kW )	UNIDADES CENSADAS		
			EN OPN.**	FS***	TOTAL
1	FLUORESCENTE LINEAL T12-2x34 W	0.070	1653	292	1945
2	FLUORESCENTE LINEAL T12-1x75 W	0.064	142	107	249
3	FLUORESCENTE COMPACTA-1x13 W	0.017	240	204	444
4	FLUORESCENTE COMPACTA-2x13 W *	0.017	284	90	374
5	VAPOR DE MERCURIO-250 W	0.290	56	18	74

\* OPERANDO CON UNA SOLA LÁMPARA

\*\* EN OPERACIÓN

\*\*\* FUERA DE SERVICIO

Tabla 4.4-Unidades fuera se servicio por zona

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10
Sistema 1	85	24	85	44	21		33			
Sistema 2										107
Sistema 3				97		47		60		
Sistema 4			28	24	8		30			
Sistema 5									18	

#### 4.2.4.- Modelado del Caso Actual

A continuación, se ilustran las matrices que contienen toda la información necesaria para modelar el caso actual, según se describió en el capítulo anterior. La información de las matrices **P** y **U** se obtiene con la información descrita en apartados anteriores y se detalla en las tablas 4.5 y 4.6. Respecto a la matriz de operación **H**, en la tabla 4.7 se exponen explícitamente los patrones de operación de cada sistema, según el sector de consumo al que pertenezcan. La tabla 4.8 contiene la información de la carga instalada por zona, resultante de operar las matrices **P** y **U**, y la carga instalada total.

Los perfiles de carga son presentados en las tablas 4.9 y 4.10, donde la primera contiene los perfiles de carga de cada tipo de equipo de utilización a lo largo del periodo de análisis considerado y la segunda contiene los perfiles de carga correspondientes a todos los sistemas involucrados en el estudio, el sector de consumo constante y el perfil total del inmueble.

Tabla 4.5.- Matriz P - Potencias Actuales

Sistema 1	0.070	0	0	0	0
Sistema 2	0	0.064	0	0	0
Sistema 3	0	0	0.017	0	0
Sistema 4	0	0	0	0.017	0
Sistema 5	0	0	0	0	0.290

Tabla 4.6.- Matriz U - Equipos Instalados Actuales

	Z1	Z2	Z4	Z5	Z7	Z8	Z10
Sistema 1		329	660	57	0	0	0
Sistema 2	0		0	0	0	0	142
	0	0	183	0	0	0	0
Sistema 4		0	77	157	0	0	0
Sistema 5	0		0	0	0	0	56

Tabla 4.7.- Matriz H - Operación Actual

	i1	i3	i4	i6	i7	i9	i10	i12	i13	i15	i16	i18	i19	i21	i22	i24
Z1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Z3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Z4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Z7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Z9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Z10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.8.- Matriz C - Carga Instalada Actual

	Z1	Z3	Z4	Z6	Z7	Z9	Z10
	23.03	46.20		3.99	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.09
	0.00	0.00	3.11	0.97	0.00	0.00	0.00
	0.00	1.31		2.67	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Carga Instalada Actual por Sector (zona)

	23.03	47.51		6.66	0.97	0.00	16.24
--	-------	-------	--	------	------	------	-------

Carga Instalada total Actual

149.95
--------

Tabla 4.9.- Matriz L transpuesta- Perfiles de Carga Actuales

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
i1	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2
i2	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2
i3	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2
i4	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2
i5	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2
i6	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2
i7	13.0	9.1	4.1	3.5	16.2
i8	59.2	9.1	4.1	4.8	0.0
i9	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i10	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i11	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i12	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i13	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i14	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i15	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i16	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i17	115.7	9.1	4.1	4.8	0.0
i18	59.2	9.1	4.1	4.8	16.2
i19	59.2	9.1	4.1	4.8	16.2
i20	8.2	9.1	4.1	3.5	16.2
i21	8.2	9.1	4.1	3.5	16.2
i22	8.2	9.1	4.1	3.5	16.2
i23	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2
i24	4.0	9.1	0.0	2.7	16.2



Tabla 4.10- Pefiles de carga de Equipos involucrados, constante y Total  
Actuales

	<b>LS</b>	<b>LC</b>	<b>LT</b>
i1	32.0	288.0	320
i2	32.0	293.0	325
i3	32.0	298.0	330
i4	32.0	318.0	350
i5	32.0	322.0	354
i6	32.0	334.5	366
i7	45.9	348.0	394
i8	77.1	380.9	458
i9	133.7	424.1	558
i10	133.7	514.7	648
i11	133.7	549.6	683
i12	133.7	587.6	721
i13	133.7	595.9	730
i14	133.7	529.3	663
i15	133.7	521.3	655
i16	133.7	441.4	575
i17	133.7	452.8	587
i18	93.4	450.9	544
i19	93.4	443.7	537
i20	41.1	477.8	519
i21	41.1	456.3	497
i22	41.1	404.3	445
i23	32.0	396.4	428
i24	32.0	343.0	375

### 4.3.- ELABORACIÓN DE MEDIDAS ORIENTADAS AL AHORRO DE ENERGÍA Y REDUCCIÓN EN LA DEMANDA.

A continuación, se mencionarán las medidas consideradas para conseguir racionalización en los consumos de energía y demandas, en lo que corresponde a medidas activas aplicadas a equipos consumidores, según se estableció en los alcances del capítulo anterior. Dichas medidas son como se muestra a continuación y se podrán apreciar con más detalle en el modelado del caso propuesto.

#### 4.3.1.- Cambios en Equipos

En esta medida se consideran los cambios tecnológicos correspondientes al sustituir los sistemas actuales por similares de mayor eficiencia. En el caso de los sistemas a base de lámparas fluorescentes lineales con bulbo T12, se considera el cambio a sistemas con lámparas lineales de bulbo T8, operadas con balastro electrónico y en el caso de los sistemas de alta intensidad de descarga, se considera sustituir los sistemas obsoletos de vapor de mercurio por aditivos metálicos, aparte de considerar su redimensionamiento. En el caso de los sistemas a base de lámparas fluorescentes compactas, solo se considera el redimensionamiento del sistema 4, al incorporar la lámpara faltante.

La descripción de los sistemas propuestos, así como su respectiva potencia de línea se muestran en la tabla 4.11.

Tabla 4.11- Cambios propuestos en equipos

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	POT. LINEA ( kW )
1	FLUORESCENTE LINEAL T8-2x32 W	0.025
2	FLUORESCENTE LINEAL T8-1x59 W	0.054
3	FLUORESCENTE COMPACTA-1x13 W	0.017
4	FLUORESCENTE COMPACTA-2x13 W	0.034
5	VAPOR DE ADTS. METÁLICOS-175 W	0.205

#### 4.3.2.- Cambios en Unidades Instaladas

En esta medida se considera la rehabilitación de los equipos fuera de servicio para todos los sistemas existentes. Obviamente, esta medida ocasionará un impacto negativo, ya que incrementará los consumos de energía, y probablemente la demanda.

#### 4.3.3.- Cambios Operación

En esta medida se considera la modificación de la operación de los sistemas de acuerdo a los horarios de las actividades que se llevan a cabo en el inmueble con el fin de reducir los consumos irracionales. También se incluye el aprovechamiento de luz natural en aquellas zonas que así lo permitan, como medida pasiva, a fin de modificar los patrones de operación de los equipos correspondientes a dichas zona, operando dichos equipos al 50% de su capacidad, en algunos casos, o prescindiendo de su operación, en otros.

#### 4.4.- MODELADO DEL CASO PROPUESTO

A continuación se ilustran las matrices que contienen toda la información necesaria para modelar el caso propuesto, según se describió en el capítulo anterior. En estas matrices se aprecian las medidas consideradas para conseguir racionalización en los consumos de energía y demanda.

La información de las matrices **P'**, **U'** y **H'** se muestra en las tablas 4.12 a 4.14 y se obtiene modificando la información de las matrices **P**, **U** y **H** de caso actual con la información de las medidas correctivas consideradas en el apartado anterior. La tabla 4.15 contiene la información de la carga instalada propuesta por zona, resultante de operar las matrices **P'** y **U'**, y la carga instalada total propuesta.

