

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



“Análisis del impacto en el costo eléctrico al implementar estrategias de ahorro y eficiencia energética en industrias del sector de fabricación en Mexicali, B.C.”

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN INGENIERÍA

Presentado por:

Ing. Alejandra Anguiano Sánchez

Director de tesis:

Dr. José Alejandro Suástegui Macías

Mexicali, Baja California, agosto de 2019

— (") —

A mis padres:

Héctor y María

A mi esposo:

Cesar

Agradecimientos

La presente investigación se realizó mediante la supervisión del Dr. J. Alejandro Suástegui Macías, a quien le agradezco y admiro por la orientación académica y emocional, así como también sus consejos, apoyo, paciencia, y la dedicación que me ha manifestado desde la titulación de licenciatura hasta la realización de la presente tesis.

A mis padres, quienes me han apoyado toda mi vida con el gran cariño, amor, valores, oportunidades, consejos, valores, enseñanzas y en especial por darme la oportunidad de vivir y brindarme las herramientas para salir adelante.

A mi esposo por darme la fortaleza, comprensión y orientación en mis objetivos principales, así como también, tenerme confianza y enseñarme a jamás rendirme.

Le extiendo un agradecimiento al futuro ingeniero Ramón Eduardo Sicaeros Zazueta, por la colaboración, apoyo y dedicación para perfeccionar el simulador de sistemas fotovoltaicos en usuarios con tarifa GDMTH y HM.

A los estudiantes de licenciatura en energías renovables que se encontraban realizando su servicio social, así como, ayudantías, y proyectos de vinculación, por la colaboración y apoyo de herramientas de cómputo para la realización del presente trabajo. En especial a la Ing. Ana Karime Sotomayor, quien no solo colaboro en el simulador de análisis de convección libre, sino que, asistió en el filtrado de datos recolectados de una empresa.

A todas las industrias analizadas en el presente documento, por darme acceso a su información energética y los procesos productivos, así como, la oportunidad de realizar levantamientos de información de manera presencial.

A los profesores que laboran tanto en la carrera de Ingeniero en Energías Renovables como en el instituto de ingeniería de la UABC, quienes me brindaron

conocimiento y aprendizaje durante el periodo que estuve estudiando la maestría hasta la culminación de la misma.

Resumen

A nivel mundial se conoce a la energía eléctrica como una necesidad básica (insumo) para el desarrollo del ser humano, no obstante, la mala utilización de ella ha sido y seguirá siendo un factor de interés en nuestra sociedad tanto en lo económico como lo ambiental. En México se considera con mayor consumo final de energía eléctrica al sector industrial generando altos costos de operación. A su vez las industrias del giro de fabricación presentan requerimientos energéticos superiores al promedio de los usuarios en media tensión. Por ello se considera de gran relevancia realizar un análisis de estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica para aquellos usuarios eléctricos que se encuentren en tarifa de gran demanda en media tensión horaria (GDMTH), pertenecientes al sector industrial manufacturero del giro de fabricación, hacia el área de moldeo de plásticos, en Mexicali, B.C. Dirigido a 4 industrias mayores de 250 empleados, a fin de impactar en la reducción del consumo y la demanda eléctrica para concebir mayores ahorros en el costo eléctrico.

Para llevar a cabo el análisis, se realiza un diagnóstico energético de primer nivel, el cual se lleva a cabo a partir del levantamiento y procesamiento de información de los consumos y costos de energía eléctrica, así como también el proceso productivo de la industria, seguido de la identificación de indicadores energéticos. A fin de evaluar el comportamiento energético, se genera una simulación térmica y eléctrica para representar el estado actual de los usuarios evaluados, identificando los desperdicios de energía e ineficiencias. Posteriormente, se proponen estrategias de mejora, de las cuales 5 son compatibles entre los usuarios analizados, tales como, la utilización de generadores fotovoltaicos conectados a la red en conjunto con un control manual de cargas eléctricas (referente al encendido mensual de equipos de aire acondicionado), utilización de generadores fotovoltaicos conectados a la red, control de la capacidad requerida de aire acondicionado, reducción de infiltraciones en edificaciones, por último, la sustitución de luminarias fluorescentes a LED. En base a las estrategias de mejora mencionadas anteriormente se simulan, para ser evaluadas técnica y

económicamente mediante el concepto de ahorro en el costo eléctrico de cada usuario, a su vez, se distingue mediante un análisis estadístico basado en la metodología Taguchi, las estrategias de aplicación general.

Tras haber efectuado, lo anterior, se demuestra lo siguiente:

1. Las estrategias de aplicación general que incorporaron el uso de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica que suministran el 5% del consumo final del usuario, y la sustitución de luminarias fluorescentes a LED, presentan impactos significativos en el ahorro del costo eléctrico, generando un ahorro promedio general de 5.27% para el uso de sistemas fotovoltaicos y 2.7% en el uso de luminarias LED. Ambos porcentajes son calculados bajo el esquema tarifario GDMTH.
2. El incorporar las estrategias de control de la CRAA con los SFVs que abastecen el 5% del consumo final del usuario interconectado a la red eléctrica, incrementa en promedio general el ahorro de la facturación eléctrica 6.1% y disminuye el tiempo de retorno de inversión.
3. El esquema tarifario GDMTH disminuye en promedio 2.22 % el cobro eléctrico con respecto a la tarifa HM.
4. La tarifa GDMTH en comparación con la tarifa HM, aplica un costo eléctrico uniforme durante el año, al incrementar en \$0.26 pesos los precios medios del kWh en invierno y disminuir en \$0.24 pesos los precios en verano.
5. Las industrias que incorporen en su red eléctrica sistemas fotovoltaicos que suministren el 10% del consumo final en conjunto con la operación de la capacidad requerida mensual del aire acondicionado, tendrán un ahorro económico en el costo eléctrico de 11.28% en promedio general.

Acrónimos y siglas

HM: Horaria de Media tensión

BC: Baja California

IEA: Agencia Internacional de Energía

MWh: Mega Watts Hora

CFE: Comisión Federal de Electricidad

OM: Ordinario de Media tensión

Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100 kW

HM: Horaria de Media tensión

Tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más

HMC: Horaria de Media tensión de corta utilización

Tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kw o más, para corta utilización.

kWh: Kilo Watt Hora

kW: Kilo Watt

GDMTH: Gran demanda en Media Tensión Horaria

FP: Factor de Potencia

MEDEC: México, Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono

PRONUREE: Programa Nacional de Uso Racional de la Energía Eléctrica

PAESE: Programa de Ahorro del Sector Eléctrico

CONAE: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

CONUEE: Comisión Nacional por el Uso Eficiente de Energía

FIDE: Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

FIPATERM: Fideicomiso para el Aislamiento Térmico

ASI: Programa de Ahorro Sistemático Integral

NOM: Normas Oficiales Mexicanas

LOAPF: Ley Orgánica de la Administración Pública Federal

PRONASE: Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía

PROIAT: Programa de Apoyo para la Mejora Tecnológica de la Industria de Alta Tecnología

GEI: Gases de Efecto Invernadero

SFV(s): Sistema Fotovoltaico(s)

FV: Fotovoltaico

A.A.: Aire Acondicionado

m: metro

W: watts

TON: Toneladas

LED: light-emitting diode, (diodo emisor de luz)

CRAA: Capacidad Requerida de Aire Acondicionado

RI: Reducción de Infiltración.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	IV
Resumen.....	VI
Acrónimos y siglas.....	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	15
1.2. Justificación y uso de resultados.....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.4. Hipótesis	20
CAPÍTULO 2	21
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Diferencia entre el ahorro y el uso eficiente de la energía	22
2.2. Potenciales de ahorro en el sector industrial.....	23
2.3. Programas de promoción de eficiencia energética en la industria	27
2.4. Instrumentos para la eficiencia energética en la industria.....	30
2.5. Eficiencia energética en el mundo	34
CAPÍTULO 3	36
3. METODOLOGÍA.....	36
3.1. Delimitación del tamaño de muestra y selección de los sujetos a estudio	36
3.2. Proceso de implementación de auditorías energéticas.....	37
3.3. Programas y herramientas utilizados.....	38
3.3.1. Simulador de análisis de convección libre.....	38
3.3.2. Termografía.....	40
3.3.3. Simulador termo energético	40
3.3.4. System Advisor Model (SAM).....	51
3.3.4.1. Procedimiento para el uso del software SAM.....	53
3.3.5 Simulador de sistemas fotovoltaicos en usuarios con tarifa GDMTH y HM	62
3.4. Procesamiento de datos.....	67
CAPÍTULO 4	72
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	72

4.1. Características de los usuarios.....	72
CAPÍTULO 5.....	110
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	110
5.1. Recomendaciones.....	113
BIBLIOGRAFÍA.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

1.1.	Consumo eléctrico MWh per cápita a nivel nacional y mundial.....	2
1.2.	Consumo eléctrico per cápita por entidad federativa de México.....	2
1.3.	Consumo eléctrico por usuario en el sector tarifario de México, 2016.....	3
1.4.	Porcentajes de consumo per cápita por sector (MWh/ Usuario).....	3
1.5.	Porcentaje de usuarios de energía eléctrica por entidad federativa 2016	4
1.6.	Porcentaje de ventas internas de energía eléctrica por entidad federativa 2016	4
1.7.	Porcentaje de usuarios por sector.....	5
1.8.	Porcentaje de ventas por sector.....	5
1.9.	Análisis del comportamiento de la facturación de la demanda máxima y el consumo durante 1 hora.....	9
1.10.	Cargas resistiva, inductiva y capacitiva con respecto al factor de potencia.....	11
1.11.	Triangulo de potencias	12

CAPÍTULO 3

4.1.	Simulador térmico-energético, entrada de datos, datos del sistema.....	42
4.2.	Simulador térmico-energético, entrada de datos, información del envolvente	43
4.3.	Simulador térmico-energético, entrada de datos, información de techo, construcción, lugar y clima.....	43
4.4.	Simulador térmico-energético, entrada de datos, información del consumo actual (kWh).....	44
4.5.	Simulador térmico-energético, techo, características de techo	44
4.6.	Simulador térmico-energético, techo, resistencia térmica del techo	45
4.7.	Simulador térmico-energético, muro.....	46
4.8.	Simulador térmico-energético, síntesis de resistencias de los muros	46
4.9.	Simulador térmico-energético, ocupación de iluminación	47
4.10.	Simulador térmico-energético, equipos.....	47
4.11.	Simulador térmico-energético, equipo, descripción de potencia del equipo.	48
4.12.	Simulador térmico-energético, SCR4w, corrida de simulación	48

4.13. Simulador térmico-energético, resultados	49
4.14. Simulador térmico-energético, resultados, consumo real vs calculado (kWh).....	50
4.15. Simulador térmico-energético, resultados, facturación del consumo mensual (kWh).....	50
4.16. Simulador térmico-energético, resultados, capacidad requerida mensual de A/A (ton)	51
4.17. Inicio de proyecto. SAM.....	54
4.18. Elección del modelo de rendimiento y financiamiento. SAM.....	54
4.19. Localización y recursos, parte 1. SAM.....	55
4.20. Localización y recursos, parte 2. SAM	56
4.21. Modelo de funcionamiento CEC con la base de datos del módulo. SAM	57
4.22. Características del módulo seleccionado. SAM.....	57
4.23. Base de datos CEC del inversor. SAM.....	58
4.24. Características del modelo del inversor seleccionado en la base de datos del software. SAM.....	59
4.25. Especificar el número de inversores y módulos del sistema a diseñar. SAM	60
4.26. Orientación y seguimiento de los módulos fotovoltaicos. SAM.....	60
4.27. Resultados de generación de energía eléctrica mediante la utilización de módulos fotovoltaicos. SAM.....	61
4.28. Ingreso de datos de CFEctiva al simulador. Fuente: Esquema tarifario HM, GDMTH	64
4.29. Ingreso del recibo de CFE al simulador. Fuente: Esquema tarifario HM, GDMTH	64
4.30. Resultados. Esquema tarifario HM, GDMTH.....	66
4.31. Resultados de las demandas horarias... ..	67

CAPÍTULO 4

4.1.	Fotografía aérea	72
4.2.	Plano del área evaluada de producción y ensamble	73
4.3.	Características de estructura del usuario 1.....	74
4.4.	Participación porcentual de energía eléctrica de CFE, usuario #1, 2018	79
4.5.	Exportación y facturación eléctrica mensual del estado actual, usuario #1, 2018	80
4.6.	Comportamiento histórico del consumo eléctrico de la muestra, durante el año 2018	82
4.7.	Termografía del área evaluada. Usuario 1.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

1.1.	Usuarios y ventas de energía eléctrica por sector en México durante el año 2016	5
1.2.	Usuarios y ventas de energía eléctrica por sector industrial de media tensión en México en el año 2016.....	6
1.3.	Horarios de verano para la región de Baja California.....	7
1.4.	Horarios fuera de verano para la región de Baja California.....	7
1.5.	Factores de reducción para la región de Baja California	10

CAPÍTULO 2

2.1	Distribución de usos finales de energía eléctrica en medianas industrias según su ubicación en México.....	24
2.2	Potencial de ahorro de energía eléctrica en las medianas empresas.....	25
2.3	Estimación del potencial de ahorro de energía eléctrica en el sector de mediana empresa de la región Noroeste.....	26

CAPÍTULO 3

3.1.	Descripción de factores	68
3.2.	Matriz de interacciones para un arreglo L_8	69
3.3.	Descripción del arreglo ortogonal L_8	70
3.4.	Análisis de varianza.....	71

CAPÍTULO 4

4.1.	Características físicas de la envolvente	73
4.2.	Características de los accesos... ..	73
4.3.	Características de los usuarios evaluados... ..	75
4.4.	Precios de distintas capacidades FVs.....	85
4.5.	Capacidad requerida mensual de aire acondicionado en el área de ensamble y producción del usuario 1.....	87
4.6.	Análisis de resultados del usuario 1	88
4.7.	Análisis energético de resultados del usuario 2	93
4.8.	Análisis energético de resultados del usuario 3	96
4.9.	Análisis energético de resultados del usuario 4	99
4.10.	Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L ₈ . Usuario #1	103
4.11.	Análisis de varianza del usuario #1.....	103
4.12.	Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L ₈ . Usuario #2	104
4.13.	Análisis de varianza del usuario #2.....	104
4.14.	Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L ₈ . Usuario #3.....	105
4.15.	Análisis de varianza del usuario #3	106
4.16.	Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L ₈ . Usuario #4	107
4.17.	Análisis de varianza del usuario #4.....	107
4.18.	Factores con mayor impacto en el ahorro de costo eléctrico en la muestra	108
4.19.	Porcentajes de ahorro en el costo eléctrico de los factores aplicables al total de la muestra	109

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La energía en nuestra sociedad es considerada como un recurso de gran importancia debido a que nos brinda la capacidad de transformar el entorno de acuerdo a nuestras necesidades, es decir tener una vida sencilla y cómoda, a través de la reducción del esfuerzo empleado por herramientas o maquinarias. Sin embargo, el uso excesivo y en ocasiones irracional de los energéticos han provocado que se requieran mayores centrales de generación, las cuales comúnmente utilizan fuentes de origen fósil y que ocasionan como efecto colateral problemas ambientales debido a la quema de hidrocarburos que emite gases de efecto invernadero en nuestra atmosfera.

A partir del siglo XIX el suministro eléctrico brindó un energético de fácil transporte y de gran disponibilidad facilitando así muchas de las actividades humanas en el sector residencial, comercial e industrial. En la actualidad, el uso de la energía eléctrica representa un indicador del nivel de calidad de vida de las personas y del desempeño de las organizaciones, por lo que se ha vuelto indispensable medir y optimizar su consumo.

El consumo eléctrico mundial en el año 2013 fue de 4.32 MWh/ per cápita mientras que en México fue de 2.06 MWh/ per cápita, es decir, 2.1 veces menos. Sin embargo, en el año 2014 con datos de la IEA (Agencia Internacional de Energía), México obtuvo un consumo eléctrico de 2.17 MWh/ per cápita, mostrando un aumento 5.3% con respecto al año pasado [1] [2].

En la siguiente figura se muestra el comportamiento histórico del consumo eléctrico per cápita a nivel nacional y mundial.

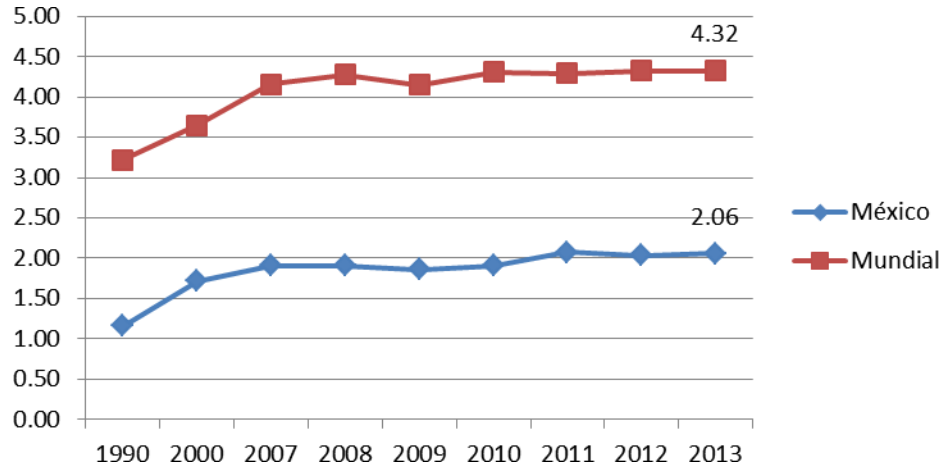


Figura 1.1. Consumo eléctrico MWh per cápita a nivel nacional y mundial [1].

A partir del año 2016 las entidades federativas de México mostraron los siguientes consumos eléctricos por usuario, presentando un promedio general de 5.6 MWh / usuario, del cual, el estado de Baja California se encontró por arriba del promedio con 8.3 MWh / usuario. Dentro de los principales 5 estados con mayores consumos eléctricos por usuario se encuentra Coahuila, Nuevo León, Sonora, Chihuahua, Baja California. En la siguiente figura 1.2 se puede apreciar dichos valores [3].

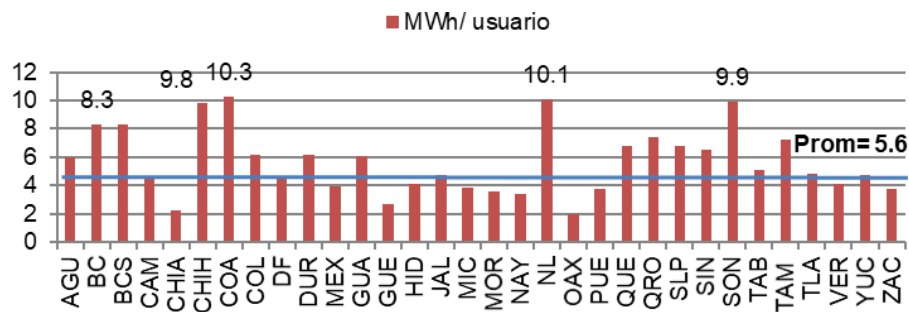


Figura 1.2. Consumo eléctrico per cápita por entidad federativa de México [3].

En los sectores tarifarios se presentaron los siguientes consumos eléctricos por usuario durante el año 2016. Exhibiendo al sector industrial como el mayor consumidor de energía eléctrica por usuario con 381.6 MWh/ usuario [3]. A su vez,

el esquema tarifario horario de media tensión (HM) presentó un aumento de 773.4 MWh/ usuario. En la siguiente figura 1.3 se muestra dicho resultado.

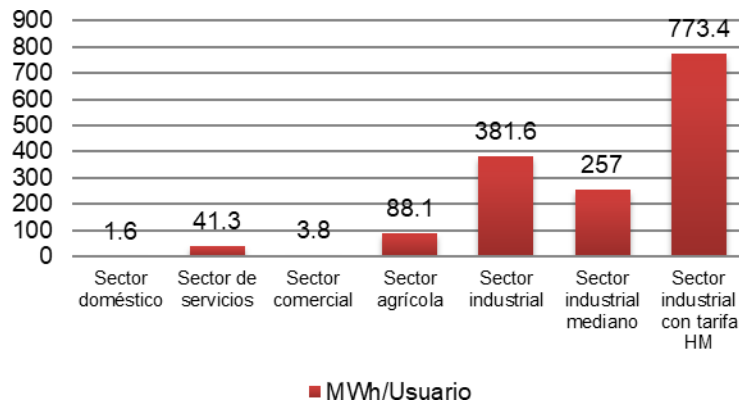


Figura 1.3. Consumo eléctrico por usuario en el sector tarifario de México, 2016 [3].

Los porcentajes promedio de consumos eléctricos per cápita por sector en México de 2004 a 2013 se presentan en la figura 1.4, en la que se puede observar que el sector industrial representa el 80% del consumo por usuario [3].

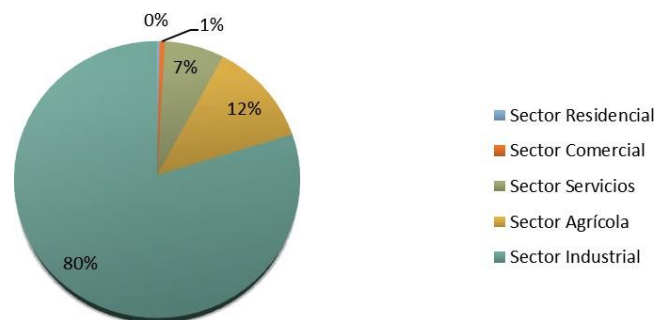


Figura 1.4. Porcentajes de consumo per cápita por sector (MWh/ Usuario) [3].

En la siguiente figura 1.5 se exhibe el porcentaje de usuarios por entidad federativa durante el año 2016, la cual muestra un porcentaje promedio general de 3.12% donde Baja California se encuentra mínimamente por debajo del promedio

de los usuarios que utilizan energía eléctrica con 3.1%. En cambio, la venta de energía eléctrica se tiene un porcentaje por arriba del promedio con 4.8%, posicionando al estado de Baja California dentro de los primeros 8 estados de mayor compra eléctrica. Lo anterior se puede apreciar en la figura 1.6. Por lo tanto, a pesar de ser una entidad federativa de pocos usuarios en comparación a nivel nacional, presenta un elevado consumo de electricidad [3].

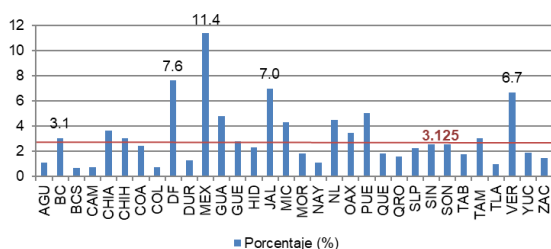


Figura 1.5. Porcentaje de usuarios de energía eléctrica por entidad federativa 2016.

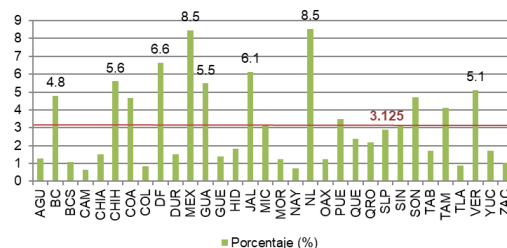
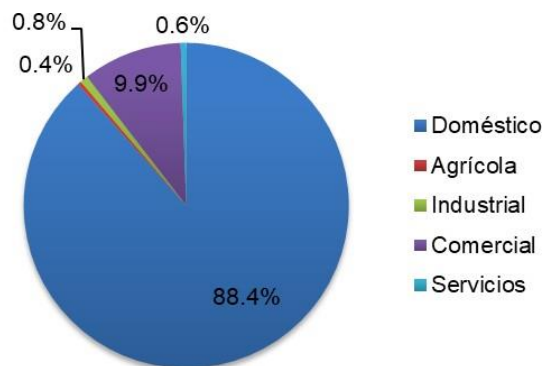


Figura 1.6. Porcentaje de ventas internas de energía eléctrica por entidad federativa 2016.

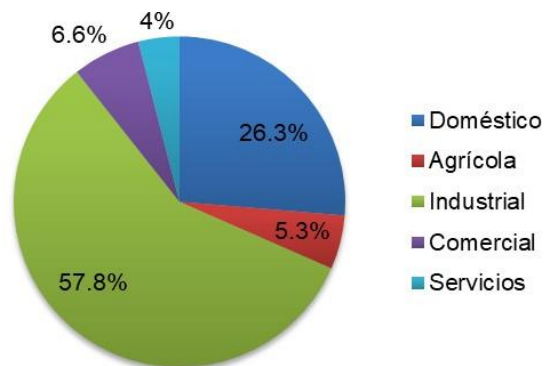
Por otra parte, CFE (Comisión Federal de Electricidad) proporciona el servicio de energía eléctrica a cerca de 40.2 millones de usuarios¹, de los cuales el promedio de 88.4% de ellos pertenecen al sector doméstico con un consumo promedio de energía eléctrica de 26.3%, en cambio el sector industrial le pertenece en promedio el 0.8% de usuarios con consumos promedios de 57.8%, es decir, este último sector muestra mayor impacto debido a los altos consumos (ventas) que representa por sector [4]. Lo anterior se pueden apreciar en las siguientes figuras 1.7 y 1.8, evaluadas durante los 9 años anteriores del 2016.

¹ Información del año 2016. CFE.



Fuente: CFE,2008-2016

Figura 1.7. Porcentaje de usuarios por sector.



Fuente: CFE,2008-2016

Figura 1.8. Porcentaje de ventas por sector.

La industria es el sector de mayor consumo de energía eléctrica en México, de manera que, durante el año del 2016, representó un total de 325,958 usuarios con un consumo de 124 millones de MWh respectivamente. A su vez, el sector industrial se clasifica en mediana industria impactando con 324,921 usuarios con un consumo de energía eléctrica de 83 millones de MWh y gran industria con 1,037 usuarios con un consumo de 40 millones de MWh aproximadamente, demostrando que se tiene mayores consumos y usuarios en el sector industrial de mediana tensión. En la siguiente tabla 1.1 se muestra los usuarios y la venta de energía eléctrica para el sector de mediana industria en tarifa HM [3].

Tabla 1.1. Usuarios y ventas de energía eléctrica por sector en México durante el año 2016

Descripción	No. Usuarios	Ventas E.E. (MWh)
Total	40,766,173	218,072,293
Tarifa doméstica	36,113,943	58,368,130
Tarifa de servicios	209,387	8,643,211
Tarifa comercial	3,988,320	15,347,761
Tarifa agrícola	128,565	11,327,824
Tarifa industrial	325,958	124,385,366
*Empresa mediana	324,921	83,504,129
*Gran industria	1,037	40,881,237

En el año 2016 la industria de media tensión presentó 236,410 usuarios eléctricos en tarifa OM con un consumo de energía de 14 millones de MWh respectivamente, en cambio, la tarifa HM mostró todo lo contrario, al presentar menores usuarios con mayores consumos. En otras palabras, 57.8% de la venta de energía eléctrica corresponde al sector industrial del cual solo el 38.3% representa la empresa mediana, y a su vez el 31.4% corresponde a la tarifa HM. Con ello se puede observar que los usuarios en tarifa HM presentan grandes oportunidades para implementar estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica debido a sus altos consumos. En la siguiente tabla se presenta lo descrito anteriormente [3].

Tabla 1.2. Usuarios y ventas de energía eléctrica por sector industrial de media tensión en México en el año 2016

Descripción	No. Usuarios	Ventas E.E. (MWh)
Empresa mediana	324,921	83,504,129
OM Total Ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100 kW	236,410	14,903,129
HM Total Horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o mas	88,429	68,557,799
H-MC Total Horaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más para corta utilización	82	43,201

La tarifa HM (Horaria de Media tensión), tiene las siguientes características: se encuentra en media tensión, energía destinada para cualquier uso, y se debe tener una demanda eléctrica mayor a 100 kW (kilowatts).

Los cargos en esta tarifa están sujetos al cobro por el consumo eléctrico, demanda facturable, factor de potencia, cargo por baja tensión, cargo fijo, entre otros. Dichos cargos están expuestos por los diferentes horarios y periodos de tiempo (los cuales son base, intermedio y punta) según la región tarifaria que pertenezcan (Baja California, Baja California Sur, Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur), así como, en sus temporadas del año (verano y fuera de verano)

las cuales se conforman del 1º de mayo al sábado anterior al último domingo de octubre para la temporada de verano, y del último domingo de octubre al 30 de abril para fuera de verano (para B.C.) [5]. Para fines de dicha investigación se utilizará la región de Baja California, teniendo los siguientes horarios en sus periodos correspondientes, véase en las siguientes tablas 1.3 y 1.4.

Tabla 1.3. Horarios de verano para la región de Baja California

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes		0:00 - 14:00 18:00 - 24:00	14:00 - 18:00
Sábado		0:00 - 24:00	
Domingo y festivo		0:00 - 24:00	

En la tabla superior, la temporada de verano está comprendida por los periodos en punta de 4 horas, e intermedia de 20 horas durante la semana, el resto de los siguientes días completan 24 horas en periodo intermedio.

Tabla 1.4. Horarios fuera de verano para la región de Baja California

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 - 17:00 22:00 - 24:00	17:00 - 22:00	
Sábado	0:00 - 18:00 21:00 - 24:00	18:00 - 21:00	
Domingo y festivo	0:00 - 24:00		

En la tabla 1.4, la temporada fuera de verano está definida por los periodos en intermedio de 5 horas durante la semana, y 3 horas los sábados, el periodo base constituye 19 horas durante la semana, 21 horas los sábados y 24 horas el domingo.

El consumo de energía eléctrica se entiende por la potencia eléctrica que se utiliza en una instalación durante un periodo de tiempo determinado, es decir, es la energía eléctrica que se usa para satisfacer las necesidades del usuario durante un tiempo indefinido, ya sea, al emplear el uso de motores, aire acondicionado, encendido de luminarias, entre otras cargas eléctricas. Su expresión se denota comúnmente en kilowatt-hora (kWh) en un periodo de facturación [6, 7]. Por lo que, la potencia eléctrica es el trabajo eléctrico que realiza un equipo o carga por unidad de tiempo.

En cambio, la demanda eléctrica se le considera a la “lectura máxima del promedio de la velocidad a la que se consume la energía eléctrica” [8]. En otras palabras, es “la cantidad de energía que se consume en un instante (kW) y es independiente de la energía consumida para utilizar las máquinas (kWh)” [9]. Por lo que la demanda máxima, es la media (o promedio) en kW, de las demandas máximas medidas en “cualquier intervalo de 15 minutos del periodo en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo correspondiente” [5]. Es decir, se tomarán mediciones cada 5 minutos en intervalos de 15 minutos con el fin de conocer el promedio de la demanda, realizando el mismo procedimiento 8,640 veces (dado de los 30 días del mes * 24 horas * 12 veces en que cabe 5 minutos en una hora), donde los 8,640 resultados se tomara el valor promedio más alto correspondiendo a la demanda máxima.

En la siguiente figura 1.9 se puede visualizar dichos conceptos donde los kWh representan los consumos y los kW la demanda en periodos de tiempo de 5 minutos durante una hora, de tal manera que el consumo que presenta es de 2,953 kWh y una demanda de 3,610 kW debido a que fue la demanda máxima medida cada 15 minutos durante una hora [8].

