

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA TERMODINÁMICA**



**“EVALUACIÓN DE PINTURAS REFLECTIVAS COMO
ALTERNATIVA DE AHORRO DE ENERGÍA EN REGIONES DE
CLIMA CÁLIDO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA TERMODINÁMICA**

**Presenta:
Ana María Vázquez Espinoza**

**Dr. Carlos Pérez Tello
Director**

Mexicali, B.C.

Septiembre de 2006

**EVALUACIÓN DE PINTURAS REFLECTIVAS COMO
ALTERNATIVA DE AHORRO DE ENERGÍA EN
REGIONES DE CLIMA CÁLIDO**

Resumen:

En las regiones de clima cálido se tiene una mayor carga de enfriamiento que en climas más benignos, lo que origina un mayor consumo de energía eléctrica. Por esto, día con día se busca una alternativa más para disminuir el consumo y la demanda, de tal manera que el hombre utiliza diferentes materiales de construcción y sistemas de aislamiento que favorezcan el confort en las viviendas. En este trabajo se tuvo como objetivo analizar y evaluar cuatro pinturas elastoméricas reflectivas que actualmente existen en el mercado como una alternativa para disminuir la carga de enfriamiento y el retiro de calor a través del efecto de la pintura, así como establecer el comportamiento de dichos recubrimientos, la reflectividad y la reducción de ganancia de calor.

Estudios realizados por diversos investigadores muestran que la reducción en ganancia de calor dependen del nivel de aislamiento del techo y del recubrimiento para la reflexión solar.

En esta investigación se aplica la metodología desarrollada en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California que permite relacionar la climatología de un lugar con el consumo y la demanda eléctrica en un edificio y así proyectar escenarios y análisis de factibilidad técnica y económica.

Se realizaron pruebas de adherencia y reflectividad, con diferentes tipos de materiales de construcción para determinar cuáles son los más apropiados para aplicar las pinturas reflectivas, con esto se concluyó que eran la madera y el concreto los mejores, pero como en estas regiones la mayoría son concreto, ladrillo o block, se utilizaron estos últimos para los análisis de simulación. Se tomaron muros de ladrillo y block de 8" con techo de concreto de 4", utilizando 15 casos con eficiencia SEER 6 y SEER 13 en (kWh); con la ayuda de un simulador térmico de edificios que arroja datos de carga de enfriamiento (ton), retiro de calor (ton), facturación y consumo (kWh). Con esta información se realizaron una serie de análisis que permitieron determinar cuál de los 15 casos es el mejor y cuál presenta una situación más crítica. Por lo tanto puede decirse que el caso con muros de ladrillo y techo de losa de concreto, aislado y con pintura reflectiva presentó un ahorro mayor del 70% por efecto de pintura, por lo que originó un menor consumo de energía eléctrica. Con los muros de block y el techo de losa de concreto, sin aislamiento y sin pintura reflectiva es el caso más crítico, ya que presenta un consumo de 14440.55 kWh . Se concluye que las pinturas no son un tipo de aislante, pero su principal función es reflejar y disminuir la radiación solar absorbida por lo que ayuda a disminuir la carga de enfriamiento y el retiro de calor ahorrando energía. En lo que respecta al caso más favorable con techo

de concreto y muros de ladrillo presenta un consumo total 4685.05 KWh., con un ahorro de 68% por consumo y el 74% por aislamiento y ahorro de efecto de pintura.

Agradecimiento

Dr. Carlos Pérez Tello
Y
M.I. Lupita Amado Moreno

Gracias por el apoyo brindado durante estos años, por su confianza, por creer en mí, por motivarme y ayudarme a salir adelante.

Dios los bendiga por siempre.

Agradecimiento

A mis Padres

Rodolfo Vásquez Berumen
Y
María de Jesús Espinoza Gamboa

A mis Hermanos

Ing. Rodolfo Vásquez Espinoza
Y
Ing. Oscar Vázquez Espinoza

A todos ellos

Gracias por el apoyo que me brindaron durante mis estudios. También por el apoyo moral y por los valores de la vida.

Dios los bendiga por siempre.

Contenido

Índice general

	Página
	Resumen..... iii
	Agradecimientos..... vi
	Índice de figuras..... xi
	Índice de tablas..... xv
Capítulo 1	Introducción 17
	Introducción..... 18
	Objetivo..... 22
	Objetivo específicos..... 22
Capítulo 2	Antecedentes..... 24
	Aspectos climáticos..... 30
	Temperatura ambiente..... 30
	Radiación solar en Mexicali..... 31
	Humedad ambiental..... 32
Capítulo 3	Marco Teórico..... 35
	Espectro Solar..... 37
	Constante solar..... 39
	Radiación solar ultravioleta..... 39
	Cálculo de la intensidad de la radiación solar..... 40
	Ganancia de calor en el envolvente..... 44
	Material de construcción..... 45
	Tipos de aislantes..... 47
	Propiedades térmicas de los envolventes..... 48
	Emisividad..... 48
	Reflectividad..... 49
	Absortividad..... 50
Capítulo 4	Desarrollo experimental..... 53
	Metodología..... 54

	Metodología de la simulación.....	56
	Características de los recubrimientos.....	57
	Pruebas con las pinturas elastoméricas reflectivas.	59
	Adherencia.....	60
	Pruebas de reflectancia.....	64
Capítulo 5	Simulación térmica.....	66
Capítulo 6	Resultados.....	75
	Pinturas elastoméricas reflectivas.....	76
	Iluminación y radiación.....	79
	Simulación.....	88
Conclusiones	116
Anexos	120
	A: Diagrama de factores de reflexión, emisión y absorción	121
	B: Propiedades de los materiales.....	122
	C: Método de la prueba de Duncan.....	123
	D: Datos de simulación para Mexicali.....	125
	E: Datos de simulación para Cienfuegos, Cuba.....	128
Bibliografía	132

Índice de figuras

Figura		Página
1.1	Mapa de clima en Cienfuegos, Cuba	21
1.2	Mapa del clima en Mexicali	21
2.1	Humedad relativa promedio mensual para Mexicali (datos de 1950 a 1980).	33
3.1	Esquema de los diferentes ángulos del sol	38
3.2	Parámetros solares.....	44
3.3	Emisividad de la superficie exterior de una vivienda.....	49
3.4	Reflectividad de la superficie exterior de un techo	50
4.1	Luxómetro.....	54
4.2	Radiómetro.....	55
4.3	Mediciones de iluminación en las muestras de pinturas.....	56
4.4	Pinturas Reflectivas analizadas	60
4.5	Materiales de prueba.....	61
4.6	Aplicación del recubrimiento en cartón de Yeso....	62
4.7	Demarcación de las superficies en Cartón de Yeso	62
4.8	Adherencia del recubrimiento.....	63
4.9	Pruebas de demarcación sobre losa de concreto.	63
4.10	Pruebas de reflectancia. Orientación este.....	64
4.11	Pruebas de reflectancia. Orientación sur.....	65
4.12	Pruebas de reflectancia. Orientación norte.....	65
4.13	Pruebas de reflectancia. Posición techo.....	65
6.1	Resultados de pruebas de adherencia para los recubrimientos analizados.....	77
6.2	Porcentaje de reflectividad de los recubrimientos analizados. Cara norte.....	78
6.3	Casos simulados contra el total consumo y porcentaje de ahorro consumo con SEER 6.....	90
6.4	Sin aislar y sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.....	93

6.5	Sin aislar con pintura reflectiva nueva solo en techo (muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" sin aislar y con pintura reflectiva solo en techo, SEER 6 y SEER 13), Mexicali.....	93
6.6	Sin aislar con pintura reflectiva sucia solo en techo (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" con SEER 6 y SEER 13) Mexicali.....	94
6.7	Sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.	94
6.8	Sin aislar, con pintura reflectiva sucia en techo y nueva en muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.....	95
6.9	Aislado solo techo, sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali....	95
6.10	Aislado en techo y con pintura reflectiva nueva solo en techo, muros sin aislar y sin pintura (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.....	96
6.11	Aislado solo techo, muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.....	96
6.12	Aislado solo techo, muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en techo (0.6) y muros (0.4) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.....	97
6.13	Techos y muros aislados, sin pinturas reflectivas (actual) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.....	97
6.14	Techos y muros aislados, con pintura reflectiva, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" con aislado 2"), Mexicali.....	98
6.15	Techo y muros sin aislar, sin pintura reflectiva (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Mexicali.....	98