Por último, los perfiles de carga propuestos son presentados en las tablas 4.16 y 4.17, donde la primera contiene los perfiles de carga propuestos de cada tipo de equipo de utilización a lo largo del periodo de análisis considerado y la segunda contiene los perfiles de carga propuestos, correspondientes a todos los sistemas involucrados en el estudio y del inmueble, así como el perfil del sector de consumo constante.

Tabla 4.12- Matriz P' - Potencias Propuestas

Sistema 1	0.025	0	0	0	0
Sistema 2	0	0.054	0	0	0
Sistema 3	0	0	0.017	0	0
Sistema 4	0	0	0	0.034	0
Sistema 5	0	0	0	0	0.205

Tabla 4.13- Matriz U' - Equipos Instalados Propuestos

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10
Sistema 1	564	353	745	104	78	0	101	0	0	0
Sistema 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	249
Sistema 3	0	0	0	280	0	104	0	60	0	0
Sistema 4	0	0	105	74	165	0	30	0	0	0
Sistema 5	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0

Tabla 4.14- Matriz H' - Operación Propuesta

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11	i12	i13	i14	i15	i16	i17	i18	i19	i20	i21	i22	i23	i24
Z1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Z2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0
Z3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Z4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Z5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Z6	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Z7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Z8	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Z9	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Z10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 4.15- Matriz C' - Carga Instalada Propuesta

Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10
14.10	8.83	18.63	2.60	1.95	0.00	2.53	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.45
0.00	0.00	0.00	4.76	0.00	1.77	0.00	1.02	0.00	0.00
0.00	0.00	3.57	2.52	5.61	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.17	0.00
Carga Instalada Actual por Sector (zona)									
14.10	8.83	22.20	9.88	7.56	1.77	3.55	1.02	15.17	13.45
Carga Instalada total Propuesta									
97.51	kW								

Tabla 4.16.- Matriz L' transpuesta- Perfiles de Carga Propuestos

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5
i1	0.00	13.45	0.00	0.00	15.17
i2	0.00	13.45	0.00	0.00	15.17
i3	0.00	13.45	0.00	0.00	15.17
i4	0.00	13.45	1.02	0.00	15.17
i5	0.00	13.45	1.02	0.00	15.17
i6	0.00	13.45	1.02	0.00	15.17
i7	7.08	13.45	7.55	9.15	0.00
i8	25.70	13.45	7.55	12.72	0.00
i9	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i10	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i11	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i12	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i13	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i14	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i15	4.48	13.45	2.79	6.63	0.00
i16	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i17	41.61	13.45	2.79	10.20	0.00
i18	25.70	13.45	7.55	12.72	15.17
i19	25.70	13.45	6.53	12.72	15.17
i20	4.55	13.45	6.53	8.13	15.17
i21	4.55	13.45	6.53	8.13	15.17
i22	4.55	13.45	6.53	8.13	15.17
i23	0.00	13.45	0.00	0.00	15.17
i24	0.00	13.45	0.00	0.00	15.17

Tabla 4.17.- Pefiles de carga de Equipos involucrados, constante y Total Propuestos

	LS'	LC	LT'
i1	28.6	288.0	317
i2	28.6	293.0	322
i3	28.6	298.0	327
i4	29.6	318.0	348
i5	29.6	322.0	352
i6	29.6	334.5	364
i7	37.2	348.0	385
i8	59.4	380.9	440
i9	68.0	424.1	492
i10	68.0	514.7	583
i11	68.0	549.6	618
i12	68.0	587.6	656
i13	68.0	595.9	664
i14	68.0	529.3	597
i15	27.3	521.3	549
i16	68.0	441.4	509
i17	68.0	452.8	521
i18	74.6	450.9	525
i19	73.6	443.7	517
i20	47.8	477.8	526
i21	47.8	456.3	504
i22	47.8	404.3	452
i23	28.6	396.4	425
i24	28.6	343.0	372

#### 4.5.- CAMBIOS EN ENERGÍA Y DEMANDA

Los cambios en Energía, detallados en la tabla 4.18, muestran el impacto de cada una de las tres medidas consideradas en el estudio. Se puede apreciar el peso neto de cada una de ellas, así como los efectos mutuos entre medidas. Como resultado, se obtiene un ahorro de 700.47 kWh diarios, siendo este resultado satisfactorio a pesar de los efectos negativos que involucra la medida de rehabilitar los equipos fuera de servicio.

Tabla 4.18- Cambios en Energía

CONTRIBUCIÓN	kWh	FACTOR
t [ $\Delta P$ U H ]	835.54	1
t [ P $\Delta U$ H ]	-568.69	1
t [ P U $\Delta H$ ]	339.15	1
t [ $\Delta P$ $\Delta U$ H ]	-188.68	-1
t [ $\Delta P$ U $\Delta H$ ]	144.55	-1
t [ P $\Delta U$ $\Delta H$ ]	-85.08	-1
t [ $\Delta P$ $\Delta U$ $\Delta H$ ]	-34.72	1
<b>TOTAL</b>	<b>700.47</b>	

Respecto a la demanda, por tratarse de un contrato horario, es necesario desglosar los impactos en cada uno de los horarios que marca en específico este tipo de servicio, para poder así, calcular adecuadamente la demanda facturable. La tabla 4.19, muestra que se tiene una reducción en la demanda facturable de 15 kW, así como las respectivas disminuciones en los periodos base, intermedio y punta (ver anexo 1).

Tabla 4.19- Cambios en Demanda

	ACTUAL	PROPUESTO	CAMBIO
DEMANDA MAX. BASE (kW)	428	425	3
DEMANDA MAX. INTERMEDIO (kW)	730	664	66
DEMANDA MAX. PUNTA (kW)	497	504	-7
<b>DEMANDA FACTURABLE (kW)</b>	<b>567</b>	<b>552</b>	<b>15</b>

Las figuras 4.2 y 4.3 muestran los perfiles de carga del caso actual y del caso propuesto, con las respectivas contribuciones de los equipos involucrados en el estudio. Por otra parte, la figura 4.4, muestra la comparación de los perfiles de carga solo de los equipos involucrados es lo que respecta al caso actual y al caso propuesto.

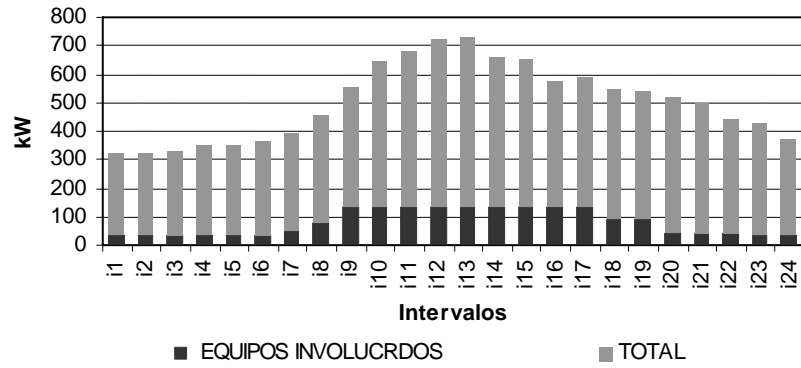


Figura 4.2-Perfiles de Carga Actuales- Total y Equipos involucrados

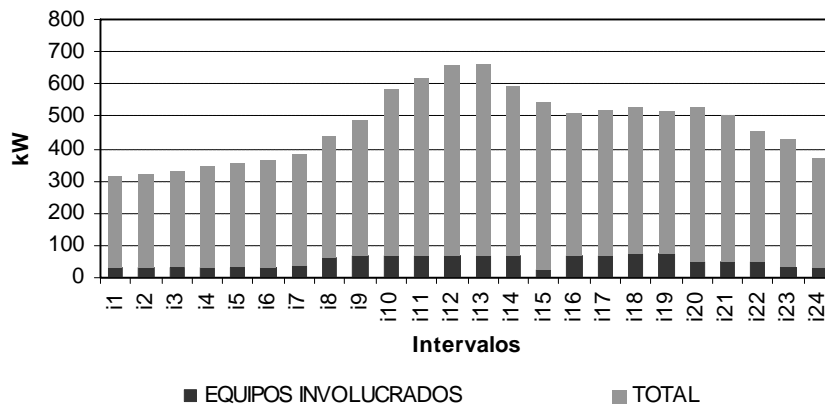


Figura 4.3-Perfiles de Carga Propuestos- Total y Equipos involucrados

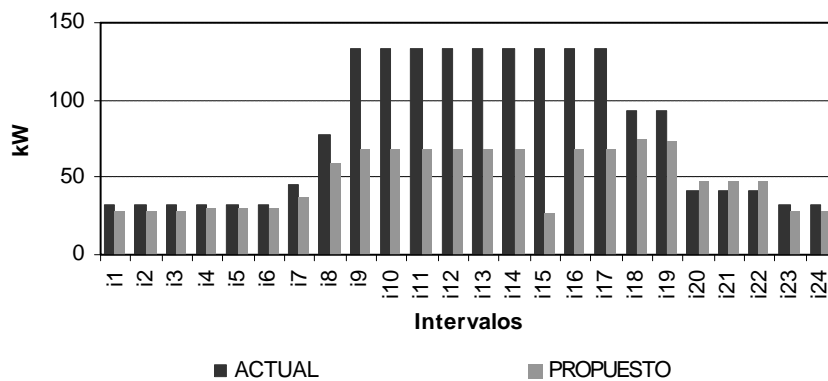


Figura 4.4-Comparación de Perfiles de los equipos involucrados-Actual y Propuesto