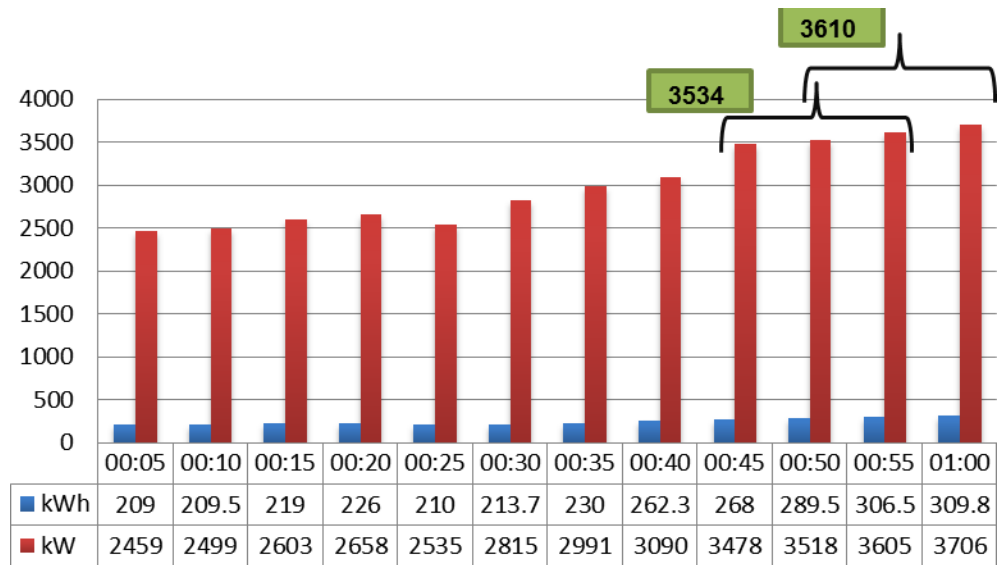


Figura 1.9. Análisis del comportamiento de la facturación de la demanda máxima y el consumo durante 1 hora [8].

La demanda facturable considera las demandas máximas medidas mensualmente en los periodos base, intermedio y punta a través de la siguiente formula:

$$DF = DP + FRI \times \text{Max} (DI - DP, 0) + FRB \times \text{Max} (DB - DPI, 0) \quad 1.1$$

Dónde: DP, DI, DB, son las demandas máximas medidas en el periodo de punta, intermedio y base. DPI es la demanda máxima medida en los periodos de punta e intermedio. Max es el máximo y si la diferencia de las demandas que resulte es negativa, se tomará el valor cero. FRI y FRB son factores de reducción, los cuales dependen de la región, véase en la tabla 1.5.

Tabla 1.5. Factores de reducción para la región de Baja California

Región	FRI	FRB
Baja California	0.141	0.070

Cabe mencionar que cualquier fracción de kW que resulte del cobro de la demanda facturable, se tomará como kW completo.

Por otra parte, se conoce que para realizar la facturación eléctrica es necesario considerar la calidad de la energía, ya que con ello se puede generar cargos extras o remuneraciones. Es decir, se bonifican con un porcentaje de hasta el 2.5% o se refleja un recargo extra que varía hasta el 120% del consumo de energía. Dichos recargos se realizan mediante un indicador que mide la efectividad de la utilización de la energía el cual se le conoce como factor de potencia, donde se mide entre los valores del 0 al 1 siendo este último el más ideal, es decir se considera admisible (bonificación) del 0.90 al 1 e inadmisible (recargo) valores menores de 0.90. El factor de potencia nos dice, cuando un equipo requiere consumir más energía de la ideal para realizar un mismo trabajo [10], es decir indica una mejor utilización de la energía.

El cobro de la facturación por concepto se muestra en las siguientes formulas donde F.P. es el factor de potencia.

CONCEPTO	FÓRMULA	% MÁXIMO APLICABLE
BONIFICACIÓN	$\frac{1}{4} \left[1 - \left(\frac{90}{F.P.} \right) \right] \times 100$	2.5
PENALIZACIÓN	$\frac{3}{5} \left[\left(\frac{90}{F.P.} \right) - 1 \right] \times 100$	120

La bonificación por el factor de potencia se realiza en base al porcentaje resultante por la suma del cargo total de la energía y la demanda, si el resultado del cargo por factor de potencia es negativo indica que es una bonificación, en cambio si es el resultado es positivo indica penalización, aumentando el costo de la facturación eléctrica.

Para entender que es el factor de potencia es necesario mencionar lo siguiente: todos los equipos que requieran de electricidad, tendrán una carga (W) es decir una potencia, la cual se define como “la razón de transformación, variación o transferencia de energía por unidad de tiempo” [11]. A su vez, se puede medir en corriente continua o alterna. La medición de la potencia en corriente alterna de un circuito se comporta distinto, ya que intervienen 3 parámetros (inductancia, capacitancia y resistencia), los cuales mencionan lo siguiente: cuando un circuito se encuentra con un voltaje (tensión) en fase con una corriente se le considera una carga resistiva con un factor de potencia igual a 1; cuando se presenta en un circuito una corriente desfasada de la tensión con 90° se considera que la carga puede ser inductiva o capacitivo, sí el desfase se encuentra atrasado con 90° es inductivo y si es adelantado es capacitivo, reflejando un factor de potencia menor de 1. Por ello se considera que un bajo factor de potencia depende de las cargas inductivas. En la siguiente figura 1.10 se puede mostrar la relación de la corriente con respecto a la tensión dependiendo del factor de potencia.

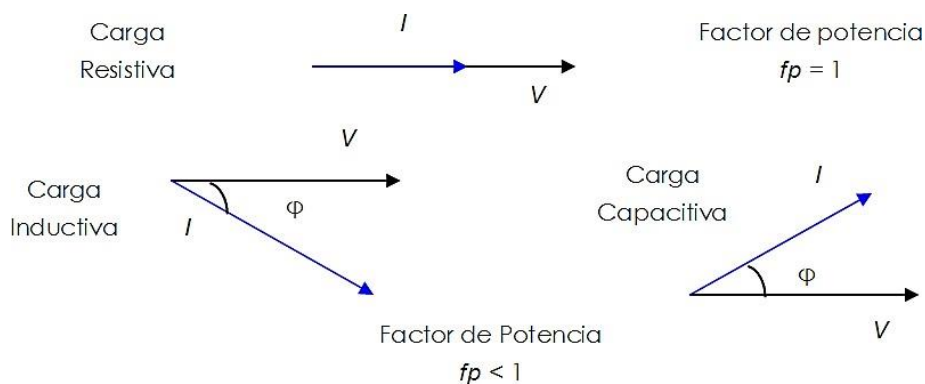


Figura 1.10. Cargas resistiva, inductiva y capacitiva con respecto al factor de potencia [11].

La potencia se clasifica en 3, potencia activa, considerada como la energía útil o real es similar a la resistiva, en ella se transforma la energía eléctrica en otras energías (mecánica, lumínica, térmica) su unidad de medida es W. La potencia reactiva, está desfasada 90° de la potencia activa, en ella interviene la potencia activa para poder realizar el trabajo, ya que los equipos como los motores necesitan del

proceso de bobinado para generar un campo magnético, dicho campo se encuentra en la potencia reactiva ya que no genera trabajo útil o efectivo, sino almacena un campo eléctrico y se mide en VAR.

Los equipos que requieran movimiento mecánico es decir requieran de un campo electromagnético para realizar cierta función, presentan potencia reactiva, ya sea positiva si la carga es inductiva o negativa si la carga es capacitiva. La potencia aparente, representa el total de una suma geométrica de ambas potencias (activa y reactiva), es decir es “la que resulta de considerar la tensión aplicada al consumo de la corriente que éste demanda” unidad de medida en VA [11].

De tal manera se puede definir al factor de potencia como la relación de la potencia activa (P) sobre la potencia aparente (S) y de igual forma se considera al ángulo de $\cos \varphi$, de modo que el factor de potencia es igual al coseno de φ si no se presentan distorsiones. En la siguiente figura 1.11 se muestra el triángulo de potencias haciendo alusión a la comparación de la potencia reactiva con el esfuerzo que se pone en un sistema eléctrico, la potencia aparente con lo que se paga de la electricidad y la potencia activa por la energía que se usa, por lo que el $\cos \varphi$ representa la electricidad que se usa sobre la que se paga, donde el pago está relacionado el esfuerzo del sistema [11].

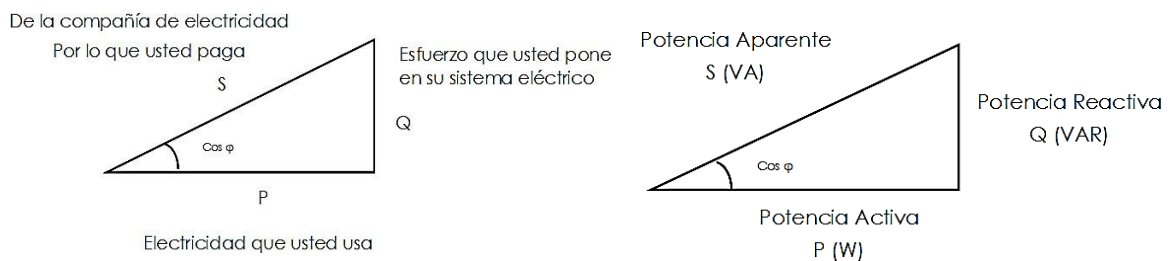


Figura 1.11. Triángulo de potencias [11].

Por otra parte, es necesario mencionar que en la tarifa HM (Horaria de Media tensión) presentó un cambio a partir de diciembre del 2017, cambiando no solo su nombre por GDMTH (Gran Demanda en Media Tensión Horaria), sí no también su estructura tarifaria.

Ambas tarifas se asemejan en la estructura horaria según su periodo, temporada y región, así como en algunos conceptos de cobro eléctrico, entre ellos, cargos por baja tensión, factor de potencia y cargo fijo. En este último, solo se modificó su nombre por operación del suministro básico.

Las diferencias que muestra la tarifa GDMTH con respecto a la tarifa HM mediante los conceptos de cobro eléctrico, son los siguientes: cargo por servicios conexos no MEM (Mercado Eléctrico Mayorista), transmisión, operación de CENACE (Centro Nacional de Control de Energías) y energía. Estos cargos, se calculan a través del consumo generado del mes facturado.

Así mismo, el cobro por concepto de demanda eléctrica se aplica en los cargos de distribución y capacidad sustituyendo al concepto de demanda facturable que se usaba en la tarifa HM. Donde la capacidad está definida por “la demanda máxima a la que se deberá aplicar los cargos por capacidad (\$/kW-mes), será la mínima entre los valores que se definen a continuación:

$$\text{mín} \{Dmax_{punta} , \left[\frac{Q_{mensual}}{24*d*F.C.} \right] \} \quad 1.2$$

Donde $Dmax_{punta}$ es la demanda máxima coincidente con el periodo horario de punta medida en kW, $Q_{mensual}$ es el consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh, d días del periodo de facturación y el $F.C.$ es el factor de carga correspondiente al valor de 0.57 (para la tarifa GDMTH). En el caso de que no haya periodo de punta, se utilizará la siguiente fórmula:”

$$Demanda = \left[\frac{Q_{mensual}}{24*d*F.C.} \right] \quad 1.3$$

En la distribución se calcula a partir de “la demanda máxima a la que se deberá aplicar los cargos de distribución, será la mínima entre los valores que se definen a continuación:

$$\text{mín} \{Dmax_{mensual} , \left[\frac{Q_{mensual}}{24*d*F.C.} \right] \} \quad 1.4$$

Donde $D_{max_{mensual}}$ es la demanda máxima registrada en el mes al que corresponde la facturación.”

Las fórmulas que se presentaron anteriormente se asemejan entre sí, diferenciándolas únicamente de la demanda máxima en periodo punta y la demanda máxima mensual. De tal manera que, este último concepto se emplea para el cálculo de la distribución y el otro para la capacidad. Ambos cargos pueden disminuirse al gestionar correctamente la demanda eléctrica siempre y cuando se manipule de la siguiente manera:

- En el cálculo de distribución, al disminuir la demanda máxima mensual de tal forma que sea menor al valor generado por la fórmula de $[\frac{Q_{mensual}}{24*d*F.C.}]$, se verá reflejada una reducción en la facturación mensual. En algunos casos los cargos se pueden aminorar aún más, al contemplar demandas máximas mensuales equitativamente en los periodos correspondientes en temporada fuera de verano.
- El control de la capacidad, es el único concepto donde todas las industrias tienen una mayor posibilidad de ahorro en el costo eléctrico, ya que, la demanda máxima en periodo punta se puede gestionar de tal manera que las cargas existentes en dicho periodo disminuyan drásticamente para posteriormente aumentarlas en el periodo intermedio. Para que lo anterior se pueda cumplir es necesario que la demanda máxima en periodo punta sea menor al valor generado por la fórmula de $[\frac{Q_{mensual}}{24*d*F.C.}]$. Esta estrategia solo es factible en los meses de verano.

Por otra parte, es conveniente mencionar que al gestionar eficientemente la demanda máxima en periodo punta, se verá reflejado un pequeño aumento en el cobro por el cargo de distribución, siempre y cuando aplique la acción mencionada. Sin embargo, el cargo de la capacidad presenta una mayor oportunidad en el ahorro del costo eléctrico, ya que sus precios van en aumento y representan más del doble de los precios de distribución. En cambio, los precios de distribución son fijos [12].

En base al nuevo esquema tarifario es necesario evaluar las estrategias que impactan en la disminución del costo eléctrico. Dichas estrategias estarán comúnmente ligadas al ahorro y uso eficiente de la energía. Por ello es necesario identificar y diferenciar dichos términos.

Identificar las estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía que puedan ser aplicadas de manera generalizada al sector industrial, representa una oportunidad de reducción de costos de las organizaciones que tendría efectos en la reacción de la demanda eléctrica de la ciudad.

Actualmente, el sector industrial desconoce el potencial de ahorro económico y energético que se puede llegar a obtener al implementar estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica. En ciudades como Mexicali, B.C. que posee una elevada demanda energética, el identificar las mejores estrategias de ahorro puede representar un factor importante para la optimización energética y para mejorar el desempeño de su operación, generando así mayores utilidades, al mismo tiempo que se fomenta la responsabilidad social y cuidado al medio ambiente en las organizaciones.

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial es indispensable la utilización de energía eléctrica para satisfacer las necesidades del ser humano, los cuales han estado en aumento en los últimos años generando problemas en cuestiones económicas, sociales y ambientales. Esta dependencia ha surgido no solo para satisfacer, sí no, para reducir el esfuerzo empleado mediante herramientas o maquinarias. La gran dependencia de esta energía, ha generado aumentos en los precios de los combustibles fósiles, debido a que es una fuente no renovable la cual se puede agotar; con ello se genera un aumento en los costos de producción, almacenamiento, distribución, y transmisión de electricidad. Por lo que a mayor demanda se encarece el producto.

La demanda de energía eléctrica en México ha aumentado ocasionado un crecimiento del consumo debido al aumento poblacional. Sin embargo, el mayor consumidor final es el sector industrial, ya que, el 0.8% de los usuarios eléctricos del país consumen el 57.8% de la energía, por ello es necesario enfocarse en los mayores consumidores finales para realizar acciones estratégicas de ahorro y uso eficiente de la energía, a fin de minimizar las facturaciones y la demanda eléctrica [4].

Además, el sector industrial se clasifica por mediana empresa y gran industria, donde la mediana empresa representa tanto el mayor número de usuarios como de consumo final comparada de la gran industria. A su vez la mediana empresa se subdivide en 6 tarifas eléctricas de mediana tensión, de las cuales solo la tarifa HM presenta un mayor consumo final de las restantes a pesar de tener pocos usuarios. Dicho lo anterior la mediana empresa representa el 38% del consumo final eléctrico, del cual, el 31% le corresponde a la tarifa HM [4].

En el año 2016 la región de Baja California obtuvo un porcentaje de consumo eléctrico por arriba del promedio nacional, indicando que, a pesar de ser un estado federal de pocos usuarios se presentan elevados consumos eléctrico.

En diciembre del 2017, el sistema tarifario nacional realizó modificaciones en su estructura tarifaria, cambiando no solo el nombre de la tarifa HM en tarifa GDMTH, sí no también sus conceptos de cobro.

El presente documento se centra en el análisis del sector industrial, ya que, se tienen altos consumos de electricidad, generando altos costos de facturación, de los cuales, en la actualidad no se han implementado estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica satisfactorias, hacia la reducción de la demanda y el consumo eléctrico. Principalmente debido a no conocer el impacto de implementar estrategias y su beneficio, así como la falta de conocimiento sobre el cobro del sistema tarifario existente, por lo que, es importante y necesario conocer el proceso productivo para poder establecer acciones de mejora.

Es necesario llevar a cabo un análisis del impacto de incorporar estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica de manera generalizada en el sector industrial, a fin de reducir el consumo y la demanda. A través de un diagnóstico energético de primer nivel, se podrá ampliar la perspectiva de la situación energética de la empresa, con el propósito de conocer las ineficiencias y desperdicios de la energía se realizan simulaciones termo energéticas para posteriormente detectar los posibles ahorros energéticos, de los cuales se proponen estrategias de mejora evaluadas técnicamente y económicamente bajo el parámetro del ahorro económico en el coste eléctrico. El análisis, se enfocará en equipos de iluminaria, aire acondicionado, aire comprimido, refrigeradores, sistemas de conversión primaria, distribución de energía y equipos auxiliares.

Con la finalidad de realizar un análisis del impacto en el costo eléctrico al implementar estrategias de ahorro y eficiencia energética en industrias del sector de fabricación en Mexicali, B.C., se establecen las siguientes preguntas de investigación.

¿Cuáles son las estrategias de ahorro y uso eficiente de energía más recomendables para ser implementadas de manera general en el sector industrial de Mexicali B.C.?

¿Cuál de las estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía tendrá un mayor impacto en el ahorro del costo eléctrico?

¿Qué indicadores pueden ser usados en el sector industrial para medir su desempeño energético?

1.2 Justificación y uso de resultados

Con la finalidad de entender el uso de la energía en el sector industrial y establecer las mejores estrategias para reducir el costo eléctrico, se requiere realizar un diagnóstico energético a usuarios representativos del sector que brinde las características, los usos significativos y los indicadores del desempeño energético.

Al aplicar acciones de eficiencia energética al sector industrial ocasionará que estas alcancen mayor competitividad, al pagar menos electricidad mientras produzca lo mismo o más que antes, e incluso, coadyuvan a mantener al margen las industrias encargadas de generar energía eléctrica, que a su vez contribuye a no aumentar la demanda energética, así como, minimizar la contaminación de los G.E.I. Por lo que dichas acciones se optaran no solo como un compromiso, si no como un deber o incluso una obligación, debido al cambio climático que se presenta cada vez con mayor impulso en nuestro planeta.

Una de las finalidades de dicha aplicación es demostrar que las industrias con características semejantes, puedan establecer estrategias de forma generalizada para el ahorro y uso eficiente de energía eléctrica, a pesar de presentar consumos distintos. Los ahorros económicos que se estiman obtener son del 10% mediante acciones de mejora, como la sustitución de iluminaria, control mensual de la capacidad de aire acondicionado requerido, control de cargas eléctricas (referente al manejo mensual de aire acondicionado) en conjunto con la utilización de generadores fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, y la reducción de infiltraciones en edificaciones.

1.3 Objetivos

General

Evaluar el desempeño eléctrico de industrias de fabricación mayores de 250 empleados en Mexicali B.C. pertenecientes al esquema tarifario GDMTH, e indicar las estrategias de optimización energética que impacten en el ahorro de los costos eléctricos y puedan ser utilizadas de manera general para todo el sector.

Específicos

Realizar levantamiento, procesamiento de los consumos y costos energéticos, y producción, a fin de identificar el comportamiento energético de la empresa a evaluar.

Realizar simulación termo energética del estado actual de las industrias, con el propósito de identificar las principales anomalías, desperdicios e ineficiencias energéticas de las cargas eléctricas o sistemas evaluados.

Proponer estrategias de mejora, a fin de generar nuevos escenarios simulados.

Evaluar técnicamente y económicamente las estrategias de mejora, mediante el concepto de ahorro en el costo eléctrico, puesto que, el mayor porcentaje de ahorro económico, será la estrategia de mayor impacto.

Proponer acciones que logren un ahorro eléctrico significativo en usuarios con tarifa GDMTH.

Determinar a través de un análisis estadístico las estrategias generales que pueden ser aplicadas para el sector industrial.

1.4 Hipótesis

General

Los usuarios eléctricos con tarifa de gran demanda en media tensión horaria (GDMTH) pertenecientes al sector industrial del giro fabricación que posean más 250 empleados en Mexicali, B.C. presentan un mayor impacto en la reducción de su facturación eléctrica al utilizar sistemas fotovoltaicos en conjunto con un control de la demanda eléctrica.

Específico

Se obtendrán ahorros económicos del 10% en las industrias usuarias de tarifa GDMTH HM mediante la utilización de estrategias y acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

Se obtendrá el 10% de ahorro económico en las industrias usuarias que se encuentren en tarifa GDMTH, al utilizar estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se pretende demostrar los desarrollos que se han generado en la actualidad sobre la gestión de la demanda (controlador de la demanda), así como programas y organizaciones de ahorro y uso eficiente de la energía en el sector industrial.

La CFE funda el Premio Nacional de Ahorro de Energía Eléctrica en 1991, el cual tiene como objetivo reconocer a las industrias o instituciones que han destacado durante un año mediante la mejora de los procesos de producción a través de técnicas dirigidas a la reducción del consumo y demanda eléctrica, y tecnologías de mayor eficiencia, es decir en programas de ahorro.

En 1998 se reconoció a la empresa Nissan por haber obtenido el primer lugar en el certamen octavo del premio nacional de ahorro de energía eléctrica mediante la implementación de control de la demanda manual y automático, así como remplazo y mantenimiento de equipo, instalación de bancos capacitores el cual mejora el factor de potencia, instalación de apagadores de luz, optimización de alumbrado, cambios de horarios aprovechando la luz natural y evitando operar en periodo punta, entre otras acciones más [13].

En 2007, la Universidad de Cuba de Cienfuegos mediante el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente en conjunto con otras universidades del país, elaboraron un material para conocer los procedimientos de la evaluación, diagnóstico, organización, ejecución y supervisión de la gestión energética en empresas, el cual presenta los principios y herramientas de la “Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía”, con el fin de reducir los costos de la energía eléctrica y de elevar su competitividad [14].

En 2011 la Organización Internacional de Normalización (ISO) generó una norma orientada a la gestión y uso eficiente de la energía en las organizaciones. Con dicha norma se busca que las industrias gestionen indicadores energéticos con

la intención de mejorar su desempeño, promoviendo el mantenimiento preventivo y el uso racional de la energía.

2.1 Diferencia entre el ahorro y el uso eficiente de la energía

El ahorro de energía y la eficiencia energética, tienen el mismo fin, reducir el consumo energético, pero la diferencia radica en que el ahorro, hace referencia en los hábitos de consumo, y la eficiencia, en consumir menos, pero con la misma calidad [15].

Por ejemplo, el ahorro energético de una edificación, consistiría en tomar acciones de desconexión de cargas innecesarias a través del manejo del personal, ya sea, apagar la iluminaria que no se necesite, mantener una temperatura ideal de aire acondicionado de 76 °F, no abrir ventanas cuando se tenga encendido el aire acondicionado, entre otras más. De manera que su definición se basa en la disminución del consumo energético mediante una serie de acciones o actividades estratégicas que requieren de medidas técnicas, organizativas, e institucionales, que involucren el cambio de comportamiento [16].

La eficiencia energética la relacionan con la utilización de dispositivos (equipos o materiales) o procesos que definen la relación de energía útil y la energía empleada, es decir, se considera eficiente cuando se tiene la misma o incluso más energía útil con menos energía empleada, dicho concepto está ligado por los avances tecnológicos [17].

Según AEDENAT, 1998, “la eficiencia energética es la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflicto” [18].

Por ejemplo la eficiencia energética de una industria, consistiría en la sustitución de equipos ineficientes por equipos de mejor tecnología, como es el caso de los motores, un motor antiguo tiene la capacidad de sacar la producción de la

planta durante 18 horas consecutivas con una potencia de 2,500 W (consume más energía), al sustituirlo por un motor de alta eficiencia (consume menos energía) con una potencia de 1,800 W, abatiendo las mismas horas, indicará lo eficiente que es el motor, ya que con menos energía abasteció las mismas horas de operación.

De tal manera se puede describir a la eficiencia energética como aquellas acciones que tienen como objetivo disminuir el consumo de energía, sin atenuar la calidad, el bienestar, ni la producción, sin tener un comportamiento distinto a lo habitual alcanzando un determinado nivel de confort.

La eficiencia y ahorro energético comúnmente están ligados en varias estrategias de reducción de consumos ya que para presentar mayores resultados es favorable realizar la reducción del consumo de energía sin afectar la calidad involucrando buenos hábitos de consumo. Tal es el caso del ejemplo anterior, si se agregará al motor de alta eficiencia un menor tiempo de operación, mostrará, mayores beneficios en la disminución del consumo eléctrico, ya que no solo está disminuyendo la demanda si no el consumo por considerar el buen uso del equipo.

2.2 Potenciales de ahorro en el sector industrial

Realizar acciones estratégicas para el ahorro y uso racional de la eficiencia energética en medianas empresas serían de gran interés social, económico y ambiental la mayor oportunidad en dichos temas se deben a equipos obsoletos, malos hábitos de consumo, temor a pérdidas de producción, falta de acceso al conocimiento técnico y al financiamiento para poder realizar mejoras. No obstante, en España presentan ahorros de 30% si consideran acciones de eficiencia energética, por lo que 1 kWh de utilización de un edificio requiere 3 kWh de producción, de manera que, cada kWh que se deje que consumir se ahorran 3 kWh de producción [19]. Esto nos dice que en México tendríamos oportunidades semejantes al ahorrar y tener un buen manejo de la energía eléctrica.

Una de las fuentes principales para el ahorro y uso eficiente de la energía según un estudio de MEDEC (México, Estudio sobre la Disminución de Emisiones de Carbono, 2009), mostró que los motores representan el 70% del consumo total de electricidad en el sector industrial [20].

Por ello es necesario visualizar la siguiente tabla 2.1 donde muestra el impacto del uso final de la electricidad en las medianas empresas, dichos resultados se basaron mediante un programa de “Evaluación del ahorro de energía eléctrica derivado de las acciones de los usuarios para los periodos de 1998 - 1999, 2000 - 2001 y 2002-2003” a través de la recopilación de 15,250 encuestas distribuidas en distintas áreas de distribución de energía de CFE. Las áreas se caracterizaron por regiones las cuales comprenden a la región del Noroeste: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa [21].

Tabla 2.1. Distribución de usos finales de energía eléctrica en medianas industrias según su ubicación en México [21]

Distribución del consumo/ Sistema	Noroeste	Norte	Occidente	Centro	Sureste	DF y Edo. de México	Promedio
Aire comprimido	13.5%	18.1%	16.2%	16.6%	12.3%	15.6%	15.4%
Iluminación	11.9%	11.0%	9.1	12.1%	8.1%	13.8%	11.0%
Proceso productivo (principalmente motores)	30.6%	48.7%	53.8%	44.6%	48.1%	46.4%	45.4%
Aire acondicionado	14.3%	7.1%	3.8%	4.9%	6.5%	2.2%	6.5%
Refrigeración	13.7%	5.7%	7.8%	6.5%	11.7%	6.6%	8.7%
Bombeo	5.2%	3.7%	4.7%	5.5%	6.1%	4.7%	5.0%
Cómputo y oficina	8.8%	4.8%	4.2%	7.8%	3.5%	8.9%	6.3%
Otro	2.0%	0.9%	0.4%	2.0%	3.7%	1.8%	1.8%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Los resultados de la tabla 2.1 para la región noroeste muestran con una mayor participación del consumo de energía eléctrica, los motores con 30.6%, aire acondicionado 14.3%, refrigeración 13.7%, aire comprimido 13.5%, iluminación 11.9% y el resto pertenece a los sistemas de bombeo, cómputo y otros. Por lo que el resultado del porcentaje de motores se asemeja al promedio nacional con 45.5%, es decir, Baja California y el resto de los estados del país muestran en común al mayor consumidor de energía eléctrica para medianas empresas.

Además, se conoce a través de Ingeniería Energética Integral el potencial de ahorro de energía eléctrica que se tienen en cada sistema para medianas empresas a nivel nacional. Ordenando de mayor a menor participación al sistema de iluminación con 30 %, aire acondicionado 20%, aire comprimido y bombeo con un mismo 15%. Sin embargo, se puede expresar que a pesar de tener mayor consumo eléctrico en los motores presenta el menor porcentaje de ahorro. Estos porcentajes son referenciados bajo el supuesto de que la mayoría de empresas no han aplicado acciones de ahorro de energía. Dichos resultados se basan en la disminución de energía en un sistema particular, y “cada uno de los porcentajes aplica sobre el 100% del consumo de energía de cada sistema” [21]. En la siguiente tabla 2.2 se muestran dichos resultados.

Tabla 2.2. Potencial de ahorro de energía eléctrica en las medianas empresas [21]

Sistema de consumo	Ahorro
Aire comprimido	15%
Iluminación	30%
Proceso productivo (motores)	5%
Aire acondicionado	20%
Refrigeración	10%
Bombeo	15%
Cómputo y oficina	5%

En la siguiente tabla 2.3 se muestra la estimación del ahorro potencial de los equipos, mediante el porcentaje de ahorro a nivel nacional con respecto al porcentaje del consumo eléctrico de la región del noroeste. Es decir, el producto del porcentaje de ahorro y consumo de cada equipo. Por ejemplo, la iluminación presenta el 11.9% del consumo eléctrico, con un ahorro del 30%, del cual se tiene una estimación del potencial de ahorro de 3.57%, lo que refleja en “efecto acumulado” del consumo como del ahorro.

Tabla 2.3. Estimación del potencial de ahorro de energía eléctrica en el sector de mediana empresa de la región Noroeste [21]

Sistema de consumo	Ahorro %	Consumo %	Potencial Ahorro %
Aire comprimido	15%	13.5%	2.03%
Iluminación	30%	11.9%	3.57%
Proceso productivo (motores)	5%	30.6%	1.53%
Aire acondicionado	20%	14.3%	2.86%
Refrigeración	10%	13.7%	1.37%
Bombeo	15%	5.2%	0.78%
Cómputo y oficina	5%	8.8%	0.44%
Total			12.58%

En Baja California los equipos de mayor consumo de energía eléctrica son los motores, aire acondicionado, entre otros equipos, los cuales sí presentan acciones de eficiencia energética pueden desarrollar ahorros de energía eléctrica del 12% en medianas empresas.

El sector industrial cuenta con una amplia gama de empresas dedicadas para ciertas funciones en específico, por lo que es necesario conocer, cuáles son las ramas del sector industrial que presentan mayor impacto en la implementación de acciones estratégicas de eficiencia energética, desarrollando proyectos de ahorro de energía eléctrica. Según (SENER y GIZ, 2012), mencionan dichas ramas de las pequeñas y medianas empresas que presentan mayor impacto, las cuales se clasifican en orden prioritario a continuación [21].