6.16	Techo y muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en ambos (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Mexicali.....	99
6.17	Techo y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en ambos (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4").....	99
6.18	Techo aislado y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Mexicali.....	100
6.19	Muestra la carga de enfriamiento y retiro de calor durante el mes de agosto, para Mexicali.....	102
6.20	Casos simulados contra el total de consumo y porcentaje de ahorro por consumo con SEER 6, Cienfuegos, cuba.....	104
6.21	Representa el consumo en (KWh) de todos los casos simulados en Cienfuegos, Cuba (mayo-octubre).....	107
6.22	Sin aislar y sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	108
6.23	Sin aislar con pintura reflectiva nueva solo en techo (muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" sin aislar y con pintura reflectiva solo en techo, SEER 6 y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	108
6.24	Sin aislar con pintura reflectiva sucia solo en techo (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" con SEER 6 y SEER 13) Cienfuegos, Cuba..	109
6.25	Sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	109
6.26	Sin aislar, con pintura reflectiva sucia en techo y nueva en muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	110
6.27	Aislado solo techo, sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	110
6.28	Aislado en techo y con pintura reflectiva nueva solo en techo, muros sin aislar y sin pintura	

	(Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	111
6.29	Aislado solo techo, muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	111
6.30	Aislado solo techo, muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en techo (0.6) y muros (0.4) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	112
6.31	Techos y muros aislados, sin pinturas reflectivas (actual) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 Y SEER 13), Cienfuegos, Cuba.....	112
6.32	Techos y muros aislados, con pintura reflectiva, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" con aislado 2"), Cienfuegos, Cuba.....	113
6.33	Techo y muros sin aislar, sin pintura reflectiva (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.....	113
6.34	Techo y muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en ambos (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.....	114
6.35	Techo y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en ambos, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.....	114
6.36	Techo aislado y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.....	115

Índice de tablas

Tabla		Página
2.1	Humedad absoluta para un día típico de verano en Mexicali.....	34
3.1	Parámetros solares para los días 21 de cada mes.....	41
3.2	Propiedades térmicas de los materiales.....	51
5.1	Datos del caso de techo de concreto y muros de ladrillo con aislamiento y pintura reflectiva con SEER 6 para Mexicali.....	72
5.2	Datos del caso de techo de concreto y muros de ladrillo con aislamiento y pintura reflectiva con SEER 6 para Cienfuegos, Cuba.....	73
5.3	Datos del caso de techo de concreto y muros de block sin aislamiento y sin pintura reflectiva con SEER 6 para Mexicali.....	73
5.4	Datos del caso de techo de concreto y muros de block sin aislamiento y sin pintura reflectiva con SEER 6 para Cienfuegos, Cuba...	74
6.1	Fechas de muestreo.....	79
6.2	Porcentaje de iluminación del segmento del espectro de luz visible del día 20 de agosto del 2005.....	80
6.3	Porcentaje del espectro de luz visible del día 10 de septiembre del 2004.....	81
6.4	Porcentaje del segmento de espectro de luz visible del día 20 de septiembre del 2004.....	81
6.5	Porcentaje del espectro de luz visible de los días 24 de septiembre y 01 de octubre del 2004.....	82
6.6	Porcentaje de Radiación ultravioleta del día 20 de agosto del 2004.....	83
6.7	Porcentaje del espectro de radiación ultravioleta del día 06 de septiembre del 2004.....	84
6.8	Porcentaje del espectro de radiación ultravioleta de los días 10 y 20 de septiembre del 2004.....	85

6.9	Porcentaje de radiación ultravioleta de los días 24 de septiembre y 01 de octubre del 2004.....	85
6.10	Porcentaje del espectro de luz visible de los días 18 y 19 de enero.....	87
6.11	Porcentaje de Radiación ultravioleta de los días 18 y 19 de enero.....	88
6.12	Total del ahorro de consumo y ahorro por efecto de pintura.....	92
6.13	Datos de Carga de enfriamiento y retiro de calor para el mes de agosto en toneladas de los diferentes casos para Mexicali.....	101
6.14	Total del ahorro de consumo y ahorro por efecto de pintura en Mexicali.....	106

Capítulo 1

Introducción

Introducción:

El Clima es un fenómeno que tiene implicaciones muy importantes como la caracterización que hace distinta a cada una de las regiones. De tal manera que el hombre ha hecho lo posible para satisfacer sus necesidades de acuerdo a los impactos que implica dicho fenómeno. Precisamente, Mexicali es una referencia que, aunque no universal por las condiciones particulares de esta ciudad, es, quizá, la ciudad que presenta el clima cálido más extremoso de todo México, por lo que se requiere vivir utilizando equipos de climatización. Siendo el abasto de energía uno de los problemas principales que aquejan a la humanidad debido a que la energía es el motor que mueve al mundo tecnológico y en lo que respecta a nuestro país representa un problema económico debido a los altos costos de energía eléctrica y a la enorme demanda de ésta. Para poder satisfacer las necesidades de confort el ser humano tiene que adaptar su vivienda de tal manera que no se abuse del consumo eléctrico por sus costos aunados al impacto sobre el medio ambiente. Esto se ha convertido en una característica estratégica para relacionar dos regiones como lo son Mexicali, México y Cienfuegos, Cuba.

Estas regiones presentan un clima cálido, debido a la variación de temperaturas que prevalecen durante el verano. El caso de Cienfuegos se enmarca en el interés que reviste actualmente para ese país el

ahorro y uso adecuado de la energía al grado de que el Estado Cubana ha decretado al año 2006 como el "Año de la Revolución Energética". Adicionalmente la Universidad de Cienfuegos coordina los programas estatales de capacitación al personal, programas académicos y evalúa avances en acciones de ahorro y planificación energética de todo el país, con quienes la UABC a través del Instituto de Ingeniería ha venido trabajando conjuntamente desde el 2001.

El buen uso de la electricidad depende del acondicionamiento adecuado de la vivienda para que el consumo sea mínimo y con el lograr confort para satisfacer las necesidades de sus ocupantes.

Una de las formas que se han utilizado para satisfacer dichas necesidades es el acondicionamiento de las viviendas para reducir el efecto de las ganancias de calor utilizando aire acondicionado de alta eficiencia, sistemas de aislamiento térmico y el uso de pinturas elastoméricas reflectivas.

El material de construcción de las viviendas es una de las características principales, ya que algunas cuentan con material aislante en ciertas áreas de la vivienda y es una de las principales consideraciones que se tienen que tomar en cuenta para el uso de las pinturas reflectivas ya que pueden influir en el efecto de ganancia de calor.

La Provincia de Cienfuegos se encuentra situada al Centro-Sur de Cuba entre las coordenadas 21° 21' – 22° 35' de latitud norte y 80° 20' – 81° 10' de longitud oeste. Limita al oeste y por el norte con la Provincia de Matanzas, al este y el noreste con la Provincia de Villa Clara, al sur con el Mar Caribe y al suroeste con la Provincia de Sancti Spíritus. Su área es de 4177,9 Km² siendo el 3,76% del área del país.

El clima es subtropical húmedo con dos estaciones claramente definidas, la seca (invierno) de noviembre a abril, y la lluviosa (verano) de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 25°C, la media en invierno es de 20°C y la de verano es de 26-27°C. Durante la temporada invernal es frecuente la entrada de frentes fríos con temperaturas mínimas inferiores a veces a los 10°C. Las temperaturas mínimas varían entre 1°C y 8.5 °C en el occidente del país y entre 3°C y 12.5°C en la parte oriental; las temperaturas máximas registradas están entre los 36°C y 38°C (www.inder.co.cu/indernet/Provincias/cfg/geograf/EDa.htm).

La localización de Mexicali se encuentra al norte 32° 43', al sur 28 °00' de latitud norte; al este 112° 47', al oeste 117° 07' de longitud oeste. Su extensión territorial es de 71,576 km². Limita al norte con los Estados Unidos de América, Sonora y el Golfo de California; al oeste con el Océano Pacífico; y al este con el Mar de Cortés o Golfo de

California y con el río Colorado, y al sur con Baja California Sur y el Océano Pacífico (INEGI, 1998).