## **CAPITULO 5**

### **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN CASO REAL**

En el presente capítulo se aplica la Metodología Propuesta a un caso real. Para esto, se tomó el caso de un edificio no residencial con uso de oficinas ubicado en la calle de Río Rodano, en la Cd. De México. Dicho edificio, consta de una superficie muy aproximada a los 30,000 m<sup>2</sup> y se tiene como objetivo analizar los sistemas de iluminación del inmueble. El contenido del capítulo consta básicamente en presentar los resultados obtenidos por una firma de consultoría al realizar un diagnóstico energético y proponer medidas de ahorro de energía para posteriormente, comparar estos resultados con los que se pudieran haber obtenido aplicando la metodología propuesta.

## **5.1.-GENERALIDADES**

En mayo de 2004, los propietarios del inmueble decidieron contratar a una firma de consultoría a fin de evaluar los consumos ocasionados por los sistemas de iluminación y proponer alternativas para su racionalización. Para esto, los consultores llevaron a cabo un censo detallado de todos los sistemas de iluminación, clasificándolos y tomando las horas de uso de cada uno de estos, para con ello, determinar las horas promedio de uso al año por sistema. En forma paralela, realizaron los trabajos de campo pertinentes para poder elaborar sus propuestas relativas a racionalización de consumos de energía y demanda.

A continuación, se muestran los datos que sirvieron de base para el estudio de la consultoría y que se toman también como base para aplicar la Metodología Propuesta.

### **5.1.1.-Análisis de Facturaciones**

El inmueble cuenta con un servicio de suministro de energía eléctrica contratado en tarifa HM (ver anexo 1), el cual suministra fluido eléctrico a cada uno de los servicios que ahí se ofrecen. De acuerdo con el análisis de los recibos de facturación del suministrador, se tiene un consumo promedio mensual de 194,760 kWh y una demanda facturable de 533 kW al mes. La Tabla 5.1 muestra el resumen de los datos estadísticos recopilados y las figuras 5.1 y 5.2 muestran en forma gráfica los consumos y las demandas.

### **5.1.2.- Registro de Mediciones Eléctricas**

Se obtuvieron registros de mediciones de potencia real durante una semana completa, obteniéndose registros cada diez minutos, con el fin de ver el

comportamiento de todos los parámetros de interés durante los días típicos del año.

De los registros obtenidos, se encontró que la demanda máxima se encuentra en 743 kW, valor que se presenta entre las 12 y las 13 horas. La demanda mínima registrada oscila alrededor de los 105 kW la cual se produce alrededor de las 4 horas de día lunes, como se aprecia en la Figura 5.3. En cuanto a la energía consumida, las mediciones arrojan un consumo semanal de 50,000 kWh, que al proyectarlo a un mes arroja un consumo mensual de 200,000 kWh, valor que resulta coherente con los 194,760 kWh promedio que se obtuvieron al analizar la facturación eléctrica de 2003.

Tabla 5.1-Registro histórico de Facturaciones Eléctricas

PERIODO DE CONSUMO			CONSUMO DE ENERGÍA ( kWh )				DEMANDA ( KW )			
MES	INICIO	FIN	BASE	INTERMEDIO	PUNTA	TOTAL	BASE	INTERMEDIO	PUNTA	FACTURABLE
ENE	31/12/02	29/01/03	27,600	102,800	19,200	149,600	144	534	436	465
FEB	29/01/03	28/02/03	30,000	135,200	25,200	190,400	157	688	559	598
ABR	01/04/03	02/05/03	33,600	161,600	13,800	208,800	177	816	513	604
MAY	02/05/03	02/06/03	36,000	205,600	10,000	251,600	204	962	390	562
JUN	02/06/03	30/06/03	31,200	157,600	10,800	199,600	204	962	397	567
JUL	30/06/03	28/07/03	29,200	150,800	8,400	188,400	178	678	335	438
SEP	27/08/03	29/09/03	36,000	163,200	8,800	208,000	168	704	321	436
OCT	29/09/03	29/10/03	30,000	151,600	10,800	192,400	154	681	537	580
NOV	29/10/03	28/11/03	31,600	138,400	24,800	194,800	186	752	535	600
DIC	28/11/03	30/12/03	33,600	108,400	22,000	164,000	167	582	436	480
<b>PROMEDIO</b>			<b>31,880</b>	<b>147,520</b>	<b>15,360</b>	<b>194,760</b>	<b>174</b>	<b>736</b>	<b>446</b>	<b>533</b>
<b>MÁXIMO</b>			<b>36,000</b>	<b>205,600</b>	<b>25,200</b>	<b>251,600</b>	<b>204</b>	<b>962</b>	<b>559</b>	<b>604</b>
<b>MÍNIMO</b>			<b>27,600</b>	<b>102,800</b>	<b>8,400</b>	<b>149,600</b>	<b>144</b>	<b>534</b>	<b>321</b>	<b>436</b>

