

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA



“EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN EL CONSUMO ELÉCTRICO
DEL PROGRAMA DE AHORRO SISTEMÁTICO INTEGRAL
EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA”.

TESIS PARA OBTENER GRADO DE:
DOCTOR EN INGENIERÍA

PRESENTADO POR:
JOSÉ ALEJANDRO SUÁSTEGUI MACÍAS

DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS PÉREZ TELLO

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA. MAYO DE 2014.

A mis padres:

Roberto y Elda

A mi Prometida:

Karen

A mis hermanos:

Roberto y Carolina

A mi tía:

Clara

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó bajo la supervisión del Dr. Carlos Pérez Tello a quien le extiendo un sincero agradecimiento por su orientación y apoyo brindado durante toda esta investigación hasta la culminación dela misma.

Agradezco al C.P. José Luis Guillén Sánchez, CoordinadorRegional del Programa ASI y a la Arq. LarizaAlexanderson, subgerente técnico del mismo programa, por su valiosa contribución al brindar información vital para la realización de esta tesis.

Mi pleno agradecimiento a la Dra. Cruz Elda Macías que gracias a sus recomendaciones y consejos me inspiraron en todo momento para llevar a buen término esta tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología le brindo un especial agradecimiento por haber confiado en esta investigación y apoyarla desde el inicio hasta su culminación.

También extiendo un amplio agradecimiento al personal docente y administrativo del Instituto de Ingeniería que mediante las asignaturas que impartieron y la accesibilidad que brindaron, me proporcionaron las herramientas necesarias para poder sustentar la presente tesis.

Resumen

El presente trabajo aborda el tema del uso eficiente de la energía eléctrica en el sector doméstico, el cual en los últimos años ha adquirido gran relevancia debido a los altos costos económicos que la población ha tenido que pagar por el consumo eléctrico tan elevado.

El propósito de esta investigación es evaluar los resultados obtenidos a través de la aplicación de uno de los programas más extensos y utilizados por parte del gobierno mexicano para un mejor uso energético en el sector doméstico de Mexicali, B.C. el denominado Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI). Se pretende brindar información histórica, estadística y antropológica, que muestre el impacto de cada subprograma de forma individual así como sus interacciones más comunes para que sirvan de sustento en la toma de decisiones para el desarrollo y mejoramiento del programa, o en su caso para la creación de nuevas estrategias y/o alternativas de eficiencia energética.

Los sujetos de estudio de la presente investigación son los cuatro subprogramas en los que se divide el Programa ASI en la ciudad de Mexicali B.C. los cuales son: aislamiento térmico, sustitución de refrigeradores, sustitución de equipos de aire acondicionado central, tipo ventana y minisplit. Lo anteriores debido a que esta ciudad fue la primera en el país donde se aplicó el programa y dadas las características de clima desértico de la región resulta ser un escenario idóneo que proporciona grandes oportunidades de investigación para quienes buscan lograr el uso eficiente de energía eléctrica en climas extremos.

Es un estudio de corte cuantitativo de tipo longitudinal por lo que los resultados de esta investigación se presentan por medio de gráficas de control y tablas de valores que expresan el potencial de los beneficios que puede lograr el Programa ASI, teniendo como indicadores la reducción del consumo y de la demanda eléctrica para el sector vivienda de Mexicali, B.C. Entre los principales resultados se tienen los siguientes:

1. La vivienda en Mexicali, B.C. consume anualmente 8193 kWh, de los cuales el 73% es utilizada en los meses de verano.

2. El 65% de los usuarios del sector residencial destinan más del 6% de su ingreso económico al pago del servicio eléctrico.

3. Al atender el 21% de los hogares que poseen factores críticos en el consumo eléctrico es posible reducir hasta 30% del consumo y hasta 108 MW de la demanda.

4. Las viviendas que poseen más de 80 m² de área climatizada y cuyos ingresos mensuales superan los \$11,600 M.N., consumen 43% más energía eléctrica.

5. El 56% de las viviendas utiliza de manera inadecuada sus equipos de climatización y el 39 % de los usuarios tienen un sobredimensionamiento de los mismos.

Índice

Agradecimientos	II
Resumen	III
CAPITULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.	5
1.2 Hipótesis.....	5
1.3 Objetivos	7
1.4 Importancia del estudio.....	8
1.5 Limitaciones del estudio.....	9
CAPITULO 2.....	10
ANTECEDENTES	10
CAPITULO 3.....	19
BASES TEÓRICAS PARA UN MODELO DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA	19
3.1 Hacia una definición de ahorro y uso eficiente de energía	19
3.2 Ahorro y eficiencia energética en la construcción de viviendas	23
3.3 Gestión para la eficiencia eléctrica en la vivienda	25
3.4 Gestión de la demanda eléctrica.....	27
3.5 Eficiencia eléctrica en equipos electrodomésticos y materiales constructivos....	29
3.6 Futuro de los dispositivos y electrodomésticos eficientes	34
CAPITULO 4.....	37
METODOLOGÍA	37
4.1 Sujetos.	37
4.2 Material.....	39
4.3 Validez y confiabilidad	40
4.4 Procedimiento.....	41
CAPITULO 5.....	52
ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
5.1 Consumo eléctrico y características de la vivienda mexicalense	52
5.2 Simulación térmica y eléctrica de la vivienda	62
5.3 Ahorros del Programa ASI	64
5.4 Potencial del Programa ASI en Mexicali, B.C.	67

5.5	Factores que impactan al consumo eléctrico	68
5.6	Experimentación	69
5.7	Análisis de Varianza	70
5.8	Interpretación de los experimentos	71
5.9	Análisis de viviendas críticas	72
5.10	Otras acciones de ahorro.....	76
CAPITULO 6.....		79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		79
Referencias Bibliográfica.....		83
CRONOGRAMA.....		85
GLOSARIO.....		87
ANEXO.....		89

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo los seres humanos hemos consumido cantidades enormes de energía, en su mayoría de fuentes no renovables para hacer posible nuestra supervivencia y comodidad. Pero en los últimos 100 años el consumo energético ha aumentado en más de diez veces producto de los hábitos de uso y el crecimiento acelerado de la población que se ha multiplicado por cuatro en el mismo lapso de tiempo, quedando de manifiesto que el consumo anual de petróleo durante el siglo XX haya aumentado de 500 kg/cápita a 1500 kg/cápita (Administration, 2010). Como consecuencia, la explotación de los recursos naturales, el incremento del nivel de vida y la ubicación geográfica de los asentamientos humanos, que no siempre resulta ser la más apropiada han tenido graves implicaciones por lo que en últimas fechas se ha volcado mayor interés en concienciar a la humanidad sobre un consumo de energéticos de forma más responsable y encontrar las maneras de hacer más eficiente su uso.

La preocupación por los hábitos de consumo y el uso eficiente de la energía es un tema que ha cobrado fuerza en últimas décadas alrededor del mundo debido a tres factores importantes, por un lado se encuentra el precio cada vez más alto de la energía, el cual es cada vez más difícil de pagar por parte de la población, por el otro, se encuentra la protección al medio ambiente de las emisiones inherentes a la producción de energía y finalmente por el desarrollo

sustentable de la humanidad, la cual en el paso de un siglo ha incrementado de manera muy significativa el uso de la energía.

Ha sido evidente la existencia de una relación entre el crecimiento de la población con el uso de la energía a través del paso de las décadas. El incremento en el consumo de energía eléctrica ha presentado una mayor variabilidad que el incremento de la población mundial debido a factores económicos que rigen la producción industrial y el nivel de vida de los usuarios. El uso de la energía se ha vuelto además un problema de sustentabilidad ya que por su tendencia a la alza está poniendo en riesgo las condiciones de vida de generaciones futuras.

El término desarrollo sustentable es la base para la ideología de la eficiencia energética y surge a raíz de La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, reunida en Estocolmo del 5 al 16 de Junio de 1972, en ella se destaca la necesidad de adaptar criterios y principios para la preservación y mejoramiento del medio ambiente.

En Estocolmo se proclamó que el hombre es obra y artífice del medio que lo rodea y que a consecuencia del rápido crecimiento de la ciencia y la tecnología, ha adquirido la capacidad de ocasionar transformaciones a su entorno las cuales, si se realizan mediante un adecuado discernimiento, pueden llevar a los pueblos los beneficios del desarrollo y brindar la oportunidad de adquirir una mejor calidad de vida. En cuanto a los principios, se señala de manera general que el hombre tiene el derecho a condiciones de vida adecuadas en un medio ambiente de calidad, de manera que se permita gozar de bienestar pero por otra parte está

obligado a proteger y mejorar las condiciones del medio ambiente y recursos naturales para las generaciones presentes y futuras. Así también precisa que “debe ponerse fin a la descarga de sustancias tóxicas o de otras materias, a la liberación de calor en cantidades o concentraciones tales que el medio ambiente no puede neutralizarlas” (Declaración de Estocolmo Sobre el Medio Ambiente Humano; 1972:p.2). Lo anterior fue fundamental para promover por medio de legislaciones y acciones concretas, el uso eficiente de la energía en diferentes ámbitos a nivel mundial.

Por otra parte en el siglo pasado se dio importancia a políticas cuyo fin es frenar el cambio climático, naciendo así los términos “economía y crecimiento verde”. La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) ha tomado la lucha contra el cambio climático y el alto consumo energético como prioridad y ha trabajado durante más de 20 años por ofrecer sustento económico a posibles soluciones a este problema, pronosticando una reducción en el consumo energético nacional del 62 por ciento en tan solo 24 años mediante la adopción de los criterios recomendados. Muchos países, incluido México, son miembros de la OCDE y han utilizado paquetes de estímulos fiscales para invertir en sistemas de transporte que emplean energía más limpia, redes eléctricas inteligentes y edificios con uso eficiente de la energía.

En México, en congruencia con las recomendaciones hechas por los organismos internacionales antes mencionados y a los altos consumos de energía por unidad de valor en la economía nacional, se tomaron medidas significativas en materia de ahorro y uso eficiente de energía. Destaca la Comisión Federal de

Electricidad (CFE) con la creación del Programa Nacional de Uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONUREE) en 1982.

Posteriormente en septiembre de 1989 se creó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), hoy en día conocida como Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE), con el objetivo de fungir como órgano técnico de consulta en materia de ahorro y uso eficiente de energía. La CONUEE brinda normalización, asistencia técnica, promoción y desarrollo a los programas de eficiencia energética. También en 1989, se creó el primer programa orientado al control de la demanda eléctrica mediante el fideicomiso No. 728 Fideicomiso para el Aislamiento Térmico de la Vivienda (FIPATERM), conformado por su fideicomitente CFE y como su fiduciario el Banco Nacional de Obras y Servicios (BANOBRAS). El objetivo de FIPATERM es diseñar acciones que logren un uso eficiente de la energía eléctrica en el sector de la vivienda residencial. Actualmente, por propósito de promoción se le conoce bajo el nombre de Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI).

A raíz de las nuevas políticas gubernamentales de ahorro y uso eficiente de la energía, se eligió a una ciudad con temperaturas promedio en verano que fueran superiores a la media nacional y que sirviera como un lugar óptimo para implementar las acciones de ahorro. Mexicali, B.C. cumpliendo con lo estipulado anteriormente fue elegida como ciudad pionera para la aplicación aislamiento térmico, sustitución de luminarias, aires acondicionados y refrigeradores, todas ellas dirigidas inicialmente al sector residencial.

El presente trabajo busca evaluar el impacto en el consumo eléctrico que el Programa ASI ha tenido desde su creación, así como los beneficios económicos y ambientales que de él han derivado con la final de exponer indicadores energéticos que sean utilizados en la toma de decisiones y en la creación de nuevas políticas públicas.

1.1 Planteamiento del problema.

Tras contar sólo con cifras de las acciones implementadas y no con una base de datos correspondiente a los usuarios que poseen alguna de las cuatro modalidades en el Programa ASI, la reducción en su consumo eléctrico por usuario y los recursos económicos que se han destinado a cada una de las modalidades del programa, es prioritario para la presente tesis realizar una evaluación convincente que compruebe la sustentabilidad económica del programa, su prospectiva para el futuro y su eficiencia en la reducción del consumo eléctrico de los usuarios del programa en la ciudad de Mexicali, B.C. Por lo antes expuesto se plantean los siguientes problemas de investigación:

¿Cuál es el subprograma del Programa ASI que tiene mayor impacto en la reducción de consumo de energía eléctrica en las viviendas de Mexicali, B.C.?

1.2 Hipótesis

La hipótesis general es la siguiente:

Todos los subprogramas del Programa ASI ocasionan los mismos resultados en cuanto a la reducción del consumo y pago eléctrico del sector doméstico de la ciudad de Mexicali, B.C.

De la hipótesis antes planteada se desprenden las siguientes hipótesis específicas:

- 1.2.1 El Programa ASI aplicado en el sector doméstico de la ciudad de Mexicali, B.C. logra ahorros económicos superiores al 10% en todos sus subprogramas.
- 1.2.2 El aislamiento térmico es el subprograma del Programa ASI que ocasiona mayores ahorros de energía eléctrica, debido a que dicha modalidad es favorable tanto para el verano como para el invierno, su aplicación logra en ocasiones un estado de confort dentro del hogar y evita en ciertas circunstancias que se enciendan aparatos eléctricos.
- 1.2.3 El Programa ASI ha logrado crear en los usuarios del servicio eléctrico del sector doméstico de Mexicali, B.C. una cultura de ahorro de energía, de manera que más del 60% de las viviendas realizan acciones tendientes a disminuir el consumo de electricidad.
- 1.2.4 En Mexicali, B.C. el ingreso económico de las viviendas es el factor del que depende el consumo eléctrico, siendo directamente proporcional a éste.
- 1.2.5 Para los años 2016 y 2017 el Programa ASI contará con 30% más usuarios que en el 2010. La modalidad con mayor repercusión en el ahorro de energía seguirá siendo el aislamiento térmico debido a que durante todo el año resulta eficiente. El ahorro económico será más elevado producto del aumento de la cultura del uso eficiente de la energía. Y el CO₂ evitado podrá llegar a ser de dos mil toneladas anuales.

1.3 Objetivos

El objetivo general que persigue la investigación es el siguiente:

Identificar los resultados en cuanto a la reducción del consumo de energía eléctrica en la vivienda de la ciudad de Mexicali, B.C. de los subprogramas del Programa de Ahorro Sistemático Integral por separado, así como al aplicarlos simultáneamente.

Para el logro del objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1.3.1 Indagar el porcentaje de ahorro de energía eléctrica que los usuarios del Programa ASI presentan para cada subprograma.

1.3.2. Determinar la modalidad del Programa ASI que tiene mayor éxito en el ahorro de energía.

1.3.3. Conocer si algún subprograma requiere ser sustituido o eliminado.

1.3.4. Determinar el número de usuarios que tienen en combinación dos o más modalidades del programa y cuál ha sido la combinación cuya repercusión ha sido más favorable para el ahorro de energía.

1.3.5. Determinar la cantidad de CO₂ que ha evitado la aplicación del programa ASI en Mexicali. B.C.

1.3.6. Evaluar el potencial de usuarios que pueden acceder a cada uno de los subprogramas del Programa ASI en Mexicali, B.C.

1.4 Importancia del estudio

La presente investigación aporta grandes beneficios a la comisión de evaluación técnica del Programa ASI, a sus usuarios y a la comunidad en general.

La comisión de evaluación técnica del Programa ASI requiere un análisis específico y actual de los resultados de su programa en cuanto al ahorro de energía, puesto que la información con la que se cuenta actualmente está basada en estudios realizados hace ya mucho tiempo. Se pretende que la información obtenida en esta tesis brinde estudios especializados y estadísticamente sustentados a partir de datos actuales, de manera que ayude a avaluar de forma más eficaz los efectos que cada subprograma tiene en cuanto a reducción del consumo eléctrico en las viviendas mexicalenses y establecer mejores líneas de acción tendientes al ahorro y uso eficiente de la energía.

Los usuarios del Programa ASI, por su parte, se verán beneficiados pues al realizarse más estudios sobre los efectos de cada uno de los subprogramas, se logrará que éstos sean capaces de discernir cuál de ellos es el más adecuado para lograr una reducción de su consumo eléctrico, tomando en cuenta las condiciones de su vivienda y sus posibilidades económicas.

Además la sociedad en general se verá beneficiada al realizarse este tipo de estudios, ya que se dará a conocer las maneras más significativas de reducir el consumo eléctrico y se concienciará a la población para implementar medidas que conlleven al ahorro y uso eficiente de energía en su hogar.

1.5 Limitaciones del estudio

Este estudio tiene la finalidad de conocer los efectos de los subprogramas del Programa ASI y complementa a otros realizados previamente. Se hace conciencia que los resultados que se obtuvieron no resultan los mismos que si se evaluaran subprogramas que han sido eliminados, en otras ciudades o bajo otras condiciones climáticas. Es decir, se reconoce la limitante de que no se puedan generalizar los resultados de esta investigación, debido entre otras cosas, a las características heterogéneas de la muestra (dimensiones de la vivienda, subprogramas implementados, etc); a mayor homogeneidad de la muestra, mayor posibilidad de generalizar los resultados obtenidos a las diferentes ciudades que cuenten con clima cálido-seco, pues los resultados en esta ciudad podrían ser distintos a los obtenidos en otras ciudades aun contando con condiciones climáticas similares.

Por otra parte, se enfrentan algunos obstáculos en cuanto a la accesibilidad al padrón de usuarios del Programa ASI, puesto que el programa tiene políticas de confidencialidad, lo que hace imposible conocer información específica de los usuarios. Solo se proporcionan históricos de acciones realizadas de cada subprograma, pero no así el consumo eléctrico de los usuarios. De igual forma, es difícil contactar a usuarios que contaran con alguna medida de ahorro energético y que tuvieran los parámetros adecuados que lo hicieran apto para ser incluido a la muestra.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

En 1990 por disposición del Ejecutivo federal se creó el Programa de apoyo a la Economía Familiar y de Ahorro de Energía Eléctrica orientado a zonas de clima cálido-seco, en donde son indispensables equipos de acondicionamiento ambiental para mantener un cierto nivel de confort dentro de las viviendas y lo que a su vez conlleva a un consumo eléctrico elevado. Mexicali, B.C., cumpliendo con las características climatológicas antes mencionadas y teniendo un consumo promedio en el sector doméstico de 780 kWh mensuales en los meses de verano (de mayo a octubre), fue la ciudad piloto en la aplicación de programas de ahorro de energía para lograr mitigar los altos consumos eléctricos inherentes al clima de la región (Campbell R. H. Carlos Pérez T., 2006).

Para su efecto, la Universidad Autónoma de Baja California realizó por primera vez en 1990 una evaluación de diferentes sistemas de aislamiento térmico para las viviendas construidas en la ciudad de Mexicali, B.C. utilizando espuma de poliuretano, placa de poliestireno extruido, y fibra de vidrio en techos únicamente. Como resultado, se contempló el aislamiento térmico de 25,000 viviendas de la ciudad mediante el FIPATERM, cifra que fue alcanzada en tan solo 3 años (Programa ASI, 2011).

El FIPATERM a la fecha está supeditado a su Comité Técnico el cual tiene la facultad de implementar los programas de ahorro, conocer los informes del fideicomitente, aprobar los estudios de evaluación que se le practiquen a los

diferentes subprogramas, aprobar presupuestos, delegar facultades a los distintos subcomités regionales, entre otros. El Comité Técnico se conforma por representantes de CFE, BANOBRAS, FIDE, CONAE, Comisión de Evaluación Técnica, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Gobierno del Estado y Gobierno Municipal.

Para 1997, el programa no presentaba modificaciones significativas y hasta esa fecha se habían aislado más de 50,000 viviendas(Programa ASI, 2011). Fue entonces, cuando se implementaron 2 subprogramas más; sustitución de equipos de aire acondicionado (unidades centrales y de ventana) y sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas. La modificación al programa se realizó con el fin de extender las opciones al usuario para hacer un uso eficiente de la energía y lograr ahorros significativos mediante una inversión inicial relativamente baja. A partir del inicio de los nuevos subprogramas, las acciones relacionadas al aislamiento térmico tendieron a la baja, debido principalmente a la diferencia de los costos de un subprograma a otro. En 2003 inició un nuevo subprograma, el cual consistía en sustituir refrigeradores viejos ineficientes por equipos nuevos de alta eficiencia. Los históricos de acciones por subprograma se aprecian en las siguientes figuras.