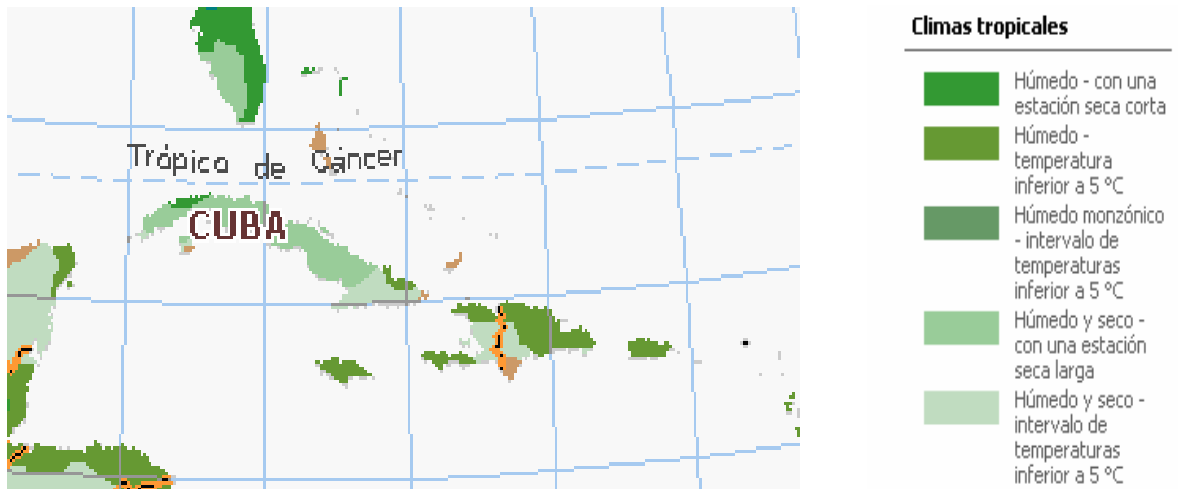


Figura 1.1: Mapa de clima en Cienfuegos, Cuba
fuente: Encarta ® 2005.

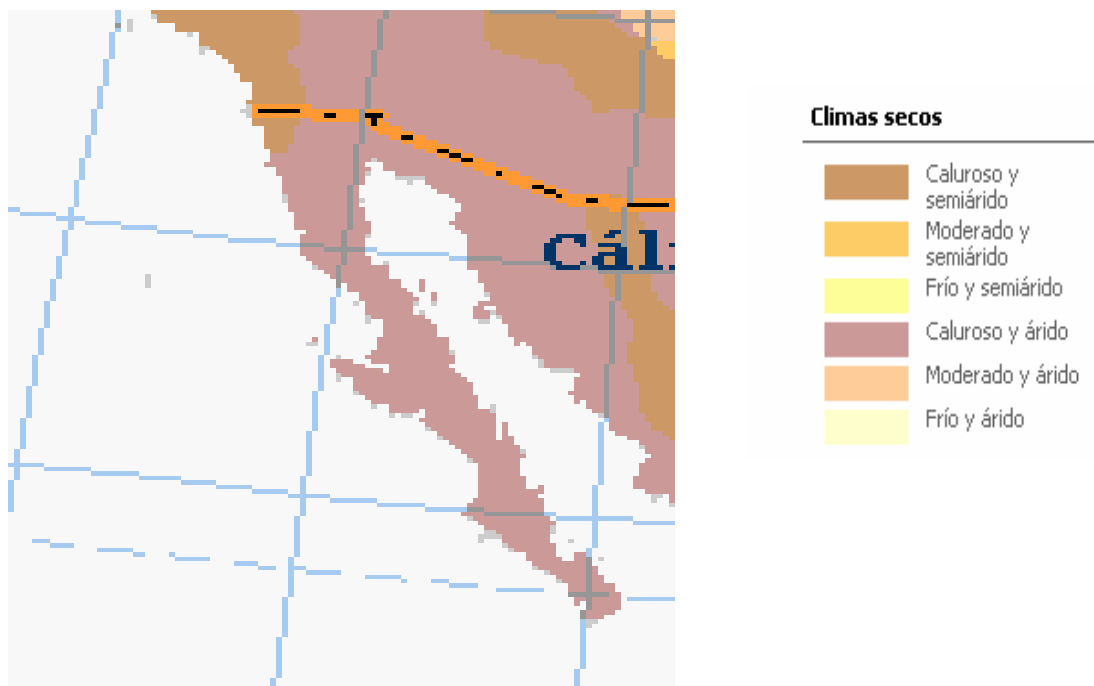


Figura 1.2: Mapa del clima en Mexicali
fuente: Encarta ® 2005.

Objetivo:

Analizar y evaluar cuatro tipos de pinturas reflectivas como una alternativa para el ahorro de energía en regiones de clima cálido, haciendo énfasis en las regiones de Mexicali, B.C. y Cienfuegos, Cuba.

Objetivos Específicos:

Determinar:

- El comportamiento de los cuatro recubrimientos de pinturas reflectivas en las regiones Mexicali y Cienfuegos, Cuba.
- La reflectividad de 4 cubiertas elastoméricas comerciales al espectro visible y a 365nm en la región ultra violeta Reflectividad a la luz visible y ultra violeta.
- La reducción de ganancias de calor de cuatro recubrimientos de pinturas reflectivas comerciales aplicadas a diversas tipología de viviendas.
- La adherencia de las pinturas reflectivas.
- Pruebas de iluminación y radiación de las pinturas.

Evaluar el ahorro de energía con las pinturas reflectivas en edificios de ambas regiones:

- Techo de concreto y muros de block con aislamiento.
- Techo de concreto y muros de block sin aislamiento.
- Techo de concreto y muros de ladrillo con aislamiento.
- Techo de concreto y muros de ladrillo sin aislamiento.

Otras implicaciones en general y la más evidente tiene que ver con el impacto en el presupuesto familiar de quienes deciden poner un equipo de aire acondicionado en su casa, teniendo en cuenta que con la ayuda de un aislamiento va a hacer una mejora para la carga de enfriamiento. Esto tiene un serio impacto en la economía familiar y ha sido motivo de movimientos sociales en lo que respecta a la ciudad de Mexicali, B.C.

Capítulo 2

Antecedentes

Antecedentes:

Se han realizado estudios referentes al intento de mejorar el aislamiento, implementar un nuevo tipo, o en encontrar una mejor alternativa para el ahorro de energía en regiones con un clima cálido y que requieren mejores condiciones de confort.

Una serie de experimentos de campo en la Florida ha examinado el impacto de las capas reflectivas de los techos en uso de la energía del aire acondicionado en hogares ocupados. Las pruebas fueron conducidas en nueve edificios residenciales a partir de 1991 a 1994 usando el protocolo de antes y después donde a los techos se les aplicó pintura blanca en pleno verano. Las reducciones de energía dependen del nivel del aislamiento del techo y del recubrimiento para la reflexión solar, así como la localización del sistema aire y la carga de enfriamiento del aire acondicionado.

Las reducciones del flujo de calor del techo hasta (el 60%) fueron medidas del material reflectivo para techos en estos experimentos. Sin embargo, los resultados de las pruebas también han demostrado la degradación en la reflexión solar después de un año de la exposición.

En la investigación indica que los colores de los techos y de la pared tienen impactos significativos en el uso de la energía del espacio acondicionado.

Las superficies reflectivas pueden tener ventajas específicas sobre opción en techo, las cuales están relacionadas con la conservación de energía como aislamiento creciente del ático y barreras radiantes (Parker, D., Barkaszi, S., Chandra, S., Beal, D.).

En Israel, en edificios pequeños con diversos colores exteriores, encontraron que los edificios sin ventilación con las paredes blancas semejaban a un refrigerador de aproximadamente 3.0°C en verano que cuando los mismos edificios fueron pintados grises. Los experimentos similares con los edificios negros y blancos de la prueba fueron realizados en Delhi, la India en 1990. Se encontró que la temperatura del aire dentro del edificio blanco estaba entre temperatura de 4-8°C que el edificio oscuro durante condiciones del pleno verano, dependiendo del nivel de la ventilación (Parker, D., Barkaszi, S., Chandra, S., Beal, D.).

Uno de los estudios más recientes del edificio que medían ahorros de la energía de capas reflectivas de techos fue realizado por una compañía de electricidad en Mississippi meridional. Dos edificios de oficinas comerciales idénticos fueron supervisados de lado a lado en los cuales uno tenía el techo cubierto con una capa elastomérica blanca reflectiva.

Ambos edificios tenían aislamiento de resistencia $2 \frac{m^2 \cdot C}{W}$ instalado en el

techo. El aire acondicionado en el verano se redujo 21.9% en el edificio con la capa reflectiva del techo.