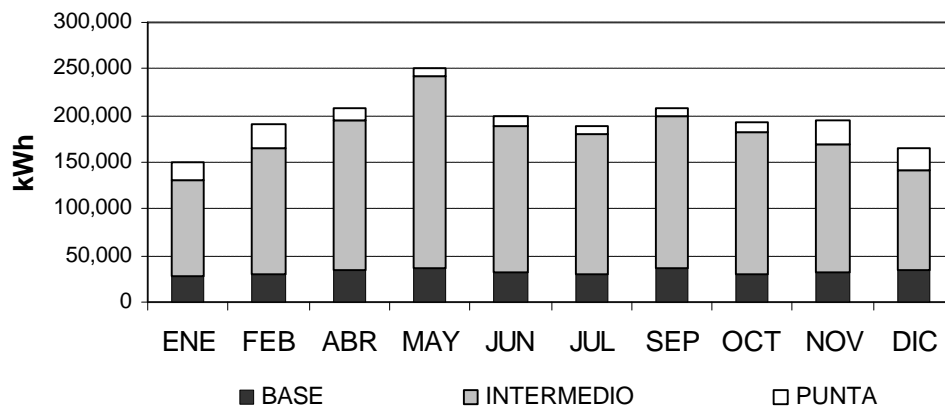


Figura 5.1-Consumo Histórico

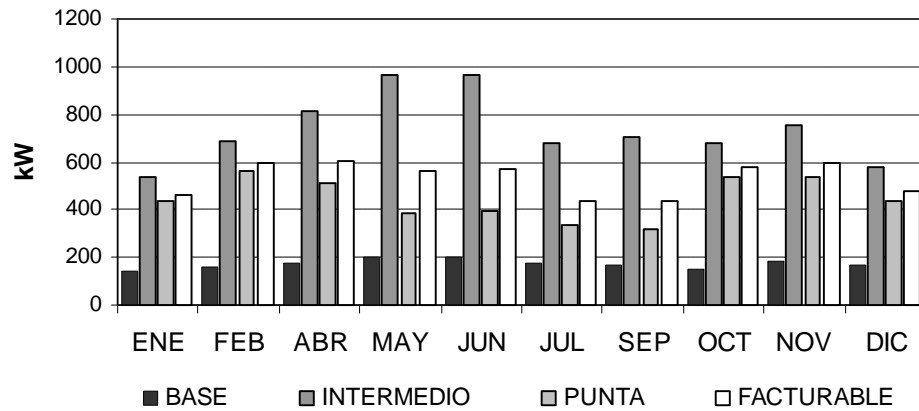


Figura 5.2- Demanda Histórica

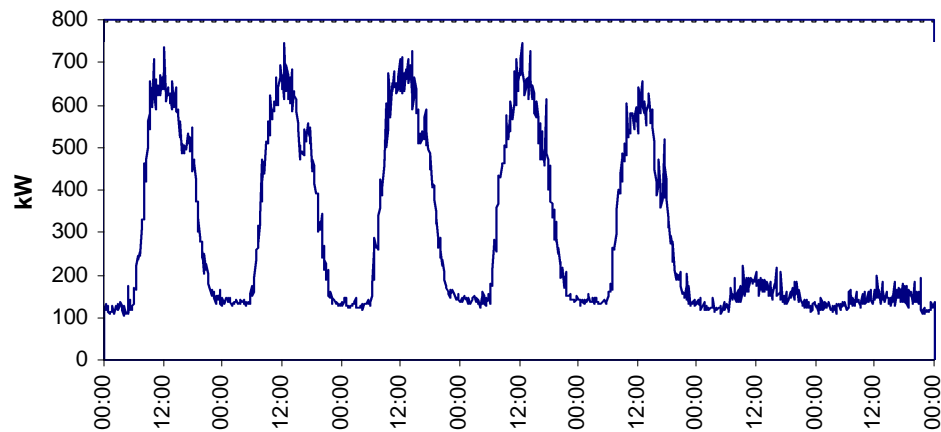


Figura 5.3- Perfil de Carga Semanal

### 5.1.3.- Censo de Sistemas de Iluminación

La tabla 5.2, contiene el censo de todos los sistemas de iluminación involucrados en el estudio, donde se puede apreciar las características de lámpara y balastro.

Tabla 5.2-Censo de Sistemas de Iluminación

SISTEMA	CLAVE GABINETE	LAMPARA				BALASTRO		
		TIPO	BULBO	CANT.	POT. (W)	CANT.	TIPO	POT.(W)
1	EMP-1	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
2	EMP-1	FLUORESCENTE LINEAL	T12	4	34	2	ELMGT.	2X34
3	EMP-1A	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
4	EMP-2	FLUORESCENTE LINEAL	T12	4	34	2	ELMGT.	2X34
5	EMP-2	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
6	EMP-2	FLUORESCENTE LINEAL	T12	4	20	2	ELMGT.	2X20
7	EMP-2	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	75	1	ELMGT.	2X75
8	EMP-3	FLUORESCENTE LINEAL	T12	4	34	2	ELMGT.	2X34
9	EMP-4	FLUORESCENTE LINEAL	T8	4	32	2	ELTN.	2X32
10	EMP-5	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	75	1	ELMGT.	2X75
11	EMP-6	FLUORESCENTE LINEAL	T5	3	14	1	ELTN.	3X14
12	SP1	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
13	SP-1	FLUORESCENTE LINEAL	T12	1	34	0.5	ELMGT.	2X34
14	SP-1	FLUORESCENTE LINEAL	T8	2	32	1	ELTN.	2X32
15	SP-2	FLUORESCENTE LINEAL	T12	4	34	2	ELMGT.	2X34
16	SPE1	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
17	SPE2	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
18	SPR	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
19	GAV	FLUORESCENTE LINEAL	T12	2	34	1	ELMGT.	2X34
20	CAN	FLUORESCENTE LINEAL	T12	1	75	0.5	ELMGT.	2X75
21	CAN	FLUORESCENTE LINEAL	T12	1	34	0.5	ELMGT.	2X34
22	CMP1	FLUORESCENTE COMPACTA	-----	1	42	1	ELTN.	1X42
23	CMP1	FLUORESCENTE COMPACTA	-----	1	32	1	ELMGT.	1X32
24	CMP3	FLUORESCENTE COMPACTA	-----	1	13	1	ELMGT.	1X13
25	CMP4	FLUORESCENTE COMPACTA	-----	2	13	1	ELMGT.	2X13
26	BALA	FLUORESCENTE COMPACTA	-----	1	20	-----	-----	-----
27	BOX	FLUORESCENTE COMPACTA	-----	1	20	-----	-----	-----
28	SENSOR	INCANDESCENTE	PAR 38	2	90	-----	-----	-----
29	DIC	INCANDESCENTE	MR-16	1	50	-----	-----	-----

ELMGT. :ELECTROMAGNÉTICO  
 ELTN. :ELECTRÓNICO

## 5.2.- RESULTADOS OBTENIDOS POR LA FIRMA DE CONSULTORIA [G6]

En la tabla 5.3 se exponen en forma resumida los resultados del análisis, así como las propuestas para conseguir racionalización en los consumos de energía hechas por la firma de consultoría.

De los resultados obtenidos, puede apreciarse que se detallan los datos de consumo de energía y demanda para cada sistema de iluminación, comparando dichos consumos y demandas con los que se pudieran presentar implementando medidas de ahorro de energía. Por otra parte, se expresan los totales para todos los sistemas, que en este caso constituyen todos los equipos de utilización

involucrados en el estudio, teniendo el beneficio en ahorro de energía en una base anual, y la reducción en demanda en una base mensual. Cabe mencionar que las medidas propuestas por la firma de consultoría solo contemplan en su gran mayoría, el cambio de tecnología en equipos, y una insignificante partida de cambio en unidades instaladas.

Tabla 5.3.-Resultados obtenidos por la firma de Consultoría

SISTEMA	UNIDADES		HRS. USO / AÑO		POT. DE LINEA ( kW )		CONSUMO ( Kwh ) <sup>1</sup>		FC <sup>2</sup>	DEMANDA ( kW ) <sup>3</sup>		AHORROS	
	A	P	A	P	A	P	A	P		A	P	ENERGÍA ( kWh )	DEMANDA ( kW )
1	1859	1859	3,425	3,425	0.074	0.052	471,164	331,088	0.94	129.31	90.87	140,076	38.44
2	25	25	3,425	3,425	0.148	0.052	12,673	4,453	0.93	3.44	1.21	8,220	2.23
3	7	8	3,450	3,450	0.074	0.052	1,787	1,435	0.90	0.47	0.37	352	0.09
4	38	38	3,188	3,188	0.148	0.052	17,929	6,299	0.90	5.06	1.78	11,630	3.28
5	5	5	3,120	3,120	0.074	0.026	1,154	406	0.90	0.33	0.12	749	0.22
6	4	0	2,860	2,860	0.116	0.116	1,327	0	0.87	0.40	0.00	1,327	0.40
7	14	14	3,204	3,204	0.158	0.108	7,087	4,844	0.87	1.92	1.32	2,243	0.61
8	12	12	3,597	3,597	0.148	0.052	6,388	2,245	0.80	1.42	0.50	4,144	0.92
9	19	19	2,915	2,915	0.12	0.12	6,646	6,646	0.85	1.94	1.94	0	0.00
10	14	14	1,560	1,560	0.158	0.108	3,451	2,359	0.70	1.55	1.06	1,092	0.49
11	9	9	2,860	2,860	0.055	0.055	1,416	1,416	0.80	0.40	0.40	0	0.00
12	21	21	7,320	7,320	0.074	0.052	11,375	7,993	0.90	1.40	0.98	3,382	0.42
13	250	250	5,506	5,506	0.037	0.026	50,931	35,789	0.90	8.33	5.85	15,142	2.48
14	4	4	6,136	6,136	0.06	0.06	1,473	1,473	0.50	0.12	0.12	0	0.00
15	11	11	3,041	3,041	0.148	0.052	4,951	1,739	0.87	1.42	0.50	3,211	0.92
16	38	38	884	884	0.074	0.026	2,486	873	0.10	0.28	0.10	1,612	0.18
17	36	36	2,066	2,066	0.074	0.026	5,504	1,934	0.50	1.33	0.47	3,570	0.86
18	10	10	2,559	2,559	0.074	0.052	1,894	1,331	0.80	0.59	0.42	563	0.18
19	77	77	2,975	2,975	0.074	0.026	16,952	5,956	0.85	4.84	1.70	10,996	3.14
20	14	14	1,323	1,323	0.079	0.054	1,463	1,000	0.85	0.94	0.64	463	0.30
21	64	64	4,368	4,368	0.037	0.026	10,343	7,268	0.70	1.66	1.16	3,075	0.49
22	106	106	4,079	4,079	0.048	0.048	20,754	20,754	0.90	4.58	4.58	0	0.00
23	729	729	3,550	3,550	0.036	0.036	93,166	93,166	0.90	23.62	23.62	0	0.00
24	24	24	981	981	0.016	0.016	377	377	0.30	0.12	0.12	0	0.00
25	541	541	4,191	4,191	0.032	0.032	72,555	72,555	0.80	13.85	13.85	0	0.00
26	55	55	2,337	2,337	0.023	0.023	2,956	2,956	0.85	1.08	1.08	0	0.00
27	5	5	8,632	8,632	0.023	0.023	993	993	0.90	0.10	0.10	0	0.00
28	23	23	1,040	1,040	0.18	0.18	4,306	4,306	0.50	2.07	2.07	0	0.00
29	82	82	3,140	3,140	0.055	0.038	14,161	9,784	0.87	3.92	2.71	4,377	1.21