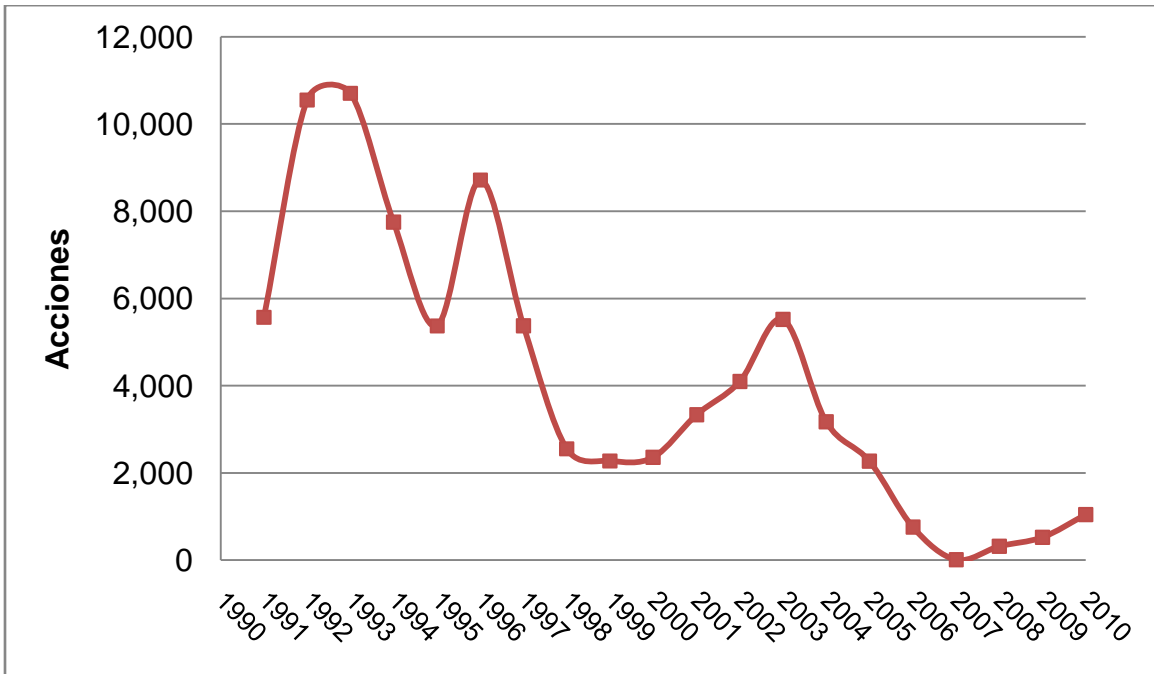


Figura 2.1 Histórico de acciones realizadas de aislamiento térmico.

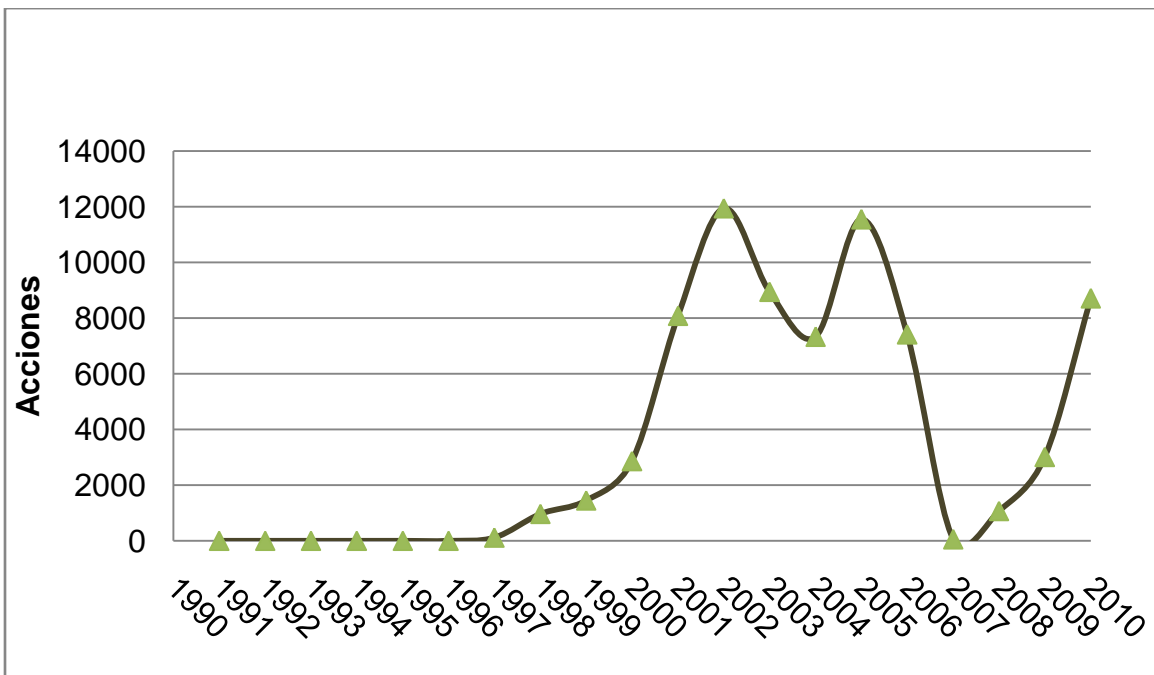


Figura2.2 Histórico de acciones de sustitución de aire acondicionado.

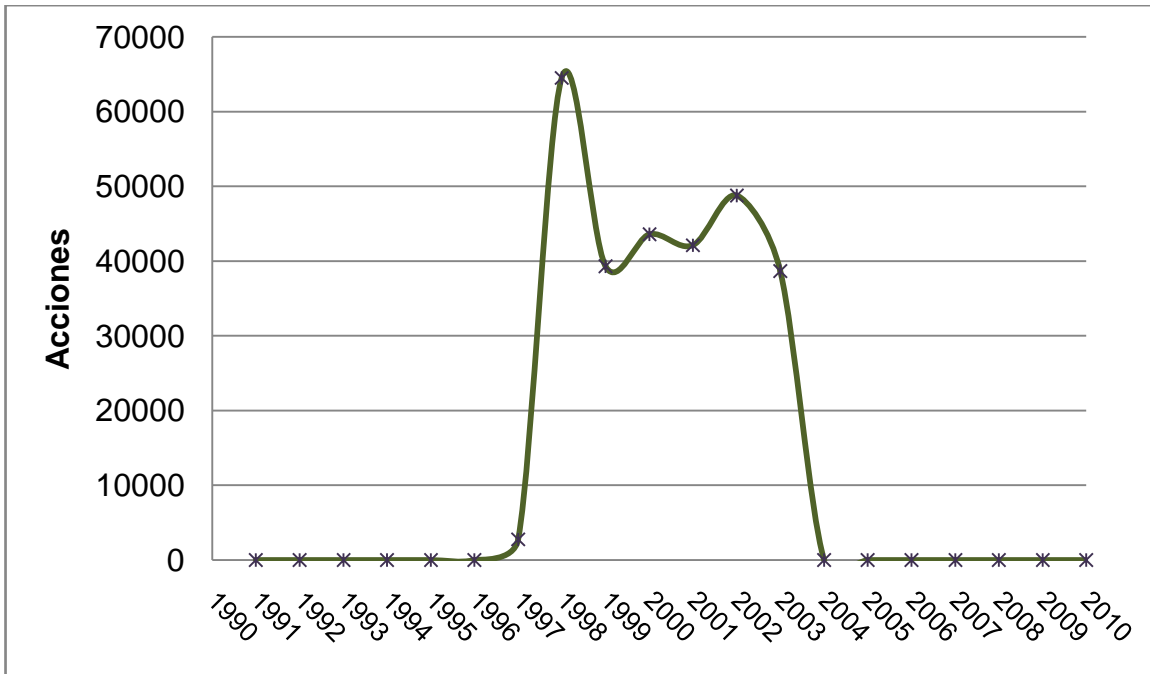


Figura 2.3 Histórico de acciones de sustitución de lámparas fluorescentes

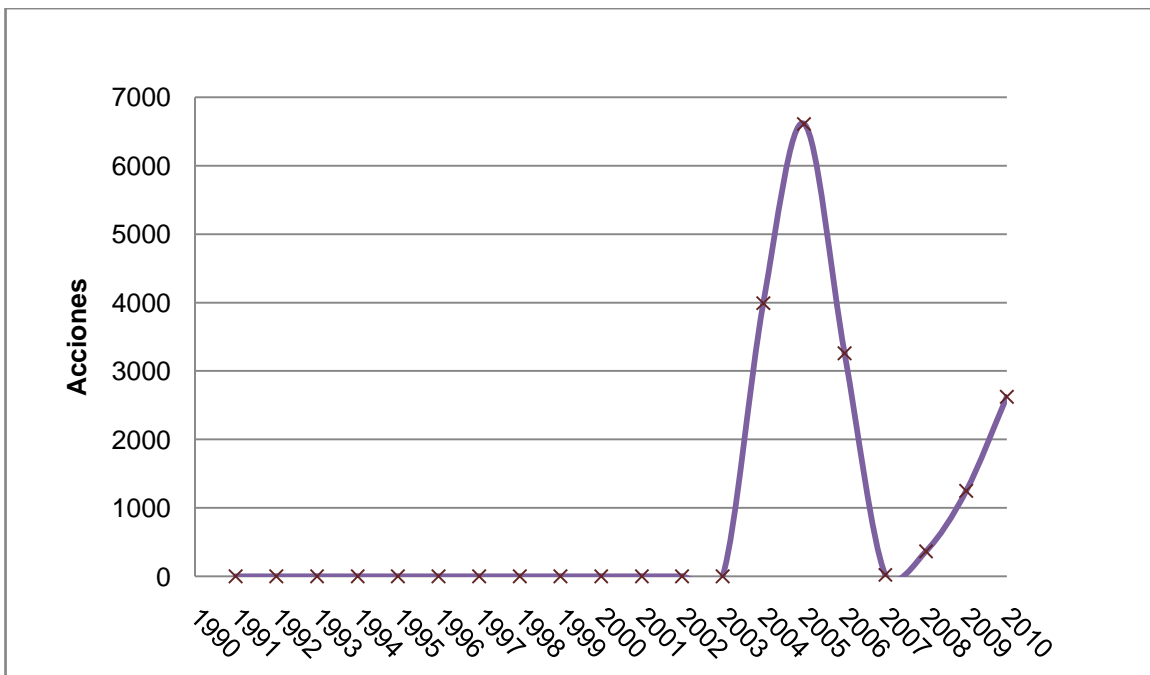


Figura 2.4 Histórico de acciones de sustitución de refrigeradores.

De la misma forma en que el Comité Técnico ha creado algunos subprogramas o realizado modificaciones a otros, también ha sido el encargado de eliminarlos cuando existe evidencia que muestre que así se requiere. Tal es el caso de la sustitución de lámparas fluorescentes, que en 2004 fue eliminado por decisión del Comité Técnico de la coordinación Mexicali ya habiendo sustituido más de 270 mil unidades hasta ese entonces(Programa ASI, 2011). Lo anterior como consecuencia de la accesibilidad que la población tenía de adquirir este tipo de productos en mercados, abarrotes o tiendas departamentales sin que el programa ASI interviniera, viéndose así inadecuada la existencia del subprograma.

Las viviendas de la ciudad de Mexicali han sido un caso de estudio idóneo para el análisis e implementación de las diferentes alternativas para el ahorro y uso eficiente de la energía, muestra de ello ha sido el Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI) que ha venido funcionando durante 13 años con la finalidad de reducir el consumo eléctrico de la vivienda sin comprometer el nivel de confort de sus habitantes.

El Programa ASI necesita ser evaluado y modificado constantemente para poder brindar resultados satisfactorios en cuanto a la reducción del consumo eléctrico en las viviendas. Dichas modificaciones se hacen a través de su Comité Técnico, el cual está conformado por especialistas de diferentes instituciones que revisan los estadísticos y resultados obtenidos para poder tomar decisiones adecuadas, que guían al programa a una mejora constante.

Actualmente el Programa ASI pone al alcance de la población 4 subprogramas, los cuales brindan a los usuarios mexicalenses diferentes opciones

para reducir el consumo de energía eléctrica en sus hogares. Para incentivar su aplicación, los subprogramas cuentan con financiamientos a tasas preferenciales y altos techos financieros, dichas características se muestran a continuación en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Características financieras de los subprogramas del Programa ASI.

Aislamiento térmico	Financiamiento	12 a 48 meses
	Interés	12% anual sobre saldo insoluto
Aire acondicionado (ventana, split y central)	Financiamiento	12 a 48 meses
	Interés	12% anual sobre saldo insoluto
	Crédito máximo	\$ 42,500.00 M.N.
	Bonificación	\$ 200.00 M.N. por tonelada de aire acondicionado (capacidad)
Refrigerador	Financiamiento	12 a 36 meses
	Interés	12% anual sobre saldo insoluto
	Crédito máximo	\$25,000.00 M.N.
	Bonificación	\$ 500.00 M.N. por equipo

Fuente: Avance Datos Generales por subprograma, Coordinación Mexicali, Programa de Ahorro Sistemático Integral.

Como se ha mostrado en las figuras anteriores, el Programa ASI tuvo una suspensión en sus acciones en el año 2007, por lo que después de ese año el comportamiento en las acciones realizadas se modificó con respecto a la tendencia que había mostrado en años anteriores.

La tasa de crecimiento de las acciones del Programa ASI muestra una incongruencia con sus resultados, ya que la tasa de crecimiento del consumo

eléctrico por usuario del servicio eléctrico del sector doméstico de Mexicali presenta una tendencia contraria a la que debería tener dadas las acciones del programa (véase figura 2.5). Lo anterior deja la interrogante de cuál ha sido la razón por la que se ha disminuido el consumo eléctrico por usuario, si es producto de las acciones realizadas en años anteriores, a la creación de una cultura energética de la población mexicalense, a una reducción del nivel de vida de la población o de la implementación de otras acciones que no contempla el Programa ASI.

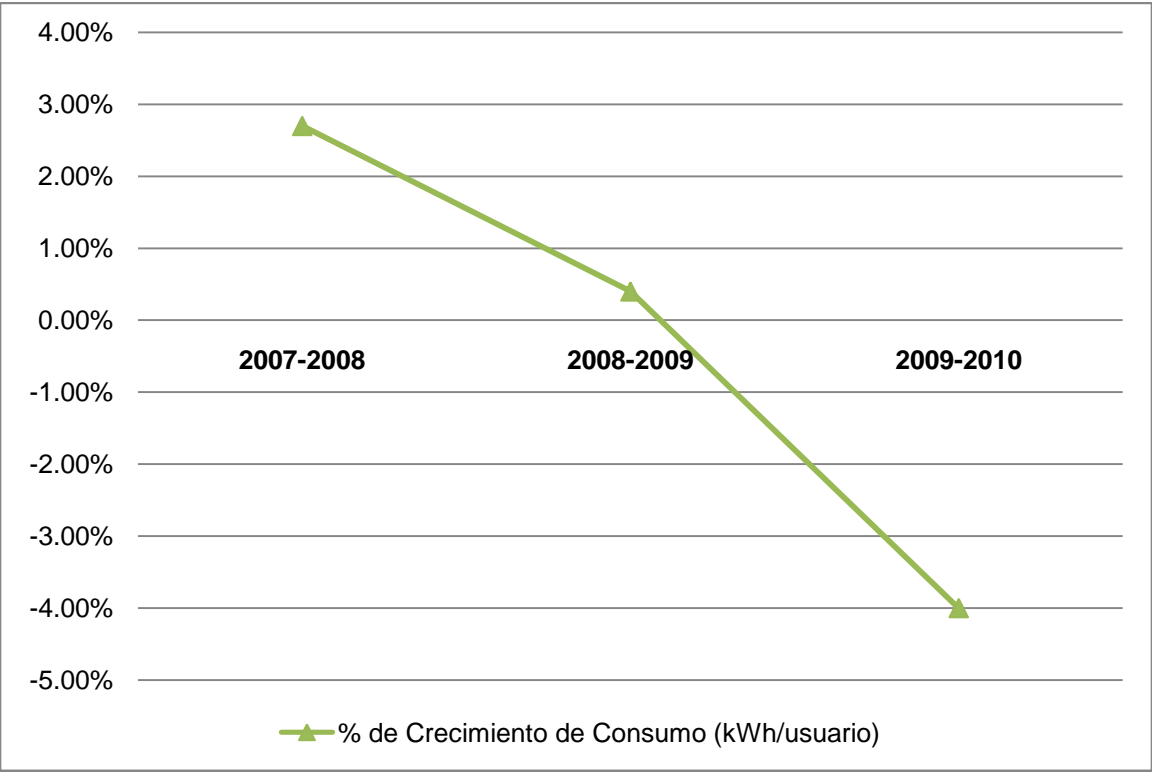


Figura 2.5 Tasa de crecimiento del consumo eléctrico por usuario.

El análisis de viabilidad de nuevas tecnologías para el ahorro y uso eficiente de energía, así como priorizar los métodos que sean más efectivos para reducir del consumo eléctrico de la vivienda en Mexicali, B.C. proporcionan

dificultades al Comité Técnico encargado de elegir hacia donde se deben de dirigir las modificaciones a los subprogramas.

La presente tesis es, en consecuencia, un estudio energético de las viviendas mexicalenses y un análisis del impacto del Programa ASI en la disminución de consumo de energía eléctrica. A partir de la recopilación de datos y tomando una muestra aleatoria de las viviendas mexicalenses se realiza un análisis estadístico que señala el o los subprogramas que resultan más eficaces para el ahorro de energía eléctrica.

Los hallazgos de este documento los podrá utilizar el Comité Técnico para tener una referencia de la situación actual del uso energético de las viviendas en la ciudad de Mexicali, B.C. y proveerá un sustento a las decisiones en cuanto a la dirección que se le dará a los programas de ahorro y uso eficiente de la energía en el futuro.

La ciudad de Mexicali, B.C. fue la primera ciudad en el país en contar con un programa de ahorro y uso eficiente de energía para el sector doméstico el cual se implementó hace más de 20 años. Con el paso de los años se le han realizado diversas modificaciones dependiendo de los intereses y las necesidades de la población. Actualmente los usuarios del Programa ASI tienen la posibilidad de elegir de entre cuatro subprogramas para implementarlos en sus viviendas; sustitución de aire acondicionado central, de ventana, de refrigerador y colocación de aislamiento térmico.

Durante la gestión del Programa ASI en Mexicali, B.C. se han implementado más de 113 mil acciones en total, existiendo casos en donde se han aplicado simultáneamente los diferentes subprogramas que han existido como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.2. Acciones realizadas del Programa ASI en Mexicali

Subprograma	Cantidad
Aislamiento	27,751
Aire acondicionado	12,975
Refrigeradores	6,690
Lamparas F.C.	18,732
AI SL-AAC	14,710
AI SL-REF	884
AI SL-LFC	10,066
AAC-REFRI	2,071
AAC-LFC	4,419
REFRIS-LFC	1,024
AI SL-AAC-REFRI	1,604
AI SL-AAC-LFC	10,390
AI SL-REFRI-LFC	430
AAC-REFRI-LFC	622
AI SL-AAC-REFRI-LFC	989
TOTAL :	113,357

Fuente: Avance Histórico de la Coordinación Mexicali (1991-2010), Programa de Ahorro Sistemático Integral.

CAPITULO 3

BASES TEÓRICAS PARA UN MODELO DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN LA VIVIENDA

¿Qué es exactamente el ahorro y uso eficiente de la energía? Es posible que su definición en ocasiones se confunday nos lleve se a perseguir expectativas e intereses distintos.

En el presente capítulo se analiza el ahorro y uso eficiente de la energía: su definición según distintos especialistas en el tema, asícomo sus antecedentes y su evolución. Se plantea una definición para efectos de este trabajo y se presentan también los elementos involucrados en el ahorro y uso eficiente de energía para el sector doméstico.

3.1 Hacia una definición de ahorro y uso eficiente de la energía

En términos generales se dice que el ahorro y uso eficiente de la energía es “la energía renovable más limpia y barata”, pues “se estima que manteniendo el mismo nivel de calidad de vida es posible consumir un 30 por ciento menos de energía” (Menendez Pérez, 2001).

Por otra parte, Grunwald (2009) señala que el ahorro y uso eficiente de la energía es la energía renovable que, a diferencia de energías provenientes del petróleo e hidrocarburos, no perjudica a los seres vivos ni contamina; a diferencia de la energía solar o eólica, no depende de las condiciones climatológicas; a diferencia del etanol, no acelera la deforestación o infla los precios de los alimentos; a diferencia de las plantas nucleares, no genera

cuestionamientos incómodos sobre su colapso, ataques terroristas o fuga de radiación y no toma décadas su construcción. No es una fuente energética experimental como el hidrógeno o celdas de carbón; sino que está lista para su funcionamiento con un excelente costo/beneficio. Además no es necesaria su importación.

El ahorro y uso eficiente de energía es una fuente de energía renovable notablemente barata, sorprendentemente abundante y disponible en cada momento que se requiera, tiene el potencial de reducir las emisiones de gases con efecto invernadero a la atmósfera y a su vez reducir el costo por el consumo eléctrico. Por desgracia esta fuente renovable de energía en ocasiones es ignorada en la vorágine existente de las nuevas fuentes de energía.

Grunwald también plantea que el ahorro y uso eficiente de la energía no es la aplicación de acciones conservadoras drásticas que sacrifiquen el estado de confort ni el modo de vida de las personas, sino que para lograr la verdadera eficiencia energética se debe hacer lo mismo o más, utilizando menos recursos. Dicho lo anterior, Grunwald propone las siguientes recomendaciones para desperdiciar menos energía:

- Sistemas de control de iluminación.
- Almacenamiento de hielo en el aire acondicionado para ser usado durante las horas pico.
- Ultra capacitores que eleven el rendimiento de los televisores.

- Vidrio de triple capa.
- Colocación de equipo de acondicionamiento de aire o calefacción en un lugar sellado y aislado.
- Uso de lámparas LED.