1. Dedicada a producir, procesar preparar y trabajar con alimentos y bebidas;
2. Química;
3. Textil;
4. Industrias diversas del vidrio, plástico, dentales;
5. Dedicada al sector turismo integrada por hoteles y restaurantes.

2.3 Programas de promoción de eficiencia energética en la industria

Los programas existentes para el apoyo de acciones estratégicas del ahorro y uso eficiente de la energía en México, surgen a partir de la crisis de petróleo que sucedió en los años 70's, provocando altos consumos de energía eléctrica lo que conlleva a tener una mayor producción encareciendo el producto (energía eléctrica), por lo que surge el interés por una cultura de ahorro energético hacia el desarrollo, investigación y difusión de dichos programas los cuales son los siguientes.

El primer programa enfocado al ahorro de energía se crea en 1980 nombrado como, Programa Nacional de Uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONUREE), el cual tenía la función de divulgar información en materia de ahorro y alternativas energéticas hacia distintos usuarios donde solo se basó en campañas escolares y domésticas, seminarios y conferencias, sin resultados específicos. De manera que en 1989 CFE (Comisión Federal de Electricidad) sustituye PRONUREE por PAESE (Programa de Ahorro del Sector Eléctrico) el cual sigue operando con el objeto de impulsar proyectos de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica para quienes deseen probar sus tecnologías, mediante asesorías técnicas, evaluación de dispositivos, sistemas de control, tecnologías y capacitación en materia de ahorro de energía [22]. Dicho programa se especializa en evaluación de tecnologías de alumbrado público.

Así mismo en 1989, se crea 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 objeto de “fungir como órgano técnico en materia de ahorro y uso eficiente de la energía” desde su producción hasta su uso final a través de asistencia técnica, promoción, normalización, y desarrollo a los programas de eficiencia energética [22].

Consecutivamente en 1990, se crea el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), cuya función consiste en promover e introducir acciones de ahorro de energía eléctrica a usuarios de distintos sectores (industrial, comercial, servicios y agropecuario). De manera que tiene la facultad de otorgar financiamientos para proyectos de ahorro de electricidad, además, certifica la eficiencia energética de aparatos eléctricos y materiales, a través de etiquetas (sellos).

A través del mismo año se creó el Fideicomiso para el Aislamiento Térmico (fideicomiso N° 728 FIPATERM), con el fin de financiar el aislamiento térmico de Mexicali, B.C, mismo que implementó el Programa de Ahorro de Energía Eléctrica, que a su vez, para propósitos de promoción se denomina Programa Ahorro Sistemático Integral “ASI”. Dicho programa tiene asistencia en otras acciones como sustitución de equipos de aire acondicionado, refrigeradores y focos por otros equipos más eficientes [23].

En los años anteriores de 1994, no había Normas Oficiales Mexicanas que reglamentara la eficiencia energética en el país, por lo que no fue hasta 1995 cuando se emitieron las primeras Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en cuestiones de eficiencia energética, las cuales fueron publicadas debido a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización en 1993, dando lugar al proyecto de norma NOM-081-SCFI-1994 “eficiencia energética integral en edificios no residenciales. Especificaciones y métodos de verificación”, en la cual tiene como objetivo establecer las especificaciones de construcción y diseño de edificaciones, así como reparaciones o remodelaciones a fin de obtener el uso eficiente de la energía, sin

afectar el confort y las actividades de las personas, sin embargo, debido a las reformas de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF) publicadas en diciembre de 1994, delimitan a SENER facultades para expedir NOM en cuestiones de eficiencia energética, a su vez SENER faculta a CONUEE, por lo que las primeras NOM son las siguientes: nom-007-ener-1995 “eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales”, que toma como antecedente el Proyecto de NOM-081-SCFI-1994; NOM-009-ENER-1995, “aislamientos térmicos industriales y NOM-006-ENER-1995, eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación”, entre otras[22,23] .

Las normas en cuestiones de eficiencia energética están orientadas a limitar el consumo de energía en equipos vendidos en el país, los cuales garantizarían la calidad del funcionamiento energético de dichos aparatos, entre otros aspectos. Por lo que para el 2013 se cuentan con 27 NOM en cuanto a la “regulación del consumo de energía eléctrica en equipos y sistemas del sector residencial, comercial y servicios, industrial, transporte y agropecuario”.

En el 2009, se elaboró y publicó el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 (PRONASE), el cual tiene la función de ser un instrumento, donde se muestren acciones estratégicas para realizar la optimización del uso eficiente de la energía en todos los procesos, dirigido hacia las áreas de transporte, iluminación, edificaciones, equipos del hogar e inmuebles, cogeneración, motores eléctricos y bombas de agua [23].

Entre el año del 2013 al 2015 se presenta un Programa de Apoyo para la Mejora Tecnológica de la Industria de Alta Tecnología (PROIAT), el cual contempla incrementar las capacidades para adoptar nuevas tecnologías hacia industrias de alta tecnología mediante la participación de actividades de mayor valor agregado a través de apoyos temporales, certificaciones, capacitaciones, y desarrollo tecnológico. Las industrias de alta tecnología son: maquinaria y equipo, automotriz,

autopartes, eléctrica, electrónica, aeronáutica, de embarcaciones, ferroviaria y metalmecánica [24].

2.4 Instrumentos para la eficiencia energética en la industria

Diagnóstico energético

Los diagnósticos energéticos son instrumentos o “herramientas” para la eficiencia energética de la industria que ayudan a entender cómo se utiliza la energía es decir “cómo, dónde, cuánto y porque se consume la energía dentro de la empresa” [14], a fin de detectar los ahorros potenciales para detallar proyectos de optimización energética.

Los diagnósticos energéticos se dividen en 3, los cuales en base a CONAEE son: visita preliminar, diagnóstico energético de nivel 1, y diagnóstico energético de nivel 2. Sin embargo, el diagnóstico que se utilizará en este proyecto será de nivel 1(DEN1), el cual, se basa en la recolección de información y su análisis, a fin de identificar potenciales de mejora en la utilización de la energía. En él, se brinda un panorama en la utilización y costos de la energía, ayudando a establecer una serie de medidas de ahorro, evaluadas técnica y económicamente. Los DEN1 se basan en realizar “análisis a equipos y sistemas de conversión primaria, distribución de energía, equipos auxiliares, sin abarcar los procesos tecnológicos”, es decir, sistemas de aire acondicionado, iluminación, generación y suministro de electricidad, aire comprimido entre otras [14].

Se estableció un procedimiento para la aplicación de un diagnostico energético a las empresas seleccionadas.

2.4.1 Reunión inicial en la empresa

En esta actividad se muestra las iniciativas del proyecto es decir se crea una explicación de lo que es el ahorro y uso eficiente de la energía, ya sea mediante información estadística sobre los antecedentes de los ahorros que se han logrado

hasta la actualidad, así como, los beneficios que se generan a fin de interesar a la empresa a evaluar.

2.4.2 Integración del grupo de trabajo

Se designarán las actividades a realizar durante las auditorías energéticas para cada integrante de trabajo, a fin de ser más claros y eficientes en el tiempo de entrega final.

2.4.3 Determinación de la información necesaria para el diagnóstico

Mediante una visita preliminar, se detecta los potenciales de ahorro energético y coadyuva al evaluador a familiarizarse con la empresa, donde se determina cuantos y cuales formatos se utilizarán para recabar la información necesaria, dependiendo del lugar a evaluar, es decir, de las cargas principales que se encuentren a evaluar. En ella se utilizan formatos como cuestionarios, donde se filtra información requerida de costos de energía, producción, y consumos ya sea de agua, electricidad, o combustible, así como, datos de placa de motores, es decir, toda la información sobre las cargas eléctricas principales, como la cantidad de equipos, horarios de uso y su potencia (kW).

2.4.4 Selección de unidades, áreas y equipos a diagnosticar

Se solicita o realiza un diagrama unifilar, donde se identifica las unidades, áreas y equipos a evaluar en planos.

2.4.5 Planeación de los recursos y el tiempo

Se detalla la manera y los recursos que se necesitan para realizar el levantamiento de información, y se definen los horarios de visitas durante el tiempo determinado por el evaluador.

2.4.6 Revisión metrológica en los lugares claves a diagnosticar

Se establece la ubicación de mayor influencia en el uso de electricidad. Donde se realizan mediciones puntuales, para asegurar si existen ineficiencias

energéticas o desperdicios de energía, mediante una cámara termografía, detecta temperaturas o bien ganancias térmicas, de manera que, al existir un gran diferencial de temperatura de un equipo evaluado, se podrá demostrar como un potencial de ahorro. La elección de los equipos a evaluar será mediante la mayor carga que se presente en el procesamiento de datos.

2.4.7 Recopilación de información

Se recaba toda la información del análisis de operación y utilización de equipos eléctricos, así como la información estadística externa, en esta última, se considera la recopilación del historial de los costos y consumos eléctricos publicados en páginas de internet de Cfectivas, con el objeto de validar los resultados obtenidos de las simulaciones del estado actual, así como, conocer el comportamiento eléctrico [25]. La información recolectada será de un periodo de los dos últimos años más recientes de la industria a evaluar.

2.4.8 Definición de índices energéticos globales

En esta acción, se contempla 3 índices esenciales para evaluar los cambios en la eficiencia energética. Al evaluar dichos cambios, proporcionaran predicciones futuras mediante la realización de correlaciones donde se observa si una variable depende de otra variable, ya sea el caso de los índices de consumo, a través de los siguientes parámetros recolectados anteriormente.

- Energía consumida / Producción realizada
- Energía consumida / Servicios prestados
- Energía consumida / Área construida

Para índices de eficiencia se tiene lo siguiente:

- Energía teórica / Energía real
- Energía producida / Energía consumida

Para índices económico-energéticos:

- Gastos Energéticos /Gastos Totales
- Gastos energéticos/Ingresos (ventas)

- Energía total consumida/Valor de la producción total realizada (Intensidad Energética)

2.4.9 Elaboración del plan de mediciones

Se establece la secuencia del proceso de medición, las variables más importantes a medir, instrumentos, personal requerido y el tiempo estimado que tomara cada una de las actividades.

2.4.10 Mediciones en campo, recopilación y filtrado de los datos

Se ejecuta el levantamiento de toda la información disponible de la empresa, así como las mediciones puntuales realizadas anteriormente, para realizar un filtrado de los datos recolectados.

2.4.11 Procesamiento de datos y análisis de resultados

Se procesan los datos recolectados al incorporarlos en un sistema que realiza simulaciones termo energéticas del estado actual del envolvente, donde se proporciona el impacto que se obtiene de la distribución de las cargas eléctricas en el espacio a evaluar, mostrando los resultados de los ahorros potenciales a mejorar, mediante la unidad de porcentaje, se puede identificar al área que presenta mayor ganancia de calor, ya sea, la iluminación, paredes, infiltraciones, es decir, el envolvente del espacio a evaluar.

2.4.12 Determinación de posibles medidas de ahorro

Mediante las ineficiencias, despilfarros de energía eléctrica, y las mayores ganancias térmicas generadas a través de los resultados de la simulación actual, se muestra las oportunidades de establecer estrategias de mejora en el ahorro de energía eléctrica.

2.4.13 Estimación del potencial de ahorro energético y económico

Se realizan nuevas simulaciones de optimización de las posibles medidas de ahorro, mostrando nuevos resultados de consumos eléctricos, obteniendo una diferencia de los resultados del estado actual vs estado propuesto, estimando el potencial de ahorro energético. Los cuales se evalúan técnica y económicamente.

2.4.14 Definición de medidas de ahorro y proyectos de mejora de la eficiencia energética

Se establecen las mejores medidas de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, bajo el parámetro de menor tiempo en recuperar la inversión. En esta acción se realizó un análisis de resultados obtenidos mediante el estudio de la evaluación técnica y económica de las propuestas de mejora bajo el criterio de recuperar la inversión inicial, donde la estrategia que presente menor tiempo en recuperar la inversión será la estrategia más viable.

2.4.15 Elaboración y presentación del informe final del diagnóstico

Se realiza un reporte final, donde se precisa medidas de aplicación inmediata, para el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, mostrando el comportamiento actual, y el futuro sí se aplicarán las propuestas de mejora [14].

2.5 Eficiencia energética en el mundo

Algunos estudios realizados a empresas de Austria, Bélgica, y Alemania proponen al proceso de Benchmarking para la implementación de estrategias de eficiencia energética en industria manufacturera. Este proceso identifica de las mejores prácticas o procesos de otras empresas reconocidas en el mercado, a fin de realizar optimizaciones en la empresa [26]. Mediante el proceso de Benchmarking Volker establece un modelo holístico de eficiencia energética que ayude a pequeñas y medianas empresas (PYME) a incorporar la información entre los niveles de planificación, a fin de establecer oportunidades de mejora energética de la planta [27]. Sus resultados indican que el 52% de las empresas evalúan proyectos para mejorar la eficiencia energética después de su implementación, más de la mitad admite que es una ventaja competitiva gestionar indicadores energéticos.

Por otra parte, Volker menciona la participación que tienen las fuentes limpias de energía en el sector industrial, indicando que el 4% de las industrias usan generación de energía con tecnología fotovoltaica, la cual cubre el 60% de la

demanda eléctrica de dichos usuarios. Respecto del análisis de mediciones eléctricas menciona que el 52% de las industrias evalúan sus perfiles de cargas, 54% se analizan en sistemas de cómputo y 46% manualmente. El estudio recomienda compartir datos mediante tecnologías de información existentes en el mercado con los sistemas de gestión de la energía, con la finalidad de obtener valores precisos del consumo energético en tiempo real de equipos o maquinas, para planificar la operación de las mismas, en otras palabras, sugiere adecuar los Smart-Grids en la industria.

Los Smart-Grids, tienen la función de monitorear el comportamiento eléctrico de las cargas que se encuentren en una edificación. Mediante el uso de internet, se transmite información en tiempo real del flujo de energía entre el usuario y las cargas de la instalación, ayudando al usuario a disminuir no solo su consumo sí no su demanda eléctrica, al optimizar la producción y distribución de la electricidad en los diferentes horarios del día. En otras palabras, son medidores inteligentes que transmiten información en ambos sentidos, coadyuvando al usuario y la industria, a utilizar de manera racional y eficiente la energía eléctrica, disminuyendo así los costos eléctricos de su facturación [28].

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se da a conocer el proceso que se siguió para realizar la presente investigación. Se mencionan los sujetos estudiados y se describen las herramientas e instrumentos utilizados, así como la secuencia de actividades que fueron necesarias para el desarrollo de esta tesis.

3.1 Delimitación del tamaño de muestra y selección de los sujetos a estudio

En el presente documento se realizó un análisis de la eficiencia energética en el a industrias manufactureras del sector de fabricación pertenecientes al área de moldeo de plásticos en Mexicali, B. C. Para tal efecto, se utilizaron datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en donde se obtuvo lo siguiente: para el año 2016 en Mexicali se contaba con 90 industrias manufactureras con una población mayor a 250 empleados, de las cuales 78 pertenecen al giro de fabricación, a su vez, 15 incumben en el área de equipo aeroespacial, partes para vehículos automotores, válvulas metálicas y plásticos. Dichas áreas tienen en común, el moldeo de plásticos, por lo que fueron tomadas como el sujeto a estudio de la presente investigación [29].

Para obtener una muestra representativa del sector analizado, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: se contempló una población (N) de 15 empresas, de las cuales, se tiene un índice de proporcionalidad (p) de 0.95 que representa a las industrias del giro de fabricación pertenecientes al sistema tarifario de media tensión horario con aplicación de acciones de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, un nivel de confianza de 84% ($Z=1$), y una diferencia máxima con respecto a la media real de 10% ($\Delta-p$) [30]. La muestra representativa se calculó al utilizar la siguiente formula:

$$n = \frac{NZ^2p(1-p)}{Z^2p(1-p) + (\Delta-p)^2(N-1)} \quad 3.1$$

Dónde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

p = Proporción de empresas de giro de fabricación con acciones de ahorro y uso eficiente de la energía.

Z= Parámetro estadístico de nivel de confianza (tabla de distribución normal)

(Δ-p)= Diferencia con la media real.

Al sustituir las variables en la ecuación anterior, se obtiene una muestra de 4 industrias a evaluar, representando el 25% del total de las empresas dedicadas al giro de fabricación pertenecientes al área de moldeo de plástico en Mexicali, B.C.

3.2 Proceso de implementación de auditorías energéticas

Para realizar los objetivos antes mencionados fue necesario aplicar un diagnóstico energético de primer nivel. Debido, a la eficacia del proceso, al no obstruir el flujo de trabajo de empleados y de sus procesos productivos. Se determinó que es la herramienta más óptima para encontrar las oportunidades de mejora energética de la muestra analizada.

Las auditorías energéticas de primer nivel que se realizaron en los casos de estudio, se basaron exclusivamente en el uso y consumo de la energía eléctrica.

A continuación, se describen las siguientes actividades que se realizaron para obtener un diagnóstico energético:

3.2.1 Reunión inicial en la empresa.

3.2.2 Integración del grupo de trabajo.

3.2.3 Determinación de la información necesaria para el diagnóstico.

- 3.2.4 Selección de unidades, áreas y equipos a diagnosticar.
- 3.2.5 Planeación de los recursos y el tiempo.
- 3.2.6 Revisión metrológica en los lugares claves a diagnosticar. (Mediciones puntuales)
- 3.2.7 Recopilación de información.
- 3.2.8 Definición de índices energéticos globales.
- 3.2.9 Elaboración del plan de mediciones.
- 3.2.10 Mediciones en campo, recopilación y filtrado de los datos.
- 3.2.11 Procesamiento de datos y análisis de resultados. (Se utiliza el simulador termo energético)
- 3.2.12 Determinación de posibles medidas de ahorro.
- 3.2.13 Estimación del potencial de ahorro energético y económico.
- 3.2.14 Definición de medidas de ahorro y proyectos de mejora de la eficiencia energética.
- 3.2.15 Elaboración y presentación del informe final del diagnóstico [14].

3.3 Programas y herramientas utilizadas

Para obtener los resultados de la presente investigación, fue necesario el uso de programas de cómputo para el cálculo de generación energética, ganancias de calor y costos eléctricos, así como instrumentos de medición térmica.

A continuación, se mencionan y describen los programas de cómputo utilizados, así como el procedimiento que se siguió para la obtención de resultados.

3.3.1 Simulador de análisis de convección libre

Es un software que evalúa las cargas térmicas del interior del edificio debidas a la convección libre de la superficie de equipos que presentan altas temperaturas hacia el área climatizada. Este programa de cómputo fue desarrollado en la plataforma de Microsoft office Excel, bajo el nombre “Simulador para análisis de sistemas donde ocurre convección libre”, creado en el Laboratorio de Energías Renovables de la UABC, 2017.

El programa de computo opera al ingresar información referente a la temperatura de superficie del equipo, tipo y dimensiones de su geometría, y las características del fluido circundante (para el presente estudio se utilizó el aire).

Una vez agregada la información se calcula en W las ganancias de calor de cada equipo (máquina) y las guarda en una lista, dicha lista puede extenderse según la variedad de equipos existentes en el sitio analizado, por lo que al final se genera una ganancia de calor total por los equipos de superficie caliente presentes en el área climatizada. Después los resultados son procesados a otro simulador para evaluar las cargas de refrigeración que requiere el área climatizada.

El programa de computo se basa en las siguientes formulas

$$\text{Número de Rayleigh} \quad Ra_D = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{v\alpha} \quad 3.2$$

$$\text{Número de Nusselt} \quad Nu_D = 2 + \frac{0.589Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad 3.3$$

$$\text{Coeficiente de convección} \quad \bar{h} = \frac{\bar{Nu}_D \cdot k}{D} \quad 3.4$$

$$\text{Flujo de calor} \quad q_{conv} = \bar{h}A(T_s - T_\infty) \quad 3.5$$

Donde

Gr_L = número de Grashoff, Pr = número de Prandtl, g = constante gravitacional, β = coeficiente de dilatación térmica, $T_s - T_\infty$ = diferencia de temperatura entre la pared y el infinito, D = longitud característica del modelo (por ejemplo el diámetro de un cilindro o el lado de una placa), v = viscosidad cinemática, α = difusividad térmica, k = conductividad térmica del material, \bar{h} = coeficiente de convección promedio en la superficie, A = área de la superficie [31].

3.3.2 Termografía

Es una herramienta de medición puntual, que se utiliza para evaluar la temperatura de superficie de los equipos presentes en el área climatizada. La información obtenida de cada equipo fue ingresada en el programa anterior (simulador de análisis de convección libre).

Además se utilizó para un segundo programa, al validar los resultados obtenidos del simulador termo energético (el cual será explicado a continuación), mediante las comparaciones de las mediciones puntuales con respecto al levantamiento de las cargas eléctricas del sitio evaluado, así como, la detección de las ganancias de calor de la edificación.

3.3.3 Simulador termo energético

Se ingresó características constructivas, comportamientos históricos de consumo eléctrico y especificaciones de las cargas eléctricas de las industrias evaluadas a un programa de computo creado en la plataforma de Microsoft Office Excel, desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California; este programa utiliza un algoritmo determinístico que reproduce el uso de la energía utilizando un modelo matemático basado en una función periódica de Fourier que simula el comportamiento horario de la temperatura. Este sistema ha sido validado con mediciones de campo y a través de diversos proyectos e investigaciones desde 1995 a la fecha. Las funciones utilizadas por el programa para reproducir el comportamiento térmico en edificaciones se describen a continuación [32].

$$\theta(t) = \langle m \rangle + A \cos\left(\frac{2\pi t}{24}\right) + B \sin\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad 3.6$$

$$t = 1,2,3 \dots 24 \quad 3.7$$

$$\theta(t) = \frac{T_{max} - T(t)}{T_{max} - T_{min}} \quad 3.8$$

$$\langle m \rangle = \frac{\sum_{t=1}^{24} m(t)}{24} \quad 3.9$$

$$A = \frac{2}{24} \sum_{t=1}^{24} [m(t) - \langle m \rangle] \cos\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad 3.10$$

$$B = \frac{2}{24} \sum_{t=1}^{24} [m(t) - \langle m \rangle] \sin\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad 3.11$$

$$m(t) = \frac{\sum_{t=1}^{24} \sum_{n=1}^N \theta(t,n)}{N} \quad 3.12$$

Donde

n = temperaturas horarias experimentales consideradas como muestra

N = tamaño de la población de temperaturas experimentales

$\theta(t)$ = temperatura adimensional

t = horas del día

$\langle m \rangle$, A , B = coeficientes de ajuste para la función de Fourier de temperatura- hora

T_{max} = temperatura máxima en °C

T_{min} = temperatura mínima en °C

T = temperatura de referencia en °C

DH= Grado-hora

T_{ref} = temperatura del punto de ajuste

T_{ext} = temperatura de exterior

El programa incluye el método de funciones de transferencia propuesta por la Sociedad Americana de Aire Acondicionado y Refrigeración, (ASHRAE) “que adicionalmente incorpora el criterio de horas-grado para determinar la potencia de enfriamiento y la rapidez de retiro de calor de un recinto acondicionado” [33]. Dicho criterio está basado por la siguiente ecuación:

$$DH = \int_{T_{ref}}^{T_{ext}} \int_{t=1}^{24} T(t) dt dT \quad 3.13$$

Dónde:

DH= hora-grado

T_{ref} = temperatura de referencia °C

T_{ext} = temperatura exterior °C

t= Horas del día

T= temperatura de referencia en °C

El simulador tiene la función de evaluar y proporcionar los consumos eléctricos, capacidades mensuales requeridas de aire acondicionado, y ganancias de calor del envolvente ilustradas en porcentajes que representa cada fuente de calor.

A continuación, se muestran los datos que se requieren para simular el envolvente de una empresa.

DATOS DEL USUARIO		Caso 1	DATOS DEL SISTEMA DE		Ventilación (CFM)	Seleccione la tarifa vigente	
Nombre del usuario:			Área climatizada (m ²)	1050.4		3292.163	TARIFA
Dirección		EQUIPO CENTRAL		Paquete			
Teléfono		Capacidad instalada actual (ton)	45.0				
No. de medidor		Eficiencia actual (SEER) kBtu/kWh	9.68				
		Temperatura de control de termostato (°F)	65				
	Potencia de iluminación actual (Watts)	EQUIPO TIPO VENTANA O MINI SPLIT			Factor de uso del ala		
Flourescente	4176	Capacidad instalada actual (ton)	0.0		▲ 0.54		
Incandescente	0	Eficiencia actual (EER) kBtu/kWh	15		▼		
		Eficiencia nueva (SEER) kBtu/kWh					
		Eficiencia nueva (Equipo ventana) (EER) kBtu/kWh					
			Total cap. Instalada (tor)	45.0			

▶▶ Entrada de datos / Techo / Muros / Ocup_Ilum / Equipos / Casa1 / Da|| ◀

Figura 3.1. Simulador térmico-energético, entrada de datos, datos del sistema.

En la figura 3.1 se observa la información que se requiere para simular la edificación de una empresa. Es necesario ingresar al simulador el área climatizada (m^2), capacidad instalada actual (ton), eficiencia actual (SEER) kBtu/kWh, temperatura de control de termostato ($^{\circ}F$), potencia de iluminación actual (watts) si es fluorescente o incandescente, así como, el tipo de equipo de aire acondicionado (a/a) ya sea de paquete, ventana o minisplit, la ventilación (CFM), y su factor de uso del a/a.

INFORMACIÓN DE LA ENVOLVENTE									
	Longitud (m)	Altura (m)	Área de ventanas (m^2)	Área de puertas (m^2)	¿Asoleamiento directo?	¿Pared interior?	¿TIPO DE MURO?		
MURO NORTE	20.2	2.4	0.0	6.4	Si	No	1	Block de concreto pesado de 4 pulgs. sin aislar (R <= 2.0), Muro de concreto pesado de 4" sin aislar	
MURO SUR	20.2	2.4	0.0	11.4	Si	No	1	Block de concreto pesado de 4 pulgs. sin aislar (R <= 2.0), Muro de concreto pesado de 4" sin aislar	
MURO ESTE	50.5	3.7	0.0	17.6	No	Si	1	Block de concreto pesado de 4 pulgs. sin aislar (R <= 2.0), Muro de concreto pesado de 4" sin aislar	
MURO OESTE	50.5	3.7	0.0	15.5	No	Si	1	Block de concreto pesado de 4 pulgs. sin aislar (R <= 2.0), Muro de concreto pesado de 4" sin aislar	

Figura 3.2. Simulador térmico-energético, entrada de datos, información del envoltente.

En la figura 3.2 en la parte central de la pantalla se encuentra la “Información de la envoltente”, donde se vacían los siguientes datos para el muro norte, sur, este, y oeste: longitud (m), altura (m), área de ventanas (m^2), área de puertas (m^2), asoleamiento directo (si o no), pared interior (si o no), y tipo de muro.

TECHO	
¿Color oscuro o negro? (s/n)	No
¿Color aluminio? (s/n)	Si
¿Pintura reflectiva? (s/n)	Si
¿Es planta baja o intermedia? (s/n)	No
¿Película reflectiva en ventanas?	Si
¿Hay buen sellado de puertas y ventanas?	No
TIPO DE TECHO	1
TECHO DE LÁMINA DE ACERO SIN PLAFÓN Y SIN AISLAMIENTO; TECHO DE LÁMINA AISLADO, CON Y SIN PLAFÓN	
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	1
UNA SOLA PLANTA, TODOS MURROS EXTERIORES	
IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR	1
MEDICAL, B.C	
CLIMA	1
SECO	

Figura 3.3. Simulador térmico-energético, entrada de datos, información de techo, construcción, lugar y clima.

En la figura 3.3 se presenta la información requerida sobre el techo, construcción, identificación del lugar, y clima. Respecto al techo, es necesario determinar el color oscuro o negro, uso de pintura reflectiva, niveles de construcción, entre otras. En cuanto al tipo de construcción se debe establecer si es una sola planta, los muros exteriores, identificación del lugar y tipo de clima.

	CONSUMO ACTUAL (kWh)	Demanda (kW)
Enero	40560	10
Febrero	42928	10
Marzo	43312	10
Abril	56576	10
Mayo	64256	10
Junio	93600	10
Julio	107440	10
Agosto	112288	10
Septiembre	90048	10
Octubre	70704	10
Noviembre	58592	10
Diciembre	52944	10

Figura 3.4. Simulador térmico-energético, entrada de datos, información del consumo actual (kWh).

La figura 3.4 se muestra la tabla del consumo eléctrico actual (kWh) en la cual se ingresa información del consumo de la empresa evaluada durante un año. Para tal efecto, se usan los recibos de la compañía eléctrica suministradora cuyos datos se vacían en las celdas correspondientes.

Características del techo

Material principal

- Vigueta y bovedilla de 12.5 cm (5 pulg)
- Vigueta y bovedilla de 15 cm (6 pulg)
- Vigueta y bovedilla de 17.5 cm (7 pulg)
- Vigueta y bovedilla de 20 cm (8 pulg)
- Losa de concreto de 5 cm (2 pulg)
- Losa de concreto de 10 cm (4 pulg)
- Madera de 2.5 cm o 3 cm (1 o 1.5 pulg)
- Metal o lámina metálica
- Tridipanel 3 pulg
- Tridipanel 5 pulg

Condiciones y materiales adicionales

- Sin aislar
- Con aislamiento interno o externo
- Cartón arenado
- Loseta de arcilla
- Rasilla mortero de 2.5 cm (1 pulg)
- Hoja de yeso de 1/2 pulg
- Espacio de aire en plafón
- Acabado interior mortero 1/2 pulg
- Acabado interior de yeso de 1/2 cm
- Pedacería de piedra

Tipo de aislamiento

- Poliestireno
- Poliuretano
- Fibra de vidrio R9
- Fibra de vidrio R11
- Fibra de vidrio R13
- Fibra de vidrio R15
- Fibra de vidrio R19
- Fibra de vidrio R>19

Esesor del aislamiento de poliestireno o poliuretano

2.5 cm (1 pulg)

trada de datos | Techo | Muros | Ocup_Ilum | Equipos | Casa1 | Dal |

Figura 3.5. Simulador térmico-energético, techo, características de techo.

Posteriormente, se describe las características del techo mediante la selección de las opciones de material principal, condiciones y materiales adicionales, y tipo y espesor de aislamiento. En la figura 3.5 muestra como estos resultados se compilan en un solo cuadro, donde se genera una síntesis de las peculiaridades del techo, para después calcular la resistencia térmica (representada en °F ft² h/Btu) que se muestra en la figura 3.6.

Material techo	
Resistencia externa	Si
Resistencia interna	Si
Losa de concreto	No
Madera	No
Vigueta y bovedilla	No
Tridipanel	No
Lámina metálica	Si
Aislamiento interno o externo	No
Cartón arenado	No
Loseta de arcilla de 1 pulg	No
Rasilla de 1 pulg	No
Hoja de yeso	Si
Espacio de aire en plafón	Si
Acabado interior de 1/2 pulg	No
Acabado de yeso	No
Pedacería de piedra	No
R total	2.14 (°F ft ² h/Btu)

Figura 3.6. Simulador térmico-energético, techo, resistencia térmica del techo.

Posteriormente se seleccionan materiales, espesor, y tipo de aislamiento de todos los muros de la envolvente a evaluar como se muestra figura 3.7. Los resultados de las características de los muros son resumidos en una tabla donde se calculan las resistencias térmicas totales (°F ft² h/Btu), las cuales se muestran en la figura 3.8.