TOTALES			
CONSUMO <sup>1</sup> kWh		DEMANDA <sup>3</sup> KW	
A	P	A	P
847,660	631,437	216	160

- A :CASO ACTUAL
- P :CASO PROPUESTO
- 1 :CONSUMO ANUAL
- 2 :FACTOR DE COINCIDENCIA
- 3 :DEMANDA MENSUAL

<b>AHORO ANUAL DE ENERGÍA ( kWh )</b>	<b>216,223</b>
<b>REDUCCIÓN MENSUAL EN DEMANDA ( kW )</b>	<b>56.87</b>

### 5.3.-RESULTADOS OBTENIDOS CON LA METODOLOGIA PROPUESTA

Para comparar los resultados obtenidos por la metodología de la firma de consultoría con los obtenidos con la Metodología Propuesta, se tomaron los mismos criterios en cuanto a la implementación de medidas para conseguir racionalización en los consumos de energía y demanda.

La información concerniente a las matrices **P** y **P'** es obtenida de la tabla 5.3, para las potencias de línea del caso actual y del caso propuesto. La información relevante a la zonificación del inmueble, así como los patrones de funcionamiento de los equipos, se detalla en la tabla 5.4, los cuales dan origen a las matrices **H** y **H'**. Por último, la matriz **U**, que contiene la cantidad de unidades instaladas actuales por zona, se muestra explícitamente en la tabla 5.5, y la matriz **U'**, que contiene la matriz de unidades instaladas propuestas solo sufre un cambio en el sistema 6 de la zona 1, al cambiar el número de unidades instaladas de seis a cero, quedando la matriz sin cambios significativos, razón por la cual no se le muestra.

Cabe mencionar que, como se puede apreciar en la tabla 5.4, existe un patrón de funcionamiento de los equipos bien definido para los días hábiles y para los no hábiles, lo que da lugar a tener dos matrices de operación actual **H**, y dos matrices de operación propuesta **H'**, que en este caso en particular son las mismas para el caso actual y para el caso propuesto, ya que como se comentó, estas medidas no se incluyen en las propuestas hechas por la firma de consultoría. Por otra parte, las matrices de operación no se muestran en forma detallada debido a sus dimensiones que son de 29x144.

Tabla 5.4-Zonificación y Horarios de Funcionamiento de los Sistemas

ZONA		HORARIO	
No.	DESCRIPCIÓN	DIA LABORABLE	DIA NO LABORABLE
1	OFICINA PRIVADA	7-15 hrs. / 16-18 hrs.	-----
2	ZONA GENERAL DE TRABAJO	7-19 hrs	-----
3	BAÑO PÚBLICO	7-19 hrs	-----
4	BAÑO-COCINETA	7-19 hrs <sup>1</sup>	-----
5	DUCTO DE SERVICIOS	7-19 hrs <sup>1</sup>	-----
6	PASILLO-ESCALERA	7-20 hrs	-----
7	EXTERIOR	0-6 hrs. / 19-0 hrs	0-6 hrs. / 19-0 hrs
8	RECEPCIÓN	0-24 hrs.	0-24 hrs.
9	SUBESTACIÓN	0-24 hrs.	-----
10	ALMACEN	7-18:45 hrs	-----
11	ESTACIONAMIENTO	0-24 hrs.	0-24 hrs.
12	AUDITORIO	7-18 hrs.	-----
13	CAMERINO	7-18 hrs.	-----
14	LOBBIE AUDITORIO	7-18 hrs.	-----
15	CONMUTADOR	7-18 hrs.	-----
16	RED	0-24 hrs.	0-24 hrs.
17	RESTAURANTE	7-18 hrs.	-----
18	ESCALERA EMERGENCIA	-----	-----
19	ZONA DE FUMAR	7-19 hrs <sup>1</sup>	-----
20	EMERGENCIA	0-24 hrs.	0-24 hrs.

<sup>1</sup> : Aproximadamente 15 minutos de uso por hora

Tabla 5.5-Matriz U- Unidades Instaladas actuales por zona

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	977	689	0	86	0	11	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3	9	0	0	82
2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0
3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	8	20	0	2	0	2	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
8	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
9	9	8	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0
11	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	34	86	0	8	0	16	0	0	0	2	104	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0
17	6	0	2	5	3	1	0	0	2	5	1	0	8	0	0	1	0	0	2	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	6	0	0	2	16	0	0	8	37	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
20	2	0	0	4	0	2	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	44	0	0	0	16	0	0	0	0
22	46	23	0	4	0	2	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
23	301	290	2	25	0	24	0	0	0	0	0	20	0	0	0	39	6	0	0	22
24	1	1	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	10	10	72	28	10	315	22	51	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	11
26	0	4	0	5	0	5	0	0	0	0	0	29	0	12	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0
29	66	12	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0



### 5.3.1.- Modelado del Caso Actual

Respetando el periodo de análisis establecido por la firma de consultaría, al operar las matrices **P**, **U** y **H**, se obtiene un consumo semanal del inmueble de 48,455 kWh y una demanda facturable de 462 kW. El Perfil de carga correspondiente es presentando en la figura 5.4, donde se aprecian los perfiles de carga actuales del inmueble y de los equipos de utilización involucrados en el estudio.

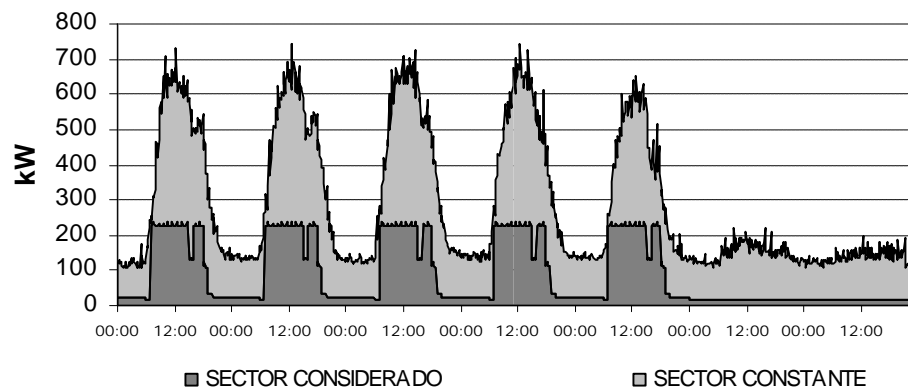


Figura 5.4 – Perfiles de Carga – Caso Actual

### 5.3.2.- Modelado del Caso Propuesto

En forma similar al caso actual, al operar las matrices **P'**, **U'** y **H'**, se obtiene un consumo semanal del inmueble de 44,677 kWh y una demanda facturable de 435 kW. El Perfil de carga correspondiente es presentando en la figura 5.5. donde se aprecian los perfiles de carga propuestos del inmueble y de los equipos de utilización involucrados en el estudio.