Por su parte Gutiérrez y Gutiérrez (2009) proponen el uso de un indicador para determinar la reducción del consumo eléctrico en el hogar. Según Gutiérrez y Gutiérrez es importante cuantificar a los kilowatt-hora consumidos diariamente por cada una de las personas que usan la energía eléctrica. Para determinar este indicador es necesario seguir los pasos que se muestran a continuación.

- Calcular el consumo eléctrico anual.
- Obtener los kWh consumidos anualmente en el hogar.
- Calcular los kWh consumidos diariamente por persona.
- Finalmente comparar el resultado con la media nacional.

El ahorro de energía se considera como una opción viable para la región norte de México. Díaz-Bautista (2005), señala que según estimaciones, el precio por generar 1 kW de electricidad es de mil a mil 500 dólares, mientras que el costo por el ahorro de un kW se ubica aproximadamente en 300 dólares. Lo anterior deja de manifiesto que la inversión que se requiere para el ahorro energético está muy por debajo a la inversión de generación de la misma unidad de potencia

eléctrica, por lo que la recuperación de la inversión para este tipo de acciones se da en un tiempo relativamente corto(Díaz-Bautista, 2005).

El crecimiento del consumo eléctrico en el sector residencial segúnHerdman (1993) se debe a distintos factores, tales como, el crecimiento demográfico, clima extremo,número de viviendas, número de individuos por vivienda, el patrón de crecimiento poblacional en la región, intensidad de demanda de la electricidad y por las dimensiones de las viviendas. De los factores mencionados anteriormente se señala a la intensidad de demanda eléctrica como el factor al que se debe priorizar su modificación, pues se estima que es posible reducir de un 25 a 27por ciento el consumo eléctrico si se hace más eficiente la tecnología de los aparatos usados en el hogar.

Algunos autores sostienen que la demanda de energía eléctricaen la vivienda está asociada con los hábitos de consumo, los cuales en las sociedades actuales son tendientes al derroche y en muchas ocasiones este consumo excesivo se da sin llegar al estado de confort, principal objetivo del consumo energético. Entre ellos,Aulí (2005) propone que primero se debe satisfacer el confort térmico, pues este brinda una sensación de bienestar físico y mental, evitando así desperdiciar la energía en otras acciones que generan menor bienestar para los ocupantes de las viviendas. Dentro de las acciones propuestas para lograr un confort térmico destacan:

- La temperatura a la que se deberá fijar los equipos de acondicionamiento ambiental.

- El aislamiento térmico del envolvente de la vivienda.
- Uso de pintura reflejante en el exterior de la vivienda.
- El sombreado de ventanas.

3.2 Ahorro y eficiencia energética en la construcción de viviendas

Según Ezequiel Usón (2004) en las regiones con gran oscilación térmica día-noche, los envolventes representan un factor importante a considerar debido a su alta ganancia de calor, por esa razón se sugiere que los muros sean de colores claros y que se evite el uso excesivo de vanos (aproximadamente 10%), con el fin de contrarrestar la radiación solar, el exceso lumínico y dosificar la ventilación interior. En cuanto a los materiales de construcción de los muros, recomienda el uso de piedra y/o adobe grueso, ya que poseen una baja conductividad térmica.

Para un dimensionamiento y distribución que favorezca los niveles de confort dentro de la vivienda, Usón hace las siguientes afirmaciones y recomendaciones:

- Los patios y espacios intermedios funcionan como reguladores climáticos.
- Los elementos y lugares que almacenan calor deben ser aislados y adecuadamente ventilados.
- Las orientaciones de fachadas más favorables corresponden al sentido norte-sur.

- El uso de vegetación regula los niveles de humedad y beneficia al sombreado exterior.
- Propiciar el uso de materiales de construcción capaces de soportar oscilaciones del medio.

El envolvente de la vivienda es uno de los aspectos más importantes en cuanto a los elementos constructivos de las viviendas para que exista una eficiencia energética. Es por ello que en la Norma Oficial Mexicana referente a la eficiencia energética define a este concepto como el techo, paredes, vanos, puertas, piso y superficies inferiores que conforman el espacio interior de un edificio para uso habitacional. Para esta norma las partes que conforman el envolvente de un edificio se clasifican y denominan en la siguiente tabla (NOM-020-ENER-2011, 2011).

Tabla 3.1. Elementos que conforman la envolvente de un edificio para uso habitacional.

Nombre de la componente y ángulo normal a la superficie exterior con respecto a la vertical		Partes
Techo	Desde 0° y hasta 45°	Opaco No opaco (domo tragaluz)
Pared	Mayor a 45° y hasta 135°	Opaca (muro) No opaca (vidrio acrílico)

Superficie Interior	Mayor a 135° y hasta 180°	Opaca No opaca (vidrio y acrílico)
Piso	Generalmente 180°: también se deben de considerar los pisos inclinados.	Opaca No opaco (vidrio y acrílico)

Wiener (2006), informa que en el siglo XX en la ciudad de Mexicali, B.C. empezó a proliferar la construcción de viviendas de una sola planta con muros de arcilla o ladrillo, siendo el primero de mayor resistencia térmica que el segundo. También el autor hace mención que en la década de los sesenta se modernizó la industria de la construcción de vivienda de dicha ciudad ofreciendo además del ladrillo, bloques de arena y cemento con alta densidad, usando también losas de concreto en el techo en lugar de la madera que era usada anteriormente, siendo estas construcciones hechas de bloque y concreto las que presentan elevadas ganancias de calor y una significativa pérdida de confort tanto para el verano como para el invierno ocasionando que en las últimas décadas la vivienda mexicalense sea una consumidora voraz de los recursos naturales, entre los que destaca la energía eléctrica.

3.3 Gestión para la eficiencia eléctrica en la vivienda

Por su parte Aranda y col. (2010) mencionan que para tener un pleno entendimiento del consumo eléctrico se deben considerar el rendimiento técnico de los equipos que consumen la energía, los hábitos de consumo de los usuarios

y las necesidades de confort de los mismos. Señalan que los consumidores necesitan tener el conocimiento de estadísticas energéticas claras, así como contar con el equipo tecnológico adecuado que les permita adoptar una conducta para una demanda más eficiente y moderada. Las medidas que actualmente son empleadas para poder cubrir dicha necesidad de información se basan en el uso de etiquetas o fichas energéticas que muestren información acerca del consumo eléctrico de los aparatos, el monto económico anual que el uso del aparato ocasiona y en algunos casos, las emisiones de gases de efecto invernadero evitados en comparación a otros dispositivos.

Para adoptar una acción para la eficiencia energética del hogar se debe de preparar un plan para hacerlo. El primer reto que se debe enfrentar para cumplir la meta de reducir el consumo de energía es entender cómo se usa, con esa información en la mano se pueden efectuar estimaciones de los ahorros potenciales que se pueden lograr con cada mejora que se realice. Posterior al entendimiento del uso que se le da a la energía, se debe plasmar el plan de eficiencia energética por escrito, hacer algunas investigaciones sobre el monto económico que costara llevarlo a cabo y una vez hecha una lista de posibles acciones se debe considerar si se aplicaran por separado de manera secuencial o de forma conjunta, también se deben identificar aquellas acciones que pueden ocasionar conflicto con otra, de manera que no se gaste dinero en mejoras que no se ocupan o se deberán de retirar posteriormente. Es conveniente empezar por las pequeñas mejoras que se pueden hacer enseguida y después decidir con cuál de las grandes mejoras se desea implementar primero. El proceso de mejora en la

eficiencia eléctrica de la vivienda nunca se completa y siempre es posible optimizar(Krigger, 2008).

3.4 Gestión de la demanda eléctrica

La demanda eléctrica depende de distintos factores, de los cuales no todos son controlables. William Stanley Jevons conociendo bien esta situación, en 1865 con su obra titulada “The Coal Question” plantea que el incremento de la demanda energética se puede dar aunque se utilicen equipos eficientes, ya que existen casos que al usarlos se gasta menor cantidad de energía instantáneamente pero la mejora tecnológica conlleva un aumento en el nivel de vida y comúnmente se sigue con un incremento en la demanda global de energéticos.

La demanda eléctrica en edificaciones aumenta dependiendo de cuestiones sociales tales como, el crecimiento de la población, su desarrollo económico y las necesidades de confort, ocasionando un inevitable incremento en la infraestructura necesaria para la generación y distribución que garantice el suministro eléctrico.

Aranda y col. (2010) mencionan que la demanda eléctrica en el sector residencial puede cambiar al generarse una cultura energética adecuada que se preocupe por evitar excesos en el equipamiento y el consumo innecesario, de hecho este último factor es de alguna manera el más barato y el más difícil de cambiar. El crecimiento económico, el aumento del bienestar social y los malos hábitos de consumo han contribuido para que la demanda eléctrica en la actualidad sea poco racional. En algunos países se han tenido demandas puntas por tan solo 240 horas anuales, lo que causa gran impacto económico al momento

de hacer la inversión de centrales generadoras de electricidad ya que se debe de asegurar el suministro eléctrico solo para unas pocas horas anuales, obteniéndose una capacidad sobredimensionada en función de las necesidades del resto del año, por lo tanto, es de vital importancia disminuir ese tipo de tendencias en el sector residencial de Mexicali ya que éste representa el segundo mayor consumidor del estado y las horas punta en este sector son un factor importante al momento de la toma de decisiones para la inversión en centrales generadoras.

Según cifras de la Comisión Federal de Electricidad el comportamiento de la demanda eléctrica de Mexicali, B.C. no ES como otras ciudades del mundo, inclusive tiene comportamiento diferente a la de otras ciudades en el mismo estado. La demanda máxima ocurre en tres diferentes ocasiones al transcurrir el día, primero se tiene un pico de demanda a medio día, horas después la demanda baja un poco ocurriendo otro aumento hasta las 4 de la tarde, durante las horas que siguen se disminuye la demanda gradualmente, por último la demanda tiene un aumento final alrededor de las 11 de la noche.

Para Aranda y col. (2010) además de cuestiones sociales, proponen que la demanda eléctrica también depende de las estaciones del año y hasta de las horas del día. Debido a los sistemas de climatización se consume mayor cantidad de electricidad en invierno y verano que en otoño o primavera. También si prestamos mayor atención a los registros de consumo eléctrico durante el día podremos darnos cuenta que se presenta un máximo local en la mitad de la mañana, disminuyendo a continuación y volviendo a aumentar en la noche. Es posible que al haber bastantes picos de demanda durante el día, reduzca un poco el

sobredimensionamiento de las centrales de generación, pero existe la atenuante que las demandas máximas y mínimas presentan una diferencia muy significativa, por lo que la mayor parte del tiempo la capacidad de generación eléctrica instalada en la red eléctrica es desperdiciada.

Wiener (2006) informa que para disminuir la demanda eléctrica en el hogar es necesario implementar campañas de ahorro de energía para personas de todos los estratos económicos y de todas las edades, remarcar los casos en donde es posible tener el mismo confort y calidad de vida sin necesidad de derrochar energía, además de los casos en los que una pequeña reducción en el confort logra ahorros energéticos muy significativos. También se debe de evitar que electrodomésticos o luces estén encendidos cuando no se utilicen. Para reducir la cantidad de energía que se utiliza, se recomienda fijar los equipos de climatización a una temperatura de entre 76 °F a 80 °F, ya que con dicha temperatura se obtienen niveles de confort aceptables y el consumo eléctrico se minimiza(Wiener, 2006).

3.5 Eficiencia eléctrica en equipos electrodomésticos y materiales constructivos

Como es bien sabido los electrodomésticos consumen la mayorparte de la energía eléctrica utilizada en el sector vivienda, es por esa razón que resulta conveniente la adquisición de equipos o materiales que sean eléctricamente eficientes y sean capaces de lograr ahorros significativos en el transcurso de su vida útil. Por lo anterior, es esencial poder identificar los electrodomésticos que consumen en menor proporción energía eléctrica y que además cumplan con las

normas de seguridad y de eficiencia eléctrica vigentes, revelando su desempeño real en términos de ahorro de energía.

La Unión Europea(2013) ha identificado los aparatos eléctricos de uso doméstico mediante su etiqueta energética en la que informa a los usuarios el consumo de energía de los aparatos y otros datos complementarios relativos al tipo de aparato y el desempeño energético que ofrecen, de manera que se pueda seleccionar al aparato que esté de acuerdo a las necesidades de consumo eléctrico o posibilidades económicas que el usuario posea.

La etiqueta se divide en cuatro zonas que contienen información acerca de:

- Datos del fabricante y modelo de electrodoméstico.
- Nivel de eficiencia del electrodoméstico, siendo la letra “A” la más eficiente posible y la “G” la menos eficiente posible.
- La garantía de seguridad para los usuarios.
- La garantía de libre circulación en el mercado.

Según Matthew Lindstrom (2011), la agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América en el año de 1992 creó el programa *EnergyStar* para promover a los productos eléctricos que consumen eficientemente la electricidad, reduciendo así a las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de las centrales generadoras de energía. El logotipo de dicho programa actualmente es conocido alrededor del mundo debido a que aparece en más de 60 categorías de productos, incluidos electrodomésticos, equipo de oficina, de

iluminación y sistemas de manejo de energía. Los estadounidenses destinan anualmente alrededor de 300 millones de dólares en estímulos fiscales que incentiven a que los usuarios adquieran equipos con la etiqueta de ahorro de energía, ya que dichos productos llegan a consumir el 75% de la energía eléctrica que otros similares(Lindstrom, 2011).

En México a nivel federal se implementa el “Sello FIDE”, el cual certifica a los productos que directa o indirectamente provocan un ahorro en el consumo de energía. El sello le da beneficios de mercadotecnia a las marcas que cumplan con los requerimientos energéticos propuestos por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), mientras que los usuarios les otorgan beneficios tales como, el ahorro económico por consumo eléctrico, adquirir equipos que requieren poco mantenimiento, ser sujeto a financiamiento a tasa preferencial, así como seguridad y confianza en los productos adquiridos. Existen dos tipos de sellos FIDE, primero se encuentra el tipo A en el que se encuentran diversos productos de uso general, que son sobresalientes en el uso eficiente de la energía eléctrica. Por otro lado, el sello tipo B en el que las propiedades o atributos de los productos ayudan a disminuir el consumo de energía. Cualquiera de los dos tipos de sellos es fácilmente identificable, ya que se les coloca una etiqueta en una zona visible a los productos que cumplen las características antes mencionadas.

Dentro de los productos que FIDE les otorga su sello de eficiencia energética, destacan equipos de aire acondicionado, refrigeradores, balastos para lámparas fluorescentes, concretos aislantes, domos de iluminación natural, equipos atenuadores, espuma de poliuretano, impermeabilizantes acrílicos

celulares, entre otros. Todos los productos mencionados anteriormente deben de cumplir con sus respectivas características técnicas, de seguridad, de calidad y verificación para que puedan ser aprobados para portar el sello.

El FIDE además de sus sellos también promueve la planeación de edificaciones sustentables en las que se apliquen los últimos avances tecnológicos aplicados en la arquitectura buscando estar a la vanguardia y obtener el máximo provecho para lo cual se deben de considerar los aspectos que se presentan en los siguientes puntos.

- Diseño: orientación, iluminación, ventilación, colocación de ventanas, aislamiento térmico, aislamiento acústico, calentamientos de agua y alternativas de energía.
- Instalaciones utilizando equipos como lámparas fluorescentes compactas, aire acondicionado de alta eficiencia, ventanas de doble cristal, películas de control solar, calentadores solares y celdas fotovoltaicas.
- Iluminación: fluorescentes, de inducción y LED.
- Aislamientos térmicos: losa de polietileno, espuma de poliuretano, y pintura reflectiva.
- Tipos de material: la variedad es muy amplia y de deben de elegir de acuerdo al tipo de clima.
- Bombas cuyos motores sean de alta eficiencia.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE) mediante su sitio electrónico en la sección de consejos de ahorro de energía, identifica a los aparatos electrodomésticos que presentan mayor consumo de electricidad. También se proporciona recomendaciones a la población para lograr un uso óptimo y más eficiente de dichos aparatos fomentando una cultura para el uso eficiente de energía eléctrica (véase Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Recomendaciones y beneficios para electrodomésticos mencionados por CONUEE.

Recomendación	Beneficio
Limpieza en aparatos.	Reduce el consumo de energía y contribuye a la seguridad familiar.
Apague los aparatos que produzcan calor antes de terminar de usarlos.	Se utiliza el calor acumulado.
Evite mantener encendidos aparatos innecesariamente.	Prolonga la vida útil de los equipos.

Para el Programa ASI, cada aparato electrodoméstico que se contempla en alguno de sus subprogramas debe cumplir con diferentes requerimientos técnicos para poder ser adquiridos por los beneficiarios del programa. En el caso de los refrigeradores, el aparato a sustituir debe tener más de 10 años de antigüedad. Los equipos de aire acondicionado deben cumplir con una eficiencia energética mínima para que puedan ser aprobados, superar un determinado consumo eléctrico y obtener financiamiento para su sustitución o aplicación. Para los

aparatos de aire acondicionado central se requiere una Relación de Eficiencia Energética Estacional (REEE, utilizada para indicar la eficiencia de equipos centrales) mayor a 12kBtu/kWh, para los aparatos de ventana se requiere una Relación de Eficiencia Energética de 9.5kBtu/kWh hasta 10.8 kBtu/kWh(dependiendo su capacidad de enfriamiento) y por último, para los equipos “split”o divididos se requiere una Relación de Eficiencia Energética superior a 10kBtu/kWh. Los equipos de aire acondicionado usados actualmente, gracias a su elevada eficiencia eléctrica consumen la mitad de la electricidad que la que consumían en la época de los 90’s (Wiener, 2006).

3.6 Futuro de los dispositivos y electrodomésticos eficientes

Según la Cuarta Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático, basándose en datos del Centro Mario Molina, México para el año 2030 tiene el potencial de que la participación de energías renovables en la generación eléctrica sea de hasta el 50%, siendo la eficiencia en electrodomésticos un factor importante para alcanzar dicha cifra(SEMARNAT, 2009). Por lo anterior, resalta la necesidad de implementar aparatos cada vez más eficientes y desarrollar equipos que consuman menos energía o que su función sea que la demanda eléctrica decrezca.

El monitoreo del consumo eléctrico del hogar, se sugiere como una alternativa para contribuir a la reducción del consumo eléctrico del sector doméstico. A decir de Aranda y col.(2010) señalan que mediante un monitoreo básico se podría tener un control de potencia en los electrodomésticos, se podrían programar los consumos eléctricos en determinadas horas del día y se

tendría la capacidad de que la compañía eléctrica conociera los hábitos de consumo y, a partir de esa información, se ofertaran tarifas eléctricas más acordes con el perfil de consumo de la población.

El monitoreo eléctrico no es una idea innovadora, pues desde 1979 McClelland & Cook realizaron los primeros experimentos sobre los efectos de retroalimentar a los usuarios del servicio eléctrico con información de su consumo, obteniendo como resultado un promedio de 12% de reducción en su consumo de energía (McClelland y col., 1980). Posteriormente Van Raaij & Van Houwelingen (1989) incluyeron información acerca del precio por el uso eléctrico, con lo que se duplicó dicho ahorro.

Con el transcurso del tiempo el monitoreo eléctrico ha evolucionado y ha aprovechado las nuevas tecnologías, ampliando su funcionalidad, disminuido sus precios e incrementando sus beneficios. Estudios a pequeña escala hechos en Japón han demostrado que mediante el conocimiento del precio y de los históricos de consumo se pueden alcanzar ahorros energéticos superiores al 9% (Ueno y col., 2006). Por otro lado estudios como el que fue hecho por Dominion Virginia Power en donde se instalaron dispositivos de monitoreo eléctrico a más de 180 viviendas, las cuales fueron evaluadas durante 1 año, se obtuvo como resultado valores de ahorro en el consumo eléctrico superiores al 15% si se combinan con otros sistemas de control climático (Mountain, 2010).

Por otro lado, John Krigger (2008) menciona que la iluminación exterior de los hogares consume grandes cantidades de energía, ya que por lo general se

dejan encendidas durante toda la noche. En el mercado existen distintas alternativas de última tecnología para evitar los altos consumos eléctricos por iluminación. Como primer paso es recomendable deshacerse de las lámparas incandescentes y remplazarlas por fluorescentes u otros que consuman menor cantidad de energía. Para una segunda alternativa se encuentran las fotoceldas y los sensores de movimiento, los cuales pueden reducir en gran medida los tiempos de operación de los equipos de iluminación. También las lámparas solares es otra opción para reducir el consumo eléctrico de los aparatos que se encuentran en exterior de la vivienda, ya que son energizadas por una batería que es cargada durante el día por medio de pequeños paneles solares. Evidentemente este tipo de tecnologías no estará disponible o será accesible a todos los usuarios mientras se mantengan los esquemas actuales de la sociedad por lo que eventualmente se requerirían de programas de apoyo, estímulos económicos e incentivación dirigidos a aquellos usuarios que incorporen elementos de ahorro y uso eficiente de la energía.

CAPITULO 4

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se explica el proceso de investigación desarrollado. Se describen los sujetos estudiados, el material utilizado y el procedimiento que se siguió para la elaboración de esta tesis. Se proporciona información que explica detalladamente la forma en que se realizó el estudio. Se pretende de esta manera dar sustento y validez a los métodos e instrumentos utilizados.