Algunos investigadores en el laboratorio de Berkeley examinaron los ahorros de los sistemas de material para techos reflectivos en tres edificios en Sacramento, California. Un edificio era una residencia ocupada situada en una sección más vieja de Sacramento con el aislamiento del techo resistencia $2 \frac{m^2 \circ C}{W}$ debajo de un techo compuesto de triplay. La reflectividad inicial del techo fue medida en 0.18, que se aumentó a 0.81 con el uso de una capa elastomérica en el techo. La carga del aire acondicionado en el edificio fue reducida de 69% a 28% en la demanda eléctrica máxima. Los ahorros ascendieron a una reducción del uso de la energía de aproximadamente 12 kWh por día a una de 2.3 kWh en demanda de la energía máxima. Los segundos y terceros edificios eran bungalows de prueba en un sitio de la escuela. Ambos edificios tenían los techos de metal, uno que era sin recubrimiento y el otro que fue pintado marrón. Ambos edificios tenían aislamiento del ático de aproximadamente resistencia $3.3 \frac{m^2 \circ C}{W}$. El albedo acanalado del techo del metal de ambos casos se incrementó aproximadamente 70%. La energía del aire acondicionado se redujo aproximadamente 40% para bungalows con cubierta marrón en

aproximadamente 50% para la superficie metálica revestida del techo (Parker, D., Barkaszi, S., Chandra, S., Beal, D.).

Aunque las superficies reflectivas del edificio demuestran gran potencial en California, los niveles mucho más altos de las temperaturas de humedad y del tiempo de noche en la Florida hacen las perspectivas de la eliminación cercana del uso de la energía del espacio que se refresca (Parker, D., Barkaszi, S., Chandra, S., Beal, D.).

Estudios realizados en otros países han demostrado que los recubrimientos elastoméricos de color blanco o claros utilizados en techos reducen la temperatura interna de edificios no aislados y con poca ventilación, y que pueden prolongar la vida de los techos al proteger los materiales base que recubren de la degradación por calor, radiación solar, agua y esfuerzos térmicos. Por otra parte, parece ser que el grado de resistencia al ensuciamiento tiene un efecto importante en la reflectividad de la luz solar y, por consiguiente, en la demanda de energía para acondicionamiento ambiental. Es por ello que una serie de estudios se han orientado a tratar de predecir el ensuciamiento relativo de recubrimientos reflectivos típicos y la durabilidad de estos materiales (Parker, D., Barkaszi, S., Chandra, S., Beal, D.).

En 1981 Investigadores en Rohm y Hass empezaron investigando los beneficios potenciales para reflector solar revestido, a fin de

incrementar el albedo de la membrana de techo. Experimentos previos incluyeron el uso de casas de pájaros techado con asfalto revestido con techo de acrílico elastomérico reflectivo (Parker, D., Barkaszi, S., Chandra, S., Beal, D.).

Se insertaron termómetros en un interior cerrado y se midió la temperatura del aire interno como una función de radiación solar.

Similarmente otros científicos han usado termómetros infrarrojos para medir la temperatura superficial de materiales ligeros y oscuros en el techo.

Tal como se predijo el techo acrílico blanco reflectivo redujo en gran medida las temperaturas superficiales de las membranas de techo, y subsecuentemente redujo la temperatura del aire dentro de las casas de pájaros.

Actualmente en Mexicali, Baja California se cuenta con sistemas de aislamiento aplicados en el programa ASI (Programa de Ahorro Sistemático Integral) que es un fideicomiso para ahorro de energía eléctrica. El Fideicomiso 728, FIPATERM ha decidido proponer la evaluación de estos recubrimientos como una opción de ahorro de energía. Por ello se hace necesario iniciar el estudio de tales sistemas a fin de establecer los criterios de evaluación más apropiados, su comportamiento en condiciones como las prevalecientes en nuestra región en las que se presentan diferentes microclimas que pueden

llegar a influir en la eficiencia y comportamiento reflectivo de los recubrimientos por la presencia de humedad, polvo y suciedad depositados (Pérez T. ,2004).

Por lo anterior se analiza el uso de pinturas elastoméricas reflectivas como una alternativa de ahorro de energía para la región de Mexicali y para aquéllas de clima similar.

Aspectos climáticos:

Temperatura ambiente

En el Instituto de Ingeniería de la UABC se desarrolló un modelo que permite calcular la temperatura ambiental horaria para cualquier día del año a partir de las temperaturas máxima y mínima. Dicho modelo se obtuvo correlacionando registros históricos reportados y ha mostrado confiabilidad en su manejo (Pérez y col., 1996). El modelo consiste en una función de Fourier que tiene la siguiente forma:

$$\hat{T}(t) = \langle m \rangle + A \cos\left(\frac{2\pi t}{24}\right) + B \sin\left(\frac{2\pi t}{24}\right); \quad t = 1, 2, 3 \dots 24 \quad (1)$$

donde:
$$\hat{T}(t) = \frac{T_{max} - T(t)}{T_{max} - T_{min}}; \quad (2)$$

y los parámetros de ajuste son: $\langle m \rangle = 0.49032$, $A = 0.26399$,

$B = 0.34453$ para Mexicali, y, $\langle m \rangle = 0.49469$, $A = 0.213$,

$B = 0.24652$ para Cienfuegos, Cuba.

En esta ecuación, $T(t)$ representa la temperatura ambiente para la hora t del día. A partir de esta función es posible predecir la

temperatura horaria para cualesquier día solamente conociendo los parámetros T_{max} y T_{min} , (Pérez T. C. y Campbell, 1999).

Radiación solar en Mexicali

Cuando la radiación solar pasa a través de la atmósfera sufre varios procesos. Parte se refleja nuevamente al espacio, principalmente por nubes y una cantidad más pequeña se absorbe y dispersa por varios componentes atmosféricos. El resto alcanza el suelo. Ya en la superficie del suelo, parte de la radiación solar global entrante es reflejada a la atmósfera y el resto es absorbido por la superficie, causando un incremento en la temperatura superficial. La diferencia entre la radiación solar entrante y la reflejada es llamada la radiación solar neta de onda corta.

La radiación terrestre frecuentemente es referida como radiación de onda larga; esta radiación es continuamente emitida (día y noche) por la superficie del suelo y superficie vegetativa. Ya que la temperatura superficial es más alta durante el día, la radiación saliente durante ese lapso, desde la superficie, es normalmente más alta que en la noche. La diferencia entre la radiación entrante de onda larga desde la atmósfera al suelo y la saliente desde la tierra a la atmósfera se le llama radiación neta de onda larga.

Desde los puntos de vista micro meteorológico y energético, la cantidad realmente importante es la cantidad neta de energía radiante recibida

por una superficie horizontal y combinada en todas las longitudes de onda.

Dada la importancia de estas mediciones, al sureste de la ciudad de Mexicali, B.C., se han realizado mediciones, tanto de radiación solar global, como de radiación neta, por lo que, mediante algunas relaciones sencillas se han estimado propiedades radiativas de la superficie, y usando un esquema estadístico sencillo, ha sido posible usar a la radiación solar global para la predicción de la radiación neta durante el período diurno encontrándose favorable para su ajuste. Según datos obtenidos en la investigación de campo efectuada en agosto del 2004 a enero de 2005, la radiación incidente oscila entre 160 y 180 W/m² (García Cueto y Adalberto Tejada. Inst. Ing. UABC).

Humedad ambiental

La humedad ambiental horaria es un factor bastante más difícil de correlacionar históricamente. Esto se debe a que la presencia de los niveles de humedad depende de factores cuya variabilidad es bastante elevada. Mexicali no cuenta con registros históricos horarios excepto en intervalos muy cortos de tiempo. Esto no ha permitido desarrollar un modelo de comportamiento ni conjuntar una base de datos amplia con la información requerida.

En la Figura 2.1 se muestran las humedades relativas horarias mensuales promedio para Mexicali. Los datos fueron estimados a partir

de información disponible entre los años de 1950 a 1980 para la determinación de índices climatológicos.

Por las razones anteriores se consideró un día típico a partir de los datos experimentales reportados para 1993, y dicho día se emplea para representar el contenido de humedad absoluta (lbm agua/lbm aire seco) de la época de verano.

Los valores encontrados se muestran en la Tabla 2.1. Adicionalmente esta información concuerda con los datos experimentales promedio mensuales reportados por el grupo de Meteorología de la UABC para 1996 (G. Cueto, 1996).