MURO

NORTE	SUR	ESTE	OESTE
material principal <input type="radio"/> concreto <input type="radio"/> concreto ligero <input checked="" type="radio"/> Block concreto <input type="radio"/> Ladrillo <input type="radio"/> Tridipanel <input type="radio"/> Adobe <input type="radio"/> Madera <input type="radio"/> Metal 10 cm (4pulg)	material principal <input type="radio"/> concreto <input type="radio"/> concreto ligero <input checked="" type="radio"/> Block concreto <input type="radio"/> Ladrillo <input type="radio"/> Tridipanel <input type="radio"/> Adobe <input type="radio"/> Madera <input type="radio"/> Metal 10 cm (4pulg)	material principal <input type="radio"/> concreto <input type="radio"/> Concreto ligero <input checked="" type="radio"/> Block concreto <input type="radio"/> Ladrillo <input type="radio"/> Tridipanel <input type="radio"/> Adobe <input type="radio"/> Madera <input type="radio"/> Metal 10 cm (4pulg)	material principal <input type="radio"/> concreto <input type="radio"/> Concreto ligero <input checked="" type="radio"/> Block concreto <input type="radio"/> Ladrillo <input type="radio"/> Tridipanel <input type="radio"/> Adobe <input type="radio"/> Madera <input type="radio"/> Metal 10 cm (4pulg)
Material principal Block de concreto Otros materiales <input checked="" type="checkbox"/> Sin aislar <input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento interno o externo <input checked="" type="checkbox"/> Acabado interior <input checked="" type="checkbox"/> Acabado exterior <input type="checkbox"/> Acabado ladrillo <input type="checkbox"/> Hoja de yeso <input type="checkbox"/> Madera Tipo aislamiento <input checked="" type="radio"/> Poliestireno <input type="radio"/> Poliuretano <input type="radio"/> Fibra de vidrio R11 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R13 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R17 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R19	Material principal Block de concreto Otros materiales <input checked="" type="checkbox"/> Sin aislar <input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento interno o externo <input checked="" type="checkbox"/> Acabado interior <input checked="" type="checkbox"/> Acabado exterior <input type="checkbox"/> Acabado ladrillo <input type="checkbox"/> Hoja de yeso <input type="checkbox"/> Madera Tipo aislamiento <input checked="" type="radio"/> Poliestireno <input type="radio"/> Poliuretano <input type="radio"/> Fibra de vidrio R11 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R13 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R17 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R19	Material principal Block de concreto Otros materiales <input checked="" type="checkbox"/> Sin aislar <input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento interno o externo <input checked="" type="checkbox"/> Acabado interior <input checked="" type="checkbox"/> Acabado exterior <input type="checkbox"/> Acabado ladrillo <input type="checkbox"/> Hoja de yeso <input type="checkbox"/> Madera Tipo aislamiento <input checked="" type="radio"/> Poliestireno <input type="radio"/> Poliuretano <input type="radio"/> Fibra de vidrio R11 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R13 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R17 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R19	Material principal Block de concreto Otros materiales <input checked="" type="checkbox"/> Sin aislar <input checked="" type="checkbox"/> Aislamiento interno o externo <input checked="" type="checkbox"/> Acabado interior <input checked="" type="checkbox"/> Acabado exterior <input type="checkbox"/> Acabado ladrillo <input type="checkbox"/> Hoja de yeso <input type="checkbox"/> Madera Tipo aislamiento <input checked="" type="radio"/> Poliestireno <input type="radio"/> Poliuretano <input type="radio"/> Fibra de vidrio R11 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R13 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R17 <input type="radio"/> Fibra de vidrio R19
5 cm (2 pulg)	5 cm (2 pulg)	5 cm (2 pulg)	5 cm (2 pulg)

Figura 3.7. Simulador térmico-energético, muro.

	NORTE		SUR		ESTE		OESTE	
Resistencia externa	Si	Resistencia externa	Si	Resistencia externa	Si	Resistencia externa	Si	
Resistencia interna	Si	Resistencia interna	Si	Resistencia interna	Si	Resistencia interna	Si	
Block concreto de	Si	Block concreto de	Si	Block concreto de	Si	Block concreto de	Si	
Aislamiento interno o externo	No	Aislamiento interno o externo	No	Aislamiento interno o externo	No	Aislamiento interno o externo	No	
Acabado interior	Si	Acabado interior	Si	Acabado interior	Si	Acabado interior	Si	
Acabado exterior	Si	Acabado exterior	Si	Acabado exterior	Si	Acabado exterior	Si	
Acabado ladrillo	No	Acabado ladrillo	No	Acabado ladrillo	No	Acabado ladrillo	No	
Hoja de yeso	No	Hoja de yeso	No	Hoja de yeso	No	Hoja de yeso	No	
Madera	No	Madera	No	Madera	No	Madera	No	
R	1.915	1.915	1.915	1.915	1.915	1.915	1.915	
(°F ft ² h/Btu)								

Figura 3.8. Simulador térmico-energético, síntesis de resistencias de los muros.

	OCUPACIÓN	ILUMINACIÓN
Hora	Personas	% usado
1	67	100%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	0	0%
6	67	100%
7	67	100%
8	67	100%
9	67	100%
10	67	100%
11	67	100%
12	67	100%
13	67	100%
14	67	100%
15	67	100%
16	67	100%
17	67	100%
18	67	100%
19	67	100%
20	67	100%
21	67	100%
22	67	100%
23	67	100%
24	67	100%

Entrada de datos / Techo / Muros / Ocup Ilum / Equipos

Figura 3.9. Simulador térmico-energético, ocupación de iluminación.

En figura 3.9 se muestra la tabla en donde se ingresa la información del porcentaje utilizado en iluminación por ocupación de personas por hora. Por ejemplo, en la figura se describe que 67 personas utilizan el 100% de iluminación durante las 6 am hasta la 1am.

Anotar la cantidad de equipos presentes en el espacio climatizado y los equipos en los espacios no climatizados.
Anotar, para cada hora del día: 0 si no opera, 1 si trabaja.

Cantidad→	Ventilador pedestal	Ventilador de techo	Refrigerador 21 R3 usado	Refrigerador 18 R3 usado	Refrigerador mediano (13-15 R3) nuevo	Refrigerador chico usado	Refrigerador 21 R3 nuevo	Refrigerador 18 R3 nuevo	Refrigerador mediano (13-15R3) nuevo	Refrigerador chico nuevo	TV Plasma 43-50 pulg	TV color 32-43 pulg	TV color 24-29 pulg	TV color 19-21 pulg	Impresora color	Secadora de pelo	Planchador
1	1					1	1										1
2	0					1	1										1
3	0					1	1										1
4	0					1	1										1
5	0					1	1										1
6	1					1	1										1
7	2					1	1										1
8	1					1	1										1
9	1					1	1										1
10	1					1	1										1
11	1					1	1										1
12	1					1	1										1
13	1					1	1										1
14	1					1	1										1
15	1					1	1										1
16	1					1	1										1
17	1					1	1										1
18	1					1	1										1
19	1					1	1										1
20	1					1	1										1
21	1					1	1										1
22	1					1	1										1
23	1					1	1										1
24	1					1	1										1
25	1					1	1										1
26	1					1	1										1
27	1					1	1										1
28	1					1	1										1
29	1					1	1										1
30	1					1	1										1

Entrada de datos / Techo / Muros / Ocup Ilum / Equipos / Casa1 / Da|

Figura 3.10. Simulador térmico-energético, equipos.

Las cargas eléctricas se ingresan como se muestra en la figura 3.10. En la imagen se observa que mediante una tabla se deben de declarar el tipo de equipo, cantidad y horas de operación de las cargas eléctricas utilizadas en una edificación. Posteriormente se establecen las potencias en unidades de Watts de cada equipo y su factor de uso, dichas potencias son procesadas por el simulador para obtener la demanda máxima coincidente. Lo anterior es descrito en la tabla de la figura 3.11.

36	A-EQUIPO		Potencia																	
37	DESCRIPCION	CANT	W	S-Bulb	L-Bulb	FACTOR	TOTAL	1	2											
38	Ventilador pedestal	7	1500	3072		0.6	430038	21502	0	0										
39	Ventilador de techo	0	100	341		1.0	0	0	0	0										
40	Refrigerador 21ft3 usado	0	500	853		0.5	0	0	0	0										
41	Refrigerador 18 ft3 usado	0	400	478		0.4	0	0	0	0										
42	Refrigerador mediano (13-15 ft3) r	0	350	478		0.4	0	0	0	0										
43	Refrigerador chico usado	0	300	512		0.5	0	0	0	0										
44	Refrigerador 21ft3 nuevo	0	375	394		0.3	0	0	0	0										
45	Refrigerador 18 ft3 nuevo	0	350	418		0.4	0	0	0	0										
46	Refrigerador mediano (13-15ft3) n	0	290	297		0.3	0	0	0	0										
47	Refrigerador chico nuevo	0	128	131		0.3	0	0	0	0										
48	TV Plasma 43-50 pulg	0	350	1195		1.0	0	0	0	0										
49	TV color 32-43 pulg	0	160	549		1.0	0	0	0	0										
50	tv color 24-29 pulg	0	120	410		1.0	0	0	0	0										
51	TV color 19-21 pulg	0	90	307		1.0	0	0	0	0										
52	Impresora color	0	100	341		1.0	0	0	0	0										
53	Secadora de pelo	0	500	137		0.1	0	0	0	0										
54	Plancha de pelo	0	105	109		0.3	0	0	0	0										
55	Motor 3	1	6000	10239		0.5	204760	10239	0	0										
56	Motor 2	4	8740	5366		0.2	501138	23864	0	23864										
57	Motor 1	2	750	512		0.2	20478	1024	0	0										
58	Enfriador de agua	1	550	94		0.1	2253	94	0	94										
59	Pistola de calor	14	2000	6626		1.0	153267	7363	0	0										
60	Caletera	0	750	788		0.3	0	0	0	0										
61	minibar	0	100	102		0.3	0	0	0	0										
62	Laptop	0	300	512		0.5	0	0	0	0										
63	servidores	0	300	1024		1.0	0	0	0	0										
64	Computadora	2	50	34		0.2	1365	68	0	0										
65	Impresora	1	30	31		0.1	25	0	0	0										
66	enfriador de agua	0	100	102		0.3	0	0	0	0										
67	Motor 2	0	1200	2047.8		0.5	0	0	0	0										
68	Motor 3	0				1.0	0	0	0	0										
69	Motor 4	0				1.0	0	0	0	0										
70	Motor 5	0				1.0	0	0	0	0										
71	Motor 6	0				1.0	0	0	0	0										
72	TOTAL							64754		23958										
73			26648	38265	0	19	1319343	64754		23958										
74																				
75																				

Figura 3.11. Simulador térmico-energético, equipo, descripción de potencia del equipo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2	CARGAS DE ENFRIAMIENTO											Correr simulación			
3		E	DEC	A	B	C	AÑO	promedio	JUNIO						
4	MAYO	-3.3	20	350.7	0.177	0.13	DIA	1	4	7	10	14	17	21	24
5	JUNIO	-1.4	23.45	346.3	0.185	0.137	TMAX	101.9	99.2	100.0	98.4	105.2	104.9	105.9	105.8
6	JULIO	-6.2	20.6	346.6	0.186	0.138	TMIN	74.2	71.5	72.7	70.8	74.5	76.9	77.8	79.3
7	AGOSTO	-2.4	12.3	351	0.182	0.134									
8	SEPT	7.5	0	360.2	0.165	0.121									
9	OCT	15.4	-10.5	369.7	0.152	0.111									
10	NOV	13.8	-19.8	377.3	0.142	0.106									
11	VALOR	-2.4	12.3	351	0.182	0.134									
12	AÑO														
13	Ciudad:	MEXICALI													
14		31	1	4	7	10	14	17	21	24	28	30	1	4	
15	TMAX	106.1	101.9	99.2	100.0	98.4	105.2	104.9	105.9	105.8	106.4	110.1	105.1	108.7	105.8
16	TMIN	82.1	74.2	71.5	72.7	70.8	74.5	76.9	77.8	79.3	79.4	81.6	83.0	83.0	83.9
17	TOTAL	726.9	649.2	608.4	623.9	597.3	676.4	692.0	705.6	716.1	721.5	765.5	726.0	751.8	737.9
18	MAXIMO	483027	452093.8	431594.7	438700.4	426022.9	471363.8	473660.5	480662.0	482701.0	486423.8	511306.4	478872.0	498702.3	484374.
19	HORA														
20	1	300710	250890	230474	238684	224948	260433	272145	278828	286335	288348	308326	302859	310923	309183
21	2	253216	201026	180653	189044	175143	208868	222196	228814	237265	238977	258071	256461	262463	262921
22	3	240225	106340	174007	182422	180410	204770	216220	222005	222076	222557	254067	253220	257740	250089

Figura 3.12. Simulador térmico-energético, SCR4w, corrida de simulación.

Una vez ingresada toda la información recolectada de la edificación en el simulador se calcula el comportamiento térmico y eléctrico mediante un proceso iterativo que considera las condiciones climáticas de la región y las características de uso eléctrico. El proceso se efectúa al presionar el botón “Correr simulación” como se muestra en la figura 3.12.

Los resultados que genera el simulador se muestran a continuación.

SALIDA DE RESULTADOS				
Tarifa	1F			
Capacidad requerida de enfriamiento (ton)	42.6	Cap. actual (ton)	45.0	Demanda A/A
Demanda máxima (kW)	78.93	SEER =	9.68	55.78512397
Contribución individual:	tonh	%	% uso A/A	Equipos
Techo	421.9	58.0%	54%	18.97364
Norte	15.1	2.1%		Iluminacion
Sur	14.8	2.0%		4.176
Este	0.0	0.0%		
Oeste	0.0	0.0%		
Ventanas, ptas.	14.2	2.0%		
Iluminación	28.5	3.9%		
Ocupación	50.4	6.9%		
Infiltración	181.9	25.0%		
TOTAL	726.9	100.0%		

Resultados Comparativos Tarifa 1 Tarifa 1F (2) Tarifa 1F Tarifa 1E Tarifa 2 Tarifa 3

Figura 3.13. Simulador térmico-energético, resultados.

En la figura 3.13 se muestran los resultados obtenidos del simulador térmico-energético, respecto a la capacidad actual y requerida de enfriamiento (ton), la demanda máxima (kW) y la contribución individual del porcentaje (%) de ganancias de calor en el techo, muros, ventanas, puertas, iluminación, ocupación e infiltración. Además, se calcula la demanda del aire acondicionado, equipos e iluminación.

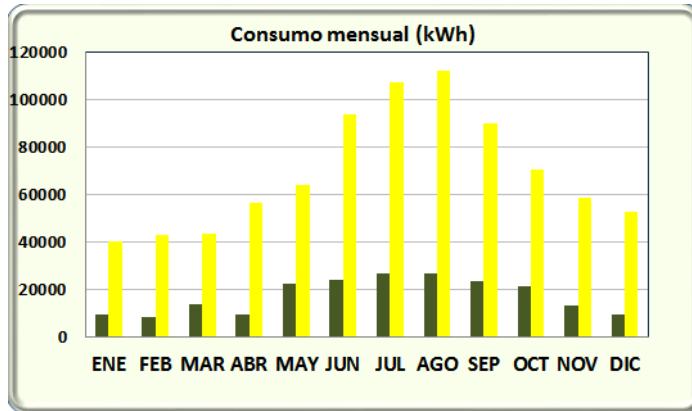


Figura 3.14. Simulador térmico-energético, resultados, consumo real vs calculado (kWh).

Una vez terminado el proceso de simulación se comparan los consumos eléctricos tomados del recibo de CFE (consumos reales) respecto a los consumos calculados por el simulador. Para efectos de validez los resultados de esta investigación están en función de la precisión del simulador y de los datos proporcionados en la entrevista que se llevó a cabo durante los diagnósticos energéticos por los usuarios analizados. En la figura 3.14, se ilustran los consumos medidos por CFE en barras de color amarillo y los consumos calculados en barras de color verde.

FACTURACIÓN	
MES	kWh (calc)
ENE	9588
FEB	8660
MAR	13993
ABR	9279
MAY	22490
JUN	23908
JUL	26764
AGO	26635
SEP	23721
OCT	21295
NOV	13120
DIC	9588
Total anual	209042
Total verano	144813
Total invierno	64229

Resultados Comparativos Tarifa 1

Figura 3.15. Simulador térmico-energético, resultados, facturación del consumo mensual (kWh).

En la figura 3.15 se presenta la tabla con los resultados del procesamiento de las cargas eléctricas del simulador, donde se muestran los consumos mensuales, los cuales representan un insumo para el programa “Esquema tarifario HM y GDMTH”.

MES	Ton sin ocupacion	Ton requeridas reales
ENE	0	0
FEB	0	0
MAR	23	29
ABR	27	33
MAY	32	38
JUN	37	43
JUL	37	43
AGO	37	43
SEP	36	42
OCT	31	37
NOV	23	29
DIC	0	0

Resultados Comparativos Tarifa 1 Tarifa 1F (2) Tarifa 1F

Figura 3.16. Simulador térmico-energético, resultados, capacidad requerida mensual de A/A (ton).

En la figura 3.16 se presenta la tabla de resultados que muestra de manera mensual la capacidad de aire acondicionado que se requiere para satisfacer las condiciones de confort térmico en la edificación. Esta información ayuda a establecer una estrategia de optimización de uso eléctrico que se considerará en esta investigación.

3.3.4 System Advisor Model (SAM)

Es un software especializado que determina la energía eléctrica generada por sistemas fotovoltaicos. Este simulador fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) en los Estados Unidos, en colaboración con los Laboratorios Nacional Sandia (Sandia National Laboratories), y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), bajo el Programa de Tecnologías de Energía Solar [34].

El sistema evalúa el rendimiento de las tecnologías de energía renovable con el fin de simular su comportamiento energético y económico. El acceso al software es asequible al público en general.

El programa de cómputo requiere de la calidad y severidad de la información que le proporcione el usuario sobre la ubicación del proyecto, tipo de equipo de sistema, costo de instalación, funcionamiento del sistema, y suposiciones financieras y de incentivos para obtener resultados útiles y precisos.

SAM puede diferenciar las distintas simulaciones generando varios casos en un solo archivo, es decir, se puede comparar los ahorros de un sistema fotovoltaico y un sistema de biomasa para una misma ubicación. Sin embargo, SAM no puede simular sistemas híbridos en un solo caso, por ejemplo, un proyecto que combine en su conjunto un sistema eólico y fotovoltaico.

Dicho programa contiene las siguientes tecnologías de modelos de rendimiento:

- Sistemas fotovoltaicos (placas planas y de concentración),
- Modelo de almacenamiento de batería para sistemas fotovoltaicos
- Canal parabólico de concentración solar,
- Torre de concentración de energía solar (sales fundidas y vapor directo),
- Lineal Fresnel, sistemas de concentración de energía solar,
- Disco-Stirling que concentra la energía solar,
- Sistemas térmicos convencionales de combustibles fósiles,
- Calentamiento de agua solar para edificios residenciales o comerciales,
- Grandes y pequeños proyectos de energía eólica,
- Energía geotérmica y coproducción geotérmica,
- Energía de biomasa.

En esta investigación se utiliza el programa SAM para analizar sistemas fotovoltaicos con diferentes ángulos de inclinación (siendo los ángulos de 0°, 16°, 32°, y 48°), y distintas posiciones de orientación de estructura con respecto a la captación solar de un módulo (contemplando una estructura fija, de 1 eje y 2 ejes); con el fin de utilizar solo la generación de energía eléctrica sin considerar aspectos financieros. Así mismo, se evaluaron dos clases de módulos FV (Canadian Solar CS6P-270P y SolarWorld SW255 POLY), y dos microinversores (Enphase Energy Inc.: M215-60-2LL-S2x-IG [240V] 240V [CEC 2018] y SMA AMERICA: SB 240-US-10 [240V] 240V [CEC 2018]). Además de considerar, que el simulador contempla automáticamente las pérdidas que se genera por efecto de la radiación difusa, y reflejada.

Los resultados de SAM son exportados al programa “Esquema tarifario HM y GDMTH”, para obtener una evaluación económica de los sistemas fotovoltaicos.

A continuación, se detalla el procedimiento que esta investigación para operar el simulador SAM.

3.3.4.1 Procedimiento para el uso del software SAM.

1. Descargar el programa e instalar la aplicación en la PC.
2. Se abre la aplicación e inicia un nuevo proyecto (**Start a new project**). Se puede observar en la figura 3.17.

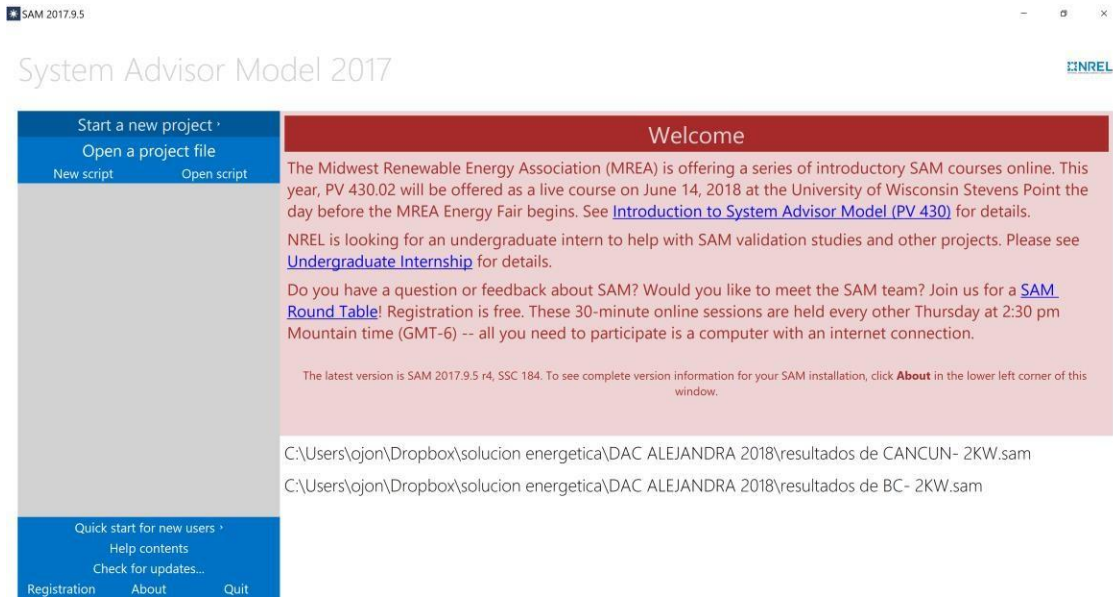


Figura 3.17. Inicio de proyecto. SAM.

3. Se selecciona la tecnología renovable que se desea utilizar, para dicho estudio se elige el modelo fotovoltaico detallado (**Photovoltaic [detailed]**), a su vez, se escoge el modelo financiero comercial distribuido (**Commercial [distributed]**). En la siguiente figura se muestra lo descrito.

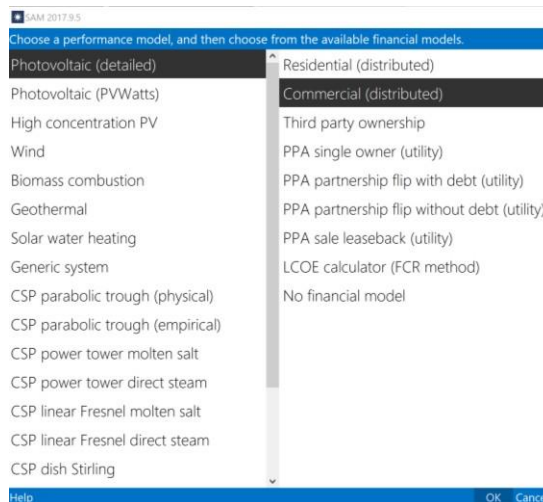


Figura 3.18. Elección del modelo de rendimiento y financiamiento. SAM.

4. Después en el apartado de ubicación y recursos (**Location and resource**), se eligen los datos climatológicos correspondientes al lugar requerido, ya sea, por medio de la selección de archivos ya existentes en la base de datos del programa, agregar archivos con formato TM2, EPW, CSV, TMY3, ó colocar la ubicación exacta del lugar en coordenadas geográficas. En el caso de México, los archivos existentes en la base de datos corresponden a las ciudades de Estados Unidos, por ello, es necesario ingresar las coordenadas geográficas.

Para elegir el archivo climatológico descargado por NSRDB (National Solar Radiation Database) de NREL para un año estadísticamente típico (TMY), o un solo año (single year). Se selecciona, solo un año o TMY para América y Asia.. (**TMY or Single year for Americas and Asia**), después aparece una ventana emergente, en la cual, se posiciona el cursor en encontrar localización (**Find location**), para añadir las coordenadas geográficas del lugar a evaluar, colocando la latitud y longitud de la siguiente manera: en el caso de la ciudad de Mexicali tiene una latitud de 32° 40' Norte y una longitud de 115° 28' 10" Oeste como se puede apreciar en la parte inferior de la figura 3.19, sin embargo, la forma correcta de colocarse en el programa es "32.40, -115.28". El símbolo negativo se debe a la orientación en el plano cartesiano donde la longitud le corresponde a las "x" y la latitud a las "y".

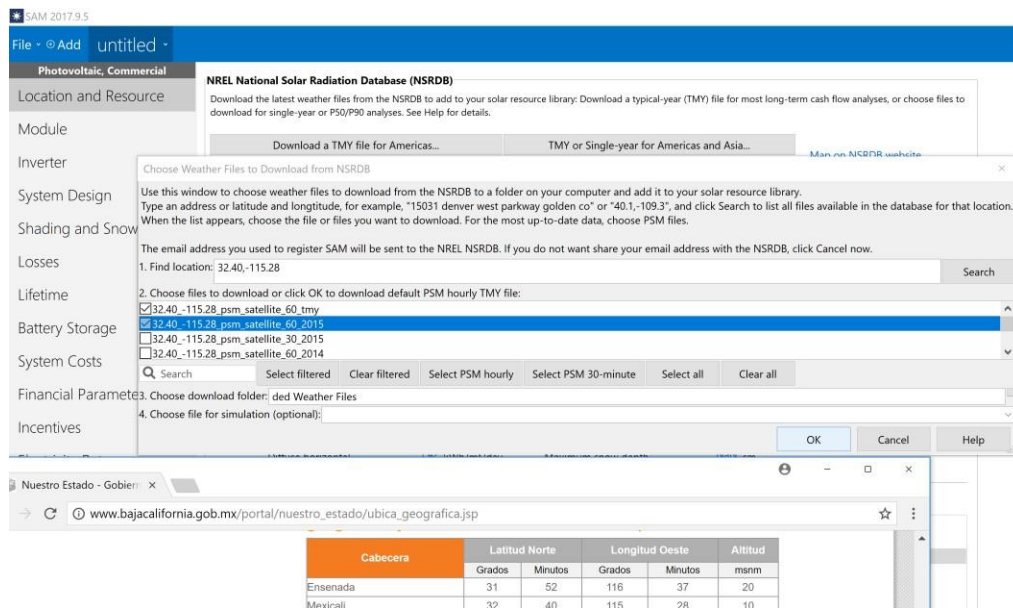


Figura 3.19. Localización y recursos, parte 1. SAM.

5. En la siguiente figura 3.20 se localiza los archivos en biblioteca (**Files in Library**), donde se elige el archivo meteorológico semejante a la ciudad evaluada. Por ejemplo, la elevación (elevation) del archivo anteriormente seleccionado fue de 32 msnm (metros sobre el nivel del mar); sin embargo, en la parte inferior de la figura 3.19 se muestra una altitud de 10 msnm, esta diferencia provoca ligeros cambios en las proyecciones de generación fotovoltaica. En base a dichos hechos, se puede optimizar el proceso al realizar el paso 4 nuevamente cambiando minuciosamente los minutos de la ubicación geográfica del sitio. También, es recomendable contrastar otras variables como la radiación global y horizontal, y temperatura promedio.

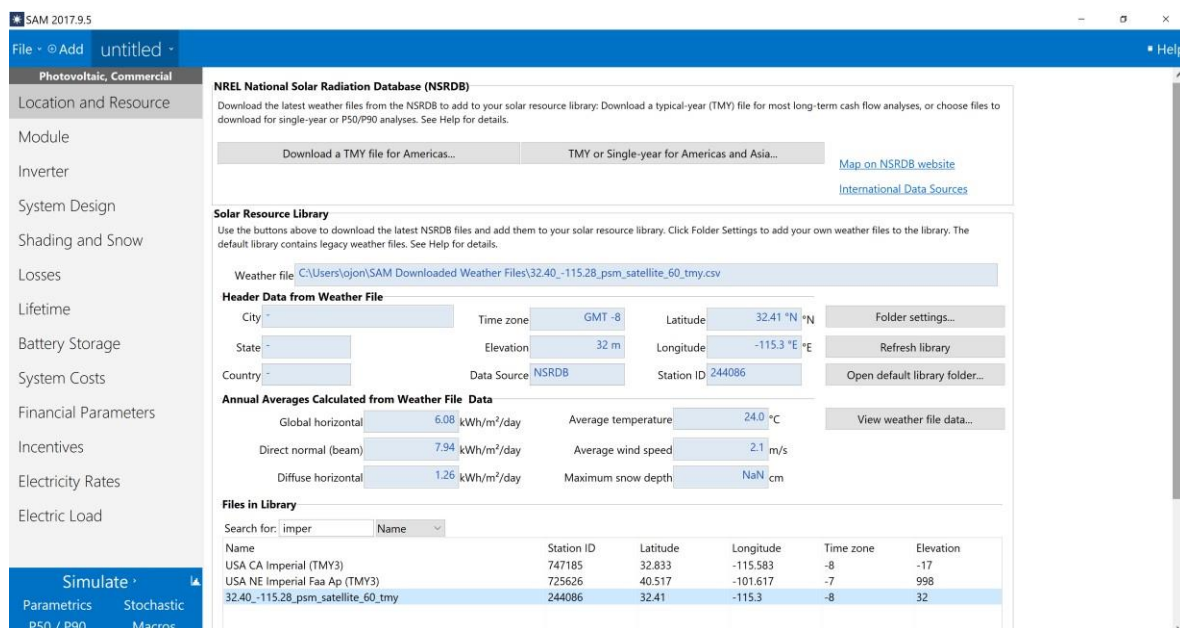


Figura 3.20. Localización y recursos, parte 2. SAM.

6. En el apartado posterior, se muestra los módulos (**Module**), una vez posicionado, se elige el modelo de rendimiento CEC (California Energy Commission) con la base de datos del módulo (**CEC performance model with module database**). Dicha elección le facilita al usuario, al mostrar los parámetros y especificaciones técnicas de cada módulo seleccionado de la base de datos existentes. En la siguiente figura se muestra lo mencionado.