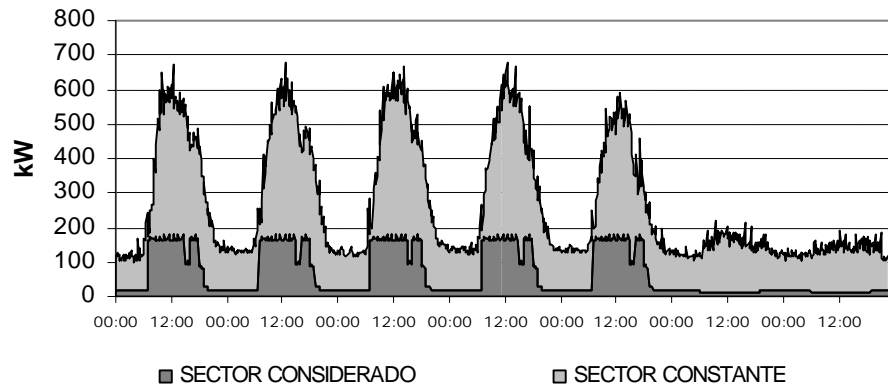


Figura 5.5- Perfiles de Carga – Caso Propuesto

### 5.3.3.- Cambios en Energía y Demanda

Al comparar el caso actual y el propuesto, se puede tener una representación de la variación que sufre el perfil de carga de los equipos de utilización involucrados, como muestra la figura 5.5. donde se aprecian claramente los perfiles del caso actual y del caso propuesto en lo que concierne a los sectores considerados en el estudio. La figura 5.6 presenta la diferencia entre estos dos perfiles.

La figura 5.7, es una representación de la porción que es eliminada del perfil de carga del caso actual, la cual constituye en sí, los ahorros potenciales en energía y por consiguiente la reducción potencial en demanda.

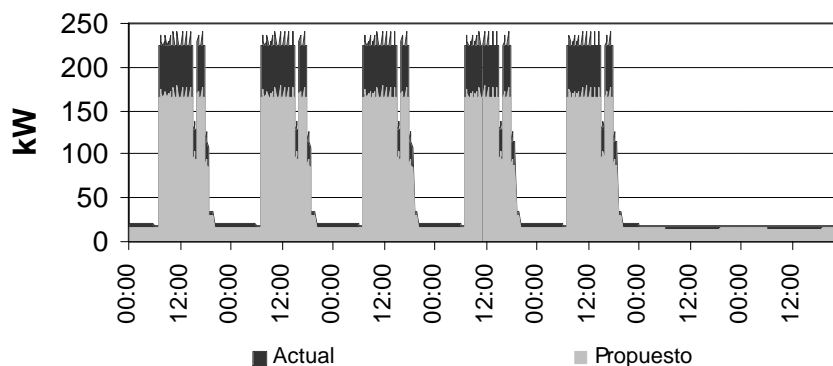


Figura 5.6 – Comparación entre Perfiles

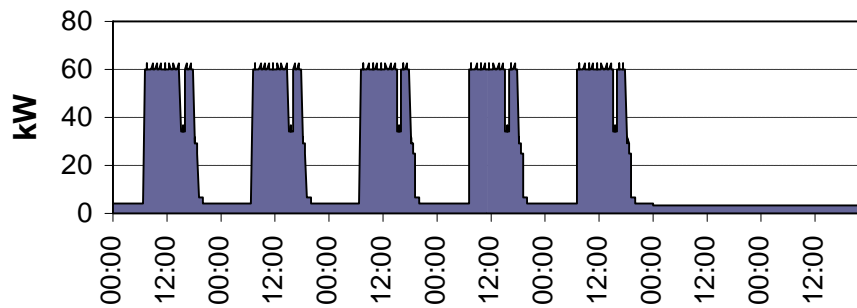


Figura 5.7- Ahorros Propuestos

Las tablas 5.6 y 5.7 presentan los resultados en energía y demanda para los casos actual y propuesto, presentando además, los ahorro potenciales en energía, con sus respectivas contribuciones por cada una de las medidas consideradas y las reducciones potenciales en demanda. Cabe notar que, como no se consideran medidas de cambio en los patrones de operación, las matrices  $\mathbf{H}$  y  $\mathbf{H}'$  no presentan ninguna diferencia, razón por la cual, todos los términos que involucran  $\Delta\mathbf{H}$ , son cero, como puede deducirse de la ecuación 3.46.

La figura 5.8 muestra otro resultado relevante, la relación  $\mathbf{LT} / \mathbf{LT}'$ , la cual compara los perfiles de carga de los casos actual y propuesto. Como se comentó en la justificación del presente trabajo, se trata de demostrar que cuando se proponen medidas para racionalización de consumos, el perfil de carga del caso actual no es disminuido en forma proporcional, ya que este valor oscila a través de todo el periodo de análisis.

Tabla 5.6.- Resultados en consumos de energía- Metodología Propuesta

	C.ACTUAL	C.PROPUESTO
CONSUMO DE ENERGÍA-TOTAL INMUEBLE (Kwh)	48,455	44,677
CONSUMO DE ENERGÍA-SECTORES CONSIDERADOS INMUEBLE (Kwh)	14,783	11,005
AHORRO POTENCIAL DE ENERGIA (Kwh)		3,778
CONTRIBUCIÓN AL AHORRO POR CAMBIOS EN EQUIPOS (Kwh)		3,755
CONTRIBUCIÓN AL AHORRO POR CAMBIOS EN UNIDADES INSTALADAS (Kwh)		23
CONTRIBUCIÓN AL AHORRO POR CAMBIOS EN EQUIPOS Y UNIDADES INST. (Kwh)		0

Tabla 5.7.- Resultados en demandas- Metodología Propuesta

	DEMANDA (kW)			
	BASE	INTERMEDIO	PUNTA	FACTURABLE
CASO ACTUAL	175	743	341	462
CASO PROPUESTO	171	668	336	435
REDUCCIÓN POTENCIAL EN DEMANDA (kW)				26

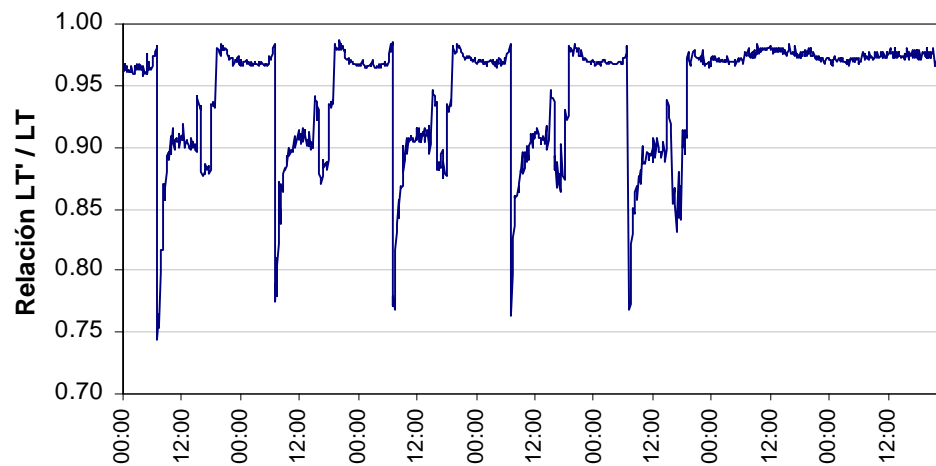


Figura 5.8.- Variación entre Casos

### 5.4.- COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS

Al comparar los resultados obtenidos por la Firma de Consultoría con los obtenidos con la Metodología Propuesta, se aprecia una variación de 9.15% en los ahorros potenciales de energía y una variación de 53.5%, para la reducción potencial en demanda. Los resultados anteriores se pueden apreciar con detalle en la tabla 5.8. Cabe notar que los valores de la Firma de Consultoría se expresan en la misma base de tiempo considerada en la Metodología propuesta, que es de una semana.

Tabla 5.8.-Comparación de Resultados entre Metodologías

	AHORRO POTENCIAL DE ENERGÍA (kWh)	REDUCCIÓN POTENCIAL EN DEMANDA (Kw)
FIRMA DE CONSULTORÍA	4,158	57
METODOLOGÍA PROPUESTA	3,778	26
DESVIACIÓN (%)	9.15%	53.50%

Es importante comentar, que la relativa poca desviación en el Potencial de Ahorro de Energía Eléctrica, es debido a que la única medida considerada fue la relativa a Cambios en Equipos, dando pie a concluir que las horas promedio de uso al año de cada sistema consideradas por la Firma de Consultoría, fueron calculadas en forma detallada.

Por otra parte, se nota una considerable desviación en la Reducción Potencial de la Demanda, lo cual se debe a que la Firma de Consultoría toma como criterio el uso de Factores de Coincidencia. El uso de este criterio resulta ser no adecuado, ya que se le está usando como un Factor de Contribución a la Demanda facturable del sistema. Por otra parte, al tomar como carga máxima de cada sistema el valor de la carga instalada, se está asumiendo que en algún momento del periodo considerado, el factor de demanda es unitario. Respecto al manejar un solo Factor

de Coincidencia en una tarifa horaria, independientemente de sí su uso es el adecuado, se está asumiendo que las medidas correctivas consideradas provocan una variación en la forma del perfil de carga, como si este fuese multiplicando por una constante menor que uno, lo cual resulta ser lo contrario, como se puede apreciar claramente en la figura 5.8.