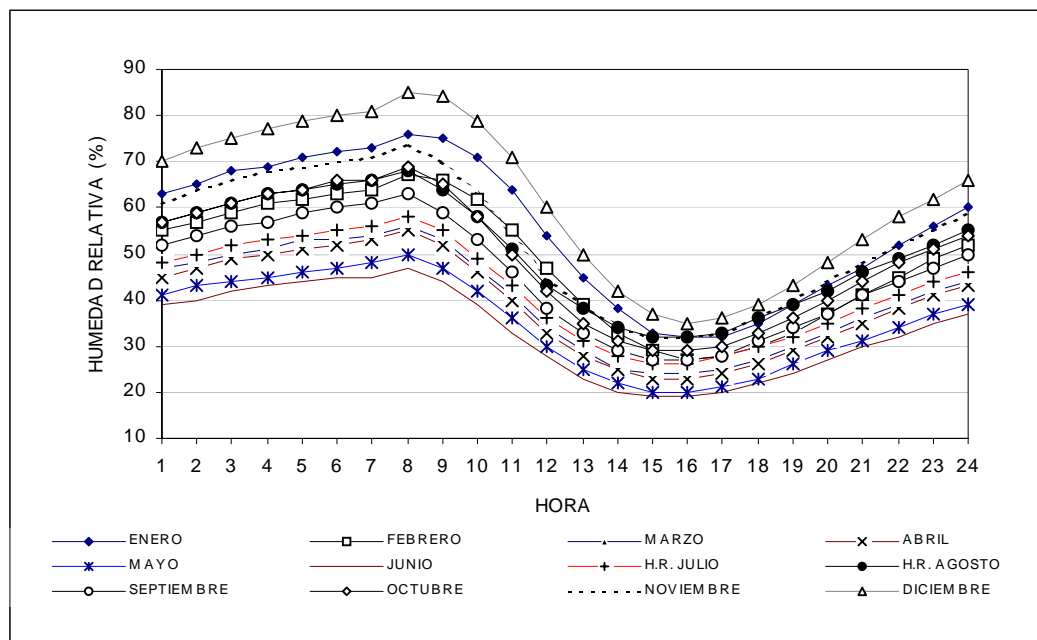


Figura 2.1: Humedad relativa promedio mensual para Mexicali (datos de 1950 a 1980). Fuente: Área de Meteorología de la UABC, 1996.


Tabla 2.1: Humedad absoluta para un día típico de verano en Mexicali

HORA	HUMEDAD	HORA	HUMEDAD
1	0.013	13	0.012
2	0.014	14	0.012
3	0.015	15	0.011
4	0.015	16	0.010
5	0.018	17	0.010
6	0.017	18	0.009
7	0.017	19	0.009
8	0.016	20	0.010
9	0.015	21	0.010
10	0.015	22	0.011
11	0.014	23	0.012
12	0.013	24	0.012

fuentes: Área de Meteorología de la UABC, 1996.

Capítulo 3

Marco Teórico



La pintura con color hace que las obras de arquitectura, tanto en el exterior como en el interior, provoquen que una construcción cambie de aspecto con el simple hecho de aplicar pintura para cambiar el tono de la luz ya sea natural o artificial, o bien con tonos cálidos o fríos.

En la antigüedad el terminado se hacía con cal y sólo se podían utilizar tres colores básicos para dar una opción de acabado, el rojo, el verde o el blanco, debido a que sólo se podían obtener pigmentos de fibras vegetales de ciertas plantas que por su contenido natural permitían ese tipo de coloración y que adicionados con cal y agua generaban un líquido acuoso que se aplicaba sobre las superficies generalmente de materiales pétreos.

En la terminología actual la palabra "pintura" es sólo una parte de lo que se conoce como recubrimiento orgánico; estos incluyen pinturas, barnices, esmaltes, lacas, colorantes selladores y todos los diversos productos accesorios como los solventes. Estos recubrimientos tienen las siguientes propiedades en grados variables, dependiendo de la composición del recubrimiento: buen flujo y nivelación; proporción de aspersion y grosor de película satisfactorios; secado rápido, alta impermeabilidad, buena adhesión, flexibilidad y dureza, resistencia a la abrasión y durabilidad (Pintura, 2006, 18).

Espectro Solar:

La posición del sol en el cielo cambia a lo largo del día y también a lo largo de las estaciones. Necesitamos conocer estos cambios de modo que pueda intentar de utilizar la energía solar disponible de la forma más productiva. Para hacer esto, en primer término se requiere conocer, la "altitud solar ". Ésta, como el nombre sugiere, define la altura del sol en el cielo y es medida por su ángulo sobre el horizonte. El azimut solar es una medida en ángulo de la posición del sol en lo referente al sur verdadero.

La altitud y el azimut solar cambian con la progresión de las estaciones. La única vez que el sol se levanta exactamente en el este y se esconde en el oeste son el 21 de septiembre y el 21 de marzo respectivamente.

La altitud cambia también a lo largo del tiempo. Así, en invierno, en Sevilla, España, el sol alcanza un ángulo máximo aproximado de 28° sobre el horizonte al mediodía, mientras que puede alcanzar una altitud aproximada de 70° al mediodía el 21 de junio (Barniol, 2006).

La energía del Sol llega a la tierra en forma de radiación. La radiación podemos interpretarla como millones de pequeñas "partículas" de energía llamadas fotones. Cada unidad de la radiación solar o de fotón, lleva cierta cantidad de energía. Dependiendo de la cantidad de energía que lleva dicho fotón, la radiación podemos dividirla en diversas regiones:

- Infrarrojo.
- Visible.
- Radiación ultravioleta.

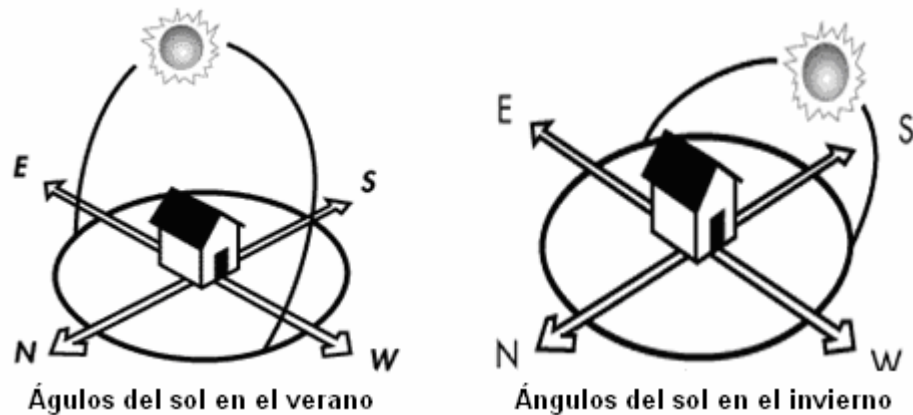


Figura 3.1: Esquema de los diferentes ángulos del sol

fuelle: www.energyloans.org

La radiación que llega constantemente del sol integra todas estas categorías en el espectro solar. Se caracterizan según sus longitudes de onda de tal manera que el infrarrojo son longitudes de onda de menor energía que el espectro visible y este a su vez menor energía que el ultravioleta. Sin embargo, las células solares pueden convertir solamente la parte del espectro visible en electricidad. Si un fotón de la categoría infrarroja incide sobre una célula solar, su energía será convertida en calor y no en electricidad.

Constante solar:

La cantidad de radiación solar que alcanza el exterior de la atmósfera de la tierra es aproximadamente de 1350 W/m^2 . Este valor es casi una constante. Se conoce como la "constante solar". Sin embargo, una vez que esta radiación atraviesa la atmósfera de la tierra, sufre unas pérdidas por la absorción y la dispersión debido a las partículas de agua en las nubes y del polvo. Finalmente alcanza un valor del 1000 W/m^2 en un día claro, en los países tropicales. Los países norteros de mayores latitudes y meridionales reciben mucho menos radiación que los situados cerca del ecuador (Barniol, 2006).

Radiación solar ultravioleta:

La fracción más energética del espectro solar que alcanza la superficie de la tierra, específicamente el ultra violeta-B, ultra violeta-C, rayos X y otros componentes del espectro solar con más energía se ven absorbidos en su mayor parte por la capa de ozono, el oxígeno y otros gases en las capas altas de la atmósfera y por la magnetosfera (Acosta, 2001, 2005).

La radiación solar ultra violeta se divide en:

- UV-A: 320- 400 nm
- UV-B: 290- 320 nm
- UV-C: 150- 290 nm

La radiación solar ultra violeta es invisible, no la perciben los ojos al estar más allá de los 400 nm (color violeta). Alcanza los niveles más altos antes y después del medio día. Las nubes, las lluvias y la contaminación atmosférica, como partículas y ozono, absorben el UV y disminuye su intensidad al nivel del suelo. Participa en la formación de reacciones fotoquímicas que llevan a la formación del ozono. Por la falta de ultra violeta el ozono troposférico permanece bajo en días nublados. Se reporta en unidades de energía como mW/m^2 (Acosta, 2001, 2005).