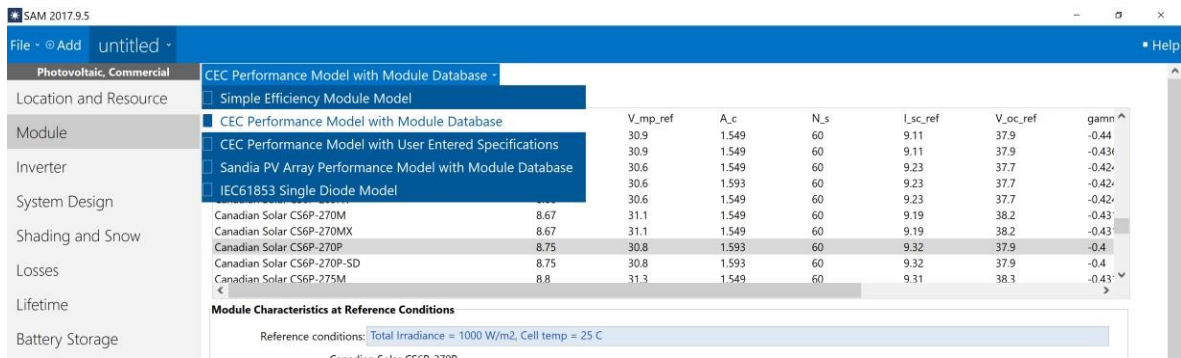


Figura 3.21. Modelo de funcionamiento CEC con la base de datos del módulo. SAM.

Después, el usuario selecciona el módulo requerido. Para la presente investigación se eligió los siguientes módulos comerciales: SolarWorld SW255 POLY y Canadian Solar CS6P-270P, este último proyecta una eficiencia del 16.9%, irradiancia total de 1,000 W/ m², temperatura de celda de 25 °C, potencia máxima de 269.5 W, voltaje máximo de 30.8 V, corriente máxima de 8.8 A, voltaje de circuito abierto de 37.9 V, y una corriente de corto circuito de 9.3 A. Como se muestra en la siguiente figura 3.22.

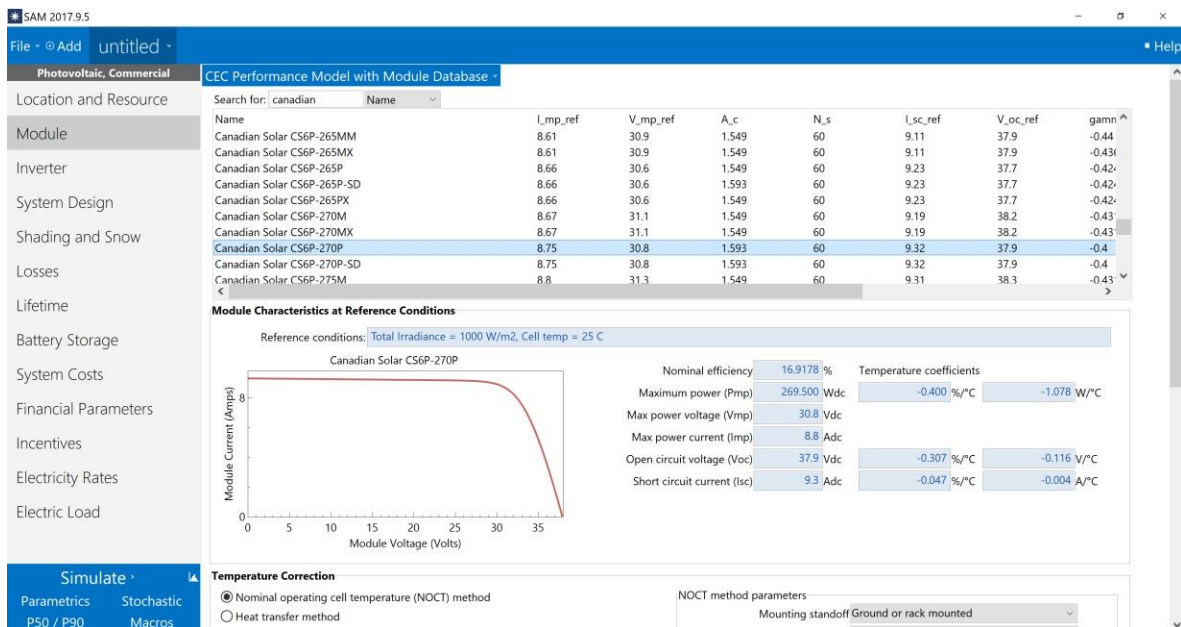


Figura 3.22. Características del módulo seleccionado. SAM.

7. En el siguiente apartado, se muestra el inversor (**Inverter**), una vez colocado, se elige en la parte superior de la pantalla, la base de datos CEC del inversor (**Inverter CEC Database**), el cual presenta las características de varios modelos de inversores. En la figura 3.23 se exhibe lo comentado.

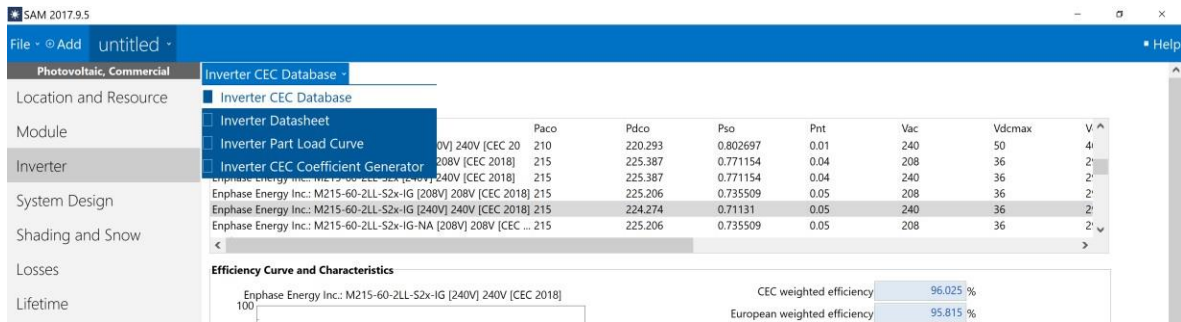


Figura 3.23. Base de datos CEC del inversor. SAM.

A continuación, se elige el inversor requerido. Para tal efecto, se evaluaron los siguientes modelos comerciales de inversores, Enphase Energy Inc.: M215-60-2LL-S2x-IG [240V] 240V [CEC 2018], y SMA AMERICA: SB 240-US-10 [240V] 240V [CEC 2018]. Cabe mencionar que, cualquier modelo de inversor deberá ser compatible a la potencia que se desea instalar. La figura 3.24 se muestra lo mencionado.

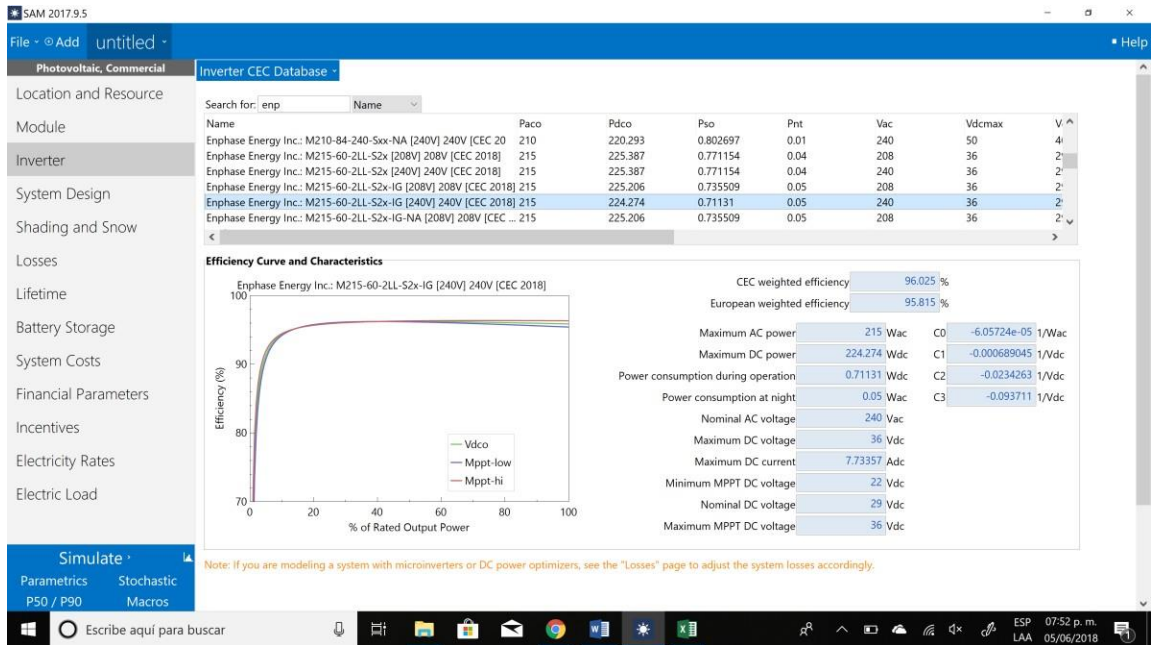


Figura 3.24. Características del modelo del inversor seleccionado en la base de datos del software. SAM.

8. En el apartado de diseño de sistema (**System Design**), donde se localiza el tamaño de sistema (**System Sizing**), se elige la opción de especificar módulos e inversores, (**specify modules and inverters**) donde el usuario realiza su propio arreglo, mediante las siguientes características: número de módulos por rama (**Modules per string**), número de cadenas en paralelo (**Strings in parallel**) y el número de inversores (**Number of inverters**). El diseño del sistema dependerá de las especificaciones técnicas del módulo e inversor seleccionado anteriormente. Dichas características se muestran en la configuración de condiciones de referencia (**Configuration at reference conditions**).

Al finalizar el diseño se revisa que el diseño no presente algún error en el dimensionamiento, por lo que es necesario observar en el cuadro azul del lado derecho de la pantalla los mensajes de dimensionamiento (**Sizing message [see Help for details]**), donde se detallan las inconsistencias. Se debe tener en cuenta que gran parte de los errores ocurren por las diferencias en cantidades de capacidades de módulos e inversores. En la figura 3.25 se ilustra lo mencionado.

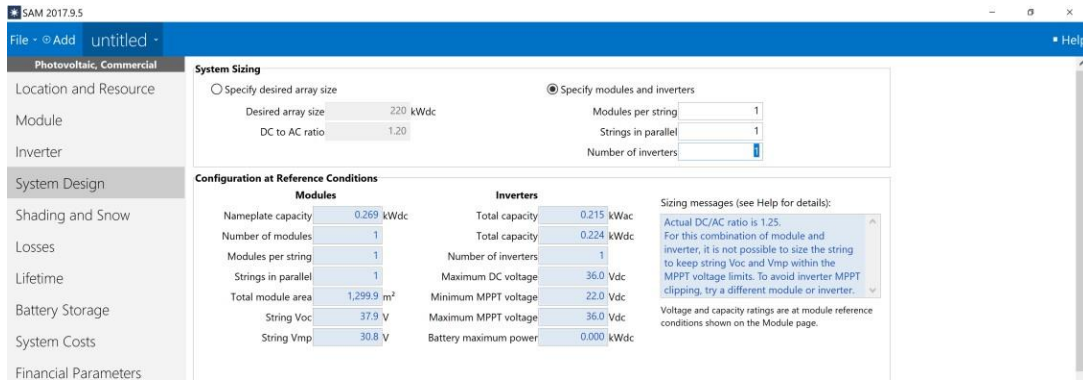


Figura 3.25. Especificar el número de inversores y módulos del sistema a diseñar. SAM.

Posteriormente, se determina la orientación y el seguimiento de los módulos FV. (**Tracking & orientation**), a su vez, se define la posición de su estructura. Para tal efecto, se selecciona lo siguiente: sistema fijo (**Fixed**), de 1 eje (**1 Axis**), es decir, de norte a sur ó de derecha a izquierda, y de 2 ejes (**2 Axis**). Para un sistema fijo es necesario detallar el ángulo de inclinación (**Tilt**) (en grados), la azimut (**Azimuth**), y la proporción de cobertura de suelo (**ground coverage ratio**). Por otra parte, los ángulos de inclinación utilizados en la presente investigación fueron los siguientes: 0°, 16°, 32°, y 48°, y una azimut igual a 180°, lo cual representa al sur. Lo descrito se puede observar en la siguiente figura 3.26.

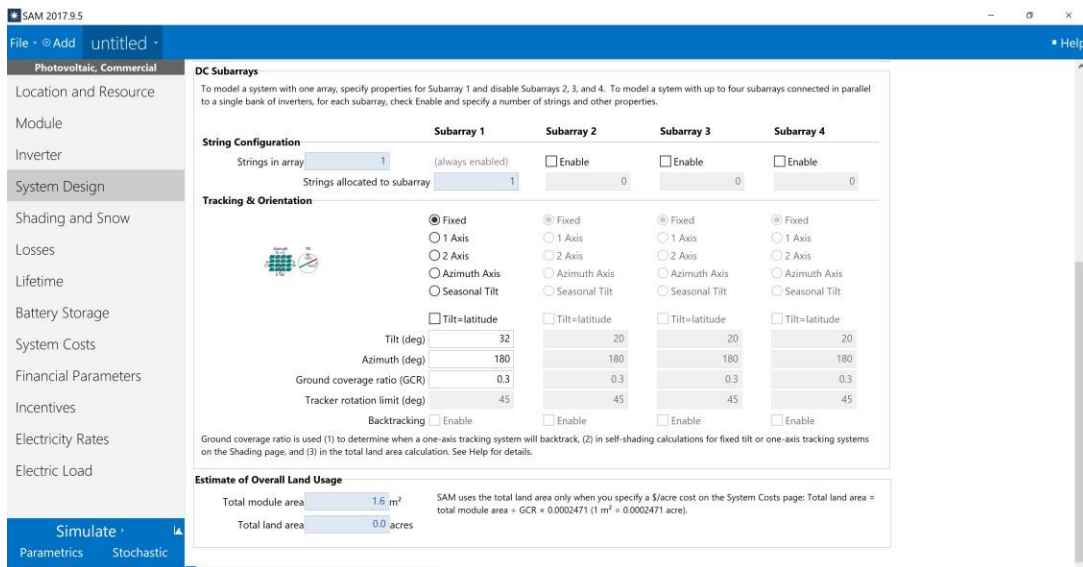


Figura 3.26. Orientación y seguimiento de los módulos fotovoltaicos. SAM.

9. Una vez ingresada la información mencionada anteriormente se realiza la simulación (**Simulate**), para obtener resultados. Es necesario mencionar al usuario, de otras variables que ofrece el simulador SAM, las cuales se encuentran en los apartados restantes. Estas variables dependen de la especificación que le otorgue el usuario. Por ejemplo, se puede definir deficiencias por perdidas en cableado, modulo, e inversor. Asi mismo, especificar sombras externas y nevado, parámetros financieros, costos del sistema, incentivos, tarifas de electricidad, carga eléctrica, y batería de almacenamiento. Todo caso dependerá de lo requerido por el usuario.
10. Finalmente se procesa los resultados mediante tablas y gráficas, las cuales pueden ser personalizadas por el usuario. De tal manera que, para fines de la presente investigación, se requirió lo siguiente; del apartado de tabla de datos (**Data tables**), se selecciona en datos horarios (**Hourly Data**) la electricidad del sistema para la carga (**Electricity from system to load**), después se elige enviar a Excel (**Send to Excel**). Lo descrito se muestra en la siguiente figura 3.27.

	Electricity from grid (year 1 hourly) (kWh)	Electricity from system to load (year 1 hourly) (kWh)
Jan 1, 12:00 am	237.929	-0.05e-05
Jan 1, 01:00 am	237.929	-0.05e-05
Jan 1, 02:00 am	237.929	-0.05e-05
Jan 1, 03:00 am	237.929	-0.05e-05
Jan 1, 04:00 am	250.151	-0.05e-05
Jan 1, 05:00 am	274.596	-0.05e-05
Jan 1, 06:00 am	323.484	-0.05e-05
Jan 1, 07:00 am	322.286	0.011013
Jan 1, 08:00 am	296.573	0.0927314
Jan 1, 09:00 am	259.853	0.147046
Jan 1, 10:00 am	210.997	0.113556
Jan 1, 11:00 am	475.211	0.188527
Jan 1, 12:00 pm	491.504	0.189559
Jan 1, 01:00 pm	577.56	0.167211
Jan 1, 02:00 pm	509.32	0.109089
Jan 1, 03:00 pm	506.241	0.118642
Jan 1, 04:00 pm	407.942	0.0414218
Jan 1, 05:00 pm	330.841	-0.05e-05
Jan 1, 06:00 pm	347.928	-0.05e-05
Jan 1, 07:00 pm	323.484	-0.05e-05
Jan 1, 08:00 pm	323.484	-0.05e-05
Jan 1, 09:00 pm	299.041	-0.05e-05
Jan 1, 10:00 pm	274.595	-0.05e-05
Jan 1, 11:00 pm	250.151	-0.05e-05
Jan 2, 12:00 am	287.77	-0.05e-05
Jan 2, 01:00 am	287.77	-0.05e-05
Jan 2, 02:00 am	287.77	-0.05e-05

Figura 3.27. Resultados de generación de energía eléctrica mediante la utilización de módulos fotovoltaicos. SAM.

Una vez obtenido los resultados de la generación fotovoltaica con las distintas combinaciones de ángulos de inclinación, paneles, inversores, y posiciones, se procede a exportar dicha información al siguiente programa de esquema tarifario HM, GDMTH.

3.3.5 Simulador de sistemas fotovoltaicos en usuarios con tarifa GDMTH y HM

Programa de cálculo para obtener la reducción de costos eléctricos en usuarios con tarifas HM y GDMTH, el cual incorpora el uso de energías renovables (enfocado en particular en sistemas fotovoltaicos), llamado “Simulador de sistemas fotovoltaicos en usuarios con tarifa GDMTH y HM”. Se desarrolló en el Laboratorio de Energías Renovables de la UABC en la plataforma de Microsoft Office Excel.

Este software, está programado para operar con usuarios tarifarios pertenecientes al estado de Baja California, es decir, utiliza los precios y tarifas correspondientes a las ciudades de Mexicali, Tijuana, Tecate, Rosarito y Ensenada.²

El programa tiene la capacidad de simular el efecto de la aplicación de acciones de eficiencia energética y de sistemas fotovoltaicos en usuarios de media tensión para obtener resultados referentes a los ahorros energéticos, pagos eléctricos, proyecciones mensuales de la demanda horaria e índices de rentabilidad económica.

El “Simulador de sistemas fotovoltaicos en usuarios con tarifa HM” se utiliza como referencia debido a que esta tarifa perdió su vigencia en diciembre del 2017. Dicha tarifa se caracterizaba por considerar el concepto de demanda facturable la

² Se utiliza solo en el programa de esquema tarifario GDMTH. El esquema tarifario HM opera para usuarios tarifarios pertenecientes a la ciudad de Mexicali, B.C.

cual dependía de la magnitud de las demandas eléctricas por periodo y factores de reducción.

Por otra parte, “Simulador de sistemas fotovoltaicos en usuarios con tarifa HM” reproduce el comportamiento de la tarifa eléctrica GDMTH (Gran Demanda de Media Tensión Horaria), la cual sustituyó a la tarifa HM, considerando cobros por consumo de energía, por demanda eléctrica, por transmisión, operación del CENACE, y servicios conexos no incluidos Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), distribución eléctrica y cargo fijo por suministro básico. Con la finalidad de tener resultados más precisos, el programa considera la degradación de los módulos fotovoltaicos y su efecto en la disminución de la generación eléctrica, así como la inflación de los precios de las tarifas aplicadas.

El simulador tarifario está elaborado para operar con el perfil del consumo y la demanda eléctrica horaria del usuario. Por ello, se requiere ingresar datos correspondientes al consumo y la demanda máxima horaria de cada mes mediante recibos de electricidad de CFE, así como, las demandas 30 minútales a través de la página de internet de CFECTIVA Empresarial [25].

Posteriormente, se ingresa las demandas y consumos 30 minútales en los periodos de base, intermedio y punta, obtenidos a partir de un año evaluado en el apartado de “INGRESO DE CFECTIVA”, como se muestra en la figura 3.28. Esta información ayuda al usuario a conocer el comportamiento del uso horario de electricidad de su empresa.

Además, es necesario ingresar el porcentaje del mes de octubre para temporada de verano e invierno (fuera de verano), dicha información se encuentra en la parte trasera inferior del recibo de CFE. Este porcentaje coadyuva al programa para precisar los días del mes correspondientes a los precios eléctricos de ambas temporadas.

Asimismo, se solicita la demanda contratada (kW) por el usuario, indicar si se presenta algún cargo eléctrico por encontrarse en baja tensión y los porcentajes mensuales de energía eléctrica de CFE durante un año evaluado. Este porcentaje es necesario considerarse, ya que, algunas empresas adquieren el suministro eléctrico de empresas privadas, por ello se requiere la relación porcentual del servicio eléctrico nacional con respecto al servicio privado. En caso de pertenecer solo al servicio eléctrico nacional, se ingresa el 100%.

Posteriormente, se elige la región y ciudad a la cual corresponde el estudio, así mismo, se ingresa el tipo de cambio de la moneda nacional con respecto al dólar, y el porcentaje de degradación de los módulos fotovoltaicos.

En el caso de los escenarios (1, 2, y 3) propuestos con el uso de sistemas fotovoltaicos, se ingresa la capacidad de generación fotovoltaica (en unidades de kW), y el precio unitario del sistema (dóls/kW). A su vez, se selecciona la inclinación del sistema fotovoltaico deseado (0°, 16°, 32°, ó 48°), el tipo de eje (sí es fijo, seguidor en 1 eje o 2 ejes), y el módulo e inversor de su elección. Dichas características se realizan para cada escenario propuesto.

El ahorro eléctrico generado al utilizar la capacidad requerida mensual del aire acondicionado, se incluye de manera opcional en el simulador tarifario, el cual se obtiene de la diferencia de la capacidad actual con respecto a la requerida. Esta información se adquiere del programa anterior 3.3.3, donde se procesan los resultados y se ingresan en kW mensuales.

Después de haber realizado la información descrita anteriormente, se presentan los resultados que genera el programa en la figura 3.30.

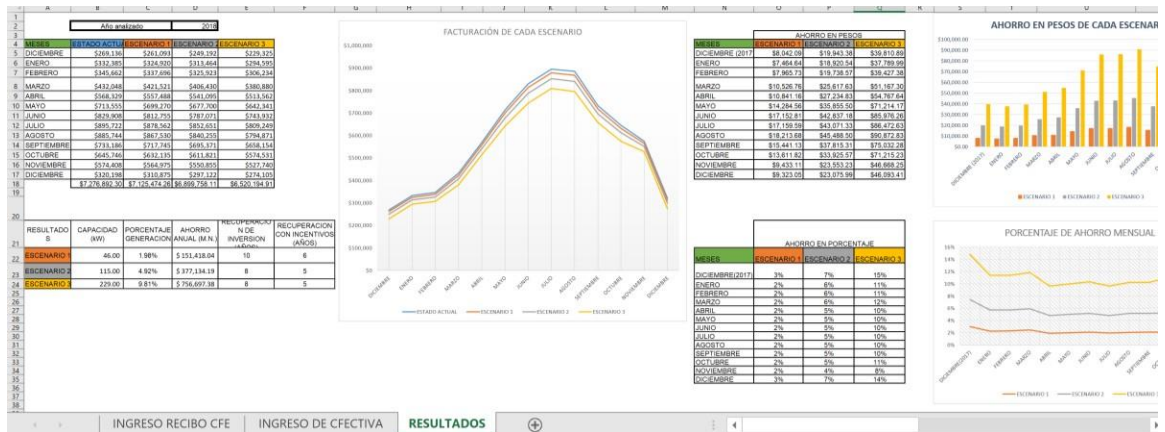


Figura 3.30. Resultados. Fuente: Esquema tarifario HM, GDMTH.

Se obtienen los costos eléctricos de las facturaciones mensuales del estado actual y escenarios propuestos al utilizar SFV de distintas capacidades, los cuales, son expuestos en gráficas y tablas.

Asimismo, se exhibe el porcentaje de generación FV, el cual, varía según el consumo del usuario y dependen de la capacidad instalada (kW). A su vez, se muestra el ahorro económico anual (expresado en moneda nacional mexicana), recuperación de la inversión con y sin incentivos fiscales (en años); para los distintos escenarios. Los incentivos fiscales consideran como máximo el 35% del costo de la inversión económica por el sistema fotovoltaico.

Además, se muestran mensualmente los ahorros económicos y porcentuales para cada escenario, los cuales, son representados en gráficas y tablas.

En el apartado de “CAPACIDAD DE FV EN CADA MES” se muestra las demandas máximas horarias de cada mes mediante los escenarios propuestos y la demanda ajustada. Este último concepto, depende del porcentaje de energía del servicio eléctrico nacional de CFE. En la figura 3.31 se muestra lo descrito. Dichas demandas son presentadas en tablas y gráficas, con el fin de proporcionar al usuario la demanda máxima medida para cada periodo del mes.

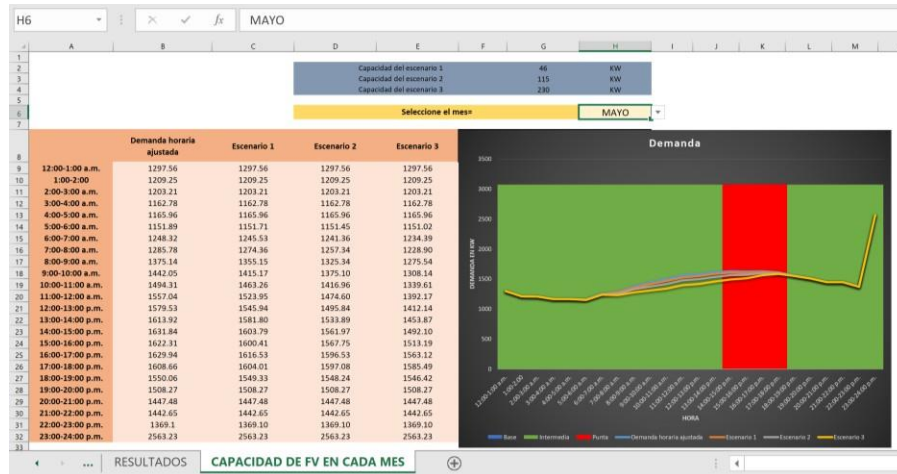


Figura 3.31. Resultados de las demandas horarias. Fuente: Esquema tarifario HM, GDMTH

3.4 Procesamiento de datos

Una vez obtenido los consumos y costos eléctricos con los distintos escenarios (casos) de optimización energética se procede a realizar comparaciones de las estrategias de mayor oportunidad de implementación en las industrias evaluadas, y que a su vez generen una representativa disminución en su costo eléctrico así como en su consumo energético. Con el propósito de validar estadísticamente los resultados, se desarrolla la metodología Taguchi, la cual, es una herramienta que emplea arreglos ortogonales, dado por la siguiente nomenclatura:

$$L_a(b)^c \quad 3.14$$

Donde:

a Representa el número de pruebas o condiciones experimentales, esto corresponde al número de filas (o renglones) del arreglo.

b Representa los diferentes niveles que se evaluará cada factor (p. ej. nivel 1, no se aplica; nivel 2, sí se aplica)

c Es el número de factores independientes o interacciones que se pueden analizar, esto recae en el número de columnas [35].

Esta metodología se utiliza para corroborar la hipótesis inicial de dicha investigación, al analizar mediante un diseño de experimentos se determinan los factores que influyen en el porcentaje de ahorro eléctrico y económico promedio.

Las estrategias de optimización energética se representan mediante las siguientes siglas en las tablas que se exhibirán posteriormente. Donde led, hace alusión al cambio de iluminarias fluorescentes a led, así mismo, CRAA, significa como el uso de la Capacidad Requerida de Aire Acondicionado, SFV es Sistema Fotovoltaico, E#, número del Escenario correspondiente, RI, Reducción de Infiltración y por último la simbología + representa la combinación de estrategias aplicadas en conjunto.

Dichas estrategias fueron consideradas como factores (o variables) que tienen la posibilidad de impactar en los consumos y demandas eléctricas finales. Por lo que en la tabla 3.1 se describen los factores y los niveles propuestos para el análisis de varianza.

Tabla 3.1. Descripción de factores

FACTORES	DESCRIPCIÓN DEL FACTOR	NIVEL 1	NIVEL 2
A:	CRAA	NO	SI
B:	SFV (5%)	NO	SI
C:	LED	NO	SI
Interacción AB:	CRAA + SFV (5%)	NO	SI
Interacción AC:	CRAA + LED	NO	SI
Interacción BC:	SFV (5%) + LED	NO	SI
D:	RI	NO	SI

En la tabla superior se muestra un arreglo experimental Taguchi de dos niveles, donde el primer nivel no considera aplicar los factores sugeridos, en cambio el segundo nivel muestra lo contrario.

Así mismo, se considera al porcentaje de ahorro económico obtenido del costo eléctrico del usuario tarifario analizado como la variable de respuesta del diseño de experimento, ya que el sector industrial desconoce el alcance monetario que representa cada factor (o estrategia). La elección de un arreglo ortogonal Taguchi con interacción, se debió a que se requiere un menor número de pruebas para realizar dicho experimento.

Las interacciones de dos factores generaron la posibilidad de causar confusión en los efectos principales, por lo que se utilizó las matrices de interacción que están determinadas por Taguchi, en la cual se exhiben los sitios predeterminados que le corresponde a cada interacción en un arreglo ortogonal. De tal manera, se puede observar en la siguiente tabla 3.2 dicha matriz, representando cada sitio con un número correspondiente al orden establecido, y a su vez se aprecia las letras en mayúsculas que señalan la ubicación utilizada en la presente investigación para cada factor con su posible interacción.

Tabla 3.2. Matriz de interacciones para un arreglo L_8

Matriz de interacciones (L_8)							
	1A	2 B	3 AB	4 C	5 AC	6 BC	7 D
A	1 -	3 AB	2 B	5 AC	4 C	7	6
B	2	-	1	6 BC	7	4 C	5
AB	3		-	7	6	5	4
C	4			-	1	2	3
AC	5				-	3	2
CB	6					-	1
D	7						-

En seguida se ilustra en la tabla 3.3 un arreglo ortogonal Taguchi L_8 con interacción de una sola replica, el cual presenta un total de 8 pruebas (es decir 8 tratamientos de una sola replica). Donde se utilizaron 4 factores y tres interacciones.

Tabla 3.3. Descripción del arreglo ortogonal L₈

Factores								Variable de respuesta (%)
No. de pruebas	A	B	AB	C	AC	BC	D	Replica 1
PRUEBA 1	1	1	1	1	1	1	1	
PRUEBA 2	1	1	1	2	2	2	2	
PRUEBA 3	1	2	2	1	1	2	2	
PRUEBA 4	1	2	2	2	2	1	1	
PRUEBA 5	2	1	2	1	2	1	2	
PRUEBA 6	2	1	2	2	1	2	1	
PRUEBA 7	2	2	1	1	2	2	1	
PRUEBA 8	2	2	1	2	1	1	2	

Las pruebas de la tabla superior, presentan las siguientes características: la prueba #1, no se considera ningún uso de estrategias de ahorro energético, en la siguiente prueba (en orden ascendente), hace alusión a la sustitución de luminarias fluorescentes a led en combinación con la reducción de infiltraciones (véase el orden de los factores en la tabla 3.1).

Una vez obtenido el porcentaje de ahorro económico correspondiente a las pruebas del arreglo ortogonal Taguchi L₈ con interacciones, se realiza un análisis de resultados a través de una tabla ANOVA, la cual se muestra en la siguiente tabla 3.4, donde se describe la suma de cuadrados (SS), los grados de libertad (G.L), la media de cuadrados de los factores y el error (MS), y la F experimental de los factores evaluados. Así mismo, se exhibe la F crítica, la suma de cuadrados puras (SS_{puras}), y el porcentaje de significancia de los factores. Estos dos últimos conceptos son considerados para determinar la cantidad que representa cada factor en la variabilidad del proceso.