4.1 Sujetos.

El presente trabajo es un estudio de evaluación al programa denominado Ahorro Sistemático Integral en Mexicali, Baja California. Los objetivos de la investigación fueron descritos con anterioridad y pueden sintetizarse en: (a) determinar los resultados que ha tenido cada uno de los subprogramas del Programa ASI en términos de ahorro económico y de uso eficiente de energía y (b) la aplicación de un método estadístico que identifique los subprogramas más eficaces. Sin embargo, adicionalmente se espera determinar el efecto que tales subprogramas y las acciones asociadas a ellos han tenido en el comportamiento conductual de los usuarios mismos que permita identificar los alcances que el Programa ASI ha logrado, no sólo desde el punto de vista cuantitativo en términos de disminución de consumo o demanda, sino también en términos de percepción tales como el valor otorgado al ahorro y uso eficiente de la energía, o la formación de una “cultura energética” con mayores bases técnicas. Para tal efecto resulta

obvio que los sujetos bajo estudio en esta investigación deberán de ser los usuarios del servicio eléctrico que implementen alguna o algunas acciones de ahorro y uso eficiente de energía en su hogar, sin embargo, actualmente no se tiene disponible un padrón de usuarios, ni algún otro instrumento que permita dar seguimiento al histórico de consumo de todas viviendas que han tomado medidas para reducir su consumo eléctrico. Por lo anterior, y considerando la cantidad de acciones de eficiencia energética ya implementadas desde 1990, las diferencias de consumo eléctrico por vivienda de una ciudad a otra, así como los recursos disponibles para esta tesis, el campo de aplicación de la investigación fue exclusivamente el sector residencial de la ciudad de Mexicali, Baja California y los sujetos de estudio usuarios seleccionados de una muestra aleatoria representativa de dicho sector.

El cálculo del tamaño de la muestra fue la primera etapa para dar certidumbre estadística a los resultados. El universo poblacional se consideró como 318,238 usuarios mexicalenses que representaron el total de usuarios domésticos con servicio eléctrico en el año 2011, con un índice de proporcionalidad de 0.85 que representa a las viviendas que actualmente aplican alguna acción propuesta por los programas gubernamentales para el ahorro y uso eficiente de la energía, un nivel de confianza de 95% y una diferencia máxima de 5% con respecto a la media real. Con los parámetros antes descritos y por tratarse de un muestreo probabilístico de una población finita, se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{NZ^2p(1-p)}{Z^2p(1-p) + (\Delta-p)^2(N-1)} \text{Ec. (1)}$$

En donde:

n : Tamaño de la muestra.

p : Proporción de las viviendas con alguna acción de ahorro.

N : Tamaño de la población.

Z : Parámetro estadístico relativo al nivel de confianza.

$\Delta-p$: Diferencia con la media real.

Mediante la sustitución de términos en la ecuación (1), se obtiene que el tamaño mínimo de la muestra bajo las condiciones antes mencionadas es de 277 viviendas, por lo que para fines prácticos dicho número fue redondeado a 300 viviendas, las cuales brindaron una representación de las características poblacionales que se desean analizar.

4.2 Material

Para recabar la información necesaria se elaboró un cuestionario de 4 páginas en donde se le pidió al encuestado llenarlas con información relativa a su vivienda entre la que destaca: dimensiones de área climatizada, altura de muros, largo, ancho, número de ocupantes, materiales constructivos, si se cuenta con climatización artificial y su tipo, hábitos de uso de aparatos electrodomésticos, ingreso económico familiar, historial de consumo eléctrico mensual, entre otros. En la Tabla XX del anexo YY se muestra el formato detallado de los puntos principales sobre los cuales se solicitó información.

Una vez obtenida la información requerida de cada cuestionario, ésta se procesó para reproducir el comportamiento energético de cada vivienda analizada y validándose los resultados al compararlos con los consumos mensuales reportados en el registro histórico del recibo proporcionado por la CFE a cada usuario. La caracterización energética se realizó utilizando como herramienta el simulador térmico desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UABC el cual permite calcular, para una determinada vivienda o construcción, ganancias instantáneas de calor, potencia de enfriamiento, rapidez de retiro de calor y, al incorporar la eficiencia efectiva del sistema de climatización y demás cargas eléctricas y térmicas, el consumo y la facturación mensuales. El simulador emplea el Método de Funciones de Transferencia de ASHRAE y ha sido aplicado y validado extensamente desde los años 90.

4.3 Validez y confiabilidad

Para hacer inferencias válidas y confiables de los datos obtenidos en esta investigación, se consideraron evidencias relacionadas con contenido y criterio. En cuanto a la validez de contenido, se revisó que el cuestionario incluyera la información requerida por el simulador para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados al compararlos con los valores reales de consumo eléctrico mensual de las viviendas analizadas.

El cuestionario empleado en este trabajo sirvió para establecer el efecto real que producirían diferentes escenarios de aplicación de cada uno de los subprogramas del Programa ASI en el consumo y facturación eléctrica de las

viviendas, con lo que se obtiene información valiosa del impacto energético y económico de cada uno de estos subprogramas, así como de su viabilidad.

Con el fin de establecer la validez de los resultados de la simulación, el criterio utilizado fue comparar los consumos mensuales calculados con los valores reales como se reportan en el recibo de CFE para cada usuario. La simulación se ajustó hasta que los valores calculados y los reales no difirieran en más de un $\pm 5\%$ para el periodo de verano y para el acumulado anual. Con ello se garantiza que las predicciones para posibles acciones sean confiables al establecer nuevos escenarios energéticos.

Para garantizar la confiabilidad de los instrumentos de medición y veracidad en la recopilación de datos, se capacitó a estudiantes de ingeniería de las carreras de ingeniería mecánica, ingeniería mecatrónica e ingeniería en energías renovables de semestres avanzados y quienes contaban además con experiencia previa en el uso del simuladores térmico así como en diagnósticos energéticos para que capturaran en cada cuestionario de manera correcta las dimensiones, valores nominales de los electrodomésticos, materiales constructivos, factores de uso eléctrico y eficiencia de equipos de cada vivienda encuestada. La finalidad era mantener la confiabilidad de la información recabada y que es la base fundamental del trabajo posterior.

4.4 Procedimiento

Dado que el método utilizado en esta investigación es de tipo experimental, el problema de investigación es el siguiente:

¿Cuál es el subprograma del Programa ASI que tiene mayor impacto en la reducción de consumo de energía eléctrica en las viviendas de Mexicali, B.C.?

Para darle solución a la problemática planteada anteriormente, se recopiló información de diversas fuentes con el fin de documentarse y tener un entendimiento más profundo acerca del problema. Por lo anterior, se hizo una revisión literaria sobre el ahorro y uso eficiente de la energía, se consultaron libros, reportes técnicos, páginas de internet de algunos programas gubernamentales y proyectos nacionales e internacionales relacionados a la aplicación de acciones para reducir el consumo eléctrico en los hogares. De la coordinación regional del Programa ASI se obtuvo información acerca de sus antecedentes, datos generales, requisitos e historial de acciones realizadas en la ciudad de Mexicali, B.C. que sirvieron para generar una prospectiva de acciones a realizar en los próximos años para cada uno de los subprogramas vigentes.

Con el fin de entender a la población a estudiar, se realizó un análisis de una muestra representativa que consistió de 300 hogares pertenecientes al sector residencial mexicalense para determinar aspectos tales como, consumo eléctrico de las viviendas (usuarios), nivel socioeconómico de acuerdo a los criterios de la Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado y Opinión Pública A.C., porcentaje de su ingreso destinado al pago por dicho consumo, sobredimensionamiento de los equipos de aire acondicionado, etc.

Para conocer el impacto que los subprogramas del Programa ASI tienen en el consumo de energía del sector doméstico de la ciudad de Mexicali, B.C., fue

necesario cuantificar el porcentaje de ahorro de los cuatro subprogramas vigentes. Por otra parte, se consideró que podría existir algún grado de interacción entre variables que hacen que el consumo eléctrico de una vivienda pueda ser afectada, por ello el análisis correspondiente se realizó mediante simulación numérica pero partiendo de los datos reales previamente ya modelados y validados por simulación.

Los subprogramas así como las posibles interacciones considerados para su análisis son los siguientes:

- Aislamiento térmico en techo.
- Aislamiento térmico en techo y muro.
- Sustitución de aire acondicionado central.
- Sustitución de aire acondicionado de ventana.
- Si se ha sustituido el refrigerador.
- Todos los subprogramas del Programa ASI actuando en conjunto.

Se evalúa a los cuatro subprogramas y sus dos combinaciones más comunes en términos de porcentaje de ahorro energético y económico para periodos anuales y durante meses de verano. Los porcentajes de ahorro son calculados a partir de su aplicación en cada uno de los hogares que formaron parte de la muestra, teniendo un total de siete escenarios por vivienda analizada. Para simular dichos escenarios fue necesario evaluarlos bajo las características que se presentan en la tabla de a continuación.

Tabla 4.1. Escenarios de aplicación de los subprogramas del Programa ASI en la vivienda mexicalense.

Escenario	Características
Sin acciones de ahorro.	<ul style="list-style-type: none"> • Sin aislamiento térmico en techo ni en muro. • Si cuenta con aire acondicionado central, su grado de eficiencia de la electricidad estacional (SEER) es de seis. • Si cuenta con aire acondicionado de ventana o minisplit, su grado de eficiencia de la electricidad (EER) es de seis. • Refrigerador viejo.
Aislamiento térmico en techo.	<ul style="list-style-type: none"> • Con poliuretano de dos pulgadas de espesor en toda la superficie del techo de la vivienda.
Aislamiento en techo y Muros.	<ul style="list-style-type: none"> • Con poliuretano de dos pulgadas de espesor en toda la superficie del techo de la vivienda. • Con poli estireno de dos pulgadas de espesor en toda la superficie exterior de los muros de la vivienda.
Sustitución de aire acondicionado central.	<ul style="list-style-type: none"> • Con aire acondicionado tipo central con SEER de 15.
Sustitución de aire acondicionado de paquete o mini-split	<ul style="list-style-type: none"> • Con aire acondicionado tipo ventana o minisplit con EER de 13.
Sustitución de	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución de refrigerador por uno nuevo de la misma

refrigerador	capacidad volumétrica dada en pies cúbicos.
Todas las acciones en Conjunto.	<ul style="list-style-type: none"> • Con Aislamiento Térmico en Techo y Muros. • Con sustitución de aire acondicionado del tipo que se encontraba en la vivienda en su estado actual. • Con sustitución de refrigerador de más de 7 años de uso por uno nuevo de la misma capacidad volumétrica.

Para conocer el potencial de la aplicación que el Programa ASI tiene para la vivienda mexicalense, se determina la cantidad de viviendas que son candidatas a acceder a cada uno de los subprogramas tomando en cuenta únicamente a las que no aún no poseen dichas acciones y que además cumplen con los requisitos establecidos por el programa.

Para obtener la cantidad viviendas que son candidatas a la aplicación del Programa ASI se consideran aquellas que cumplen todos los requisitos estipulados en cada subprograma y que además aún no cuentan con ellos. Para el aislamiento térmico en techo se contabilizan a las viviendas que no poseen dicha acción, siendo el mismo criterio empleado para considerar a las viviendas que pueden acceder a la interacción del aislamiento en techo y muros. Al identificar a las viviendas que pueden acceder a los subprogramas de sustitución de aire acondicionado solo se toma en cuenta a aquellas que cumplan con el requerimiento de consumo eléctrico mayor a 750 kWh mensuales y a las que tienen equipos con una eficiencia energética SEER menor a 13 kBtu/kWh para equipos centrales y EER de 10kBtu/kWh para equipos mini-splitso de ventana. Por

último para la sustitución de refrigerador solo se consideran a las viviendas que poseen refrigeradores antiguos de baja eficiencia.

Una vez obtenida la cifra de las viviendas que son candidatas a la aplicación de cada subprograma del Programa ASI, se estima el potencial que cada uno tiene para disminuir el consumo de energía eléctrica en MWh, es decir, el efecto que produciría en el sistema eléctrico de Baja California.

Habiendo determinado el ahorro promedio de cada subprograma individualmente y de sus interacciones más comunes, se analiza mediante un diseño de experimentos la variabilidad del consumo eléctrico en función de factores constructivos, socioeconómicos y antropológicos que el Programa ASI no contempla pero se cree son causales de que los hogares mexicalenses tengan consumos tan variables de una vivienda a otra. Para comprobar dicha hipótesis se planificó aplicar el criterio utilizado por el diseño experimental para investigar qué variables (o factores) son las causantes de tales variaciones e impacto en el comportamiento energético de los usuarios residenciales. Por lo tanto, en la Tabla 4.2 se indican los factores que se consideraron en una primera instancia para ser evaluados como posibles fuentes de la variabilidad observada. Se inició utilizando un arreglo experimental Taguchi a dos niveles pues esta metodología es recomendada cuando se está en las primeras etapas de investigación experimental.

Tabla 4.2. Factores y niveles de impacto a la variabilidad del consumo eléctrico de la vivienda.

No. de factor	Nombre del factor	Nivel 1	Nivel 2	Unidades
Factor 1	Pisos	1	2	Pisos
Factor 2	Ingreso	\$0.00- \$11,599.00	\$ 11,600.00-más	Moneda nacional
Factor 3	Área climatizada	0 a 80 m ²	81m ² o más	Metros cuadrados
Factor 4	Personas	1 a 3 personas	4 a más personas	Personas

Se emplearon como variables de respuesta el consumo eléctrico anual y el consumo total de verano de los usuarios individualmente debido a que el consumo eléctrico refleja en última instancia la utilización de la energía eléctrica y puede relacionarse tanto a los hábitos de uso de la energía como al grado de acondicionamiento ambiental y la eficiencia energética de los equipos y sistema de climatización. Con los factores descritos en la tabla anterior, se seleccionó al arreglo ortogonal Taguchi como método de análisis, ya que es rápido, fiable y optimiza el número de pruebas requeridas. Se elige al arreglo ortogonal Taguchi L₈ con tres réplicas para validar el estudio de la varianza en el consumo eléctrico, con un total de 24 tratamientos por experimento (ocho pruebas con tres réplicas cada una). Lo anterior se traduce en que a cada prueba le corresponden tres usuarios diferentes a evaluar y que en el experimento realizado con los consumos

eléctricos anuales se utilizan los mismos usuarios que en el experimento con los consumos de verano.

En la tabla que a continuación se presenta, se describe cada una de las pruebas del arreglo ortogonal Taguchi L_8 aplicada en el experimento hecho para los consumos eléctricos anuales, como para los de meses de verano, respectivamente.

Tabla 4.3. Descripción del arreglo ortogonal L_8 .

No. de prueba	Factores				Variable de respuesta		
	Pisos	Ingreso	Área climatizada	Personas	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
Prueba 1	1	1	1	1			
Prueba 2	1	1	1	2			
Prueba 3	1	2	2	1			
Prueba 4	1	2	2	2			
Prueba 5	2	1	2	1			
Prueba 6	2	1	2	2			
Prueba 7	2	2	1	1			
Prueba 8	2	2	1	2			

Habiendo completado las tablas de los arreglos Taguchi L_8 con los consumos eléctricos para períodos anuales y en meses de verano, se analiza la varianza de cada factor teniendo como criterio que si la distribución de Fisher de algún o algunos factores tienen un valor superior al crítico se le identifica como

factor causante de la variabilidad en el consumo eléctrico de la vivienda mexicalense y se determina el porcentaje de la muestra que poseen dichos factores, así como los consumos eléctricos promedio para ellos.

Se determina el potencial de la aplicación del Programa ASI para la porción de la población que cuenta con los factores de variabilidad del consumo eléctrico. Se identifica el número de viviendas que cuentan con los factores de variabilidad y que además son candidatas a acceder al programa. Del mismo modo, se expone la reducción del consumo eléctrico que dichas viviendas pueden lograr mediante la aplicación de cada uno de los subprogramas.

De manera adicional al estudio de las acciones implementadas por el Programa ASI, se analizó el grado de desviación entre el consumo eléctrico que muestra un prototipo de monitor de consumo de energía (MCE), el cual es evaluado en laboratorio para diferentes tipos de cargas eléctricas.

Para asegurar el adecuado funcionamiento y la confiabilidad de la medición realizada por el prototipo, se realizaron pruebas de medición bajo condiciones controladas de tres tipos de cargas eléctricas operando por intervalos de tiempo definidos. Simultáneamente se conectaron tres medidores comerciales certificados con la finalidad de comparar las lecturas y obtener un análisis estadístico para determinar si los resultados del prototipo son equivalentes a los de los medidores comerciales. Así, el MCE como los otros equipos de medición certificados se utilizaron dentro de un diseño experimental con tres diferentes cargas y con periodos de operación de 24 horas a dos réplicas. Los tres medidores comerciales

utilizados se identifican como EKM, Kill a Watt y SMCE. Las cargas muestreadas fueron iluminación incandescente (I) de 30W, un equipo de refrigeración en pequeña escala de (AC) cuya demanda promedio máxima fue de 168W y un equipo de cómputo (C) de 70W. Se evaluar la posible variación por efecto de la interacción de cargas, especialmente inductivas y resistivas cuando se hallan conectadas al mismo circuito y operan simultáneamente.



Figura 4.1. Medición del equipo de aire acondicionado.



Figura 4.2. Comparación de resultados.

Se elige un diseño factorial bloqueado en donde los factores de variabilidad que fueron bloqueados son los dispositivos de medición (MCEEKM, Kill a Watt y SMCE). A continuación se presenta la tabla de recopilación de datos experimentales de la medición de las cargas.

Tabla 4.4. Resultados de mediciones eléctricas.

Medidor	Consumo (kWh) por tipo de carga					
	I	C	AC	CI	CAC	IAC
EKM	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2
Kill a Watt	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2
MCE	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2
SMCE	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1	Réplica 1
	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2	Réplica 2

Después de un minucioso análisis a todos los resultados que emanaron de la presente tesis, se anotan conclusiones estadísticamente válidas que dan respuesta a la pregunta de investigación y que a su vez también corroboran o niegan a la hipótesis planteada antes de la experimentación.

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Consumo eléctrico y características de la vivienda mexicalense

Mediante los históricos de acciones realizadas por el programa ASI y el uso de la regresión lineal, se calculó una proyección de las acciones que se esperan realizar para los próximos años. En dicha proyección se pudo encontrar un crecimiento positivo para todos los subprogramas vigentes y se obtuvieron correlaciones mayores de 0.90, dando lugar a una gran certidumbre en la información brindada (véase Figura 5.1).

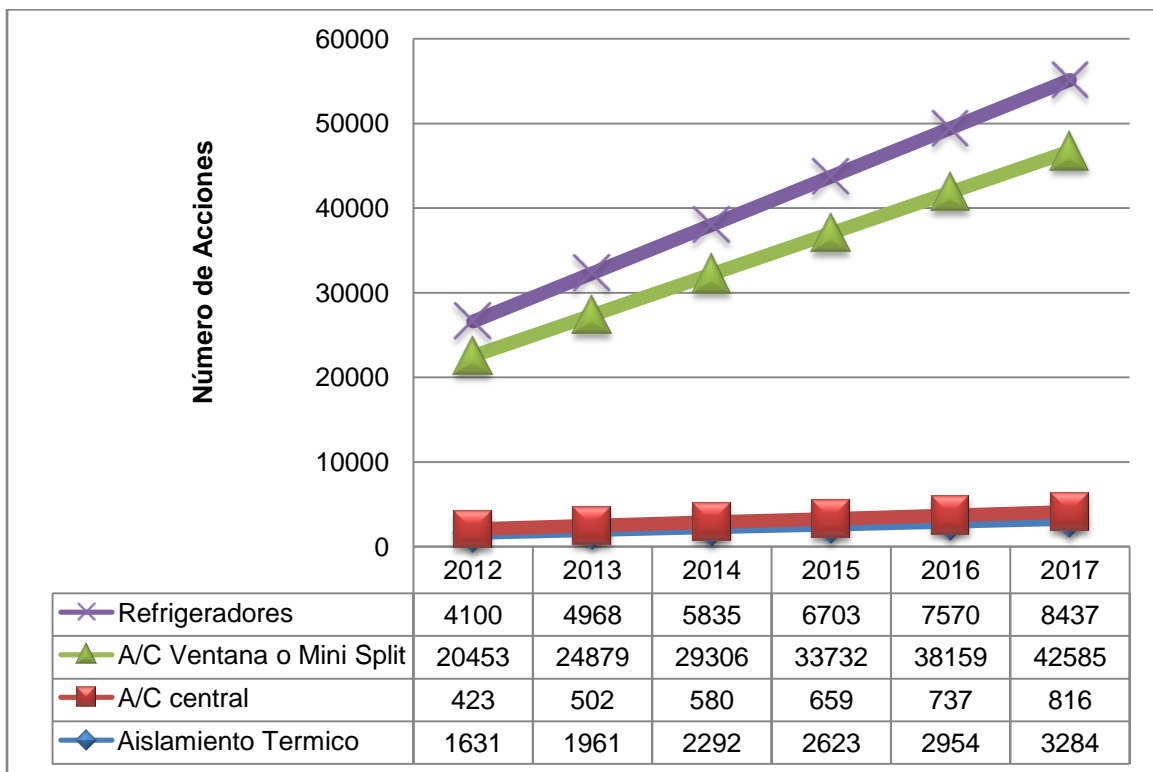


Figura 5.1. Proyección de acciones del Programa ASI.