Cálculo de la intensidad de la radiación solar:

Una superficie promueve el calentamiento de dicha superficie y consecuentemente las ganancias de calor hacia el interior de los espacios. Es decir, la radiación solar es la fuente de energía que provoca el calentamiento de un edificio desde el exterior. La intensidad de la radiación solar indica la cantidad de energía incidente por unidad de superficie. Esta energía se absorbe a través de muros, techos, puertas y ventanas, es decir, por el envolvente. La radiación solar total absorbida sobre una superficie puede dividirse en dos tipos:

- Directa (radiación que viene directamente del sol)
- Difusa (radiación que es dispersada debido a las nubes o al polvo)

En un día soleado, la mayoría de la radiación es directa, pero en un día nublado hasta el 100% puede ser debida a la radiación difusa.

Sumando estas dos se obtiene la radiación global.

Radiación Global = Radiación Directa + Radiación Difusa.

La intensidad solar normal directa sobre la superficie terrestre para un día claro puede expresarse como:

$$I_{ND} = A \exp(-B/\text{sen}\beta) \tag{2}$$

donde I_{ND} representa la intensidad solar normal directa, y A y B se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Parámetros solares para los días 21 de cada mes.

	Ecuación de tiempo	Declinación	A	B	C
Mes	(min)	(grados)	(Btu/h*ft^2)	Adim.	Adim.
Mayo	3.3	20.0	350.7	0.177	0.130
Junio	-1.4	23.5	346.3	0.185	0.137
Julio	-6.2	20.6	346.6	0.186	0.138
Agosto	-2.4	12.3	351.0	0.182	0.134
Septiembre	7.5	0.0	360.2	0.165	0.121
Octubre	15.4	-10.5	369.7	0.162	0.111

fuente: ASHRAE, Cooling and Heating Calc. Manual, (1992).

El haz de radiación directa sobre la superficie se obtiene multiplicando la radiación normal directa por el coseno del ángulo de incidencia θ .

$$I_D = I_{ND} \cos\theta \tag{3}$$

donde $\cos\theta > 0$, y si el ángulo de incidencia es menor que cero, $I_D = 0$.

Para superficies verticales tales como muros la cantidad de radiación difusa se determina a partir de las expresiones siguientes:

$$Y = 0.55 + 0.437 \cos\theta + 0.313 \cos^2\theta \tag{4}$$

donde $\cos\theta > 0.2$, de otro modo, $Y = 0.45$.

La intensidad de radiación difusa está dada por

$$I_{dif} = I_{ds} + I_{dg} \quad (5)$$

donde para superficies verticales:

$$I_{ds} = CYI_{ND} \quad (6)$$

$$I_{dg} = I_{ND} (C + \text{sen}\beta)\rho_g / 2 \quad (7)$$

donde C está dado en la Tabla 3.1 y ρ_g es la reflectancia del suelo, usualmente se toma igual a 0.2. Asimismo, para superficies no verticales:

$$I_{ds} = CI_{ND} (1 + \cos\Sigma) / 2 \quad (8)$$

$$I_{dg} = I_{ND} (C + \text{sen}\beta)(1 - \cos\Sigma)\rho_g / 2 \quad (9)$$

La intensidad de radiación total incidente sobre una superficie es entonces

$$I_t = I_D + I_d \quad (10)$$

Las expresiones restantes requeridas son las siguientes:

$$\text{Tiempo solar} = \text{Tiempo estándar} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (11)$$

Para el horario de invierno se tiene:

$$\text{Tiempo estándar} = \text{Tiempo de horario de verano} - 1 \text{ h} \quad (12)$$

$$H = \text{Minutos desde la hora local del mediodía} / (4 \text{ min/grado de longitud}) \quad (13)$$

$$\text{sen}\beta = \cos L \cos\delta \cos H + \text{sen}L \text{sen}\delta \quad (14)$$

$$\cos\phi = (\text{sen}\beta \text{sen}L - \text{sen}\delta) / (\cos\beta \cos L) \quad (15)$$

$$\gamma = \phi - \psi \quad (16)$$

$$\cos\theta = \cos\beta \cos\gamma \operatorname{sen}\Sigma + \cos\beta \cos\Sigma \quad (17)$$

$\Sigma = 0$ para superficies horizontales y $\Sigma = 90$ para superficies verticales.

Los parámetros y variables arriba indicados son los siguientes:

Y = Relación entre radiación difusa incidente a una superficie vertical y radiación difusa incidente a una superficie horizontal

I_{ds} = Radiación difusa incidente a una superficie proveniente de la bóveda celeste

I_{dg} = Radiación difusa incidente a una superficie reflejada por el suelo

L_{st} = Meridiano estándar para la zona (grados). Para Mexicali, 120° (y 105° en verano)

L_{loc} = Longitud del lugar (grados)

E = Parámetro para la ecuación del tiempo

H = Ángulo horario (grados)

L = Latitud del lugar (grados)

β = Altitud solar (grados)

δ = Declinación (grados)

ϕ = Azimut solar (grados)

ψ = Azimut superficial (grados)

γ = Azimut solar superficial (grados)

θ = Ángulo de incidencia (grados)

Σ = Ángulo de inclinación (grados)

En la Figura 3.2 se muestra un esquema de las principales variables solares antes mencionadas (Pérez y Campbell, 1996).

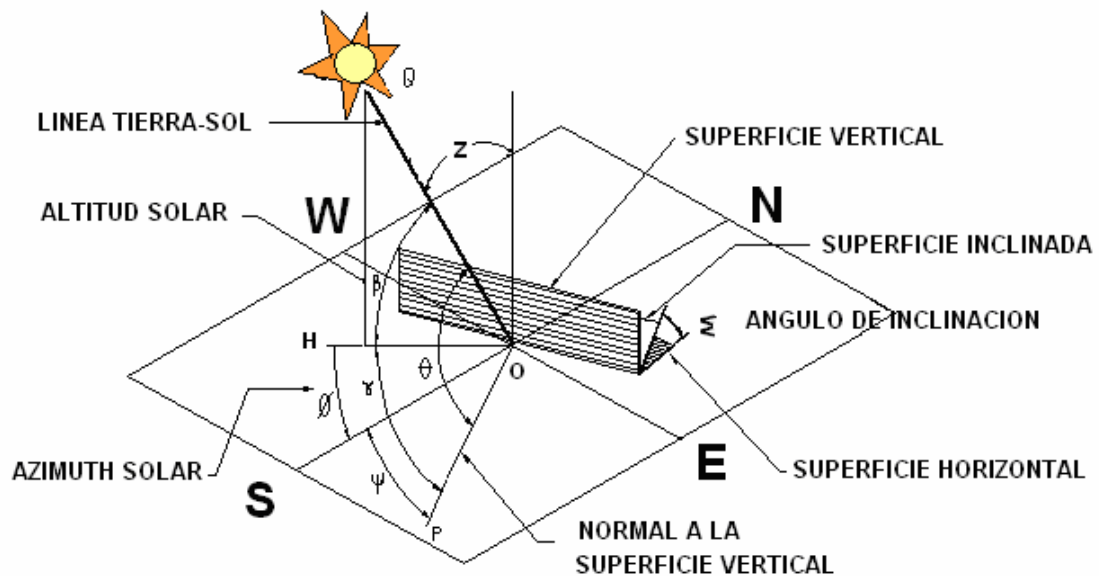



Figura 3.2: Parámetros solares
fuente: (Pérez y Campbell, 1996)

Ganancia de calor en el envolvente:

La energía radiante del sol, absorbida a través del envolvente de una construcción, la energía generada dentro de un espacio acondicionado por iluminación, personas, equipos, y la energía introducida desde el medio exterior vía infiltración y/o ventilación, se convertirán en ganancias de calor hacia el espacio lo que eventualmente se traducirá en carga de enfriamiento. Para determinar el comportamiento térmico de un edificio o vivienda se requiere entonces calcular primeramente las ganancias instantáneas de calor, las cuales a su vez, a través del



método de Funciones de Transferencia, se podrán convertir en cargas de enfriamiento, y finalmente, a retiro de calor.

El procedimiento de cálculo de ganancia instantánea de calor se basa en el conocimiento de las propiedades y características de los materiales y tipología de construcción, de la identificación de horarios de utilización de luminarias, de horarios y ocupación de personas así como su distribución, intervalos de uso de equipos, motores, etc.