Tabla 3.4. Análisis de varianza

ANOVA					Fcri		
FACTOR	SS	G.L.	M.S	Fexp		SSpura	%SS
A							
B							
C							
D							
AB							
AC							
BC							
Error							
TOTAL							

Posteriormente, se analiza la varianza generada de cada factor e interacción en base a la perspectiva de la distribución de Fisher, cuando los factores tienen un valor mayor al crítico se les considera como valores estadísticamente significativos, es decir, son responsables de la variación del ahorro económico. Sin embargo, Taguchi estableció una regla empírica que indica que si la F experimental de nuestro análisis de varianza es superior a 2 entonces el factor será considerado estadísticamente significativo.

Ambos criterios son aplicados en la presente investigación, siempre y cuando la F experimental muestre valores inferiores, es decir, muy cercanos a lo mencionado anteriormente. En otras palabras, al asignar todos los factores con sus posibles interacciones del arreglo ortogonal, se tiene que considerar los valores menores de las sumas de cuadrados para estimar el error. La cantidad de los factores seleccionados para calcular el error dependen de los grados de libertad totales entre dos. De tal manera que para la presente investigación se consideraron 4 valores, de los cuales cumplen con la función de optimizar los factores, abarcando incluso hasta el criterio de Taguchi.

Por último, es necesario mencionar que se realizó dicha metodología individualmente para la muestra evaluada.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se discute los resultados obtenidos en la muestra analizada. Se presentan las características constructivas, equipos y hábitos de uso eléctrico con la finalidad de obtener el perfil energético de las industrias seleccionadas. Se identifican oportunidades de optimización energética para posteriormente mostrar los consumos y costos eléctricos al implementar acciones de ahorro y uso eficiente de la energía. Finalmente se realiza un análisis estadístico para determinar la acción que mayor impacto tiene en la disminución del costo eléctrico.

4.1 Características de los usuarios evaluados

Debido a que los usuarios evaluados presentan semejanzas respecto a su giro y tipología de construcción, se presenta las características constructivas de una de las industrias evaluadas, así como sus cargas eléctricas, ocupación y operación de la misma a fin de mostrar las condiciones del estado actual que posee el sector industrial de Mexicali, B.C.

A continuación, se detalla las características del usuario #1.

En la figura 4.1 se muestra la fotografía aérea de la industria analizada.



Figura 4.1. Fotografía aérea.



Figura 4.2. Plano del área evaluada de producción y ensamble.

En la figura 4.2, se ilustra el plano de la industria analizada, donde se delimita el área de producción y ensamble, la cual, se encuentra señalada en líneas blancas y presenta un área de 8,239.6 m². Esta área cuenta con una altura promedio de 9.92 m con respecto al techo de plafón y un volumen de 81,736.82m³. En seguida, se describe las características constructivas del área evaluada.

Tabla 4.1. Características físicas de la envolvente

Muro	Material	Longitud (m)	Altura (m)	Tipo	Aislamiento
Norte	Lamina	129.7	9.9	Interior	Si
Sur	Lamina	129.7	9.9	Exterior	Si
Este	Lamina	64.6	9.9	Interior	Si
Oeste	Lamina	64.6	9.9	Interior	Si

Tabla 4.2. Características de los accesos

Muro	Área de puertas (m ²)	Área de puertas de vitral (m ²)
Norte	0	13.1
Sur	4.6	0
Este	12	0
Oeste	0	0

Los muros del área evaluada son: de lámina y con aislamiento (insulpanel), en los muros norte y sur tienen una longitud de 129.7 m, muros este y oeste tienen una longitud de 64.6 m, todos ellos tienen en común una altura promedio de 9.9 m y se encuentran como muros interiores a excepción del muro sur. Las peculiaridades del techo son las siguientes: se tiene un techo con caída a dos aguas, las cuales se promediaron para ser utilizadas en el simulador de cargas térmicas, ya que solo evalúa envolventes cuadrados. Dichos resultados se encuentran en la tabla 4.1.

En la tabla 4.2, se muestra las características de las áreas de las puertas y vitral del área evaluada, donde el muro norte cuenta con 13.1 m² de puerta de vitral, muro sur 4.6 m² de puerta y muro este 12 m² de puerta. En la siguiente imagen se puede observar la estructura y el material de envoltorio del usuario 1 que forma parte de la muestra analizada.



Figura 4.3. Características de estructura del usuario 1.

Con la finalidad de conocer las características de cada uno de los usuarios del sector industrial que fueron evaluados en la muestra, se presenta en la tabla 4.3 un resumen de los datos más significativos que fueron usados para la obtención de los resultados de esta investigación.

Tabla 4.3. Características de los usuarios evaluados

Parámetro	Usuario 1	Usuario 2***	Usuario 3	Usuario 4
Área de edificación (m ²)°	16,788.5	7,611.2	4,255.6	12,195.3
Área Climatizada (m ²)	8,239.6	3,341.4	1,050.4	6,077.9
Porcentaje del área evaluada en edificación (%)	49	43.9	24.6	49.8
Demanda por Equipos (kW)	118.75	50.45	18.97	1,041.06
Demanda Máxima°° (kW)	1,526	1,635	425	2,714
Ocupación°°° (personas)	909	211	67	5,604
Material de Muro	Stud metálico (Insulpanel)	Metal (4 pulg)	Block Concreto (10 cm, 4 pulg)	Block Concreto
Aislamiento de Muro	Poliestireno (4 pulg)	S/N	S/N	Fibra de vidrio R11 (2 pulg)
Material de Techo	Lámina metálica	Lámina metálica	Lámina metálica	Lámina metálica
Aislamiento de Techo	Fibra de vidrio R19 (4 pulg)	S/N (espacio de aire en plafón)	S/N (Hoja de yeso 1/2 pulg, espacio de aire en plafón)	Fibra de vidrio R15 (2 pulg)
Capacidad Instalada de A.A.	240	230	45	500
Temperatura de Termostato (°F)	78	76	78	80
Demanda del A.A. (kW)	261.81	212.3	55.78	600
Tipo de equipo de A.A.	Paquete	Paquete	Paquete	Paquete
Horario de trabajo *	1 am-5 am 34% 6 am-3 pm 98% 4 pm-9 pm 79% 10 pm-12 am 77%	6 am-1 am	6 am-1 am	24 horas
Ventilación (CFM)	1,682	1,953	3,292	6,700
Potencia (Watts) de Ventilación	53,244	28,968	4,176	32,220.6
Capacidad requerida de	243	227	43	388
Desempeño (EER) del Aire acondicionado	1.09	0.92	1.24	1.2
Eficiencia de A.A. (SEER)	11	13	9.68	10
Área climatizada (m²) /capacidad requerida de	33.9	14.7	24.4	15.66

Energía eléctrica del área evaluada / ocupación^{°°°} (kWh/personas)	1,173.5	2,929.7	3,120	1,597.5
Porcentaje del área evaluada en el consumo eléctrico final (%)	23.7	10	25.2	61.4

° Datos aproximados tomados de internet en google maps.

°° Demanda Máxima anual, con respecto a los datos del recibo de CFE.

°°° Se incluye la termografía de los equipos analizados.

* Se incluyen los porcentajes de ocupación en las horas correspondientes

** El desempeño eléctrico del aire acondicionado, está dado por la siguiente relación de demanda eléctrica de Aire Acondicionado (A.A.) / Capacidad actual.

*** El usuario 2 muestra la unión de los valores correspondientes a las áreas evaluadas (Área de ensamble y materia prima).

De la tabla anterior, se pueden observar las similitudes de los usuarios industriales evaluados. Se muestra que el tipo de equipo de aire acondicionado utilizado con mayor frecuencia es el de paquete (equipo central), mientras que el material de techo más utilizado es el de lámina metálica. Solo dos empresas cuentan con aislamiento en techo de fibra de vidrio (usuario 1 y 4), el resto cuenta con espacio de aire entre el plafón y el techo. Los usuarios 1 y 4 operan las 24 horas, mientras que los usuarios 2 y 3 operan 19 horas a partir de las 6 am a 1am. Por otra parte, el material de los muros en los usuarios 1 y 2 son de metal y el resto de block de concreto. Solo 2 usuarios (1 y 4) presentan aislamiento en muros. Las temperaturas en las que se configura el termostato del aire acondicionado oscila en un rango que va desde los 76 a 80°F (es decir, entre 24 y 26 °C).

También se puede observar las diferencias entre la capacidad de aire acondicionado instalada respecto a la capacidad requerida, en donde variaron de 2 a 3 toneladas con excepción del usuario 4, donde se muestra una diferencia de 112 toneladas, es decir se encuentra sobredimensionada. La mayoría de los usuarios estudiados en la presente investigación, cuentan con un dimensionamiento acorde a su área climatizada teniendo poca posibilidad de obtener un aprovechamiento energético en cuanto al manejo de operación de los equipos de aire acondicionado,

así como, oportunidad de expandirse territorialmente dentro de su misma edificación.

El usuario 1 es el único que se encuentra subdimensionado al requerir 3 toneladas extras para satisfacer su confort térmico. Pese a ello, se puede obtener ahorros energéticos, ya que puede variar la capacidad que se enciende mensualmente, provocando mayores ahorros en la demanda de potencia eléctrica en los primeros y en los últimos meses del año.

Por otra parte, el desempeño eléctrico del aire acondicionado en los usuarios seleccionados, oscila en el rango de 0.9 a 1.25 kW/ Ton, esto nos muestra la relación que tiene la demanda eléctrica del aire acondicionado entre la capacidad actual (ó instalada) del A.A. Al obtener un valor pequeño, resultará un equipo más eficiente, arrojando mayores ahorros energéticos y económicos en cuanto al pago de la facturación eléctrica. En el caso particular del usuario 2, presenta una demanda de 212.3 kW menor que la capacidad instalada de 230 Ton, presentando una relación demanda eléctrica y capacidad de 0.92 kW/ Ton. Esta relación se debe a que el equipo de A.A. cuenta con un SEER de 13 kBtu/ kWh, mientras que el resto de la muestra presentan eficiencias SEER que varían entre 9.5 a 11 kBtu/ kWh.

Los indicadores energéticos obtenidos en base a las características de los usuarios evaluados, mostraron los siguientes patrones: para abastecer 1 tonelada de aire acondicionado, se requiere de 14.7 a 33.9 m² de área espacial, resultando más eficiente al obtener un valor mayor, para tal efecto, se exhibe la relación del usuario 1, donde el área climatizada (m²) entre la capacidad requerida de A.A. (Ton) es de 33.9 m²/Ton.

El consumo eléctrico del área evaluada que representa cada trabajador, oscila en el rango de 1,100 a 3,100 kWh/personas. En el caso particular del usuario 1, mostro un valor menor que al resto de la muestra, indicándolo como una industria eficiente, ya que, no requiere de tanta energía eléctrica por trabajador.

Así mismo, es necesario mencionar los porcentajes del consumo eléctrico final de cada industria que representa el área evaluada, variando de 10 a 60%. En otras palabras, el área espacial que se analizó en la muestra para proponer mejoras energéticas en el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, representó un promedio de 30% de la energía eléctrica final.

Otro aspecto a enfatizar, son los porcentajes que representa el área evaluada con respecto al área total de la empresa, a fin de dar a conocer la cobertura espacial de nuestro análisis energético, se exhiben porcentajes superiores al 40% con excepción del usuario 3 al mostrar el 24.6%.

En base a la información descrita en los párrafos anteriores, se realizó las simulaciones termo energéticas correspondientes a los usuarios evaluados, a fin de conocer el estado actual de las cargas eléctricas y ganancias térmicas de las edificaciones. Estas simulaciones fueron usadas en la elaboración de sus facturaciones correspondientes. A continuación, se muestra el procedimiento que se empleó en las empresas analizadas, presentando de manera de ejemplo los resultados obtenidos en el usuario 1.

Es importante señalar las consideraciones que se realizaron en dicho usuario. Para llegar a obtener los resultados de las facturaciones. Se contempló la procedencia que cierto porcentaje de energía eléctrica provenía de CFE y el resto provenía de una compañía privada. El porcentaje se calculó en base a la información obtenida del recibo de CFE con respecto a los datos de Cfectiva, donde esta última mostraba las mediciones de las demandas de toda la empresa en periodos de quince minutos.

En la siguiente figura 4.4, se indica la participación mensual del porcentaje de energía eléctrica de CFE con respecto a la compañía privada durante el año 2018. Donde las barras de color naranja representan el porcentaje de energía adquirida en la compañía privada, y las barras de color azul proceden de CFE.

En ella, se muestra que la empresa adquiriría un mayor porcentaje de energía en los meses de invierno (noviembre a abril) en comparación con verano. Sin embargo, los meses de verano (de mayo a octubre) se observa una irregularidad, ya que, en Mexicali B.C., los meses de verano son de mayor consumo debido al uso de equipo de climatización y por consecuencia la demanda de la ciudad aumenta, y a su vez la venta de energía es más cara con compañías externas a CFE. De tal manera se, consideró que, en los meses de julio, agosto, y octubre se tuvo un aumento de producción, por lo que se vieron propensos a comprar energía externa o en su defecto la compañía privada se encontraba con gran abasto para satisfacer las demás de sus clientes. Por otra parte, en los meses de invierno el precio de la energía disminuye debido a la disminución de la demanda por ende las compañías privadas disminuyen sus precios a fin de ser competitivos.

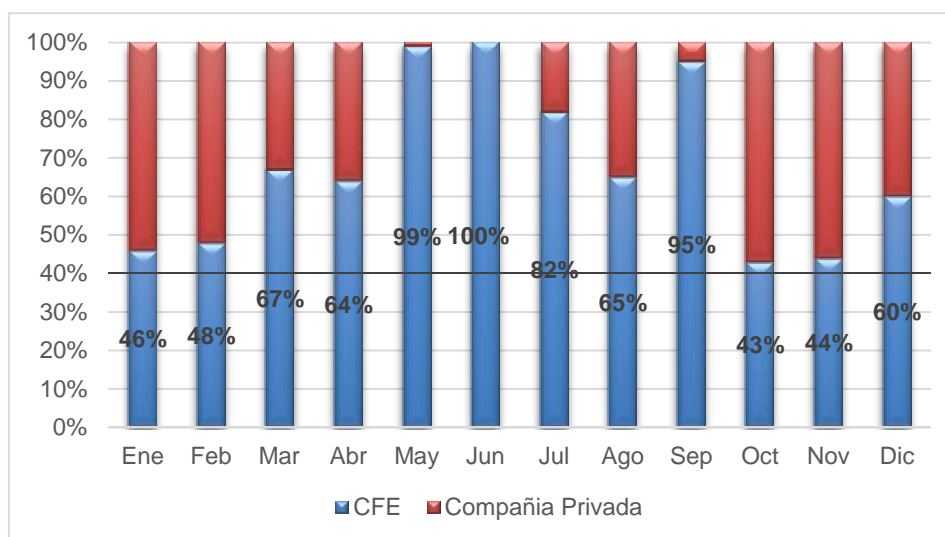


Figura 4.4. Participación porcentual de energía eléctrica de CFE, usuario #1, 2018. Elaboración: Propia.

A partir de la figura anterior, se crea una mejor percepción del consumo total de energía eléctrica que abastece las dos compañías suministradoras al usuario 1 durante el 2018. Por lo que en la siguiente figura 4.5, se visualiza el historial del comportamiento del consumo de CFE y de la compañía privada, así como la facturación eléctrica generada mediante de la información recolectada de CFE.

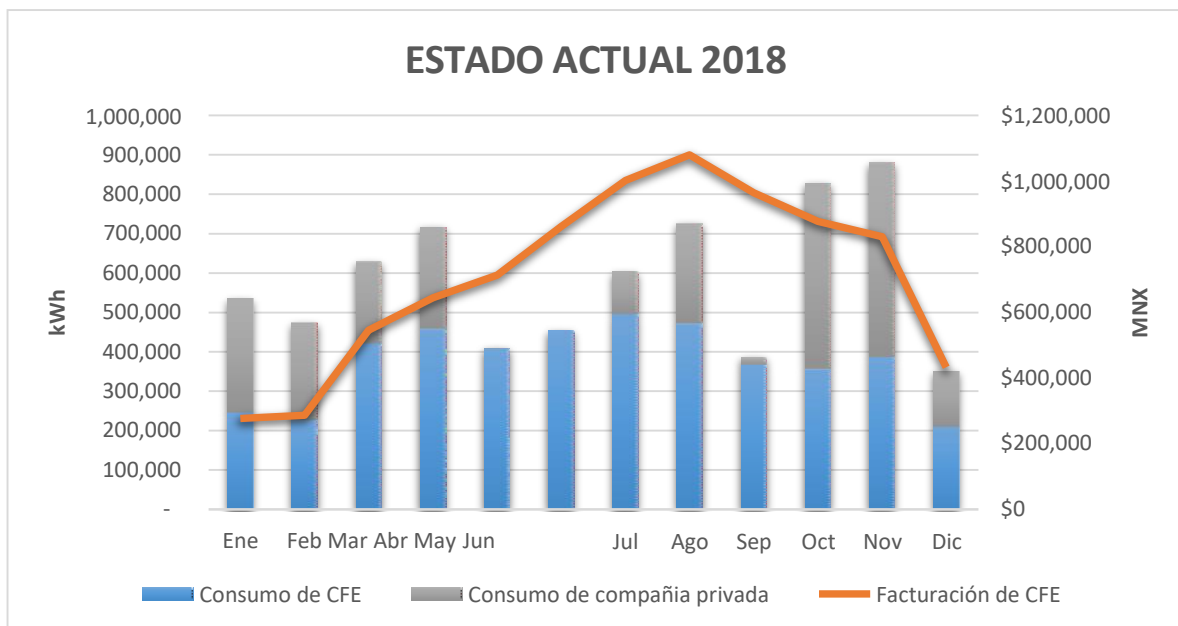


Figura 4.5. Exportación y facturación eléctrica mensual del estado actual, usuario #1, 2018. Elaboración: Propia

En la figura 4.5, se relaciona el consumo total en barras (de color azul y gris) con respecto al gasto de facturación eléctrica de CFE en línea (de color naranja) durante el 2018. En el lado izquierdo de la gráfica los valores de consumo se distinguen con la unidad de kilo Watts hora (kWh), y del lado contrario se identifica la facturación en Moneda Nacional Mexicana (MXN). Las barras en color gris representan el consumo de la compañía privada y en color azul a CFE.

El mayor consumo total de ambas compañías suministradoras de energía eléctrica, se exhibe en el mes de noviembre (con 880,335 kWh), y el menor en diciembre (con 350,202 kWh).

La compañía privada presenta para el mes de noviembre una mayor contribución de venta eléctrica (de 492,999 kWh) y una menor en los meses de mayo (con 4,109 kWh) y septiembre (de 19,311 kWh). Junio cuenta con una contribución nula con respecto a los meses restantes. En cambio, CFE suministra energía todo el año y se muestra el mes de julio (de 494,826 kWh) con la mayor participación en consumo a diferencia de diciembre (con 210,121 kWh) resultando lo opuesto.

La facturación con respecto a CFE genera un mayor gasto monetario en el mes de agosto con \$1,079,575 pesos, seguido de julio con \$1,002,148 pesos, y después septiembre con \$963,443 pesos, por último, enero es el mes de menor impacto con \$286,452 pesos.

Por otra parte, sí se realiza una comparativa del consumo eléctrico de CFE con respecto a su facturación se puede observar que los precios de las tarifas aumentan mensualmente a pesar de los incrementos o disminuciones del comportamiento energético del usuario. Es decir, la figura 4.5, se exhibe el mes de julio con el mayor consumo seguido de agosto, pese a ello, este último aumenta su facturación con respecto al mes anterior. De igual manera sucede con los meses siguientes donde septiembre disminuye más que agosto, y julio y a su vez, cuenta con un gasto elevado para su consumo mensual. Pese a ello, dicha facturación se debe no solo al incremento de los precios de la tarifa, sí no, a otros conceptos de cobro que no se están plasmando en dicha figura, como es el caso del cargo por la distribución y capacidad. Además, es necesario mencionar durante los meses de julio y agosto la facturación aumento 0.003 pesos/kWh el cargo por operación de CENACE, donde el precio era de 0.0061 pesos/kWh (julio) y actualmente es de 0.0091 pesos/kWh para los meses restantes, por lo que, la relación del consumo con respecto al gasto de la facturación no se asocia con exactitud debido a otros conceptos de cargos faltantes.

Por consiguiente, de la figura analizada anteriormente, es necesario mostrar de manera mensual los diferentes comportamientos eléctricos de la muestra evaluada durante el 2018. Por lo tanto, en la figura 4.6 se ilustra los históricos de consumo eléctrico de las industrias analizadas durante el 2018. Donde el usuario #1 se exhibe con la línea de color naranja, y a su vez, se muestra otro nuevo escenario de un tono más claro del color mencionado, que incorpora el total de la importación de energía sobre dos compañías suministradoras para el mismo usuario; el usuario #2, se identifica en el color azul, usuario #3 de color verde, y por último el usuario #4 de amarillo.

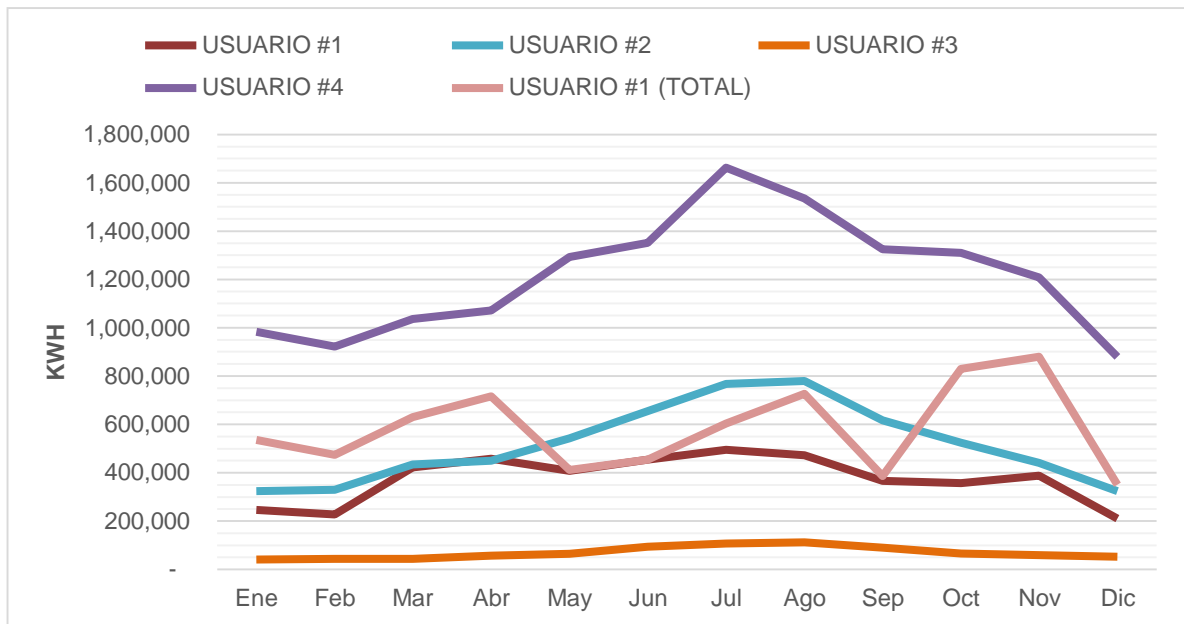


Figura 4.6. Comportamiento histórico del consumo eléctrico de la muestra, durante el año 2018. Elaboración: propia.

De los usuarios evaluados, los meses de mayor consumo eléctrico se exhiben en julio y agosto, mientras que los meses de diciembre y enero son los de menor consumo. Los gráficos que son únicamente suministrados por CFE (todos, menos el usuario #1 (Total) de color naranja claro), a excepción del usuario #1 (de color naranja), evidencian un comportamiento típico de Mexicali, B.C., ya que tienen consumos que se asemejan a la curvatura de una montaña, donde los meses de verano (de mayo a octubre) presentan una mayor participación energética en comparación con los meses restantes, los cuales disminuyen.

Cabe mencionar que entre mayor sea la diferencia del consumo máximo y mínimo, mayor será la prominencia de dicha curvatura. Por lo que se identifica al usuario #4 con una diferencia de consumo elevada, seguido del usuario #2 y por último al usuario #3 que presenta una curvatura muy tenue debido al bajo abastecimiento eléctrico.

Los usuarios #2 y #3, muestran un consumo constante durante todo el año, generando un gráfico de una línea sucesiva. A pesar de lo mencionado en el párrafo

anterior, el usuario #4, tuvo un incremento notorio en los meses de junio a julio por causas desconocidas.

Por otra parte, el usuario #1 (de color naranja) tiene un comportamiento distinto a la región, ya que los meses siguientes de marzo a noviembre las variaciones eléctricas se mantuvieron regularmente constantes. En gran medida se debió al manejo de importación eléctrica de CFE en conjunto con la producción de operación de la empresa y posibles remodelaciones estructurales del edificio.

El gráfico del usuario #1 (Total), es decir el abastecimiento total de energía suministrado por una compañía privada y CFE, generan irregularidades mensuales durante todo el año. La cual, se observa que en la temporada de invierno los consumos se elevaron más que en verano.

Finalmente, a pesar de las diferencias de los historiales eléctricos mensuales de los usuarios analizados, se puede generalizar que todas las industrias dedicadas al giro de fabricación y elaboración de moldeo de plásticos, radicadas en Mexicali, B.C., con una operación de producción constante en jornadas laborables diurnas y 1/3 de proporción de la mixta, presentan una tendencia similar a la curvatura típica de la región (referente a una montaña), variando su amplitud acorde a sus consumos anuales.

Mediante los datos obtenidos de los historiales eléctricos de la muestra analizada fue posible proponer las acciones de mejora de la eficiencia energética para cada usuario y posteriormente simular dichos escenarios de optimización para obtener sus respectivas facturaciones.

A continuación, se presentan los ahorros obtenidos de las acciones de optimización que se propusieron a los usuarios industriales evaluados. Mediante la metodología Taguchi se determinan las acciones que presentan mayor impacto en el ahorro económico y energético, con la finalidad de que puedan ser aplicados a un mayor número de usuarios pertenecientes esquema tarifario GDMTH.

El impacto del consumo y la demanda que se obtiene al realizar un análisis de estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, pueden reflejar distintos ahorros según los comportamientos de utilización, al igual que la actividad de la industria. Por ello se muestra en las siguientes tablas los resultados analizados para cada industria. Estos resultados fueron evaluados en ambos esquemas tarifarios (tarifa HM y GDMTH). De tal manera que los consumos evaluados para la muestra fueron utilizados durante el año 2017, a excepción del usuario #3, debido a la falta de información se optó por tomar los datos del 2016, estos mismos, fueron proyectados para los precios del 2017 (que corresponde a la tarifa HM) y 2018 (GDMTH), a fin de obtener una clara comparativa de la estructura tarifaria.

Es importante mencionar que debido a que las características de los usuarios evaluados son distintas, las propuestas de optimización energética varían en cada caso. Sin embargo, algunas de las acciones se pueden generalizar, tal es el caso de los Sistemas Fotovoltaicos (SFV), los cuales se dividen en 3 estrategias, donde el escenario 1 (E# 1) representa el 2% del consumo eléctrico anual abastecido por energía solar, así mismo, el #2, equivale al 5%, y el #3 al 10%. A su vez, se derivan otras 3 acciones que involucran los escenarios mencionados anteriormente, operando cada uno de ellos en conjunto con el control de la capacidad de aire acondicionado requerido mensualmente (referente al control de la demanda).

Por otra parte, las acciones que tuvieron mayor oportunidad de implementación en la muestra analizada fueron seleccionadas para proponer nuevas combinaciones que se unieron entre 2 o más estrategias, a fin de ser utilizadas en conjunto para el desarrollo de la metodología Taguchi. Dichas interacciones son las siguientes: SFV que abastece el 5% del consumo eléctrico y el control de la capacidad requerida mensual de aire acondicionado, SFV que abastece el 5% del consumo eléctrico y sustitución de luminarias led y sustitución de luminarias LED y el control de la capacidad requerida mensual del aire acondicionado.

Es importante comentar que el escenario 2 de los SFV fue seleccionado debido a que cumple con los requisitos legales plasmados en la Ley de Transición

Energética para usuarios industriales que demanden más de 1 MW, los cuales estarán obligados a generar el 5% de su consumo eléctrico mediante fuentes de energía consideradas “limpias”.

Otra estrategia que muestra oportunidad de incorporarse en las industrias analizadas pero con bajo impacto en su consumo eléctrico, es la reducción de infiltraciones, la cual, tiene la función de proponer barreras físicas que anulen el paso de las ganancias térmicas del flujo de aire a través de las ventanas y puertas de las áreas evaluadas.

Posteriormente, se identifican como casos (C) a cada una de las acciones de optimización energética evaluados bajo los siguientes parámetros anuales: consumo (kWh), costo (M.N.) de facturación que reflejan los esquemas tarifarios HM y GDMTH, así como sus respectivos ahorros económicos (\$), y el porcentaje de ahorro del consumo eléctrico y económico en ambas tarifas.

Así mismo, los costos de las facturaciones generadas al incluir SFVs, fueron calculados con el tipo de cambio \$18.5 pesos por dólar americano. Además, se consideraron distintos precios para dichos sistemas durante el periodo 2017, estos precios varían según la capacidad instalada. En la siguiente tabla 4.4, se exhiben los precios por cada kW instalado.

Tabla 4.4. Precios de distintas capacidades FVs

Capacidad instalada (kW)	Precios (dóls/kW)
0-10	1,800
20-50	1,750
50-100	1,700
100-400	1,500
400-	1,350

Después de haber explicado las condiciones y características generales de las estrategias de mejora en materia energética de la muestra evaluada, se podrá

mostrar a través de tablas la recopilación de los ahorros económicos y energéticos para cada uno de los usuarios analizados.

Sin embargo, es necesario mencionar las características de las estrategias de optimización energética que difieren (de las estrategias generales) de las industrias analizadas, siendo mencionadas según el usuario evaluado.

A continuación, se presentan las características de las estrategias de optimización energética utilizadas para el usuario 1. En ella, se consideraron 19 acciones, de las cuales 2 de ellas no tienen oportunidad de ser implementadas en el resto de la muestra, tal es el caso del volumen #1, y el volumen #2.

La reducción del volumen del espacio acondicionado (Volumen #1), se propone la incorporación de barreras físicas que separen el espacio de aire sobre el cuarto ubicado entre el muro sur y muro este respecto al resto de la planta. Dicha reducción es de 7,786.4 m³ (volumen retirado) representando un ahorro del 9.5% con respecto al volumen actual (81,736.8 m³), por lo que el volumen nuevo sugerido es de 73,950.3 m³.

La siguiente estrategia hace alusión al caso anterior, pero con una nueva disminución del volumen del espacio climatizado, donde se propone la reducción de la altura del techo de la planta, al considerar que no presenta alguna obstrucción después de los 4 m de altura del área evaluada. Con dicha acción se obtendría una disminución del volumen de 48,778.04 m³, produciendo un ahorro del volumen retirado de 59.6% con respecto al actual. De tal manera que el nuevo volumen sugerido es de 32,958.4 m³.