Si bien las acciones futuras del Programa ASI son un dato importante acerca de su rendimiento, no brinda la información necesaria para poder identificar al subprograma que tiene mayor impacto en el consumo de energía. Por lo que fue necesario cuantificar los ahorros en consumo eléctrico que ocasiona cada uno de ellos.

Se determinó que era necesario evaluar una muestra aleatoria de por lo menos 300 viviendas situadas en la ciudad de Mexicali y dado que la muestra es aleatoria, los hogares analizados presentaron características muy distintas uno de otro en cuanto a tipo constructivo, ubicación, nivel socioeconómico, área climatizada, entre otros. El objetivo es que la muestra sea representativa del sector residencial del municipio de Mexicali. Para recabar la información requerida se aplicaron encuestas a los usuarios seleccionados donde muchas de las preguntas son de tipo técnico que normalmente el usuario no domina para lo cual se requirió la capacitación de estudiantes de ingeniería a quienes se preparó para establecer la información con apoyo del propietario o habitante de la vivienda y la observación directa. A continuación, se presenta la información recabada en uno de los cuestionarios utilizados.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
ENCUESTA PARA DEFINIR EL IMPACTO DE PROGRAMAS DE
AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA

Este cuestionario tiene el objetivo de recabar información acerca de algunas características presentes en el sector doméstico de la ciudad de Mexicali, Baja California, con la finalidad de conocer el ahorro eléctrico que ofrecen cada tipo de acción de los programas gubernamentales vigentes. Los datos obtenidos serán confidenciales y utilizados para una tesis de doctorado.

Ing. José Alejandro Suástegui Macías.

1.-	Nombre:	Fecha:
2.-	Fracc. o colonia:	Hora:
3.-	Correo electrónico:	Lun-Vie:

Características físicas de la vivienda

4.- ¿Cuántos metros cuadrados de construcción climatizada tiene su vivienda?
 m²

5.- De cuántos pisos es su vivienda?
 Pisos

6.- ¿Cuántas personas habitan en la vivienda?
 Personas

7.- ¿Cuáles son las dimensiones de la fachada de su casa?
 Altura m. 1er piso Ancho m. 1er piso
 Altura m. 2do piso Ancho m. 2do piso

8.- ¿Cuánto mide de fondo su casa en metros lineales?
 Fondo m. Primer piso Fondo m. Segundo piso

9.- ¿Su fachada a que dirección está orientada?
 Norte Sur Este Oeste

10.- Indique los muros que están sombreados

Norte 1er piso <input type="text"/>	Sur 1er piso <input type="text"/>	Este 1er piso <input type="text"/>	Oeste 1er piso <input type="text"/>
Norte 2do piso <input type="text"/>	Sur 2do piso <input type="text"/>	Este 2do piso <input type="text"/>	Oeste 2do piso <input type="text"/>

11.- ¿De qué material están hechos los muros de su vivienda?
 Primer piso Segundo piso

12.- De cuántas pulgadas es el espesor de los muros?
 4 6 8

13.- En caso de que estén aislados. ¿Cuáles son?

Norte <input type="text"/>	Sur <input type="text"/>	Este <input type="text"/>	Oeste <input type="text"/> 1er piso
¿Cuántas pulgadas de espesor tiene?			
Norte <input type="text"/>	Sur <input type="text"/>	Este <input type="text"/>	Oeste <input type="text"/> 2do piso
¿Cuántas pulgadas de espesor tiene?			

14.- ¿De qué material es el aislamiento de los muros?
 1er piso 2do piso

15.- Indique el área aproximada en m² de ventanas en cada orientación

Norte <input type="text"/>	Sur <input type="text"/>	Este <input type="text"/>	Oeste <input type="text"/> 1er piso
Norte <input type="text"/>	Sur <input type="text"/>	Este <input type="text"/>	Oeste <input type="text"/> 2do piso

16.- Indique el área aproximada en m² de puertas en cada orientación

Norte <input type="text"/>	Sur <input type="text"/>	Este <input type="text"/>	Oeste <input type="text"/> 1er piso
Norte <input type="text"/>	Sur <input type="text"/>	Este <input type="text"/>	Oeste <input type="text"/> 2do piso

17.- ¿De qué material es el techo de su vivienda?

Vigüeta y bovedilla <input type="text"/>	Concreto <input type="text"/>	Madera sin ático o plafón <input type="text"/>
Madera con ático o plafón <input type="text"/>	Otro ¿Cuál? <input type="text"/>	

18.- ¿Utiliza pintura reflejante en su vivienda?
 En techo En muros No uso

19.- ¿Está aislado el techo de su hogar?
 Sí ¿Qué tipo de aislante?
 No

20.- ¿Ha aplicado alguna medida para el ahorro de energía en su hogar?
 Sí ¿Cuál?
 No

21.- ¿Cuál de los subprogramas del programa ASI utiliza en su vivienda?

Aislamiento Térmico	<input type="text"/>
Sustitución de A/C Central	<input type="text"/>
Sustitución de A/C de ventana	<input type="text"/>
Sustitución de Refrigerador	<input type="text"/>
Ninguno	<input type="text"/>

22.- Seleccione el ingreso mensual de su vivienda (suma de los sueldos de las personas con actividad laboral).

\$0 a \$2,699.00	<input type="text"/>
\$2,700.00 a \$6,799.00	<input type="text"/>
\$6,800.00 a \$11,599.00	<input type="text"/>
\$11,600.00 a \$34,999.00	<input type="text"/>
\$35,000.00 a \$84,999.00	<input type="text"/>
\$85,000 o Más	<input type="text"/>

23.- ¿Estaría dispuesto a comprar un dispositivo que le brinde su facturación en tiempo real?
 Sí ¿Cuánto cree usted que vale este aparato?
 No (en pesos)

Figura 5.2. Ejemplo del cuestionario utilizado.

23.- Tabla 1: Aparatos electrodomésticos.

	1er Piso			2do Piso		
	Cantidad	Escriba los años de uso que tiene cada aparato	Promedio de horas de uso diario	Cantidad	Escriba los años de uso que tiene cada aparato	Promedio de horas de uso diario
Equipo Aire acondicionado						
De ventana, 1T, viejo						
De ventana, 1T, nuevo						
De ventana, 1.5T, viejo						
De ventana, 1.5T, nuevo						
De ventana, 2T, viejo						
De ventana, 2T, nuevo						
Minisplit 1T						
Minisplit 1.5T						
Minisplit 2T						
Central 3T						
Central 4T						
Central 5T	1	3	16			
Cooler (grande)						
Cooler (chico)						
Ventilador de pedestal	2	4	20			
Ventilador de techo	4					
Foco Ahorrador	13	1	18			
Tubo Fluorescente						
Foco incandescente 100 W						
Foco incandescente 75 W						
Foco incandescente 60 W						
Foco incandescente 40 W	5	1	7			
Otros Equipos						
Lavadora	1	4	2			
Secadora de ropa eléctrica	1	3	1			
Radio grabadora						
Refrigerador viejo (más de 7 años)						
Refrigerador nuevo (menos de 7 años)	1	2	24			
Televisor de Plasma	1	4	10			
Televisor plano LCD						
Televisor CRT	1	10	3			
Microondas	1	5	1			
Computadora de escritorio	1	5	1			
Laptop	3	3	7			
Plancha	1	7	2			
DVD						
Estufa eléctrica	1					
Cafetera eléctrica	1	3	0.5			
Boiler eléctrico (grande)	1	7	4			
Boiler eléctrico (chico)						
Extractor	1	7	2			
Secadora de cabello	1	1	1			

24.-¿ Usualmente, a que temperatura fija el termostato de sus A/C?

24

25.- Tabla 2: Historial de Consumo
Consultando su recibo eléctrico complete la siguiente tabla

Año pasado		Año Actual	
Mes	Consumo (kW/h)	Mes	Consumo (kW/h)
Enero	750	Enero	
Febrero	737	Febrero	
Marzo	685	Marzo	
Abril	614	Abril	
Mayo	630	Mayo	
Junio	1229	Junio	
Julio	1844	Julio	
Agosto	1772	Agosto	
Septiembre	1996	Septiembre	
Octubre	1531	Octubre	
Noviembre	1026	Noviembre	
Diciembre	671	Diciembre	

Figura 5.2. Ejemplo del cuestionario utilizado (continuación).

26.- Tabla 3: Ocupantes
 Según el comportamiento más habitual en su vivienda llene la siguiente tabla

Hora	% de iluminacion	Croquis Planta Baja			
1	5%				
2	5%				
3	5%				
4	5%				
5	5%				
6	40%	Cuarto		Cuarto	
7	40%				
8	10%	Baño		Cocina	
9	10%				
10	10%				
11	10%	Sala			Comedor
12	10%				
13	10%				
14	20%				
15	20%				
16	20%				
17	50%				
18	50%				
19	50%				
20	50%				
21	50%				
22	50%				
23	50%				
24	5%				

27.- Seleccione el ingreso mensual de su vivienda (suma de los sueldos de las personas con actividad laboral).

\$0 a \$2,699.00	
\$2,700.00 a \$6,799.00	
\$6,800.00 a \$11,599.00	
\$11,600.00 a \$34,999.00	
\$35,000.00 a \$84,999.00	
\$85,000 o Más	

Figura 5.2. Ejemplo del cuestionario utilizado (continuación).

Para detallar la información recabada en la muestra tomada del sector residencial mexicalense, a continuación se presentan algunas figuras que contienen las características de equipo, energéticas y económicas más relevantes de los hogares que formaron parte de la muestra.

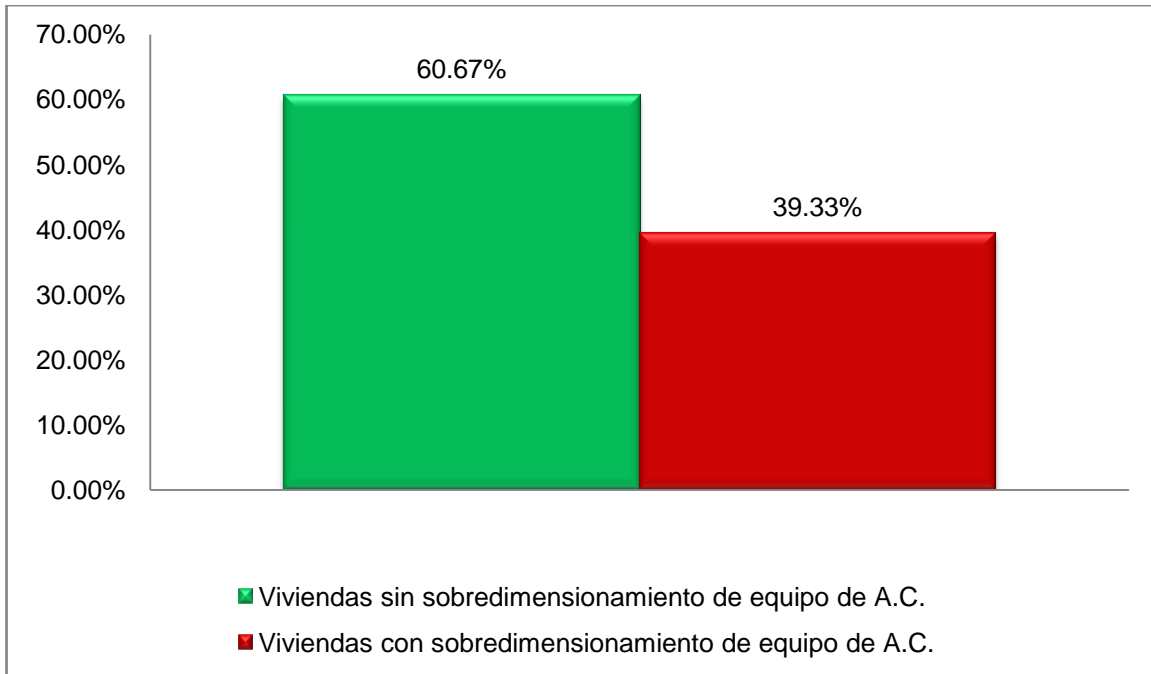


Figura 5.3. Gráfica de frecuencia de sobredimensionamiento en equipos de aire acondicionado en la vivienda mexicalense.

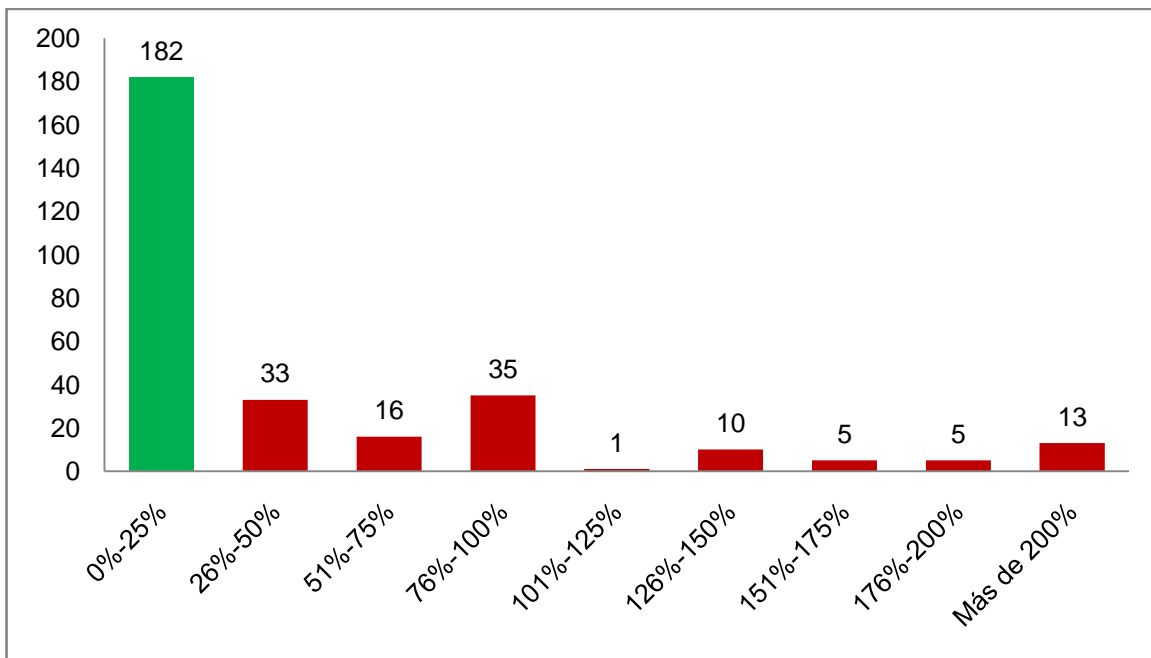


Figura 5.4. Gráfica de frecuencia de viviendas según su porcentaje de exceso de la capacidad requerida para su equipo de aire acondicionado.

De las figuras anteriores se muestra la situación que se tiene en el sector vivienda de Mexicali, B.C. en términos de sus equipos de aire acondicionado. De la Figura 5.3 se aprecia que en el 39% de los hogares analizados presentan algún sobredimensionamiento en sus equipos de climatización. Cabe hacer mención que para esta investigación se consideró como una vivienda sobredimensionada en capacidad de equipo de climatización, a todas aquellas que dicha capacidad superara en 25% a la requerida para cumplir con sus requerimientos de acondicionamiento de aire.

Por otro lado, la Figura 5.4 revela la cantidad de las viviendas según el porcentaje de exceso de la capacidad requerida, en donde se marcó con verde a las viviendas que la capacidad de su equipo de climatización está acorde a sus requerimientos y con color guinda a las viviendas que presentaron sobredimensionamiento.

Se obtuvo un promedio de 16% de exceso en la capacidad de enfriamiento de los equipos de aire acondicionado, lo que se traduce en una demanda eléctrica innecesaria, tomando en cuenta que en los valores promedio de la muestra se tiene que la capacidad actual de la vivienda de Mexicali, B.C. es de 3.6 toneladas, mientras que la capacidad requerida es de 3.1 toneladas, se infiere que en cada vivienda existen en promedio 0.5 toneladas de exceso.

Con los datos anteriores y dado que fue tomada una muestra representativa de la población se puede estimar que en el sector doméstico de la ciudad, se

tienen instaladas innecesariamente 157,952 toneladas de capacidad de equipo de aire acondicionado, las cuales demandan 272 MW de energía eléctrica.

Habiendo analizado los consumos eléctricos del sector residencial mexicalense, se pudo encontrar un promedio mensual anualizado de 683kWh/usuario, siendo más de dos veces el consumo promedio para el estado de Baja California que es de 252 kWh/usuario (CFE, 2012). Por otra parte en meses de verano el consumo mensual se eleva a 998kWh, dejando de manifiesto que en 6 meses se consume el 73% de la energía eléctrica de todo el año., principalmente por el uso del aire acondicionado. Lo anterior se puede observar en las siguientes figuras, en donde se presentan para cada vivienda que formó parte de la muestra sus consumos eléctricos anuales y durante meses de verano, los cuales fueron medidos a través de sus historiales de consumo de su recibo eléctrico y del simulador de cargas térmica, con la finalidad de comprobar la certidumbre de la medición y la precisión del simulador.

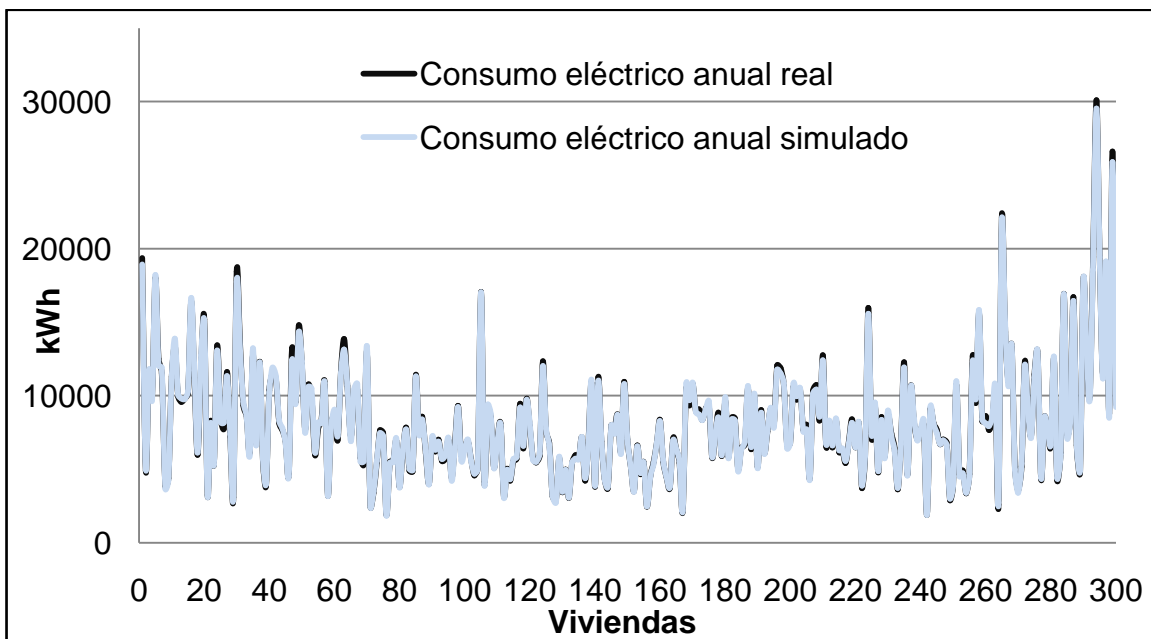


Figura 5.5. Consumos eléctricos anuales reales y simulados de las viviendas mexicalenses.

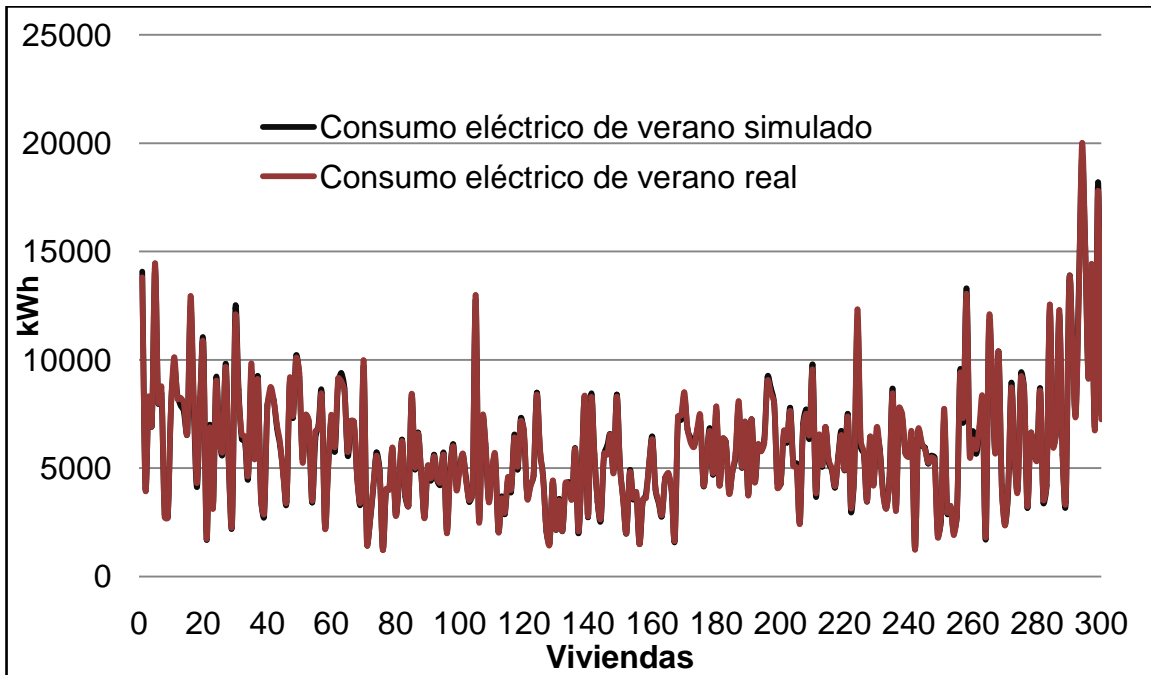


Figura 5.6. Consumos eléctricos para meses de verano reales y simulados de las viviendas mexicalenses.