Por último, se puede apreciar que las Reducciones Potenciales en Demanda tienen bases distintas. En el caso de la firma de consultoría, esta tiene como objetivo la reducción sobre una demanda facturable de 533 kW y en el caso del Modelo Propuesto de 462 kW. La razón de lo anterior es que el análisis de la Firma de Consultoría se basa en los valores estadísticos de las Facturaciones eléctricas, mientras que la metodología propuesta lo hace en base a los registros de las mediciones. Obviamente, los resultados obtenidos con la Metodología Propuesta pueden variar a lo largo de un año, debido a crecimientos de carga, factores estacionales, e incluso la implantación del horario de verano; pero dichas correcciones se proponen para trabajos futuros, como se detalla en el capítulo 6.

# **CAPITULO 6**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se presentan las Conclusiones, Aportaciones, Recomendaciones de Aplicación de la Metodología Propuesta y Recomendaciones para Trabajos Futuros.

## 6.1.- CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado una Metodología para Estimar los Potenciales de Ahorro de Energía Eléctrica e Impacto en la Demanda en Edificios No Residenciales, basada en una Herramienta Matricial que modela los perfiles de carga que presentan los inmuebles con y sin la aplicación de medidas correctivas que permiten aprovechar dichos potenciales.

De acuerdo con el Desarrollo de la Metodología Propuesta y de los resultados presentados en los capítulos 4 y 5, se concluye que:

1. La Metodología Propuesta hace posible analizar en forma conjunta el comportamiento de todo tipo de sectores de consumo que contengan diferentes equipos de utilización, eliminando con esto el problema interdisciplinario que implica la realización de diagnósticos energéticos.
2. La Metodología Propuesta permite realizar diagnósticos energéticos y propuestas para racionalización en consumos de energía y demanda, sin importar la carencia de información técnica, como la topología de la red eléctrica por analizar.
3. El perfil de carga que presenta el Caso Propuesto, no se comporta como si el perfil del Caso Actual fuese multiplicado por una constante menor que uno, lo que trae consigo que el uso de factores de diversidad para estimar el Impacto en la Demanda, debido a medidas correctivas para reducir los consumos de energía, no sea adecuado.
4. Bajo la comparación de los perfiles de carga, es posible determinar con mayor precisión el Impacto en la Demanda que tienen en conjunto todas las



Medidas Correctivas consideradas, ya que estas pueden variar los valores máximos en magnitud y en tiempo de ocurrencia.

5. Las Medidas Correctivas tienen efectos mutuos entre ellas, los cuales repercuten en los resultados finales de los Potenciales de Ahorro de Energía y Reducción en Demanda.
6. El impacto económico que tienen las Medidas para lograr racionalización en consumos y demandas se ve reflejado en los costos de facturación y están en función del tipo de tarifa, del precio medio de la energía, del consumo de energía, de la demanda (máxima o facturable) y del factor de potencia.

## **6.2.-APORTACIONES**

1.- Se analiza ordenadamente las formas en que la energía eléctrica es obtenida y utilizada, identificando las áreas de oportunidad que permitan racionalizar sus consumos, así como aquellas otras áreas que ofrezcan beneficios económicos al usuario final.

2.- Desarrollo de un Modelo Matricial para estimar los potenciales de ahorro de Energía Eléctrica y Reducción en Demanda, el cual permite incluir bajo un solo esquema, todas las medidas correctivas consideradas. Las medidas que acepta dicho modelo pueden ser aquellas que tengan el propósito de racionalizar los consumos de energía, aquellas que sean para administración de la demanda o las que tengan ambos propósitos.

### **6.3.- RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA**

Como todo modelo de ingeniería, la veracidad de los resultados obtenidos con el uso de esta Metodología Propuesta, está en función de la veracidad de la información introducida en los modelos, es por tal motivo que se recomienda lo siguiente:

1. Tener especial cuidado en la formación de las matrices de operación, ya que el determinar los patrones de operación de los equipos consumidores o los sectores de consumo a los que pertenecen, es determinante en los resultados de consumos de energía y demanda.
2. Formar adecuadamente los sectores de consumo, ya que se pudiera dar el caso de establecer sectores con equipos cuyos patrones de operación son distintos. Una alternativa a este problema es formar sub-sectores de consumo, los cuales están función de los distintos patrones de operación de los equipos del sector en cuestión.
3. Para el caso de aquellos Inmuebles que cuenten con más de un contrato de suministro de energía eléctrica, se recomienda aplicar la Metodología Propuesta para cada uno de estos.

#### **6.4.- RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS**

La Metodología Propuesta, tiene la particularidad de poder ser mejorada incluyendo criterios que permitan aprovechar las áreas de oportunidad para racionalizar consumos de energía eléctrica y demandas, que no fueron analizados en este trabajo. Algunas de estas mejoras comprenden las siguientes actividades:

1. Incluir sectores de consumo en las matrices de los Modelos, que no presenten un patrón de funcionamiento bien definido, es decir, que su comportamiento sea aleatorio.
2. Incluir, en el Modelo Propuesto, el efecto secundario o probable entre medidas Activas y Pasivas, así como medidas activas que contemplen generación de energía eléctrica.
3. Incluir efectos estacionales, horario de verano e incrementos de carga para obtener con mayor precisión los beneficios de implementar medidas para racionalización de energía y demandas, a través de un periodo más considerable.
4. Estudiar el impacto que tiene el implementar medidas para racionalización de energía y demanda en la calidad de la energía eléctrica.

# REFERENCIAS

- 
- [A1] IEEE Std. 739-1984, "IEEE Recommended Practices for Energy Conservation and Cost- Effective Planning in Industrial Facilities".
- [A2] IEEE Std. 739-1995, "IEEE Recommended Practices for Energy Conservation and Cost- Effective Planning in Industrial Facilities".
- [A3] IEEE Std. C57.120-1991, "IEEE Loss Evaluation Guide For Power Transformer and Reactors".
- [A4] IEEE Std. 112-1996, "IEEE Standard Test Procedure For Polyphase Induction Motors and Generator".
- [A5] IEEE Std 112-1978, "IEEE Standard Test Procedure For Polyphase Induction Motors and Generator".
- [A6] IEEE Std C57.110-1998, "IEEE Recommended Practice For Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents".
- [A7] Wong H.K., y Lee C.K., "Application of Energy Audit in Building and a case Study", IEEE 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Power Systems Control, Operation and Management, December 1993, Hon Kong.
- [A8] Marroquín, Ángel y Gonzáles, David, "Determinación del potencial de ahorro de Energía Eléctrica en la Universidad Tecnológica de San Juan del Rio", IEEE Decimosexta Reunión de Verano de Potencia, Julio 2003, Acapulco Gro. México.
- [A9] Franconi Ellen y Rubinstein Francis, "Considering Lighting Systems Performance and HVAC Interactions in Lightins Retrofit Analyses", Industry Applications Society Annual Meeting 1992,Conference Record of the 1992 IEEE, Vol. 2, pp. 1858-1864.
- [A10] Heydt, G.T. et al, "The impact of Energy Savings Technologies on Electrical Distribution System Power Quality", Symposium Proceedings, ISIE 1994, IEEE International Symposium 1994, pp. 176-181.
- [A11] Ashok S. y Banerjee R. , "An Optimization Mode For Industrial Load Management", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 16, No. 4, pp. 879-884, November 2001.
- [A12] El-Ibiary, Yehia, "An accurate Low Cost Method For Determinig Electric Motors' Efficiency for the Purpose of Plant Energy Management". Petroleum and Chemical Industry Conference, 2002. Industry Applications Society 49<sup>th</sup> Annual, pp. 229-235.

---

[A13] Wallace, Allan, et al, "A Laboratory Assessment of In-Service Motor Efficiency Testing Methods", IEEE International Electric Machines and Drives Conference Milwaukee, WI, USA, 1997.

[A14] Levy Alan W. "Lighting controls, Patterns of Lighting consumption and Energy Conservation", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. IA-16, No. 3, May/Jun 1980.