Otras acciones que presentan oportunidad de implementarse en las industrias evaluadas mostraron las siguientes especificaciones (características) en el usuario 1. Las luminarias presentan una potencia actual de 53,244 W, de los cuales al ser sustituidas por iluminación LED la demanda eléctrica sería de 22,836 W. Por otra parte, el control del encendido de la capacidad de aire acondicionado (CRAA), se describe en la tabla 4.5 y consiste en usar solo la capacidad de aire acondicionado requerida en cada mes.

Tabla 4.5. Capacidad requerida mensual de aire acondicionado en el área de ensamble y producción del usuario 1

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Cap. actual (Ton)	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Cap. requerida real (Ton)	0	0	149	179	213	240	243	241	233	201	151	0
Ahorro	0	0	91	61	27	0	-3	-1	7	39	89	0

Así mismo, anularon infiltraciones de puertas y ventanas de 1,682 pie³ por minuto (CFM) del área evaluada. En la figura 4.7, se muestra la termografía de las puertas orientadas al muro norte y cercanas al muro este del área evaluada del usuario 1, en ella, se exhibe una de las infiltraciones térmicas analizadas (en color naranja) con una temperatura de 37.1 °C con respecto al fondo frío (de color azul) de 26.3 °C.

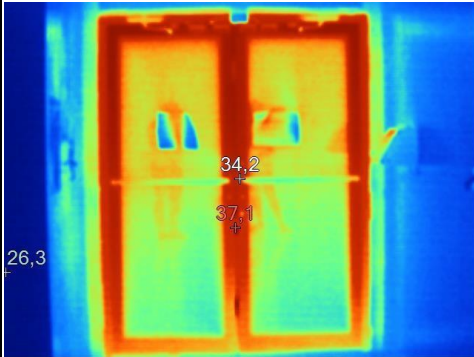

Sección	Vista Termografía	Vista Imagen Natural
Puertas orientadas al Norte cercanas al Este.		
	Nombre	Temperatura
	Punto central	34,2°C
	Caliente	37,1°C
	Frío	26,3°C

Figura 4.7. Termografía del área evaluada. Usuario 1. Elaboración: propia

A continuación, se presenta en la tabla 4.6 los resultados del análisis energético del usuario 1.

Tabla 4.6. Análisis de resultados del usuario 1

Usuario #1/ Acciones de optimización	CONSUMO ANUAL (kWh)	COSTO - HM	COSTO - GDMTH	% AHORRO (kWh)	AHORRO- HM	AHORRO-GDMTH	% AHORRO- HM (\$)	% AHORRO- GDMTH (\$)
C-1 (Actual)	4,502,423	\$8,616,826	\$8,514,108	NA	NA	NA	NA	NA
C-2 (LED)	4,214,508	\$8,163,665	\$8,027,612	6.4%	\$453,161	\$486,495	5.3%	5.7%
C-3 (CRAA)	4,502,423	\$8,575,808	\$8,497,147	0.0%	\$41,017	\$16,961	0.5%	0.2%
C-4 (SFV E# 1)	4,412,638	\$8,442,011	\$8,337,111	2.0%	\$174,815	\$176,996	2.0%	2.1%
C-5 (SFV E# 2)	4,277,704	\$8,196,508	\$8,073,946	5.0%	\$420,318	\$440,162	4.9%	5.2%
C-6 (SFV E# 3)	4,053,498	\$7,825,471	\$7,664,273	10.0%	\$791,354	\$849,835	9.2%	10.0%
C-7 (SFV + CRAA) E# 1	4,412,638	\$8,403,174	\$8,320,150	2.0%	\$213,651	\$193,957	2.5%	2.3%
C-8 (SFV + CRAA) E# 2	4,277,704	\$8,155,483	\$8,056,985	5.0%	\$461,342	\$457,123	5.4%	5.4%
C-9 (SFV + CRAA) E# 3	4,053,498	\$7,784,819	\$7,647,312	10.0%	\$832,007	\$866,796	9.7%	10.2%
C-10 (RI)	4,324,872	\$8,342,971	\$8,194,549	3.9%	\$273,855	\$319,559	3.2%	3.8%
C-11 (Volumen #1)	4,481,327	\$8,584,283	\$8,484,442	0.5%	\$32,542	\$29,666	0.4%	0.3%
C-12 (Volumen #2)	4,380,926	\$8,429,423	\$8,314,707	2.7%	\$187,402	\$199,400	2.2%	2.3%
C-13 (LED + SFV (5%))	3,989,789	\$7,743,672	\$7,589,120	11.4%	\$873,154	\$924,987	10.1%	10.9%
C-14 (LED + CRAA)	4,214,508	\$8,122,284	\$8,010,248	6.4%	\$494,541	\$503,860	5.7%	5.9%
C-15 (LED+ SFV (5%)+ CRAA)	3,989,789	\$7,702,291	\$7,572,159	11.4%	\$914,534	\$941,948	10.6%	11.1%
C-16 (LED+ RI)	4,036,957	\$7,889,810	\$7,665,101	10.3%	\$727,015	\$849,007	8.4%	10.0%
C-17 (SFV (5%)+ RI)	4,100,154	\$7,922,653	\$7,767,562	8.9%	\$694,173	\$746,546	8.1%	8.8%
C-18 (CRAA + RI)	4,324,872	\$8,301,954	\$8,177,588	3.9%	\$314,872	\$336,520	3.7%	4.0%
C-19 (LED+ SFV (5%)+ CRAA+ RI)	3,812,239	\$7,428,437	\$7,219,878	15.3%	\$1,188,389	\$1,294,230	13.8%	15.2%

C-1, 2, 3... n= Casos de cada una de las acciones de optimización energética
 NA= No Aplica el cálculo de la magnitud.
 LED= Implementación de iluminarias LED
 CRAA= Capacidad Requerida de Aire Acondicionado.
 SFV = Incorporar Sistemas Fotovoltaicos
 E#1= Escenario que incorpore el 2% del consumo eléctrico final del usuario.
 E#2= Escenario que incorpore el 5% del consumo eléctrico final del usuario.

E#3= Escenario que incorpore el 10% del consumo eléctrico final del usuario.
 RI= Implementar la Reducción de Infiltración en la edificación.
 Volumen #1= Reducción del Volumen del espacio acondicionado en una edificación. Representando una disminución de 7,786.4 m3.
 Volumen #2= Reducción del Volumen del espacio acondicionado en una edificación. Representando una disminución de 48,778.04 m3.
 += Combinación de acciones.

En la tabla anterior se muestran los resultados en términos energéticos y económicos al implementar las estrategias de ahorro y eficiencia energética para el usuario 1. Es posible observar que dicho usuario presenta un consumo eléctrico anual de 4,502,423 kWh con una facturación de \$ 8,616,826 pesos en el esquema tarifario HM y \$ 8,514,108 pesos en GDMTH, generando un ahorro de \$ 102,718 pesos con respecto al año anterior, es decir, se disminuyó el 1.19 % el costo eléctrico debido al nuevo esquema tarifario. Es importante mencionar que las siglas NA significan no aplica el cálculo de la magnitud.

Se clasificaron las estrategias de mayor impacto en el ahorro económico y energético bajo el esquema tarifario GDMTH de la tabla 4.6, mediante un orden decreciente (que va de mayor a menor). Se mencionarán 4 de las primeras acciones y 1 de menor alcance. Por lo anterior, es conveniente mencionar que las estrategias que fueron combinadas para los fines de realizar la metodología Taguchi, no serán tomadas en cuenta como orden prioritario ya que, en ellas siempre se tendrán mayores ahorros al compararlas con estrategias individuales. La única excepción es, la utilización de SFV(s) + el control de la CRAA, debido a la hipótesis inicial de la presente investigación.

Las acciones de mayor alcance en el ahorro económico y energético en la tarifa GDMTH, se encuentran en los siguientes casos: el caso 9 (C-9) donde se involucra un SFV #3 + el control del CRAA, arrojan un porcentaje de ahorro económico del 10.2% con una facturación de \$7,647,312 pesos. La diferencia con respecto al año anterior (2017, tarifa HM) es de \$137,507 pesos, incrementando su ahorro en 0.5%.

El caso 6 (C-6) solo propone la utilización de SFVs en el escenario #3, el cual representa un porcentaje de ahorro en el consumo eléctrico del 10%, al igual que el caso 9 (C-9), sin embargo, sus facturaciones indican lo contrario, obteniendo una facturación de \$7,664,273 pesos con un porcentaje de ahorro económico exacto al energético. La comparativa con el viejo esquema tarifario (HM), muestra una reducción de facturación de \$161,199 pesos, por lo que su ahorro económico se incrementa en 0.8%.

El caso 2 (C-2) involucra la sustitución de luminarias led, presentando un porcentaje de ahorro económico de 5.7% y 6.4% de ahorro energético, con una facturación de \$8,027,612 pesos. Se logra disminuir la facturación de \$136,053 pesos con respecto al año anterior y el porcentaje de ahorro económico incrementa en 0.4%.

El caso 8 (C-8), donde se propone la utilización de SFV en conjunto con el control del CRAA para el escenario #2, se exhibe una facturación de \$8,056,985 pesos, representado el 5.4% de su ahorro económico y 5% de ahorro energético. Así mismo, se tiene una disminución de \$98,498 pesos con un nulo incremento en el ahorro monetario con respecto al esquema tarifario anterior.

Por último, el caso 3 (C-3), hace alusión al control de la CRAA, donde se presenta un menor porcentaje de ahorro económico con respecto a las demás estrategias analizadas del usuario 1, obteniendo el 0.2% de ahorro económico y 0% de ahorro energético con una facturación de \$8,497,147 pesos. En comparación con el año anterior se tiene una disminución de \$78,662 pesos, y una reducción de 0.3% de ahorro económico. Es importante destacar que a pesar que con este caso se obtienen menores ahorros, no se requiere una inversión económica por parte del usuario.

Los resultados expuestos de los párrafos anteriores del usuario #1, mostraron que de las estrategias mencionadas anteriormente, solo el caso 3 redujo su porcentaje de ahorro económico con respecto al esquema tarifario anterior, donde los cobros por energía eléctrica estaban sujetos en gran medida al manejo de la demanda horaria, en cambio, en la tarifa GDMTH el consumo es el parámetro más representativo para el costo eléctrico, es decir, los cálculos que evalúan los conceptos de distribución, capacidad y generación, involucran al consumo para ejecutar la fórmula correspondiente.

Así mismo, los casos 7 y 11, los cuales fueron mostrados en la tabla 4.6, presentan una similitud al caso 3, al reducir su porcentaje de ahorro económico en el esquema tarifario GDMTH con respecto al HM.

En el caso 7, donde se propone SVFs en conjunto con el control de la CRAA para el escenario #1, se tiene un ahorro eléctrico del 2%, esta situación tiene un bajo impacto en la disminución del consumo, así como en su demanda, sin embargo, en la tarifa HM, dichos cambios tienen una mejor participación en la facturación eléctrica. No obstante, la diferencia entre ambos esquemas es mínima representando más de 0.2% a favor de la tarifa anterior (HM).

El caso 11, plantea la reducción del volumen climatizado y una disminución del consumo eléctrico, sin embargo, es de bajo impacto en el ahorro energético. A pesar que en la tarifa GDMTH el consumo tiene mayor participación en el costo eléctrico, este caso ocasiona una reducción muy pequeña en el consumo y por consiguiente en el ahorro económico.

Las estrategias que tengan un porcentaje de ahorro energético menor al 2% del consumo eléctrico anual, estarán expuestas a obtener porcentajes de ahorro económicos menores a los resultados de la tarifa anterior (HM). Dicha observación se obtuvo para el usuario 1 evaluado en la tarifa GDMTH.

Por otra parte, los resultados del usuario 1 muestran que las estrategias de optimización que incorporen SFV individuales o acompañados de la CRAA, presentarán porcentajes de ahorros económicos superiores o iguales a los ahorros energéticos que se encuentren bajo el esquema tarifario GDMTH.

Por último, es necesario mencionar que para el usuario 1 en la tarifa HM el cobro por concepto de demanda facturable representa un porcentaje anual de 21.6%, donde en los meses de verano aumenta con el 32%, y en invierno disminuye a 11%. Mientras que en la tarifa GDMTH, los conceptos de distribución y capacidad representan para el costo eléctrico un porcentaje anual de 57%, donde verano se disminuye con el 52%, mientras que en invierno aumenta a 62%.

En seguida, se describirán las características particulares de las estrategias de optimización energética utilizadas para el usuario # 2. Donde se contemplaron 18 acciones, de las cuales se destaca el aislamiento térmico en el techo, al no ser considerada para el resto de los usuarios analizados.

El aislamiento en el techo propuesto para dicho usuario, disminuye el paso de calor por conducción a los espacios climatizados. Para tal efecto, se consideró el uso de fibra de vidrio R11 como material aislante en el techo para evaluar los ahorros energéticos y económicos.

Por consiguiente, las características descritas de las estrategias de mejora en materia energética de párrafos anteriores, se muestran en la siguiente tabla 4.7. Donde se exponen los resultados de cada caso evaluado para el usuario #2 bajo los parámetros de ahorro energético y económico en los esquemas tarifarios HM y GDMTH.

Tabla 4.7. Análisis energético de resultados del usuario 2

Usuario # 2/ Acciones de optimización	CONSUMO ANUAL (kWh)	COSTO – HM	COSTO - GDMTH	% AHORRO (kWh)	AHORRO- HM	AHORRO- GDMTH	% AHORRO - HM (\$)	% AHORRO - GDMTH (\$)
C-1 (Actual)	6,186,145	\$12,398,321	\$12,249,771	NA	NA	NA	NA	NA
C-2 (LED)	6,042,861	\$12,174,290	\$12,004,886	2.3%	\$224,032	\$244,886	1.8%	2.0%
C-3 (CRAA)	6,186,145	\$12,290,071	\$12,176,171	0.0%	\$108,250	\$73,600	0.9%	0.6%
C-4 (SFV E# 1)	6,062,499	\$12,135,993	\$11,991,819	2.0%	\$262,328	\$257,952	2.1%	2.1%
C-5 (SFV E# 2)	5,876,259	\$11,747,780	\$11,609,930	5.0%	\$650,541	\$639,841	5.2%	5.2%
C-6 (SFV E# 3)	5,568,426	\$11,134,381	\$10,995,853	10.0%	\$1,263,940	\$1,253,918	10.2%	10.2%
C-7 (SFV + CRAA) E# 1	6,062,499	\$12,031,110	\$11,918,219	2.0%	\$367,211	\$331,553	3.0%	2.7%
C-8 (SFV + CRAA) E# 2	5,876,259	\$11,640,668	\$11,534,451	5.0%	\$757,653	\$715,320	6.1%	5.8%
C-9 (SFV + CRAA) E# 3	5,568,426	\$11,026,099	\$10,918,199	10.0%	\$1,372,222	\$1,331,572	11.1%	10.9%
C-10 (Aislamiento)	6,072,846	\$12,223,082	\$12,085,156	1.8%	\$175,239	\$164,615	1.4%	1.3%
C-11 (LED + SFV (5%))	5,732,976	\$11,524,167	\$11,365,499	7.3%	\$874,154	\$884,272	7.1%	7.2%
C-12 (LED + CRAA)	6,042,861	\$12,067,555	\$11,931,285	2.3%	\$330,766	\$318,486	2.7%	2.6%
C-13 (LED+ SFV (5%)+ CRAA)	5,732,976	\$11,415,156	\$11,290,280	7.3%	\$983,165	\$959,491	7.9%	7.8%
C-14 (RI)	6,160,101	\$12,358,048	\$12,215,869	0.4%	\$40,273	\$33,902	0.3%	0.3%
C-15 (LED+ RI)	6,016,817	\$12,134,016	\$11,971,388	2.7%	\$264,305	\$278,384	2.1%	2.3%
C-16 (SFV (5%)+ RI)	5,850,215	\$11,707,507	\$11,576,432	5.4%	\$690,814	\$673,339	5.6%	5.5%
C-17 (CRAA + RI)	6,160,101	\$12,249,797	\$12,142,269	0.4%	\$148,524	\$107,502	1.2%	0.9%
C-18 (LED+ SFV (5%)+ CRAA+ RI)	5,706,931	\$11,374,882	\$11,256,683	7.7%	\$1,023,439	\$993,088	8.3%	8.1%

C-1, 2, 3... n= Casos de cada una de las acciones de optimización energética
 NA= No Aplica el cálculo de la magnitud.
 LED= Implementación de iluminarias LED
 CRAA= Capacidad Requerida de Aire Acondicionado.
 SFV = Incorporar Sistemas Fotovoltaicos.
 Aislamiento= Aislamiento en el techo, de material de fibra de vidrio R11.

E#1= Escenario que incorpore el 2% del consumo eléctrico final del usuario.
 E#2= Escenario que incorpore el 5% del consumo eléctrico final del usuario.
 E#3= Escenario que incorpore el 10% del consumo eléctrico final del usuario.
 RI= Implementar la Reducción de Infiltración en la edificación.
 += Combinación de acciones.

Los resultados de la tabla anterior, exhiben el estado actual del usuario #2 con un consumo eléctrico anual de 6,186,145 kWh, y una facturación de \$ 12,398,321 pesos en tarifa HM y \$ 12,249,771 pesos en tarifa GDMTH. La diferencia económica de ambas facturaciones es de \$ 148,550 pesos, disminuyendo 1.19% el costo eléctrico con respecto a la tarifa anterior.

Los mayores impactos de los ahorros económicos y energéticos de la tarifa GDMTH en sus diferentes estrategias para el usuario #2, se presentan entre los siguientes casos: el caso 9 (C-9) incluye un SFV y el control de la CRAA para un escenario 3, donde se muestra un porcentaje de ahorro económico de 10.9% y 10% de ahorro energético, con una facturación de \$ 10,918,199 pesos, la cual genera una diferencia con respecto a la tarifa anterior (HM) de \$ 107,900 pesos, es decir, se presenta un decremento en el ahorro monetario de 0.2 %.

El caso 6 (C-6) se propone la utilización de un SFV para un escenario 3, donde se muestra el 10.2% de ahorro económico y 10% de ahorro energético con una facturación de \$10,995,853 pesos. Así mismo, se tiene una disminución de \$138,528 pesos y un nulo aumento en su ahorro económico con respecto a la tarifa HM.

En el caso 8 se involucran un SFV y el control de la CRAA para un escenario 2, en ella, se presenta una facturación de \$ 11,534,451 pesos con un porcentaje de ahorro económico de 5.8% y 5% de ahorro energético. La diferencia con el viejo esquema tarifario, muestra reducciones de \$ 106,216 pesos en facturación y 0.3% de ahorro monetario.

Los SFVs para un escenario #2, se ubican en el caso 5 (C-5), donde se exhibe una facturación de \$ 11,609,930 pesos con un ahorro económico de 5.2% y 5% de ahorro energético. La comparativa entre ambos esquemas tarifarios generan una reducción de \$137,850 pesos y una similitud de ahorros monetarios con respecto a la tarifa anterior.

Por la último la estrategia de menor impacto, se muestra en el caso 14 (C-14), que hace alusión a la RI (Reducción de Infiltración), la cual presenta una

facturación de \$12,215,869 pesos y un porcentaje de ahorro económico de 0.3% y 0.4% de ahorro energético. En base a la tarifa anterior, se tiene una disminución de \$142,179 pesos y un nulo incremento en el porcentaje de ahorro monetario.

En base a los párrafos anteriores se puede generalizar para el usuario #2 lo siguiente: las estrategias que presenten porcentajes de ahorros energéticos menores al 2% de su consumo eléctrico anual, generarán porcentajes de ahorros económicos menores o iguales a los ahorros generados bajo el esquema tarifario anterior (HM). Así como también las acciones que incorporen SFVs individuales o acompañados del control de la CRAA, mostrarán mayores o iguales ahorros económicos al ser comparados con los ahorros energéticos.

Por otra parte, es conveniente mencionar del usuario #2 la participación porcentual que representa la demanda en el costo eléctrico para ambos esquemas tarifarios. En la tarifa HM, la demanda facturable (donde involucra la demanda) representa el 20% de la facturación promedio anual, donde los meses de invierno disminuye 9% y aumenta hasta 31% en verano. En cambio, la tarifa GDMTH tiene un porcentaje promedio anual de 55% por los conceptos de capacidad y distribución (que incorporan a la demanda), a su vez, disminuye al 50% en verano y aumentan hasta 60% en invierno.

A continuación, se mencionarán las características particulares de las propuestas de mejora energética del usuario #3. Donde se identificaron 18 estrategias, de las cuales, solo una no pudo integrarse al resto de los usuarios analizados, tal es el caso del aislamiento térmico en techo, en el cual se propuso a la fibra de vidrio R19 de 2 pulgadas como material aislante.

Otra estrategia que puede incorporarse en las industrias analizadas mostró la siguiente especificación en el usuario #3. Las luminarias cuentan con una potencia actual de 4,176 W de los cuales si fueran reemplazados por iluminación LED la demanda eléctrica sería de 2,272 W.

En seguida, se exhibirán los resultados de los ahorros económicos y energéticos de cada caso evaluado para el usuario #3 en la siguiente tabla 4.8.

Tabla 4.8. Análisis energético de resultados del usuario 3

Usuario # 3 / Acciones de optimización	CONSUMO ANUAL (kWh)	COSTO - HM	COSTO - GDMTH	% AHORRO (kWh)	AHORRO- HM	AHORRO- GDMTH	% AHORRO- HM (\$)	% AHORRO- GDMTH (\$)
C-1 (Actual)	828,880	\$1,710,047	\$1,657,715	NA	NA	NA	NA	NA
C-2 (LED)	809,670	\$1,680,982	\$1,622,889	2.3%	\$29,065	\$34,826	1.7%	2.1%
C-3 (CRAA)	828,880	\$1,696,999	\$1,655,661	0.0%	\$13,047	\$2,054	0.8%	0.1%
C-4 (SFV E# 1)	811,436	\$1,673,289	\$1,623,177	2.1%	\$36,758	\$34,538	2.1%	2.1%
C-5 (SFV E# 2)	786,809	\$1,621,815	\$1,576,719	5.1%	\$88,232	\$80,995	5.2%	4.9%
C-6 (SFV E# 3)	745,252	\$1,532,459	\$1,496,033	10.1%	\$177,588	\$161,681	10.4%	9.8%
C-7 (SFV + CRAA) E# 1	811,436	\$1,659,082	\$1,620,307	2.1%	\$50,965	\$37,408	3.0%	2.3%
C-8 (SFV + CRAA) E# 2	786,809	\$1,606,859	\$1,572,619	5.1%	\$103,187	\$85,096	6.0%	5.1%
C-9 (SFV + CRAA) E# 3	745,252	\$1,518,996	\$1,491,125	10.1%	\$191,051	\$166,590	11.2%	10.0%
C-10 (RI)	819,461	\$1,696,565	\$1,638,641	1.1%	\$13,481	\$19,074	0.8%	1.2%
C-11 (Aislamiento)	789,270	\$1,653,619	\$1,579,440	4.8%	\$56,427	\$78,275	3.3%	4.7%
C-12 (LED + SFV (5%))	767,599	\$1,591,642	\$1,541,740	7.4%	\$118,404	\$115,975	6.9%	7.0%
C-13 (LED + CRAA)	809,670	\$1,667,148	\$1,621,235	2.3%	\$42,899	\$36,480	2.5%	2.2%
C-14 (LED+ SFV (5%)+ CRAA)	767,599	\$1,577,437	\$1,538,870	7.4%	\$132,610	\$118,845	7.8%	7.2%
C-15 (LED+ RI)	800,251	\$1,667,500	\$1,603,352	3.5%	\$42,546	\$54,363	2.5%	3.3%
C-16 (SFV (5%)+ RI)	777,390	\$1,608,333	\$1,557,823	6.2%	\$101,714	\$99,891	5.9%	6.0%
C-17 (CRAA + RI)	819,461	\$1,683,518	\$1,637,402	1.1%	\$26,529	\$20,313	1.6%	1.2%
C-18 (LED+ SFV (5%)+ CRAA+ RI)	758,180	\$1,563,956	\$1,520,383	8.5%	\$146,091	\$137,332	8.5%	8.3%

C-1, 2, 3... n= Casos de cada una de las acciones de optimización energética
 NA= No Aplica el cálculo de la magnitud.
 LED= Implementación de iluminarias LED
 CRAA= Capacidad Requerida de Aire Acondicionado.
 SFV = Incorporar Sistemas Fotovoltaicos
 Aislamiento= Aislamiento en el techo, de material de fibra de vidrio R19 de 2 pulgadas.

E#1= Escenario que incorpore el 2% del consumo eléctrico final del usuario.
 E#2= Escenario que incorpore el 5% del consumo eléctrico final del usuario.
 E#3= Escenario que incorpore el 10% del consumo eléctrico final del usuario.
 RI= Implementar la Reducción de Infiltración en la edificación.
 += Combinación de acciones.

De la tabla anterior, se observa el estado actual del usuario #3 presenta un consumo eléctrico anual de 828,880 kWh con un costo de \$1,710,047 pesos en tarifa HM y \$1,657,715 pesos en tarifa GDMTH. La comparación de ambas tarifas genera una disminución de 3.1% el costo eléctrico con respecto a la tarifa anterior, es decir, se dejó de pagar \$52,332 pesos.

Las estrategias de mayor impacto en los ahorros económicos y energéticos de la tarifa GDMTH para el usuario #3, se exhiben entre los siguientes casos: el caso 9 (C-9) incluye un SFV y el control de la CRAA para un escenario 3, donde se muestra un porcentaje de ahorro económico de 10% y 10.1% de ahorro energético, con una facturación de \$ 1,491,125 pesos, la cual genera una diferencia con respecto a la tarifa anterior (HM) de \$ 27,870 pesos, con un decremento de ahorro monetario de 1.2 %.

El caso 6 (C-6) incorpora la utilización de un SFV para un escenario 3, donde se presenta 9.8% de ahorro económico y 10.1% de ahorro energético con una facturación de \$1,496,033 pesos. Así mismo, se tiene una disminución de \$36,425 pesos y a su vez, una reducción en su ahorro económico de 0.6% con respecto a la tarifa HM.

En el caso 8 (C-8) se propone un SFV y el control de la CRAA para un escenario 2, esta acción muestra una facturación de \$1,572,619 pesos con un porcentaje de ahorro económico y energético semejante a 5.1%. La diferencia con el viejo esquema tarifario, muestra reducciones de \$ 34,240 pesos en el costo eléctrico y 0.9% de ahorro monetario.

El caso 5 (C-5), involucran los SFVs para un escenario 2, exhibe una facturación de \$ 1,576,719 pesos con un ahorro económico de 4.9% y 5.1% de ahorro energético. La comparativa entre ambos esquemas tarifarios genera una reducción de \$45,095 pesos y una disminución de 0.3% de ahorro monetario con respecto a la tarifa anterior.

En último lugar se presenta la estrategia de menor impacto, la cual se encuentra en el caso 3 (C-3), que hace alusión a la CRAA, donde se presenta una facturación de \$1,655,661 pesos y un porcentaje de ahorro económico de 0.1% con una nula participación de ahorro energético. En base a la tarifa anterior, se tiene una disminución de \$41,339 pesos y a su vez, una reducción de 0.7% de ahorro monetario.

Por consiguiente, las estrategias mencionadas para el usuario #3 de los párrafos anteriores, se puede concretar lo siguiente: las acciones que involucran SFVs solos o acompañados del control de la CRAA, muestran mayores porcentajes de ahorro económicos en tarifa HM que en tarifa GDMTH, mostrando un comportamiento distinto a los usuarios evaluados anteriormente.

Otro aspecto necesario mencionar para el usuario #3 en la tarifa HM, es el cobro por concepto de demanda facturable, el cual representa un porcentaje promedio anual de 24.1%, donde en los meses de verano aumenta con el 36%, y en invierno disminuye hasta 12%. Mientras que en la tarifa GDMTH, los conceptos de distribución y capacidad representan para el costo eléctrico un porcentaje promedio anual de 57%, donde verano se disminuye hasta 52%, mientras que en invierno aumenta hasta 61%.

Finalmente, se presentarán los resultados de las estrategias de optimización energética planteadas para el último usuario # 4. En la siguiente tabla 4.9 se muestran los ahorros económicos y energéticos de cada caso evaluado en ambos esquemas tarifarios HM y GDMTH. Donde se exhiben 17 acciones, las cuales, lograron ser aplicadas en todas las industrias analizadas.

Tabla 4.9. Análisis energético de resultados del usuario 4

Usuario # 4 / Acciones de optimización	CONSUMO ANUAL (kWh)	COSTO - HM	COSTO - GDMTH	% AHORRO (kWh)	AHORRO- HM	AHORRO- GDMTH	% AHORRO- HM (\$)	% AHORRO- GDMTH (\$)
C-1 (Actual)	14,583,450	\$25,007,851	\$24,146,979	NA	NA	NA	NA	NA
C-2 (LED)	14,405,419	\$24,740,580	\$23,918,223	1.2%	\$267,271	\$228,757	1.1%	0.9%
C-3 (CRAA)	14,583,450	\$24,645,481	\$23,435,088	0.0%	\$362,370	\$711,891	1.4%	2.9%
C-4 (SFV E# 1)	14,290,494	\$24,400,384	\$23,506,619	2.0%	\$607,467	\$640,361	2.4%	2.7%
C-5 (SFV E# 2)	13,855,422	\$23,511,138	\$22,748,456	5.0%	\$1,496,713	\$1,398,524	6.0%	5.8%
C-6 (SFV E# 3)	13,129,446	\$22,028,428	\$21,473,901	10.0%	\$2,979,423	\$2,673,078	11.9%	11.1%
C-7 (SFV + CRAA) E# 1	14,290,494	\$24,038,049	\$22,793,416	2.0%	\$969,802	\$1,353,564	3.9%	5.6%
C-8 (SFV + CRAA) E# 2	13,855,422	\$23,148,806	\$22,035,156	5.0%	\$1,859,045	\$2,111,824	7.4%	8.7%
C-9 (SFV + CRAA) E# 3	13,129,446	\$21,666,052	\$20,760,737	10.0%	\$3,341,799	\$3,386,242	13.4%	14.0%
C-10 (RI)	14,458,402	\$24,825,309	\$24,015,773	0.9%	\$182,542	\$131,206	0.7%	0.5%
C-11 (LED + SFV (5%))	13,677,391	\$23,243,879	\$22,519,699	6.2%	\$1,763,972	\$1,627,280	7.1%	6.7%
C-12 (LED + CRAA)	14,405,419	\$24,378,578	\$23,206,332	1.2%	\$629,273	\$940,648	2.5%	3.9%
C-13 (LED+ SFV (5%)+ CRAA)	13,677,391	\$22,881,547	\$21,806,399	6.2%	\$2,126,304	\$2,340,581	8.5%	9.7%
C-14 (LED+ RI)	14,280,372	\$24,558,039	\$23,787,016	2.1%	\$449,813	\$359,963	1.8%	1.5%
C-15 (SFV (5%)+ RI)	13,730,377	\$23,328,596	\$22,617,249	5.8%	\$1,679,255	\$1,529,730	6.7%	6.3%
C-16 (CRAA + RI)	14,458,402	\$24,462,939	\$23,303,882	0.9%	\$544,912	\$843,097	2.2%	3.5%
C-17 (LED+ SFV (5%)+ CRAA+ RI)	13,552,346	\$22,699,005	\$21,675,192	7.1%	\$2,308,846	\$2,471,787	9.2%	10.2%

C-1, 2, 3... n= Casos de cada una de las acciones de optimización energética
 NA= No Aplica el cálculo de la magnitud.
 LED= Implementación de iluminarias LED
 CRAA= Capacidad Requerida de Aire Acondicionado.
 SFV = Incorporar Sistemas Fotovoltaicos

E#1= Escenario que incorpore el 2% del consumo eléctrico final del usuario.
 E#2= Escenario que incorpore el 5% del consumo eléctrico final del usuario.
 E#3= Escenario que incorpore el 10% del consumo eléctrico final del usuario.
 RI= Implementar la Reducción de Infiltración en la edificación.
 += Combinación de acciones.