Debido a que la muestra fue obtenida de manera aleatoria, las viviendas que la integraron poseían una gran variabilidad en su consumo eléctrico, así como en su nivel socio-económico, el cual fue obtenido a partir de su ingreso monetario mensual y con el uso de los criterios plasmados en el capítulo anterior. Para entender la distribución de la población en dicho término, se presenta a continuación una figura que detalla el porcentaje de la población que se encuentra en cada nivel.

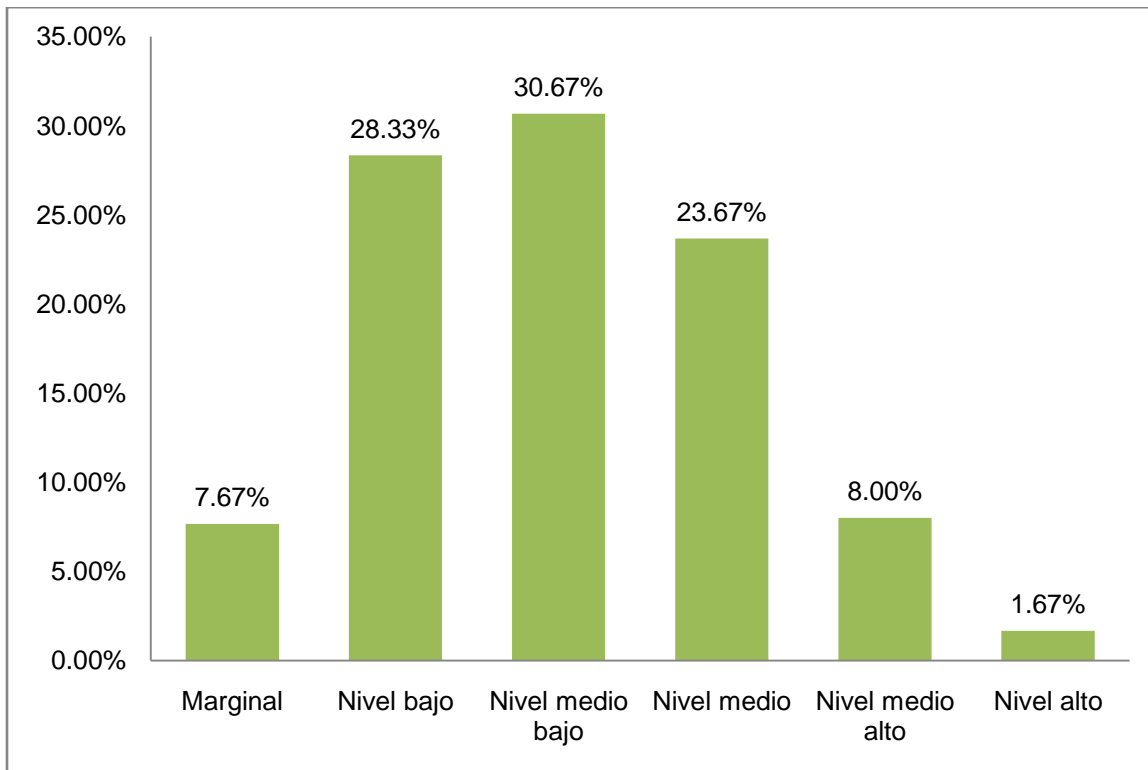


Figura 5.7. Grafica de frecuencia de los hogares según su nivel de ingreso económico.

De la figura 5.7 se puede precisar que dos tercios de las viviendas mexicalenses que fueron analizadas, poseen un ingreso económico catalogado como medio-bajo a marginal, por lo que interesa conocer el impacto que tiene para el sector doméstico mexicalense el pago por concepto de energía eléctrica en función de su nivel de ingreso. Dicha relación es expresada en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Nivel de ingreso económico y el pago eléctrico.

Nivel de ingreso económico	Marginal	Bajo	Medio bajo	Medio	Medio alto	Alto
Salarios mínimos percibidos por vivienda	1-1.5 salarios mínimos	1.6-3.74 salarios mínimos	3.75-6.37 salarios mínimos	6.38-19.24 salarios mínimos	19.24-46.71 salarios mínimos	más de 46.72
Porcentaje de la población según el ingreso percibido	7.67%	28.33%	30.67%	23.67%	8.00%	1.67%
porcentaje del ingreso destinado a la facturación eléctrica	18.82%-13.12%	15.56%-6.18%	10.79%-6.33%	7.03%-2.33%	3.74%-1.54%	2.61 o menos

5.2 Simulación térmica y eléctrica de la vivienda

En cuanto al simulador de cargas térmicas empleado a lo largo de esta investigación, fue evaluado para determinar su efectividad y comprobar que su diferencia promedio con los consumos reportados en el recibo eléctrico de cada vivienda no excediera el 5% indicado en el capítulo metodológico para el cálculo de la muestra. De las Figuras 5.8 y 5.9 se puede observar el porcentaje de diferencia que tuvo el simulador para cada una de las viviendas analizadas de la muestra con respecto a los historiales de consumo eléctrico de CFE. Cabe mencionar que a pesar de alimentar al simulador con la información más

precisa en términos de uso eléctrico, equipos, materiales constructivos, etc., hubo algunas viviendas en las que la diferencia en los resultados superó el rango fijado en el capítulo metodológico.

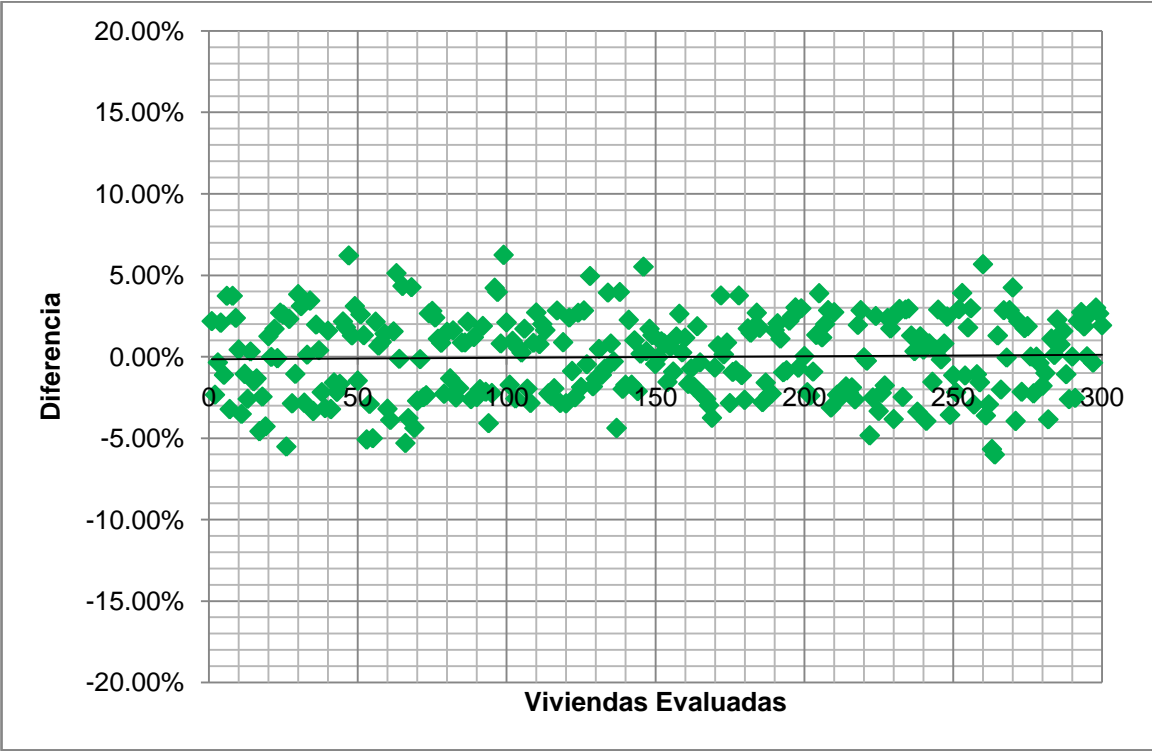


Figura 5.8. Diferencia entre los resultados del simulador y el historial de consumo eléctrico anual de las viviendas evaluadas.

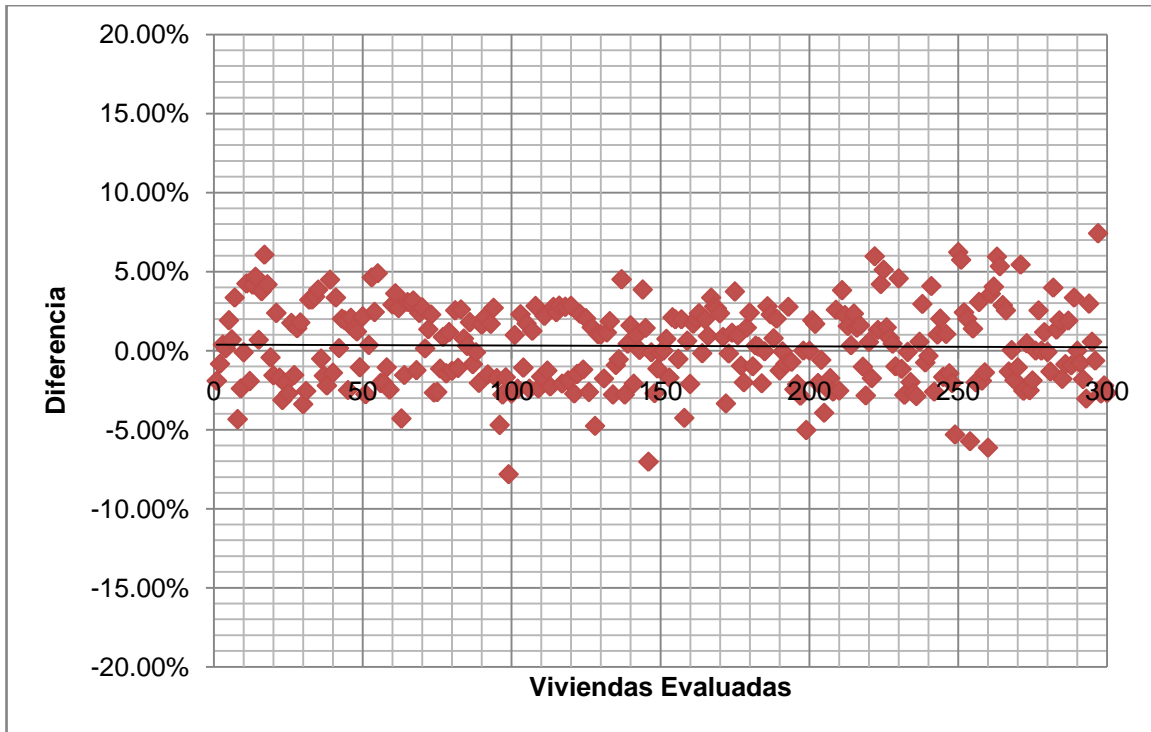


Figura 5.9. Diferencia entre los resultados del simulador y el historial de consumo eléctrico en meses de verano de las viviendas evaluadas.

De las figuras anteriores se obtuvo que la diferencia promedio en la simulación de los consumos eléctricos de las viviendas mexicalenses fue de -0.03% y 0.29% para períodos anuales y en meses de verano respectivamente. Por otra parte dichas diferencias tuvieron una desviación estándar de 2.48% y de 2.55%, comprobando así la eficacia que el programa de computo utilizado en esta investigación tiene para reproducir el comportamiento de consumo energético real y las ganancias térmicas de los hogares de Mexicali, B.C.

5.3 Ahorros del Programa ASI

Comprobada la eficacia del instrumento de medición, se determinaron los rendimientos que tiene cada uno de los subprogramas del Programa ASI y las dos interacciones propuestas en el capítulo metodológico, en términos del ahorro

energético y económico. Para su efecto se simularon las acciones de ahorro para cada una de las viviendas analizadas y se obtuvieron los ahorros promedio. (véase Figura 5.10 y 5.11).

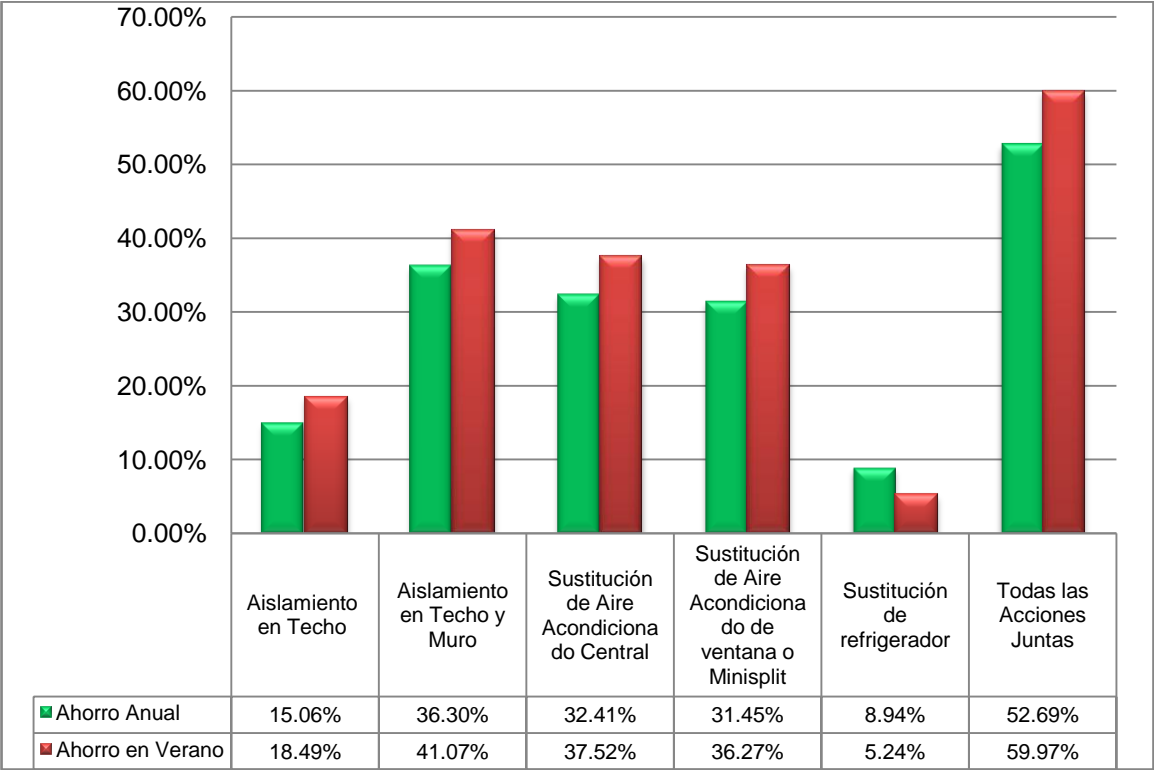


Figura 5.10. Ahorro eléctrico anual y en meses de verano de los subprogramas del Programa ASI.

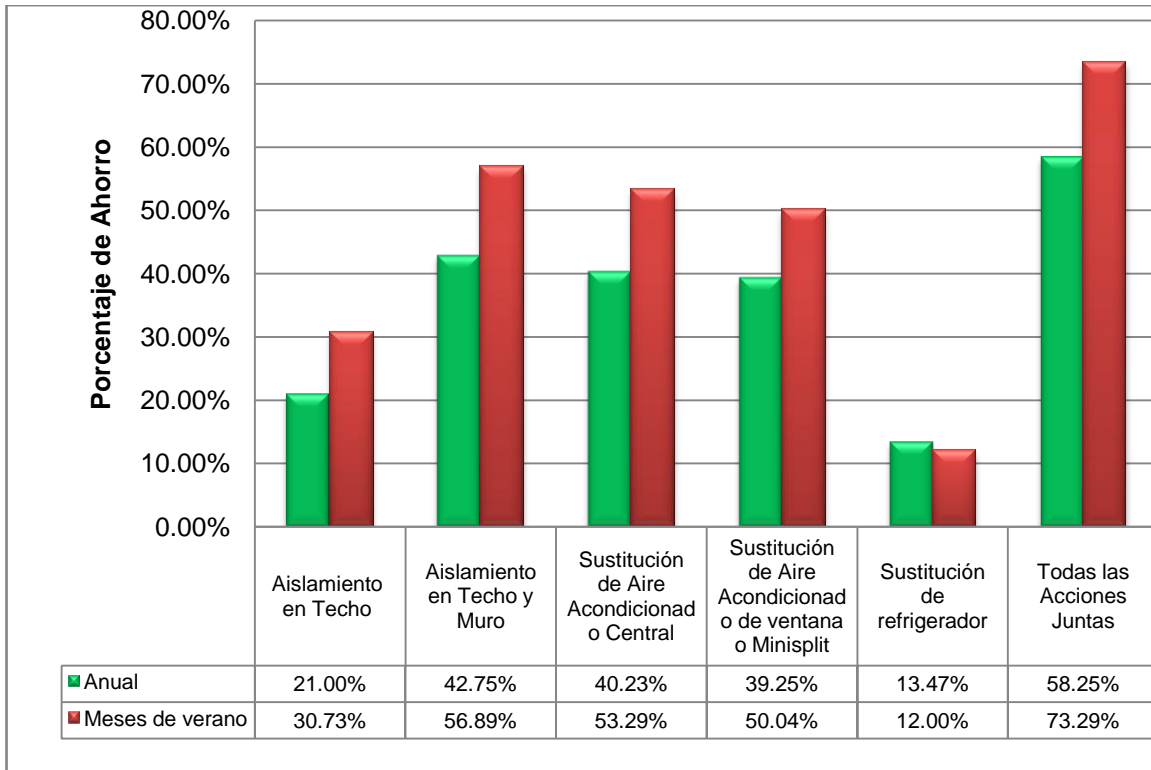


Figura 5.11. Ahorro económico anual y en meses de verano de los subprogramas del Programa ASI.

La Figura 5.10 dejó de manifiesto la respuesta a la pregunta de investigación, puesto que muestra de manera clara que el subprograma que individualmente logra mayor impacto en la reducción del consumo de energía eléctrica de las viviendas de Mexicali, B.C. es la sustitución de aire acondicionado central con 32% de ahorro anual y 37% de ahorro en los meses de verano. Por otro lado también se obtuvo que al aplicar todos los subprogramas de manera simultánea se logran ahorros eléctricos de 52% y 59% para períodos anuales y durante meses de verano respectivamente.

También de las figuras anteriores se pudo encontrar que para los hogares mexicalenses existe una relación directa entre el ahorro en el consumo eléctrico y el ahorro económico, siendo en el segundo donde se dan los ahorros más

significativos, debido a que las tarifas usadas por la compañía eléctrica aumentan los precios del kilowatt-hora según los rangos de consumo eléctrico (a menor consumo eléctrico menor es el precio).

5.4 Potencial del Programa ASI en Mexicali, B.C.

Una vez analizadas las características de las viviendas que formaron parte de la muestrase elaboró la Tabla 5.2 con la cual fue posible identificar la cantidad de ellas que son candidatas a acceder a alguno de los subprogramas del Programa ASI y a su vez mediante la Figura 5.12 encontrar el potencial de ahorro eléctrico anual que se tiene para las para todo el sector vivienda de la ciudad.