La absorción de energía radiante del sol se da a través del envolvente. En lo que respecta a las pinturas del exterior de los techos y de los muros, ambos se comportan de manera similar y el mecanismo controlante de transferencia es esencialmente el de conducción.

Los flujos de calor por radiación son principalmente a través de las ventanas, pero la radiación también puede afectar los flujos de calor por conducción a través de paredes si éstas se sobrecalientan, es aquí donde la envolvente juega un papel muy importante, ya que están diseñados para uso de interiores o exteriores principalmente para proporcionar un grado de protección.

Todas las envolventes que se pueden considerar en una construcción son las que conforman su estructura exterior, esto es, techo, muros, ventanas, puertas, tragaluces y toda superficie que se encuentre con el exterior. En México como en Cuba las envolventes de las construcciones

más comúnmente utilizadas están construidas con materiales pesados como concreto, block de concreto, ladrillo, acero y madera.

Material de construcción:

Los espacios de aire proporcionan un aislamiento adicional; así ocurre en los ladrillos de vidrio huecos, las ventanas con doble vidrio (formadas por dos o tres paneles de vidrio con una pequeña cámara de aire entre los mismos) y las tejas de hormigón (concreto) parcialmente huecas. Las propiedades aislantes empeoran si el espacio de aire es suficientemente grande para permitir la convección térmica, o si penetra humedad en ellas, ya que las partículas de agua actúan como conductores (Encarta, 2005).

Para la simulación se utilizaron los siguientes tipos de materiales de construcción:

Hormigón o concreto: Material artificial utilizado en ingeniería que se obtiene mezclando cemento, agua, algunos materiales bastos como la grava y otros refinados, y una pequeña cantidad de aire. Los componentes principales del hormigón son pasta de cemento, agua y aire, que puede entrar de forma natural y dejar unas pequeñas cavidades o se puede introducir artificialmente en forma de burbujas. Los materiales inertes pueden dividirse en dos grupos: materiales finos, como puede ser la arena, y materiales bastos, como grava, piedras o escoria.

Madera: Sustancia dura y resistente que constituye el tronco de los árboles y se ha utilizado durante miles de años como material de construcción. Las


propiedades principales de la madera son resistencia, dureza, rigidez y densidad.

Mortero: Mezcla de cal o cemento con arena y agua que se utiliza para unir ladrillos o piedras y para enlucir paredes. Los morteros de cal están compuestos de arena, agua y cal apagada $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, sustancia sólida de color blanco que se obtiene de la reacción de la cal con agua. Ésta se endurece en contacto con el aire porque absorbe dióxido de carbono, pero bajo el agua no se endurece y no es tan resistente como el mortero de cemento. El mejor tipo de mortero de cemento es una mezcla de cemento, arena, agua y una pequeña cantidad de cal.

Metal: Estado sólido a temperatura normal, buenos conductores eléctricos y térmicos; brillantes, una vez pulidos, y estructura cristalina en estado sólido.

Ladrillo: Bloque de arcilla o cerámica cocida empleado en la construcción y para revestimientos decorativos. Los ladrillos pueden secarse al sol, pero acostumbran a secarse en hornos. Tienen un coste bastante bajo, resisten la humedad y el calor y pueden durar en algunos casos más que la piedra. Algunos ladrillos están hechos de arcillas resistentes al fuego para construir chimeneas y hornos. Otros están hechos con vidrio o se someten a procesos de vitrificación.

Aislante: Cualquier material que conduce mal el calor o la electricidad y que se emplea para suprimir su flujo (Encarta, 2005).



Existen varios tipos de aislantes que se les puede aplicar a las casas dependiendo sus condiciones para incrementar el ahorro de energía.

Tipos de aislantes:

Los materiales de aislamiento térmico se emplean para reducir el flujo de calor entre zonas calientes y frías. Por ejemplo, el revestimiento que se coloca frecuentemente alrededor de las tuberías de vapor o de agua caliente reduce las pérdidas de calor, y el aislamiento de las paredes de una nevera o refrigerador reduce el flujo de calor hacia el aparato y permite que se mantenga frío.

El aislamiento térmico puede reducir una o más de estas tres funciones: La conducción térmica en el material, que corresponde a la transferencia de calor mediante electrones; las corrientes de convección térmica que pueden establecerse en espacios llenos de aire o de líquido, y la transferencia de calor por radiación, que corresponde al transporte de energía térmica por ondas electromagnéticas. La conducción y la convección no tienen lugar en el vacío, donde el único método de transferir calor es la radiación. Si se emplean superficies de alta reflectividad, también se puede reducir la radiación. Por ejemplo, puede emplearse papel de aluminio en las paredes de los edificios. Igualmente, el uso de metal reflectante en los tejados reduce el calentamiento por el sol (Encarta, 2005).

Propiedades térmicas de las envolventes:

Emisividad

Es la capacidad de un material para emitir energía radiante. La cantidad térmica radiada por superficie-unidad de un cuerpo excitado térmicamente por unidad de tiempo depende exclusivamente de la temperatura absoluta de dicho cuerpo, de la sustancia de la que está constituido y de la naturaleza de la superficie. Es decir es la capacidad que tiene un material para intercambiar calor con otros cuerpos que se encuentran a su alrededor y a diferente temperatura. En clima cálido húmedo los materiales exteriores de la vivienda con mejor resultado son la pintura blanca y la cal, ya que emiten gran parte del calor que reciben.

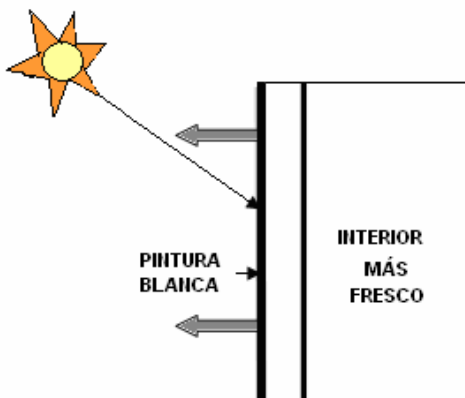


Figura 3.3: Emisividad de la superficie exterior de una vivienda.

Reflectividad

Es la capacidad que tiene un material para reflejar la luz. Un material es reflectivo cuando la energía que llega hasta él rebota al chocar con su

superficie cambiando la dirección pero no sus propiedades energéticas, es decir, si llega en forma de luz rebotará en forma de luz.

Por ello se recomiendan las superficies blancas o aquellas con colores muy claros y más aún las que tienen acabados muy pulidos o brillantes, siempre y cuando no generen deslumbramiento a su alrededor (Amado, 2004).

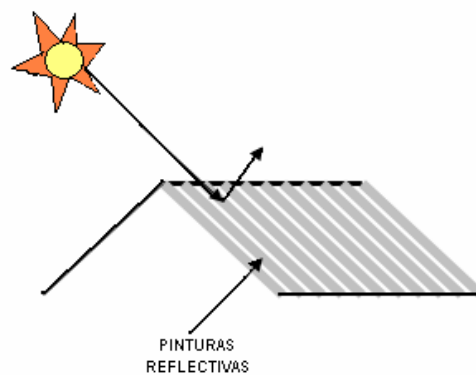


Figura 3.4: Reflectividad de la superficie exterior de un techo

Absortividad

La absortividad es la captación de luz, en un cuerpo es la fracción recibida de irradiancia que es absorbida por el cuerpo. La energía que llega al material si no se refleja entonces se absorbe transformándose en calor. Por ejemplo, cuando la luz solar incide sobre un objeto, suele ocurrir que algunas de sus longitudes de onda son absorbidas y otras reflejadas. Si el objeto aparece blanco, es porque toda o casi toda la radiación visible es reflejada. Pero cuando el objeto presenta un color distinto del blanco, significa que parte de la radiación visible es

absorbida, mientras otras longitudes de onda son reflejadas y causan una sensación de color cuando inciden en el ojo. Los mejores absorbentes son los cuerpos negros, el asbesto cemento y el concreto. Es importante cubrir estos materiales absorbentes con pinturas reflectivas para disminuir el flujo de calor principalmente en el techo. Pero si el material es translúcido como un vidrio por ejemplo, una parte del calor será reflejado, otra porción absorbida, mientras que una última será transmitida hacia el interior del espacio (Amado, 2004).

Las propiedades físicas fundamentales de las superficies para estimar los flujos de calor con el ambiente exterior e interior son la absorción para los procesos térmicos de absorción de radiación de onda corta y la emitancia para los procesos de intercambio de calor por irradiación de onda larga.

En la tabla 3.2 se pueden observar las propiedades térmicas de algunos materiales o pinturas.