[A15] Byrne J., et al, " Commercial building demand-side management tools: requirements for dispatchable photovoltaic systems", Photovoltaic Specialists Conference, 1993, Conference Record of the Twenty Third IEEE, pp, 1140-1145, 1993.

[A16] IEEE Std. 399-1997, "IEEE Recommended Practices for Industrial and Commercial Power Systems Analysis".

[A17] Cohen Arthur I., et al, "An Optimization Method for Load Management Scheduling", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 3, No. 2, pp. 612-618, May 1998.

[B1] FIDE, "Elementos básicos de un diagnóstico energético orientado a la aplicación de un programa de ahorro de energía".

[B2] FIDE-CAINTRA, "Como Ahorrar energía eléctrica".

[B3] FIDE, "La medición en el diagnóstico energético".

[B4] FIDE, "Aspectos Básicos del Factor de Potencia orientados al ahorro de energía eléctrica".

[B5] FIDE, "Recomendaciones para el ahorro de energía eléctrica en el alumbrado público municipal".

[B6] FIDE, "Recomendaciones para el ahorro de energía en motores eléctricos".

[B7] FIDE, "Ventajas del uso de motores eléctricos de alta eficiencia".

[B8] FIDE, "Los variadores de velocidad como un medio para ahorrar energía eléctrica".

[B9] FIDE, "Recomendaciones para ahorro de energía en Bombas centrífugas".

[B10] FIDE, "Recomendaciones generales para el ahorro de energía en sistemas de bombeo".

- 
- [B11] FIDE, "Recomendaciones para ahorrar energía eléctrica en sistemas de aire comprimido".
- [B12] FIDE, "Recomendaciones para ahorrar energía eléctrica en instalaciones de refrigeración industrial".
- [B13] Ramos N. Gaudencio; Heard, Christopher y Sánchez V. Agustín, "Simulación de escenarios de ahorro de energía y uso eficiente de energía, con medidas de control pasivo". Energía Racional. Año 7, No. 28, Jul-Sep 1998. pp. 17-29.
- [B14] FIDE, "CASO: CS-E-8".
- [B15] FIDE, "CASO: CS-E-9"
- [C1] CONAE, "Manual de trabajo para el levantamiento de Información- Programa de ahorro de energía en Inmuebles, Módulo de Iluminación", México, 2004.
- [C2] CONAE, "Programa de Apoyo Integral para la Eficiencia Energética Municipal", México, 2004.
- [C3] CONAE, "Metodología de Control de la Demanda Eléctrica".
- [C4] CONAE, "Guía para la Realización de Proyectos de ahorro de energía con el esquema de Empresa de Servicios Energéticos (ESCO), México, 2000.
- [D1] NEMA MG 10-2001, "Energy management guide selection an use of fixed frequency medium AC squirrel-cage polyphase induction motors".
- [E1] U.S. Department of Energy, "M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects", DOE/102000-0960, September 2000.
- [E2] U.S. Department of Energy, "International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy Savings, vol. I", DOE/GO-102000-1132, October 2000.
- [E3] U.S. Department of Energy, "Concepts and Practices for Indoor Environmental Quality vol. II", DOE/GO-102000-1132, October 2000.
- [E4] U.S. Department of Energy, "Energy-Efficient Lighting", DOE/GO-10095-056, December 1995.
- [E5] U.S. Department of Energy, "Determining Electric motor load and efficiency", DOE/GO-1097-517.



- 
- [E6] U.S. Department of Energy, "Optimizing your motor driven system". DOE/GO-10096-313.
- [E7] U.S. Department of Energy, "Buying an energy-efficient electric motor", DOE/GO-10096-314.
- [E8] U.S. Department of Energy, "Replacing an oversized and under-loaded electric motor", DOE/GO-10096-287.
- [E9] U.S. Department of Energy, "Reducing Power Factor Cost", DOE/GO-10096-286.
- [E10] U.S. Department of Energy, "Loose-Fill Insulations", DOE/GO-10095-060, May 1995.
- [E11] U.S. Department of Energy, "Passive Solar Design for Home", DOE/GO-102001-1105, February 2001.
- [E12] U.S. Department of Energy, "Renewable Energy: An Overview", DOE/GO-102001-1102, March 2001.
- [F1] IESNA, "The IESNA lighting handbook, Reference and application", 9<sup>th</sup> edition, 1999".
- [F2] Nelson Gregory J., Gibson Ray G. y Jackson Andrew D. "An efficacy analysis of HID lamps", IES Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol. 30, No.1, pp. 68-75, winter 2001.
- [G1] Chávez B. Carlos, "Cien Edificios Públicos, un programa piloto para el ahorro de energía". Tesis de Maestría, DEPMI-UNAM, México 2003.
- [G2] Montaña Gutiérrez, J. G., "Metodología para el desarrollo y evaluación de programas de ahorro de Energía", Tesis de Maestría, SEPI-ESIME-IPN, México 1998.
- [G3] Thuman A., "Handbook of Energy Audits", fifth edition, Prentice Hall, U.S.A., 1998.
- [G4] Thuman A., "Plant Engineers and Managers Guide to Energy Conservation", seventh edition, Prentice Hall, U.S.A., 1999.
- [G5] OLADE-BID, "SUPER, Manual de Referencia", Diciembre de 1995.
- [G6] GENERTEK, Consultores en Ingeniería Energética, "Diagnóstico Energético-Edificio Rodano", Reporte Interno, Edición única, México, Junio 2004.

[H1] NOM-001-SEDE-1999- “Instalaciones eléctricas utilización”.

[H2] NOM-007-ENER-1995, “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en Edificios no Residenciales”.

[H3] PROY-NOM-007-ENER-2003, “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en Edificios no Residenciales”.

[H4] NOM-008-ENER-2001, “Eficiencia energética en Edificaciones, envolvente de Edificios no Residenciales”.

[H5] “Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica”, Publicada en el DOF el 22 de diciembre de 1975, con Reformas y Adiciones: 27 de diciembre de 1983, 27 de diciembre de 1989, 23 de diciembre de 1992 y 22 de diciembre de 1993.

[H6] “Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica”, Publicado en el DOF el 31 de mayo de 1993, con Reformas y Adiciones: 19 de mayo de 1994 y 25 de julio de 1997.

[H7] ATPAE, “Metodología para Calcular el Coeficiente de Emisión Adecuado para Determinar las Reducciones de GEI Atribuibles a Proyectos de EE/ER, México, Mayo de 2000.

[H8] CFE, “Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico”, México, 2000.

[I1] [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

[I2] [www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)

[I3] [www.fide.org.mx](http://www.fide.org.mx)

## Anexo-Tarifa HM

Fuente: [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

La Tarifa HM se aplica a los servicios que destinen la energía eléctrica a cualquier uso, suministrados en mediana tensión, con una demanda de 100 kW o más.

Los principales cargos económicos que se aplican a esta tarifa, están determinados por la energía consumida en los periodos base, intermedio y punta, el cargo por demanda facturable, y el cargo por factor de potencia.

Para la región central los periodos de consumo son los siguientes:

### Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

### Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

Por otra parte, la demanda facturable también está en función de las demandas máximas en cada uno de los periodos antes mencionados, y está definida por la siguiente expresión:

$$DF = DP + FRI \times \max (DI - DP, 0) + FRB \times \max (DB - DPI, 0)$$

Donde:

DP: es la demanda máxima medida en el periodo de punta

DI: es la demanda máxima medida en el periodo intermedio

DB: es la demanda máxima medida en el periodo de base

DPI: es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio

FRI y FRB son factores de reducción que para la región central, toman valores de 0.30 y 0.15, respectivamente.

El cargo por factor de potencia, puede resultar en una multa o bonificación sobre los cargos por energía y demanda, según se registre un factor menor a 90% o igual o mayor a 90%, en el periodo de facturación, y quedan determinados por las siguientes expresiones:

- Fórmula de Recargo:

$$\text{Porcentaje de Recargo} = 3/5 \times ( ( 90 / FP ) - 1 ) \times 100$$

- Fórmula de Bonificación:

$$\text{Porcentaje de Bonificación} = 1/4 \times ( 1 - ( 90 / FP ) ) \times 100$$

Donde FP es el factor de potencia expresado en por ciento y en ningún caso se aplican porcentajes de recargo superiores a 120%, ni porcentajes de bonificación superiores a 2.5%.