El estado actual del usuario #4 que se muestra de los resultados expuestos de la tabla contigua, factura anualmente \$25,007,851 pesos en tarifa HM y \$24,146,979 pesos en tarifa GDMTH con un consumo eléctrico de 14,583,450 kWh. Ambas tarifas generan una diferencia económica de \$860,872 pesos, es decir, se redujo 3.4% la facturación actual.

Los ahorros económicos y energéticos de mayor impacto en la tarifa GDMTH para el usuario #4 en sus diferentes estrategias, se presentan entre los siguientes casos: el caso 9 (C-9) incluye un SFV y el control de la CRAA para un escenario 3, donde se muestra un porcentaje de ahorro económico de 14% y 10% de ahorro energético, con una facturación de \$ 20,760,737 pesos, la cual genera una diferencia con respecto a la tarifa anterior (HM) de \$ 905,315 pesos, con un incremento de ahorro monetario de 0.6 %.

La utilización de un SFV para un escenario 3 se encuentra en el caso 6 (C-6), al exhibir un ahorro económico de 11.1% y 10% en el ahorro energético, con una facturación de \$21,473,901 pesos. Así mismo, se tiene una disminución de \$554,527 pesos, es decir, se redujo 0.8% el ahorro monetario con respecto a la tarifa HM.

En el caso 8 se involucran un SFV y el control de la CRAA para un escenario 2, en ella, se presenta una facturación de \$ 22,035,156 pesos con un porcentaje de ahorro económico de 8.7% y 5% de ahorro energético. La diferencia con el viejo esquema tarifario, muestra una reducción de \$ 1,113,651 pesos, incrementando 1.3% su ahorro monetario.

Los SFVs para un escenario #2, se ubican en el caso 5 (C-5), donde se muestra una facturación de \$ 22,748,456 pesos con un ahorro económico de 5.8% y 5% de ahorro energético. La comparativa entre ambos esquemas tarifarios generan una reducción de \$762,682 pesos, es decir, se disminuye 0.2% su ahorro económico con respecto a la tarifa HM.

Por la último la estrategia de menor impacto, se muestra en el caso 10 (C-10), que hace alusión a la reducción de infiltraciones, la cual, presenta una facturación de \$24,015,773 pesos con un porcentaje de ahorro económico de 0.5% y 0.9% de ahorro energético. En base a la tarifa anterior, se tiene una disminución de \$809,536 pesos, disminuyendo 0.2% su ahorro monetario.

En base a los párrafos anteriores se puede generalizar para el usuario #4 lo siguiente: Las estrategias evaluadas bajo el esquema tarifario GDMTH que involucren SFVs presentaron menores ahorros económicos en comparación con la tarifa HM, a excepción del escenario 1. En cambio, la combinación de los SFVs y el control de la CRAA en la tarifa mencionada anteriormente (GDMTH) elevaron los ahorros monetarios en contraste con la tarifa anterior.

La CRAA del caso 3 (C-3), genero un comportamiento diferente a los usuarios evaluados anteriormente, proporcionando en tarifa GDMTH un aumento del 1.5% en el ahorro económico en comparación con la tarifa HM.

Otro suceso distinto de la muestra evaluada, se presentó en la estrategia de sustitución de luminarias led del caso 2 (C-2), al incrementar su ahorro económico con tarifa HM.

Por otra parte, es conveniente mencionar del usuario #4 la participación porcentual que representa la demanda en el costo eléctrico para ambos esquemas tarifarios. En la tarifa HM, la demanda facturable (donde involucra la demanda) representa el 16% de la facturación promedio anual, donde los meses de invierno disminuye 7% y aumenta 26% en verano. En cambio, la tarifa GDMTH aumenta con un porcentaje promedio anual de 50% por los conceptos de capacidad y distribución (que incorporan a la demanda), a su vez, disminuye 45% en verano y aumentan 55% en invierno.

Una vez obtenido los resultados de las estrategias de mejora, se realiza un diseño de experimentos con el cual se podrá determinar las acciones de mayor impacto en la reducción del costo eléctrico. Para tal efecto, se emplea la metodología Taguchi L_8 con interacciones a fin de obtener un análisis de varianza de los porcentajes de ahorro en la facturación energética, y determinar de manera preliminar acciones que puedan aplicarse de forma general al sector industrial y a su vez ocasionen los mayores beneficios a los usuarios.

A continuación, se muestra mediante tablas los resultados obtenidos en el diseño de experimentos tras aplicar la metodología Taguchi con arreglos ortogonales e interacciones de un arreglo L_8 , para cada uno de los usuarios industriales analizados.

Las tablas se presentan en el siguiente orden, primero se exponen los resultados de los porcentajes de ahorro económico de la tarifa GDMTH obtenidos de cada uno de los usuarios evaluados, para después mostrar el análisis de varianza a través de la tabla ANOVA, con la finalidad de sustentar estadísticamente los factores (estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía) de mayor impacto en el ahorro del costo eléctrico. Posteriormente se establecen los factores que se pueden aplicar de forma generalizada en la muestra y se calcula el porcentaje de ahorro promedio.

USUARIO #1

Se presenta el siguiente comportamiento.

En la tabla 4.10, se observa los resultados obtenidos del ahorro económico de las pruebas evaluadas en el usuario #1, demostrando que la prueba 8, presentó un mayor impacto con el 15.2% de ahorro en costo eléctrico. En esta prueba participan todos los factores, es decir todas las estrategias (véase en el capítulo 3, tabla 1). Mientras que la prueba 5, fue quien mostró un menor impacto de 4% en el ahorro económico, al implementar el control de la CRAA y la RI.

Tabla 4.10. Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L₈. Usuario #1

Sujeto	Factores							Usuario 1
	A= CRAA	B= SFV(5%)	Interacción AB	C= LED	Interacción AC	Interacción BC	D= RI	Ahorro económico (GDMTH) %
Prueba 1	1	1	1	1	1	1	1	0
Prueba 2	1	1	1	2	2	2	2	10
Prueba 3	1	2	2	1	1	2	2	8.8
Prueba 4	1	2	2	2	2	1	1	10.9
Prueba 5	2	1	2	1	2	1	2	4
Prueba 6	2	1	2	2	1	2	1	5.9
Prueba 7	2	2	1	1	2	2	1	5.4
Prueba 8	2	2	1	2	1	1	2	15.2
							Total	60.2

Tabla 4.11. Análisis de varianza del usuario #1

ANOVA					F _{cri}	SS _{pura}	%SS
Factor	SS	G.L.	M.S	F _{exp}			
A*= CRAA	0.08	1	0.08	1.4	7.709	0.024	0.02%
B= SFV (5%)	52.02	1	52.02	924.8		51.964	33.69%
C= LED	70.805	1	70.805	1258.8		70.749	45.86%
D = RI	31.205	1	31.205	554.8		31.149	20.19%
AB *	0.125	1	0.125	2.2		0.069	0.04%
AC *	0.02	1	0.02	0.4		-0.036	-0.02%
BC *	0.0E+00	1	0.0E+00	0.0		-0.056	-0.04%
Error	0.225	4	0.05625			0.394	0.26%
Total	154.255	7					

En la tabla 4.11, se muestra la tabla ANOVA, la cual representa el análisis de varianza de las estrategias propuestas. En dicha tabla se interpreta lo siguiente: el usuario #1, demuestra que los factores B,C,D y la interacción de AB son representativas significativamente, ya que la F experimental es mayor a 2, según el criterio de Taguchi. Sin embargo, la interacción AB arrojó un valor menor que la F crítica, por lo cual se tomó como parte del error. Los factores de mayor impacto que inciden en la variabilidad del ahorro del costo eléctrico, muestran que el factor C provoca casi el 46% de la variabilidad del proceso en tanto que el factor B induce el 34% y el factor D, el resto.

USUARIO #2

Los resultados obtenidos del ahorro económico de los tratamientos evaluados en el usuario #2 se exhiben en la siguiente tabla 4.12. De la cual, se percató que en el tratamiento 8, mostró un mayor impacto del 8.1% de ahorro, dicho porcentaje fue debido a la participación de todos los factores. En cambio, el tratamiento 5, presentó un menor impacto de 0.9% de ahorro, al incorporar las estrategias de manejo de la CRAA y la RI.

Tabla 4.12. Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L₈. Usuario #2

Sujeto	Factores							Usuario 2
	A= CRAA	B= SFV(5%)	Interacción AB	C= LED	Interacción AC	Interacción BC	D= RI	Ahorro económico (GDMTH) %
Prueba 1	1	1	1	1	1	1	1	0
Prueba 2	1	1	1	2	2	2	2	2.3
Prueba 3	1	2	2	1	1	2	2	5.5
Prueba 4	1	2	2	2	2	1	1	7.2
Prueba 5	2	1	2	1	2	1	2	0.9
Prueba 6	2	1	2	2	1	2	1	2.6
Prueba 7	2	2	1	1	2	2	1	5.8
Prueba 8	2	2	1	2	1	1	2	8.1
Total								32.4

Tabla 4.13. Análisis de varianza del usuario #2

ANOVA					Fcri	SSpura	%SS
Factor	SS	G.L.	M.S	Fexp			
A= CRAA	0.72	1	0.72	16.0	7.709	0.675	1.07%
B= SFV(5%)	54.08	1	54.08	1201.8		54.035	85.80%
C= LED	8	1	8	177.8		7.955	12.63%
D *= RI	0.18	1	0.18	4.0		0.135	0.21%
AB *	0	1	0	0.0		-0.045	-0.07%
AC *	0	1	0	0.0		-0.045	-0.07%
BC *	0.0E+00	1	0.0E+00	0.0		-0.045	-0.07%
Error	0.180	4	0.045			0.315	0.50%
Total	62.98	7					

En base a los resultados anteriores se genera la siguiente tabla 4.13, donde se presenta el análisis de varianza de las estrategias propuestas. De la cual, se puede apreciar del usuario #2, los factores A,B,C, y D son estadísticamente significativos al basarse en la metodología Taguchi, ya que, su Fexperimental es mayor al valor 2. Sin embargo, el factor D es menor sí se compara con la Fcrítica de las tablas de Fisher, por lo cual fue tomado como parte el error. Los factores que generaron un mayor impacto en la variabilidad del proceso, muestran que el factor B genera casi el 86% de la variabilidad del ahorro de la facturación económica seguido del factor C, que provoca casi el 13% y por último el factor A induciendo el 1%.

USUARIO #3

En la tabla 4.14, se muestran los ahorros económicos al efectuar las pruebas evaluadas bajo un arreglo ortogonal para el usuario #3. Se observó que la prueba 8 quien involucra todos los factores, tiene un mayor impacto de 8.3% en el ahorro. Mientras que la prueba 5 fue de menor impacto con 1.2% de ahorro. En esta última, se involucran las estrategias de control de la CRAA y la RI.

Tabla 4.14. Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L₈. Usuario #3

Sujeto	Factores							Usuario 3
	A= CRAA	B= SFV(5%)	Interacción AB	C= LED	Interacción AC	Interacción BC	D= RI	Ahorro económico (GDMTH) %
Prueba 1	1	1	1	1	1	1	1	0
Prueba 2	1	1	1	2	2	2	2	3.3
Prueba 3	1	2	2	1	1	2	2	6
Prueba 4	1	2	2	2	2	1	1	7
Prueba 5	2	1	2	1	2	1	2	1.2
Prueba 6	2	1	2	2	1	2	1	2.2
Prueba 7	2	2	1	1	2	2	1	5.1
Prueba 8	2	2	1	2	1	1	2	8.3
							Total	33.1

El análisis de varianza de las estrategias propuestas se aprecia en la siguiente tabla 4.15. Demostrando que en el usuario #3 los factores A, B, C y D son estadísticamente significativos, ya que su $F_{\text{experimental}}$ es mayor a 2. No obstante, el factor A fue considerado como parte del error al no presentar un valor mayor a la $F_{\text{crítica}}$ de las tablas de Fisher. Por lo tanto, los factores que realizan una mayor variabilidad en el proceso, muestran que el factor B causa prácticamente el 81% de la variabilidad del porcentaje de ahorro económico, en parte el factor C provoca el 15%, y el factor D, el resto.

Tabla 4.15. Análisis de varianza del usuario #3

ANOVA					F_{cri}	Sspura	%SS
FACTOR	SS	G.L.	M.S	F_{exp}			
A *	0.03125	1	0.03125	2.8	7.709	0.020	0.03%
B	48.51125	1	48.51125	4312.1		48.500	80.67%
C	9.03125	1	9.03125	802.8		9.020	15.00%
D	2.53125	1	2.53125	225.0		2.520	4.19%
AB *	0.01125	1	0.01125	1.0		0.000	0.00%
AC *	0.00125	1	0.00125	0.1		-0.010	-0.02%
BC *	1.3E-03	1	1.3E-03	0.1		-0.010	-0.02%
Error	0.045	4	0.01125			0.079	0.13%
TOTAL	60.11875	7					

USUARIO #4

Los ahorros económicos de los tratamientos (o pruebas) analizados en el usuario #4, se ilustran en la tabla 4.16, donde se expone al tratamiento 8, con mayor impacto en el ahorro económico de 10.24 %, siendo participes todos los factores. Por otra parte, el tratamiento 2, mostró un menor impacto de 1.49% al implementar las estrategias del cambio de luminarias fluorescentes a LED y la reducción de infiltraciones. En este último arreglo se puede observar una diferencia en los factores que impactan al ahorro económico respecto a los resultados obtenidos en los usuarios 1, 2 y 3.

Tabla 4.16. Arreglo ortogonal con interacciones, Taguchi L₈. Usuario #4

Factores								Usuario 4
Sujeto	A= CRAA	B= SFV(5%)	Interacción AB	C= LED	Interacción AC	Interacción BC	D= RI	Ahorro económico (GDMTH) %
Prueba 1	1	1	1	1	1	1	1	0
Prueba 2	1	1	1	2	2	2	2	1.49
Prueba 3	1	2	2	1	1	2	2	6.34
Prueba 4	1	2	2	2	2	1	1	6.74
Prueba 5	2	1	2	1	2	1	2	3.49
Prueba 6	2	1	2	2	1	2	1	3.9
Prueba 7	2	2	1	1	2	2	1	8.75
Prueba 8	2	2	1	2	1	1	2	10.24
Total								40.95

Tabla 4.17. Análisis de varianza del usuario #4

ANOVA					F _{cri}	SS _{pura}	%SS
FACTOR	SS	G.L.	M.S	F _{exp}			
A= CRAA	17.4345125	1	17.4345125	118.5	7.709	17.287	19.86%
B= SFV(5%)	67.2220125	1	67.2220125	456.8		67.075	77.06%
C=LED	1.7955125	1	1.7955125	12.2		1.648	1.89%
D *= RI	0.5886125	1	0.5886125	4.0		0.441	0.51%
AB *	1.25E-05	1	1.25E-05	0.0		-0.147	-0.17%
AC *	1.25E-05	1	1.25E-05	0.0		-0.147	-0.17%
BC *	1.3E-05	1	1.3E-05	0.0		-0.147	-0.17%
Error	0.589	4	0.1471625			1.030	1.18%
TOTAL	87.0406875	7					

A partir de los resultados expuestos anteriormente se realiza la siguiente tabla 4.17, la cual muestra el análisis de varianza de las estrategias evaluadas para el usuario #4. Demostrando lo siguiente: los factores A,B,C, y D son estadísticamente significativos, puesto que su F_{experimental} es mayor a 2, al seguir el criterio de Taguchi. Sin embargo, el factor D fue considerado parte del error por no haber superado la F_{crítica} de las tablas de Fisher. De tal manera que los factores que desempeñaron una gran variabilidad en el porcentaje de ahorro económico, presentan que el factor B induce el 77% de variabilidad del proceso en tanto al factor A induce prácticamente el 20% y el factor C induce casi el 2%.

A continuación, se presenta en la tabla 4.18 los factores que mostraron un mayor impacto en el ahorro económico de las facturaciones eléctricas de la muestra analizada bajo el análisis de la metodología Taguchi. Los factores fueron expuestos en orden descendente (de izquierda a derecha) según el impacto de su ahorro. Demostrando que el factor B y C, tienen una mayor participación en las empresas evaluadas, y los factores restantes solo intervinieron en dos industrias.

Tabla 4.18. Factores con mayor impacto en el ahorro de costo eléctrico en la muestra

		Grado de impacto en el ahorro económico					
		1ero		2do		3ero	
Usuario #1	C	LED	B	SFV (5%)	D	RI	
Usuario #2	B	SFV (5%)	C	LED	A	CRAA	
Usuario #3	B	SFV (5%)	C	LED	D	RI	
Usuario #4	B	SFV (5%)	A	CRAA	C	LED	

Tras lo mencionado anteriormente, se presenta en la siguiente tabla de manera general las estrategias de eficiencia energética de mayor impacto, mostrando los porcentajes de ahorro del costo eléctrico calculados a partir del nuevo esquema tarifario GDMTH.

Tabla 4.19. Porcentajes de ahorro en el costo eléctrico de los factores aplicables al total de la muestra

Factor de ahorro económico	Usuario #1	Usuario #2	Usuario #3	Usuario #4	Promedio gral.
SFV (5%)	5.2	5.2	4.9	5.8	<u>5.3</u>
LED	5.7	2	2.1	0.9	<u>2.7</u>

De la tabla superior, se puede observar que la estrategia de mayor impacto que incorpora el 5% de SFVs en su consumo eléctrico final, tendrá un comportamiento de ahorro económico semejante entre los usuarios industriales evaluados. En cambio, la acción que implica la sustitución de luminarias fluorescentes a LED, presenta un comportamiento distinto entre sí debido a las diferencias características. Por lo tanto, los usuarios industriales mayores a 250 empleados que pertenezcan a un giro de fabricación en las áreas de equipo aeroespacial, partes para vehículos automotores, válvulas metálicas y plásticos y cuenten con un espacio en común de moldeo de plásticos, podrán obtener en promedio general el 5.3% de ahorro económico al aplicar la acción que involucre SFV (5%), y el 2.7% al utilizar luminarias led.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras realizar un análisis de las estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en 4 industrias de fabricación en el área de moldeo de plásticos que cuenten con más de 250 empleados, y se encuentren con un esquema tarifario Gran Demanda Media Tensión Horaria (GDMTH) en Mexicali, Baja California, se pudo concluir lo siguiente:

1. Se acepta la hipótesis general.

Al combinar las estrategias que involucran sistemas fotovoltaicos (SFVs) que abastecen el 5% del consumo final del usuario y el control de la capacidad requerida de aire acondicionado (CRAA), en su conjunto muestran un mayor impacto en el ahorro económico de las facturaciones eléctricas, aumentando a 6.1% el promedio general con respecto a un SFV individual, del cual 0.96% proviene del manejo de la CRAA. Ambos valores pertenecen al nuevo esquema tarifario GDMTH. En cambio, la tarifa HM presentó un ahorro en el costo eléctrico de 6.2 % es decir, un incremento de 0.1% con respecto a la tarifa GDMTH. Pese a las pequeñas variaciones de ahorros económicos que se generaron con las tarifas, es recomendable tanto para la tarifa HM como la GDMTH la aplicación combinada de SFVs al 5% del consumo y CRAA.

Por otra parte, es importante mencionar que las disminuciones del costo eléctrico varían según el comportamiento y las características del usuario evaluado, es decir, la CRAA es una de las estrategias que no tuvo un comportamiento uniforme en la muestra, debido a que está definida en gran medida por la magnitud que resulta de la diferencia entre la capacidad instalada y la capacidad requerida de aire acondicionado, representando un mayor potencial de ahorro económico aquellas industrias que tengan un sobredimensionamiento en la capacidad de aire acondicionado. En la muestra se exhibieron a 2 usuarios con sobredimensionamientos de 2 a 3 TON de enfriamiento, otro usuario con un

sobredimensionamiento de 112 TON de enfriamiento, y por último, un usuario requería satisfacer su demanda con 3 TON de enfriamiento (es decir, se encontraba subdimensionado). Pese a las diferencias de los usuarios evaluados en dicha estrategia se puede generar ahorros monetarios y energéticos, al utilizar adecuadamente la capacidad requerida mensualmente, abriendo la oportunidad de generar ahorro en aquellas industrias que operan en su totalidad la capacidad instalada de aire acondicionado, agregado a ser una acción de costo cero, al no requerir de ninguna inversión al encender sus equipos manualmente, siempre y cuando las industrias cuenten con una variedad de aparatos de aire acondicionado de tipo paquete.

Por lo contrario, los SFV presentaron comportamientos semejantes en los porcentajes de ahorro económico y energético, ya que al satisfacer el 2, 5 y 10% del consumo final de cada usuario mediante energías renovables, se obtienen porcentajes similares respecto al ahorro en el costo eléctrico.

2. Tras los resultados expuestos del capítulo anterior, los factores que presentaron efectos o impactos en el ahorro económico de las industrias analizadas son: los SFVs que abastecen el 5% del consumo final del usuario con un ahorro promedio de 5.27%; y la sustitución de iluminarias fluorescentes a LED con un 2.7% de ahorro promedio respectivamente. Es importante mencionar que los resultados de sustitución a LED tuvieron variabilidad de un usuario a otro, puesto que no en todas las industrias la iluminación represento una carga significativa. En ese sentido la sustitución a LED para la tarifa horaria de media tensión (HM) muestra un ahorro promedio del costo eléctrico de 2.5%, es decir 0.2% menos que en la tarifa GDMTH.
3. El esquema tarifario GDMTH muestra mayores ahorros económicos respecto a la tarifa HM al aplicar las estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía. Lo anterior es debido a los nuevos conceptos de cobros por energía eléctrica, ya que el consumo es el parámetro más representativo para la facturación

eléctrica al incorporarlo en los cálculos de distribución, capacidad y generación, resultando en una mayor participación en la fórmula correspondiente. En cambio, los costos en la tarifa HM están en función al control del concepto de demanda facturable, la cual se calcula en base a la demanda máxima medida cada quince minutos. De tal manera que las estrategias que contemplan una gran participación en la disminución de la demanda eléctrica obtendrán menores ahorros económicos en la tarifa GDMTH.

4. Se puede concluir que el nuevo esquema tarifario GDMTH propone un costo eléctrico más uniforme durante el año y que representa de una manera congruente la cantidad de energía consumida y la demanda eléctrica de las industrias de Mexicali al eliminar los conceptos de factores de reducción que existían en la tarifa HM. Lo anterior se observa al tener un costo promedio por kWh en invierno de \$1.25 M.N./kWh para la tarifa HM, mientras que en la tarifa GDMTH se tiene un costo de \$1.51 M.N./kWh para dicho periodo. Por otra parte, el costo promedio de los meses de verano en HM es de \$2.36 M.N./kWh y el de GDMTH es de \$2.12 M.N./kWh, es decir en el nuevo esquema tarifario GDMTH se incrementaron los precios medios del kWh en invierno y disminuyeron los precios en verano.
5. La hipótesis específica se acredita al utilizar SFVs que abarquen el 10 % del consumo eléctrico final del usuario y el control de la CRAA en su conjunto. El porcentaje promedio del ahorro económico generado para la muestra fue de 11.28%.
6. El esquema tarifario GDMTH disminuye en promedio 2.22 % el cobro eléctrico con respecto a la tarifa HM.

5.1 Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda:

1. Realizar investigaciones a nuevos sectores industriales, con la finalidad de conocer los comportamientos en los ahorros económicos y energéticos de un rango más amplio del sector industrial, para generalizar las estrategias de ahorro y uso eficiente de energía bajo el nuevo esquema tarifario GDMTH en Mexicali, Baja California.
2. Evaluar el impacto en el ahorro en el costo eléctrico del sector industrial al modificar el horario de los usos más significativos de la energía eléctrica. Para tal efecto se deben de involucrar una metodología para identificar a las mayores cargas eléctricas que puedan ser susceptibles a cambiar su horario de funcionamiento sin afectar el proceso productivo y otras actividades del usuario.
3. Incluir en los programas gubernamentales orientados al ahorro y eficiencia energética en el sector industrial promoción de los resultados de este estudio e incentivos para impulsar la implementación de Sistemas Fotovoltaicos interconectados a la red que suministren el 5% del consumo eléctrico anual del usuario y sustitución de luminarias fluorescentes a tecnología LED.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] The World Bank (IEA Statistics © OECD/IEA 2014) Encontrado en: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=EG.USE.ELEC.KH.PC&country=>
- [2] Indicadores estadísticos de México para 2014. Encontrado en: IEA. Fuente: <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=Mexico&product=indicators>
- [3] Sistema de Información Energética, Sector Eléctrico Nacional, usuarios y venta de energía eléctrica. Con información de CFE, incluye Extinta LyFC. Encontrado en: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- [4] ESTADÍSTICAS DE CLIENTES. CFE, 2016. Encontrado en: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Estadisticas/Paginas/clientes.aspx
- [5] Encontrado en: www.cfe.gob.mx -Industria– Conoce tu tarifa-HM
- [6] Encontrado en: http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf
- [7] Encontrado en: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/MarcoLegalNormativo/Lists/Oficios/Attachments/59/Modelodecontratosdesuministroe_e_dof28nov2013.pdf
- [8] Programa de capacitación del proyecto de la unidad móvil para auditoría energética, Tarifas, Dr. Héctor E. Campbell R. hcampbellr@uabc.edu.mx , Instituto de Ingeniería, UABC, Noviembre de 2016.
- [9] Encontrado en: <http://energon-industries.com/documentacion/Documento-Tarifa-HM.pdf>
- [10] Encontrado en: <http://www.cfe.gob.mx/Industria/AhorroEnergia/Lists/Ahorro%20de%20energia/Attachments/3/Factordepotencia1.pdf>
- [11] Encontrado en: http://www.metas.com.mx/guiametras/La-Guia-Metas-10-02-factor_de_potencia.pdf
- [12] CFE, 2019, Oficio SE-300-126222-2018, TFSB enero 2019. Encontrado en: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Acuerdos/AcuerdosNegocio.aspx>

- [13] Gonzales Solórzano José E., “Reducción del consumo de energía eléctrica de una planta automotriz”, Tesis de licenciatura, UNAM(Universidad Nacional Autónoma de México)
- [14] Colectivo de Autores, “GESTIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR PRODUCTIVO Y LOS SERVICIOS”, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos, Cuba. 2007, Bajo la redacción general de Aníbal E. Borroto Nordelo. Colectivo de autores.
- [15] Energías renovables y eficiencia energética, Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., abril 2008, Julieta C. Schallenberg Rodríguez, Gonzalo Piernavieja Izquierdo, Carlos Hernández Rodríguez y col. Encontrado en: <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
- [16] Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa, OptimaGrid. Encontrado en: www.optimagrid.eu
- [17] Eficiencia energética, Ángela Matesanz Parellada, Madrid (España), septiembre de 2008. Encontrado en: <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-eficiencia-energetica.html#17>
- [18] *Ante el cambio climático, menos CO2* (1998), (AEDENAT) Asociación Ecologista de Defensa de la Naturaleza, CODA, CS de CCOO & UGT. Encontrado en: <http://www.ambiente-ecologico.com/revist51/cclima51.htm>
- [19] Guía de soluciones de eficiencia energética, España. Encontrado en: <https://www.schneiderelectric.es/documents/local/soluciones/Guia-soluciones-eficiencia-energetica-2a-edicion.pdf>
- [20] Estudio del impacto de medidas y políticas de eficiencia energética en los sectores de consumo, sobre el balance de energía y sobre los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero en el corto y mediano plazo, *Consultoría realizada por MGM Innova para el proyecto GEF-PIMS4371 CC Quinta Comunicación Nacional de México a la CMNUCC*, Estudio realizado en el marco del Proyecto de la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC), coordinado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) con recursos del Global Environment Facility (GEF), a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). México, 2012. Encontrado en: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110171/CGCCDBC_2012_eficiencia_energetica_en_los_sectores_de_consumo.pdf

- [21] Recomendación estratégica sobre tecnologías y subsectores como orientación para sustentar acciones de eficiencia energética en el sector PyME, México, D.F., Marzo de 2012, SENER / GIZ, Autores: Ingeniería Energética Integral (Ing. Alfredo Aguilar Galván, Ing. Gabriela García Vidal, Lic. Gabriela Morena Aduana, Ing. Alejandro Adame González, Ing. Roger García Neri). (GIZ) Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, (SENER) Secretaría de Energía.
- [22] Antecedentes históricos y normativos en materia de eficiencia energética en México 1980-2005, Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. Encontrado en: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/8/3574/6.pdf>
- [23] Secretaria de Gobernación, Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2014-2018. Encontrado en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342503&fecha=28/04/2014
- [24] Encontrado en: <http://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/industria-y-comercio-programa-de-apoyo-para-la-mejora-tecnologica-de-la-industria-de-alta-tecnologia-proiat>
- [25] Encontrado en: <http://cfectiva.cfe.gob.mx/cfectiva/index.php>
- [26] Benchmarking, Michael J. Spendolini. / Primera edición, 1994. / Grupo Editorial Norma. Encontrado en: http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/5147_12764.pdf
- [27] Volker Stich, Ulrich Brandenburg, and Sebastian Kropp. Benchmarking Concept for Energy Efficiency in the Manufacturing Industry – A Holistic Energy Efficiency Model. *Advances in Production Management Systems. Value Networks: Innovation, Technologies, and Management*, vol. 384. pp 390-395. 2012.
- [28] Encontrado en: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/como-funciona-smart-grid/>
- [29] INEGI,2016. Encontrado en: <https://www.inegi.org.mx/>
- [30] J. J. Cáceres Hernández. *Conceptos Básicos de Estadística para Ciencias Sociales*. Madrid, España.: Delta, Publicaciones Universitarias, 2007.

- [31] Frank P. Incropera, David P. De Witt. Fundamentos de Tránsito de Calor y de Masa. Prentice Hall. 4^{ta} Edición. pp 874. 1999.
- [32] J. A. Suástegui Macías, C. Pérez Tello, A. Acuña Ramírez. Assessment of electrical saving from energy efficiency programs in the residential sector in Mexicali, Mexico. ELSEVIER. ScienceDirect. Volume 38. Pages 795-805. April 2018.
- [33] Pérez T.C., Campbell R. H. E., Borroto N. A., Monteagudo Y.J. Hour-Degree, a Realistic Opinion to Characterize A Region Aimed at Achieving An Efficient Use of Energy and Power Saving from a Climatological Standpoint. Retrieved 1 06, 2017.
- [34] System Advisor Model (SAM).Encontrado en: <https://sam.nrel.gov/>
- [35] Diseño de experimentos Taguchi, arreglos ortogonales con interacción. Encontrado en: www.icicm.com/files/DisTaguchi.doc