Tabla 5.2. Viviendas candidatas al programa ASI en la muestra

	Viviendas candidatas al Programa ASI				
	Aislamiento en techo	Aislamiento en techo y muro	Sustitución de A.C. central	Sustitución de A.C. ventana o mini-split	Sustitución de Refrigerador
Número de viviendas	113	87	42	32	108
Porcentaje de la muestra	38%	29%	14%	11%	36%
Ahorro energético anual(MWh)	142	240	184	117	79
Porcentaje de ahorro eléctrico de la muestra	5.79%	9.75%	7.48%	4.78%	3.22%

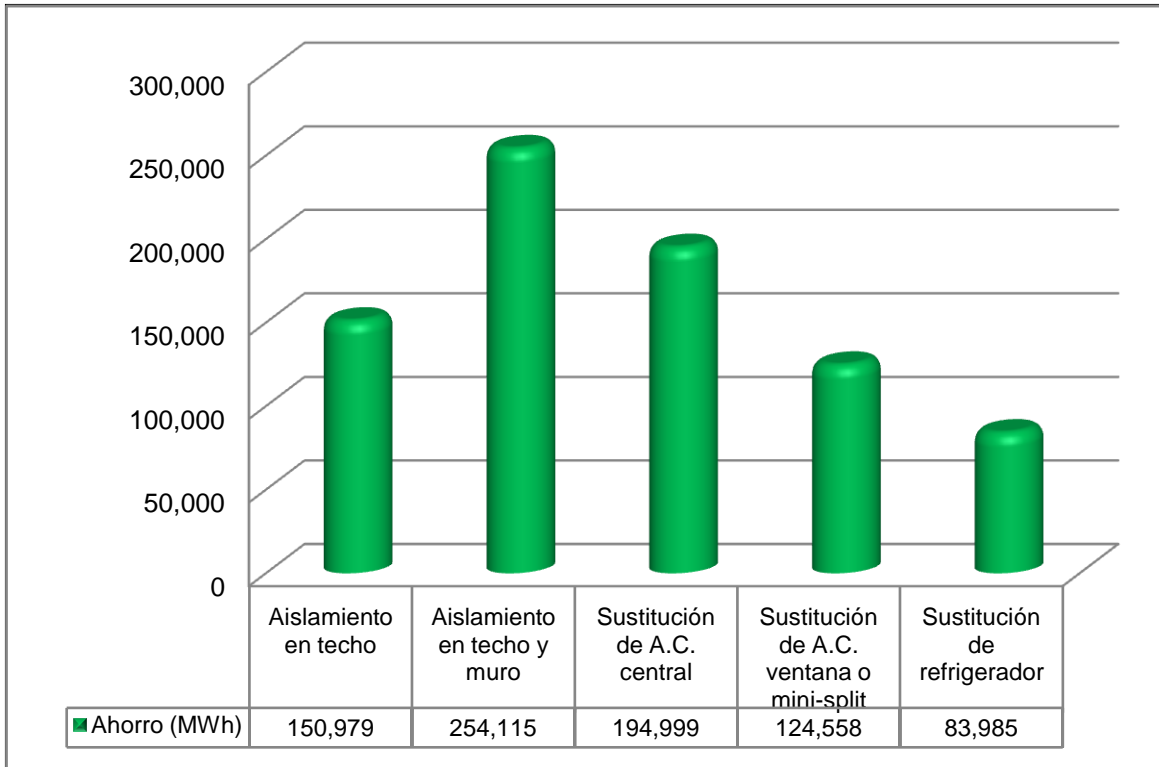


Figura 5.12. Potencial de ahorro eléctrico anual del Programa ASI para el sector residencial de Mexicali, B.C.

5.5 Factores que impactan al consumo eléctrico

Habiendo identificado el subprograma que logra ahorros energéticos más significativos, se volvió a hacer una revisión a los consumos eléctricos de la población mexicalense expuestos en las Figuras 5.5 y 5.6, en donde se pudo observar que existe una variabilidad en consumo muy notable de una vivienda a otra. Por lo anterior fue necesario proponer una serie de factores que se creen son los causantes de las diferencias en las magnitudes de consumo eléctrico de los hogares de la ciudad.

Tal y como se mencionó en el capítulo metodológico, los factores que se creyeron causantes de la variación del consumo eléctrico en la vivienda mexicalense fueron los niveles de la vivienda, ingreso económico mensual, área climatizada y número de habitantes. Cada factor propuesto fue evaluado a dos niveles, tal y como se mostró en la Tabla 4.2.

5.6 Experimentación

Se aplicaron dos experimentos usando el diseño ortogonal Taguchi L8 con tres réplicas como metodología para encontrar los factores que más impactan a la variabilidad del consumo eléctrico anual y en meses de verano. Para su efecto fueron seleccionados 24 elementos de la muestra que cumplían los requerimientos de este diseño, en donde la variable de respuesta fue el consumo eléctrico en kilowat-hora (véase Tabla 5.3 y 5.4).

Tabla 5.3. Arreglo ortogonal taguchi l8 anual.

No. de Prueba	Factores						Variable de respuesta		
	Pisos	Ingreso	Área climatizada	Personas	E	e	Replica 1	Replica 2	Replica 3
Prueba 1	1	1	1	1	1	1	7184	8279	7610
Prueba 2	1	1	1	2	2	2	8773	6159	7655
Prueba 3	1	2	2	1	2	2	13845	7959	5320
Prueba 4	1	2	2	2	1	1	12797	11677	11262
Prueba 5	2	1	2	1	1	2	9563	5953	5840
Prueba 6	2	1	2	2	2	1	13400	13210	11603
Prueba 7	2	2	1	1	2	1	18432	8330	8505

Prueba 8	2	2	1	2	1	2	9646	8458	8756
----------	---	---	---	---	---	---	------	------	------

Tabla 5.4 Arreglo ortogonal taguchi l8 verano.

No. de Prueba	Factores						Variable de respuesta		
	Pisos	Ingreso	Área climatizada	Personas	E	e	Replica 1	Replica 2	Replica 3
Prueba 1	1	1	1	1	1	1	4960	6878	5921
Prueba 2	1	1	1	2	2	2	7449	4698	6141
Prueba 3	1	2	2	1	2	2	9002	4931	3130
Prueba 4	1	2	2	2	1	1	9837	8299	7885
Prueba 5	2	1	2	1	1	2	8242	4701	4195
Prueba 6	2	1	2	2	2	1	8400	9107	9666
Prueba 7	2	2	1	1	2	1	11965	5994	6367
Prueba 8	2	2	1	2	1	2	7851	6202	7016

5.7 Análisis de Varianza

Con las tablas anteriores, se ordenaron los resultados de cada una de las pruebas realizadas en los experimentos y sirvieron posteriormente como base para hacer un correspondiente análisis de varianza que diera respuesta a la hipótesis que se planteó previamente. De los valores obtenidos en los arreglos ortogonales se elaboraron las tablas de análisis de varianza 5.5 y 5.6 que se muestran a continuación.

Tabla 5.5. Análisis de varianza del consumo eléctrico anual.

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F. experimental	F. crítica
Pisos	7233624	1	7233624	2.29	4.38
Ingreso	16265773.5	1	16265773.5	5.14	4.38
Área	8932840.167	1	8932840.17	2.82	4.38
Personas	11448490.67	1	11448490.67	3.62	4.38
Error	60086941.67	19	3162470.61		
Total	822465461.3	23			

Tabla 5.6. Análisis de varianza del consumo eléctrico en verano.

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F. experimental	F. crítica
Pisos	4659609	1	4659609	0.54	4.38
Ingreso	2747943	1	2747943	0.32	4.38
Área	88017230	1	88017230	10.14	4.38
Personas	8691677	1	8691677	1.00	4.38
Error	1.65E+08	19	8682739		
Total	4.1E+08	23			

5.8 Interpretación de los experimentos

Mediante el análisis de varianza de las tablas anteriores se niega la hipótesis que sugería que todos los factores causan la misma variabilidad al

consumo eléctrico anual y en meses de verano de las viviendas en Mexicali, B.C. Se dejó de manifiesto que el ingreso económico es un factor relevante para la variabilidad en el consumo eléctrico anual de los mexicalenses, mientras que el área climatizada lo es para los meses de verano puesto que en ambos casos la distribución de Fisher experimental superó a la crítica.

5.9 Análisis de viviendas críticas

Al considerar que 64 viviendas poseen interacción de los dos factores más relevantes en la variabilidad del consumo eléctrico a su nivel más alto, tenemos que representan el 21% de los hogares que formaron parte de la muestra y que sus consumos eléctricos anuales y en verano tienen valores promedio de 11680 kWh y 8468 kWh respectivamente.

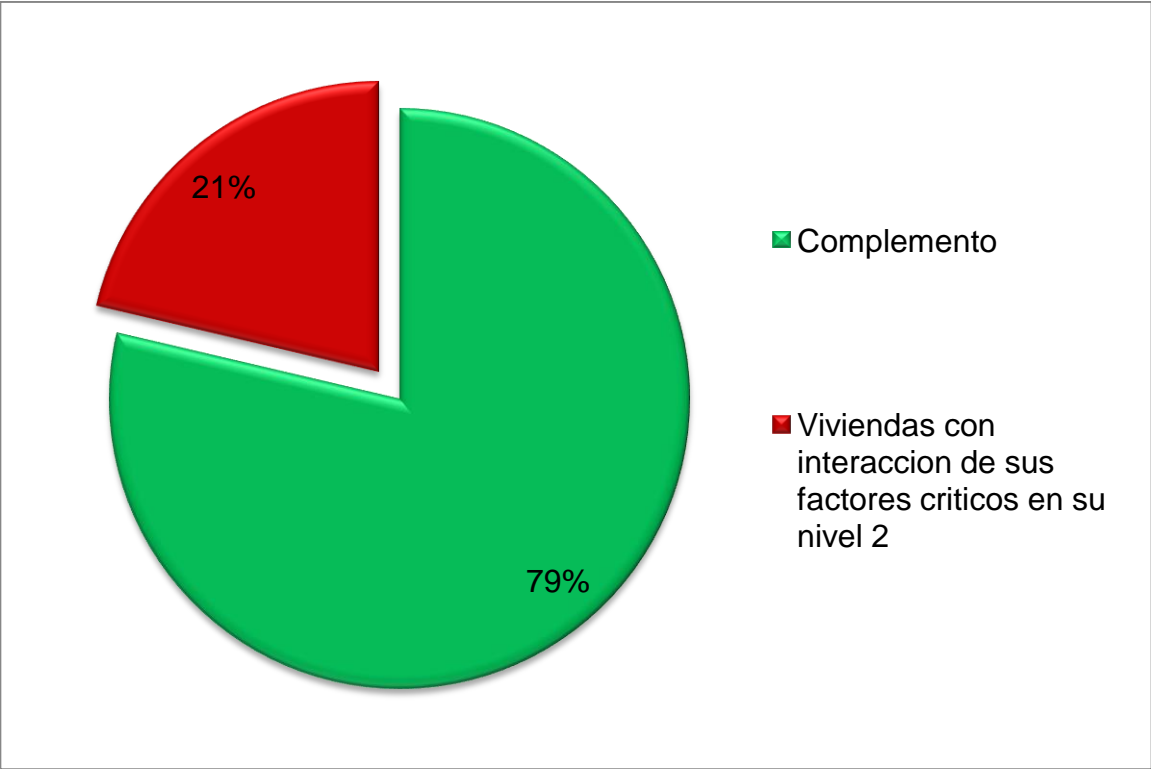


Figura 5.13. Porcentaje de viviendas con ingreso económico y área climatizada en su nivel 2.

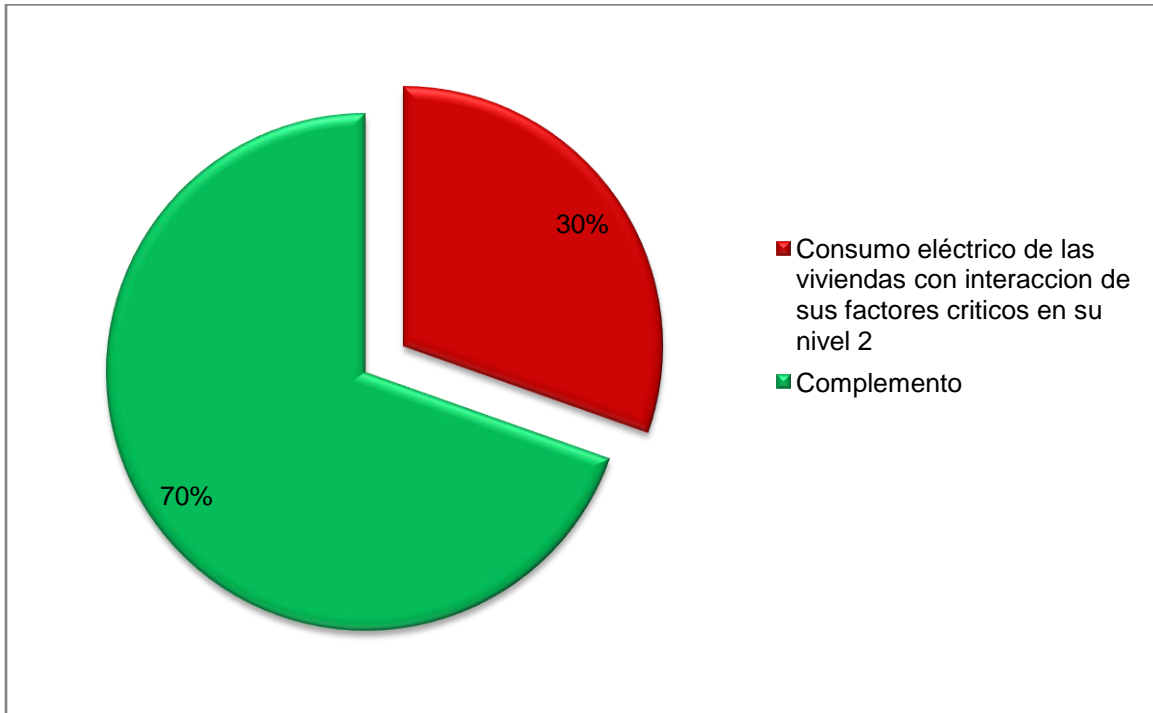


Figura 5.14. Consumo eléctrico de las viviendas con ingreso económico y área climatizada en su nivel 2.

En el párrafo anterior se expone que en las viviendas mexicalenses en las que su área climatizada supera los 80 m² y que su ingreso económico es mayor a \$11,600.00 pesos, el consumo eléctrico es 29% más elevado que el promedio de la muestra, confirmando así su impacto en la variabilidad del mismo. Por otro lado de las Figuras 5.13 y 5.14 se puede inferir que al aplicar algún subprograma del Programa ASI en las viviendas que presentan interacción de los dos factores críticos en su nivel más alto, se pueden lograr mayores ahorros de energía con un menor número de acciones.

De las 64 viviendas que tuvieron interacción de los factores críticos en su nivel más alto, se determinó que solo algunas cumplen con los requisitos

establecidos por el Programa ASI para acceder a él. En la tabla que se muestra a continuación se observa el porcentaje de dichas viviendas en las que es posible aplicar alguna acción de ahorro.

Tabla 5.7. Viviendas con factores críticos candidatas al programa ASI en la muestra.

	Viviendas con factores críticos candidatas al Programa ASI				
	Aislamiento en techo	Aislamiento en techo y muro	Sustitución de A.C. central	Sustitución de A.C. ventana o mini-split	Sustitución de Refrigerador
Número de viviendas	12	7	23	13	21
Porcentaje de la muestra	4%	2%	8%	4%	7%
Ahorro energético anual (MWh)	25	28	103	52	27
Porcentaje de ahorro eléctrico de la muestra	1.00%	1.15%	4.18%	2.12%	1.10%

En la Tabla 5.7 es posible observar que para las viviendas con las características antes mencionadas se puede aislar el techo del 4% de la muestra, debido a que en la mayoría se encontró que ya se contaba con él, mientras que en el 2% resultó que era factible la aplicación de aislamiento térmico en techo y muros. Por otro lado, se observó que el 7% de las viviendas estudiadas contaba con refrigerador que requería ser sustituido por uno más nuevo y eficiente. Para la sustitución de equipos de aire acondicionado de ventana o mini-split es posible aplicarse en el 4% de las viviendas, mientras que en el 8% es posible sustituir los equipos centrales debido a que actualmente cuentan con una baja eficiencia.

La sustitución de aire acondicionado central es la acción que más viviendas mexicalenses con factores críticos pueden aplicar. En la Figura 5.10 se demostró que individualmente ocasiona mayores ahorros energéticos. Al renovar los equipos centrales al 8% de las viviendas, que presentan factores críticos y además son candidatas a dicha sustitución de acuerdo con los requisitos establecidos por el Programa ASI, es posible disminuir en 4.2% del total de consumo eléctrico anual de todo el sector vivienda de la ciudad. A continuación se presenta el potencial ahorro de energía que podría tener cada uno de los subprogramas si atendiera a las viviendas con factores críticos en el sector residencial de Mexicali B. C. y que además son candidatas a acceder al programa.

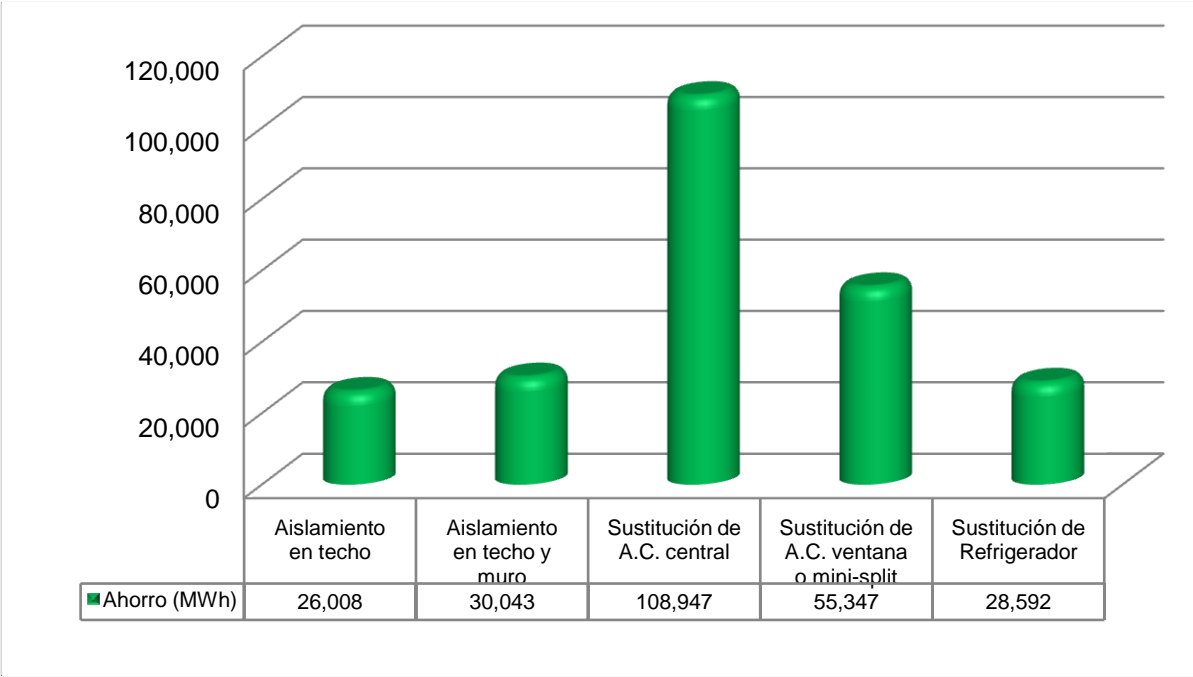


Figura 5.15. Potencial de ahorro eléctrico anual del Programa ASI para las viviendas mexicalenses con factores críticos.

Debido a los resultados expuestos en la Figura 5.15, se obtiene que al sustituir por medio del Programa ASI a los equipos de aire acondicionado central que poseen las viviendas con los factores de variabilidad del consumo eléctrico en su nivel más alto, tiene el potencial atender a 25,459 viviendas mexicalenses, reducir 108,947MWh del consumo eléctrico anual del sector y disminuir hasta 95 MW de sudemanda eléctrica.

Lo anterior se traduce en que el potencial de reducción de la demanda eléctrica que se puede lograr mediante aplicar el subprograma de sustitución de aire acondicionado del Programa ASI al 8% del sector residencial equivale al 3.6 % la capacidad de generación eléctrica de la red eléctrica de Baja California.

5.10 Otras acciones de ahorro

Los datos anteriores vislumbran la necesidad de analizar a otras acciones de ahorro y uso eficiente de la energía que no contempla el Programa ASI. Por esa razón, se estudia la cultura de ahorro de energía que poseen los usuarios del servicio eléctrico del sector residencial mexicalense. Para su efecto, se evalúa la cantidad de viviendas en las que se fija la temperatura del termostato de los equipos de aire acondicionado por abajo de 75°F, la cual es una temperatura de

termostato recomendada por instancias gubernamentales para periodos de verano.

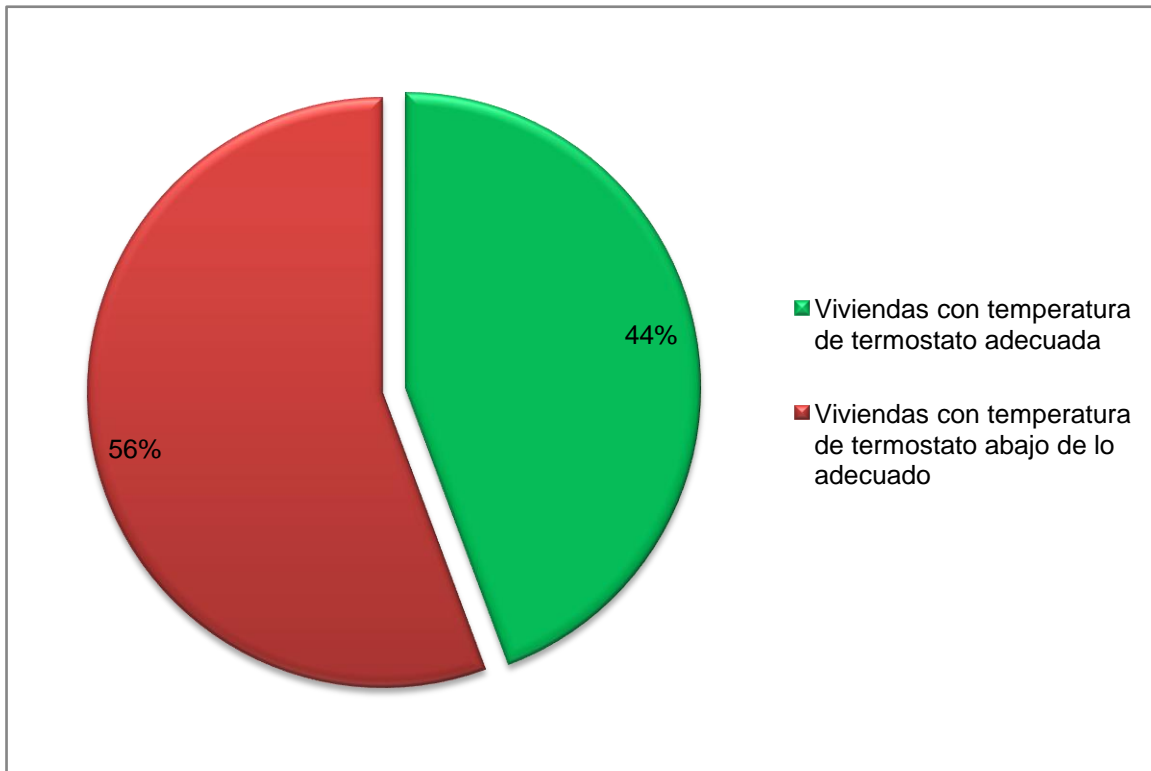


Figura 5.16. Viviendas con temperatura de termostato adecuada.

Debido a los datos que se muestran en la figura anterior, es posible decir que 56% de la muestra fija la temperatura de su equipo de aire acondicionado por debajo de lo adecuado. Por otro lado, el 44% de las viviendas que cuentan con los factores críticos fijan el termostato a una temperatura adecuada, por lo que se puede entender que la mayoría de esas viviendas poseen una cultura de ahorro de energía.

Tras haber elaborado un monitor de consumo eléctrico hecho para retroalimentar al usuario con información de su consumo de energía y su respectiva facturación eléctrica, se validó su funcionamiento mediante un arreglo experimental cuyo propósito era evaluar la variación de las mediciones por efecto

de la interacción de cargas inductivas y resistivas cuando se hallan conectadas al mismo circuito y operan simultáneamente. En la Tabla 5.8 se muestran los resultados de las mediciones obtenidas para las distintas condiciones del experimento.

Tabla 5.8 Resultados de las mediciones eléctricas.

Medidor	Consumo (kWh) por tipo de carga						Répica
	I	C	AC	CI	CAC	IAC	
EKM	0.6	1.1	1.1	1.8	3.0	2.3	1
	0.6	1.1	1.3	1.7	1.9	2.2	2
Kill a Watt	0.60	1.14	1.10	1.77	2.93	2.23	1
	0.59	1.09	1.30	1.68	1.94	2.21	2
MCE	0.60	1.10	1.10	1.77	2.95	2.25	1
	0.59	1.09	1.31	1.69	1.96	2.24	2
SMCE	0.6	1.2	1.1	1.7	3.0	2.2	1
	0.6	1.1	1.3	1.7	2.0	2.2	2

Tabla 5.9 Análisis de varianza de las mediciones eléctricas.

Factor	SS	g.l.	MS	F _{exp}	F.D. a $\alpha = 0.05$
Carga	144.63	3.00	48.21	2.46	2.85
Med	65.70	5.00	13.14	0.67	2.46
error	764.01	39.00	19.59		
total	974.34	47.00			

En la Tabla 5.9 se muestra el análisis de varianza de las mediciones eléctricas, considerando una distribución normal para el experimento con un nivel de confianza del 95%. Dado que en los factores de Instrumento de medición y Tipo de carga no superaron los valores críticos de la distribución de Fisher, se puede aseverar que el prototipo elaborado durante este trabajo tiene un desempeño estadísticamente equivalente a los tres equipos de medición comerciales con los cuales se le comparó.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras haber realizado un análisis general del desempeño del Programa de Ahorro Sistemático Integral, evaluar a cada uno de sus subprogramas, conocer el comportamiento energético del sector vivienda mexicalense, haber identificado los factores que más impactan al consumo eléctrico en distintos períodos del año y conocer otras acciones viables para el ahorro de energía en el hogar, se pudo concluir que:

1. Se rechaza la hipótesis general y se cumplen objetivos generales y específicos al encontrar que la sustitución de equipos de aire acondicionado central es el subprograma del Programa ASI que de manera individual ocasiona una reducción en el consumo eléctrico de las viviendas mexicalenses de 32% de ahorro eléctrico anual; siendo superior a los otros subprogramas vigentes. Desde un aspecto económico, los porcentajes de ahorro crecen hasta un 40%, debido a la estructura tarifaria vigente en Mexicali, B.C. Además el subprograma tiene el potencial de aplicarse al 8% de las viviendas que cuentan con los factores de variabilidad del consumo eléctrico, reduciendo así 4% del consumo eléctrico y hasta 108 MW de demanda. Dicho de otra forma, al aplicar el subprograma a una pequeña porción de la población es posible reducir en gran medida el consumo y la demanda eléctrica del sector residencial.

2. La variabilidad de los consumos eléctricos anuales del sector residencial de la ciudad de Mexicali, B.C. dependen directamente del ingreso económico, mientras que para los meses de verano dependen del área climatizada, por lo que las viviendas que cuenten con área climatizada mayor a 80 m² e ingresos económicos superiores a \$ 11,600.00 M.N. consumirán 43% más energía eléctrica que aquellas que no tienen dichas características, ya que poseen mayor cantidad de equipos y mantienen niveles de confort más elevados. Ésta aseveración comprueba la cuarta hipótesis específica planteada al inicio de este trabajo.
3. A pesar que la tarifa eléctrica que se aplica en la ciudad de Mexicali, B.C. fue diseñada para beneficiar a los usuarios que presentan menores consumos eléctricos, la realidad es que más del 65% de los usuarios con tarifa doméstica destinan más del 6% de su ingreso económico para el pago de este servicio.
4. Se acepta la tercera hipótesis específica planteada en este trabajo debido a que el 85% del sector residencial realiza alguna acción tendiente a disminuir el consumo de electricidad. De manera contrastante, el 56% de las viviendas utilizan de forma inadecuada sus equipos de climatización al no seguir las recomendaciones de los programas de ahorro y uso eficiente de la energía y fijar la temperatura de termostato por debajo de los 75°F. Por otro lado, también se encontró que el 39% de los usuarios aún no cuenta con una cultura de ahorro de energía ya que poseen mayor

capacidad de enfriamiento de lo que requieren, lo que ocasiona un aumento en su demanda eléctrica.

Para Futuras investigaciones se recomienda:

1. Redirigir los objetivos publicitarios de los programas gubernamentales orientados al ahorro de energía, debido a que dichos programas actualmente buscan un público general, sin tomar en cuenta los factores planteados en esta investigación. Al enfocarse en la porción de la población con mayor consumo eléctrico, el impacto de las acciones se incrementaría, mientras que el tiempo y dinero invertido disminuiría significativamente.
2. Implementar nuevos subprogramas acordes a las necesidades de la población mexicalense y al desarrollo tecnológico actual. Los subprogramas de ahorro de energía se deben de actualizar o renovar constantemente, ya que los datos históricos han demostrado que la frecuencia en la que se aplican las acciones de ahorro de un nuevo subprograma caen después de un lapso de 5 años de haber iniciado.
3. Una modificación en los rangos de consumo de los conceptos de la tarifa 1F para meses de invierno debido a que el consumo eléctrico promedio de los mexicalenses para esa temporada es de 367kWh/usuario, con lo que más del 30% del consumo se encuentra dentro del concepto de excedente en donde el precio por kWh es superior a los 2.6 pesos, afectando de una manera muy severa a la económica familiar, sobre todo

en el mes de mayo en el que ya es indispensable el uso de aparatos de acondicionamiento de aire.

4. Una investigación más extensa a dispositivos de monitoreo del consumo eléctrico, ya que el porcentaje de ahorro energético y económico fue comparable a los subprogramas vigentes del Programa ASI, mientras que la inversión económica por su adquisición es tan solo una fracción de los mismos. Además el propósito del monitor eléctrico es crear una conciencia para el ahorro y uso eficiente de energía, misma que está acorde a las intenciones del programa.

Referencias Bibliográfica

- Administration, U. E. (2010). *World Energy Demand and Economic Outlook*. Recuperado el 25 de Enero de 2011, de INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK : <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html>
- Aranda, A., Zabalza, I., Diaz, S., & Llera, E. (2010). *Eficiencia Energetica en Instalaciones y Equipamiento de Edificios*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Aulí, E. (2005). *Guia para Obtener una Vivienda Sostenible*. Barcelona: Ceac.
- Campbell R. H. Carlos Pérez T., G. M. (2006). Adaptación de Metodologías en Prospectivas del Sector Eléctrico a nivel regional. Caso: Baja California, México. *4to Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente*.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (25 de Noviembre de 2013). Consejos de Ahorro de Energía. México D.F.
- Díaz-Bautista, A. (2005). *Experiencias Internacionales en la desregularizacion electrica y el sector electrico en Mexico*. Tijuana: Plaza y Valdes.
- Dirección General de Compilación del Orden Jurídico Nacional. (1972). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano: Declaración de Estocolmo Sobre el Medio Ambiente Humano*. Recuperado el 5 de Enero de 2011, de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf>
- Europea, U. (Febrero de 2013). *Comprender las Politicas de la Union Europea*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2013, de Union Europea: http://europa.eu/pol/ener/flipbook/es/files/energy_es.pdf
- Freire, J. (11 de Junio de 2009). Eficiencia Energética y Consumo de Recursos en los Hogares: La Paradoja de Jevons." España: Universidad Autónoma de Barcelona. Santiago de Compostela.
- Grunwald, M. (2009). Wasting or watts . *Time*, 33-36.
- Herdman, R. C. (1993). *Energy Efficiency: Challenges and Opportunities for Electric Utilities*. Washington: Government Printing Office.
- Instituto de Ingeniería, U. (2009). *Reporte Técnico "Identificación y Definición del Impacto Social y Económico de la Problemática del Servicio Eléctrico y sus Alternativas de Solución*.
- John Krigger, C. D. (2008). *The Homeowner Handbook to energy efficiency*. Montana: Saturn Resource Management.
- Krigger, J. (2008). *Energy Efficiency* . Helena, Montana: Saturn Resource Management.

- Lindstrom, M. (2011). *Encyclopedia of the U.S. Government and the Environment*. Santa Barbara, California: ABC-CLIO, LLC.
- Menendez Perez, E. (2001). *Energias renovables, sustentabilidad y creacion de empleo*. CATARATA.
- NOM-020-ENER-2011, N. O. (2011). *Eficiencia Energetica en Edificaciones.-Envolvente de Edificios para uso Habitacional*. Mexico, D.F.: Diario Oficial .
- Programa ASI. (2011). *Avance Histórico de la Coordinación Mexicali*. Mexicali, B.C.
- SEMARNAT, S. d. (2009). Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México D.F., México.
- Universidad Autónoma de Baja California. (1996). *Evaluación de Equipos de Aire Acondicionado, Motores y Refrigeradores para el Sector Doméstico de Mexicali, B.C*. Mexicali B.C.
- Wiener, M. S. (2006). *Estudios del Desierto*. Mexicali, Baja California, México: Departamento Editorial de la Universidad Autónoma de Baja California .

CRONOGRAMA

Actividad	2010					2011						
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Introducción.												
Planteamiento del problema.												
Hipótesis de la investigación.												
Definición del objetivo de la investigación.												
Redacción de la importancia del estudio.												
Definición de las limitaciones del estudio.												
Recopilación del marco teórico.												

Actividad	2011					2012						
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Recopilación del marco teórico.												
Definición de los sujetos de estudio.												
Delimitación de los materiales a utilizar.												
Definición de procedimiento.												
Recopilación de información sobre los consumos eléctricos de la vivienda mexicalense.												

Actividad	2012					2013						
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Respuesta a la pregunta de investigación.												
Análisis de las características constructivas y de consumo eléctrico del sector vivienda mexicalense.												

Actividad	2013					2014							
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Análisis de las características constructivas y de consumo eléctrico del sector vivienda mexicalense.													
Clasificación del sobre dimensionamiento del aire acondicionado en la vivienda													
Búsqueda de nuevas tecnologías para el ahorro de energía en el sector residencial													
Evaluación del monitor eléctrico como recomendación para el ahorro y uso eficiente de la energía													
Elaboración del documento de Tesis													
Presentación de examen de defensa de grado													

GLOSARIO

Aislamiento Térmico. Se componen de materiales de baja conductividad térmica combinados para lograr un sistema de conductividad térmica aún más baja. En aislantes tipo fibra, polvo y escamas, el material solido se dispersa finalmente en el espacio de aire. Se caracterizan por una conductancia térmica efectiva, que depende de la conductancia térmica y de las propiedades radiativas de la superficie del material sólido, así como la naturaleza y fracción volumétrica del aire o espacio vacío (Frank P. Incropera, 1999).

Ahorro de Energía. Se conoce como ahorro de energía a la práctica que la persona o ente realiza para disminuir el uso de energía eléctrica, la cual sufre un aumento del capital ambiental, financiero y el confort humano.

Consumo de Energía en la vivienda. Es la cantidad de energía que se gasta en los diferentes aparatos utilizados en la vivienda. La cantidad de energía utilizada por hogar varía mucho según el nivel de vida del país, el clima, la edad, el tipo de residencia, etc.

Eficiencia Energética. Se entiende como la obtención de un resultado (un determinado proceso, la obtención de un producto, la realización de un servicio, etc.) minimizando el consumo de energía. Asimismo la eficiencia energética hace referencia a todas las acciones que tienden a reducir el consumo de energía.

Hábitos de Consumo Eléctrico. Es la forma en la que se consume la electricidad producto de la repetición y no necesariamente para cubrir algún requerimiento de confort humano.

Uso Eficiente de Energía. Usar aparatos eficientes en relación con el uso de energía y poner en práctica medidas para la conservación de esta ayudan a ahorrar dinero y a proteger el ambiente al reducir la cantidad de contaminantes emitidos a la atmosfera por el uso de combustible tanto en casa como en las centrales eléctricas.

ANEXO

Tabla A.1 Desarrollo de reactivos.

Variable	Definición operacional	Indicadores	Dimensiones	Ítems
Área climatizada de la vivienda.	Caracteriza a las dimensiones de la vivienda.	Superficie de vivienda que cuenta con climatización	Cantidad de metros cuadrados construidos	¿Cuántos metros cuadrados de construcción tiene su vivienda? _____m ² . ¿De cuántos pisos es su vivienda? _____Pisos.
Superficie con mayor incidencia solar en la vivienda.	Identifica las áreas que en las que las viviendas presentan mayor incidencia solar.	Superficie con mayor exposición a los rayos del sol.	Metros	¿Cuáles son las dimensiones de la fachada de su casa? Altura _____m. Ancho _____m. ¿Cuánto mide de fondo su casa en metros lineales? Fondo _____m.
Dirección de la fachada.	Fija la orientación de la fachada.	Ganancias de Calor por incidencia solar en la fachada	Orientación.	¿Su fachada a que dirección está orientada? Norte []. Sur []. Este []. Oeste [].
Sombreado de fachada.	Confirma la incidencia solar en la fachada	Ganancias de Calor por incidencia solar en la fachada	No aplica	¿La fachada está sombreada durante el verano? Sí [] No []
Sombrado de muros que no son fachada	Confirma la incidencia solar en muros.	Ganancias de Calor por incidencia solar en muros	Orientación de los muros no sombreados.	Indique los muros que no están sombreados. Muro Norte [] Muro este []Muro oeste [] Sur []
Material de muros.	Menciona la tipología de muros en la vivienda.	Material o materiales de construcción de la vivienda mexicana.	Nombre del material.	¿De qué material están hechos los muros de su vivienda?_____.
Espesor de	Menciona la	Dimensiones	Pulgadas.	¿De cuántas

muros.	tipología de muro en la vivienda.	características de los muros en viviendas mexicalenses.		pulgadas es el espesor de los muros? 4[] 6[] 8[]
Aislamiento en muros.	Menciona al envolvente de la vivienda	Material de aislamiento usado en la vivienda mexicalense	Nombre del aislamiento.	¿De qué material es el aislamiento de los muros?___.
Aislamiento en muros.	Menciona la orientación de los muros aislados.	Presencia de aislamiento en los muros.	Orientación.	Indique los muros que estén aislados. Norte [] Sur [] Este [] Oeste []
Aislamiento en Muros.	Menciona la tipología del aislamiento en la vivienda mexicalense.	Dimensiones características del espesor en los muros de las viviendas mexicalenses.	Pulgadas.	¿De cuántas pulgadas de espesor es el aislamiento de sus muros? 1[] 2[] 3[]
Infiltración en la vivienda por ventanas	Informa sobre la magnitud del área de ventanas.	Superficie de ventanas en la vivienda.	Metros cuadrados.	Indique el área aproximada en m ² de ventanas en cada orientación. Norte [] Sur [] Este [] Oeste[]
Infiltración en la vivienda por puertas.	Informa sobre la magnitud del área de puertas.	Superficie de las puertas en la vivienda.	Metros cuadrados.	Indique el área aproximada en m ² de puertas en cada orientación. Norte [] Sur [] Este [] Oeste []
Material de techo	Menciona la tipología del techo en la vivienda mexicalense.	Características constructivas de los techos en Mexicali.	Nombre del material de techo.	¿De qué material es el techo de su vivienda? Vigueta y bovedilla [] Concreto [] Madera sin ático o plafón [] Madera con ático o plafón []

Uso de pintura reflejante.	Aplicación de pintura reflejante en la vivienda.	Frecuencia de utilización de pintura reflejante.	No aplica	¿Utiliza pintura reflejante en su vivienda? En techo [] En muros [] No uso []
Aislamiento en techo.	Aplicación de Aislamiento en techo de la vivienda mexicalense.	Casas con Aislamiento en techo.	No aplica.	¿Está aislado el techo de su hogar? Si [] No []
Aislamiento en techo.	Tipología de Aislamiento en techo.	Frecuencia de aplicación por tipo de aislante.	Cantidad de aislantes aplicados según su tipo.	¿Qué tipo de aislante? _____.
Aplicación de medidas para el ahorro y uso eficiente de la energía.	Identificación de las viviendas que cuentan con alguna medida para el ahorro y uso eficiente de energía.	Programas gubernamentales u otras medidas aplicadas.	Cantidad de acciones o medidas aplicadas.	¿Ha aplicado alguna medida para el ahorro de energía en su hogar? Si [] ¿Cuál? _____ No []
Cobertura del programa ASI.	Identificación de las viviendas que aplican el programa ASI.	Cantidad de viviendas dentro del programa ASI.	Subprogramas aplicados.	¿Cuál de los subprogramas del programa ASI utiliza en su vivienda? Aislamiento Térmico [] Sustitución de A/C Central [] Sustitución de A/C de ventana [] Sustitución de Refrigerador [] Ninguno []
Ingreso Económico	Ingreso Económico de la vivienda percibido mensualmente	Define el nivel socioeconómico de la vivienda.	Salarios mínimos diarios percibidos durante todo el mes.	Seleccione el ingreso mensual de su vivienda. \$0 a \$2,699.00. \$2,700.00 a \$6,799.00. \$6,800.00 a \$11,599.00. \$11,600.00 a 34,999.00. \$35,000.00 a \$84,999.00. \$85,000 o Más.
Conciencia Energética	Apertura a nuevas tecnologías para el ahorro energético.	Proporción de la población dispuesta a la implementación del monitoreo	Porcentaje de la muestra.	¿Estaría dispuesto a comprar un dispositivo que le brinde su

		energético.		facturación en tiempo real? Si []. No []. ¿Cuánto cree usted que vale este aparato? _____.
Confort Térmico.	Temperatura de Termostato	Temperatura a la que se fija el Aire Acondicionado	Grados Celsius.	¿Usualmente, a que temperatura fija el termostato de sus A/C? _____.

Para brindar a las personas encuestadas la confianza de proporcionar la información de su vivienda, se le notificó que sus datos serían confidenciales y que se le darían uso única y exclusivamente para la elaboración de la presente tesis. Lo anterior se puede apreciar la figura que sigue.

Este cuestionario tiene el objetivo de recabar información acerca de algunas características presentes en el sector doméstico de la ciudad de Mexicali, Baja California, con la finalidad de conocer el ahorro eléctrico que ofrecen cada tipo de acción de los programas gubernamentales vigentes. Los datos obtenidos serán confidenciales y utilizados para una tesis de doctorado.

Ing. José Alejandro Suástegui Macías.

Nombre_____.

Correo Electrónico_____.

Fraccionamiento o
Colonia .

Figura 6.1. Instrucciones del cuestionario