Tabla 3.2: Propiedades térmicas de los materiales

Material o pintura	Reflexión (%)	Emisión (%)	Absorción
Hoja de aluminio	85	8	-
Cal-yeso	80	-	-
Mármol blanco	54	95	0.58
Pintura verde clara	50	5	0.47
Pintura de aluminio	45	55	0.40
Madera clara	40	95	-
Asbesto cemento	29	95	-
Pintura gris	25	95	-
Ladrillo arcilla rojo	25	94	-
Hojas verdes	25-32	-	-
Arena seca	18-30	-	-
Negro mate	3	95	-

Tabla 3.2: (continuación)

Pintura negra			0.95
Pintura gris oscuro			0.91
Ladrillo rojo			0.88
Asfalto			0.82
Madera lisa			0.78
Pintura aceite gris claro			0.75
Concreto			0.65
Pintura anaranjada			0.58
Pintura amarilla			0.57
Tejado blanco			0.50
Pintura blanca			0.30
Pintura blanca brillante			0.25
Pintura plateada			0.25
Laca blanca			0.21
Hoja de aluminio pulida			0.12
Papel aluminio			0.05
Superficie de latón			0.05

fuelle: <http://www.tapic.org/chiapas/buenaenergia/documentos/manualbp/materiales.pdf>.

En los anexos se presenta un diagrama de los factores de reflexión, emisión y absorción de los diferentes materiales de construcción. También se anexa una tabla de propiedades de algunos materiales usados en muros y techos.

Capítulo 4

Desarrollo Experimental

Metodología:

Se aplicó la metodología desarrollada en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California que permite relacionar la climatología de un lugar con el consumo y la demanda eléctrica en un edificio y así proyectar escenarios y análisis de factibilidad técnica y económica.

La propuesta se basa en estándares, métodos y técnicas recomendadas por ASTM, así como en otras normas similares y en estudios previos realizados en el Instituto de Ingeniería y por otras instituciones.

Se utilizaron los aparatos de medición del Área de Sistemas Energéticos: un luxómetro marca EXTECH Instrument, modelo 407026, y un radiómetro marca Cole-Parmer Instrument Co., modelo MO24712 a una longitud de onda de 365nm en la región ultra violeta. Figura 4.1 y 4.2.



Figura 4.1: Luxómetro.



Figura 4.2: Radiómetro

Se pintaron 3 muestras de cada una de las pinturas y se expusieron al exterior durante los meses de verano y se realizaron pruebas de iluminación y radiación a los cuatro tipos de pinturas elastoméricas.

En la figura 4.3 se muestra cómo se realizaron las mediciones de iluminación y radiación utilizando los dos aparatos de medición para cada una de las pinturas.



Figura 4.3: Mediciones de iluminación en las muestras de pintura.

Las muestras fueron aplicadas en maquetas limpias de 30x30cm, en cada una se aplicaron dos capas de pintura y posteriormente fueron expuestas a la intemperie sobre una casa, simulando éstas el techo de la misma, con una ligera inclinación hacia el sur.

Metodología de la simulación:

La metodología de simulación ha sido validada a través del trabajo desarrollado por el Área de Sistemas Energéticos del Instituto de Ingeniería de la UABC y probando su aplicación a diferentes casos del sector público, industrial y doméstico (Hernández, 2006). Entre otros casos se encuentran:

- Grupo Melo "Análisis del comportamiento térmico de cuatro diseños tipo vivienda de interés social" (Campbell, 2005).

- Armour “Análisis del comportamiento térmico de vivienda de interés social” (Campbell y col., 2004).
- Proyecto de normas de construcción (Pérez y col., 2003).
- CFE “Evaluación de equipos de aire acondicionado, motores y refrigeradores para el sector domestico de Mexicali” (Pérez y col., 1996).
- TELNOR “Estudio técnico económico del envolvente del Edificio Arbol-3 de Telnor” (Campbell y Pérez, 1995).

Características de los recubrimientos:

De la gran variedad de pinturas que existen en el mercado se analizaron las pinturas reflectivas se tomaron cuatro recubrimientos elastoméricos reflectivos comerciales los cuales se emplean comúnmente en Mexicali.

La características de cada uno de los recubrimientos se muestran a continuación.

1. Fester Imper fácil 3 años



Es un impermeabilizante acrílico base agua, color blanco que tiene gran flexibilidad para adaptarse a movimientos estructurales de la construcción sin perder adherencia. (www.fester.com).

2. Impac 5000



Es un impermeabilizante color blanco formulado a base de resinas acrílicas, partículas térmicas cerámicas con alto poder reflejante de los rayos solares.

Información técnica:

Color	<i>Blanco/rojo terracota</i>
Consistencia	<i>Semi-espeso</i>
Densidad	1.29 +/- 0.05 gr/cc
Viscosidad	22,500 +/- 2,500 cps
pH	9.5 +/- 0.5
Sólidos	54 +/- 2 %
Elongación	500 %
Prueba fungicida	<i>Pasa</i>
Reflexión solar	94 %
Rendimiento	18 a 25 m ² /cubeta de 19 litros

Fuente: www.impac.com

3. Thermotek



Es un cubriente elastomérico emulsionado, color blanco, con extraordinario poder impermeabilizante y termoreflejante del calor, de los rayos, (www.thermotek.com).

4. Akriltek



Es un impermeabilizante acrílico, color blanco. (www.akriltek.com.mx)

Pruebas con las pinturas elastoméricas reflectivas:

Con la finalidad de caracterizar los cuatro tipos de pinturas comerciales para obtener patrones de referencia sobre las propiedades de dichas pinturas, se realizaron pruebas estandarizadas en el laboratorio de Sistemas Energéticos del Instituto de Ingeniería de la UABC. Durante los meses de mayo y junio del 2004 se efectuaron las pruebas de adherencia superficial y de reflectividad de cuatro recubrimientos.



Figura 4.4: Pinturas reflectivas analizadas.

La adherencia se determina colocando una cubierta adherente sobre la superficie pintada y después se desprende esta cuidadosamente. Se miden las áreas desprendidas de pintura por esta acción y se calcula el porcentaje de la superficie con respecto a la superficie total.

Para establecer resultados con exactitud se hace un rayado en forma de cuadrícula de cada superficie cubierta de manera que es posible contar con una mayor precisión al cuantificar dichas áreas.

Adherencia

Este tipo de prueba está relacionada con la confiabilidad de cada recubrimiento para evitar su desprendimiento una vez aplicadas a una superficie. Se realizaron pruebas unas inmediatamente después de aplicarse y otras a diversos intervalos de tiempo. Además, se estableció un arreglo experimental para discriminar de manera estadísticamente

robusta la validez de los resultados obtenidos. Así, se probaron cuatro recubrimientos (pinturas) elastoméricos reflectivos: fester imper fácil, Impac 5000, Akriteltek 3 y Thermotek sobre cinco diferentes sustratos utilizándolo como una superficie: Concreto, mortero, lámina galvanizada, cartón de yeso y madera aglomerada (petatillo). Estos materiales son de los más comúnmente utilizados en la construcción a los cuales se les aplica este tipo de recubrimientos.

En las figura 4.5 se muestra gráficamente el procedimiento de pruebas de adherencia para los materiales seleccionados.



Figura 4.5: Materiales de prueba

En el cartón de yeso la adherencia es buena debido a que la mayor composición es cartón y se adhiere muy bien la pintura como se muestra en la figura 4.6.



Figura 4.6: Aplicación de cuatro recubrimientos en cartón de yeso



Figura 4.7: Demarcación de las superficies en cartón de yeso



Figura 4.8: Adherencia del recubrimiento

En la figura 4.9 se presentan como se demarcaron la muestra sobre la losas de concreto.



Figura 4.9: Pruebas de demarcación sobre losa de concreto

Pruebas de reflectancia:

Se realizaron pruebas de reflectancia para los cuatro recubrimientos elastoméricos y se efectuaron mediciones para obtener un índice de reflectividad utilizando un luxómetro durante el mes de agosto, la medición de incidencia y reflectividad de radiación ultravioleta (UV) empleando el radiómetro disponible en el Instituto de Ingeniería de la UABC.

En las figuras 4.10 a 4.13 se muestran los modelos a escala sobre los cuales se realizaron las primeras pruebas de reflectancia a la luz solar en el espectro visible.



Figura 4.10: pruebas de reflectancia. Orientación este



Figura 4.11: Pruebas de reflectancia. Orientación sur



Figura 4.12: Pruebas de reflectancia. Orientación norte



Figura 4.13: Pruebas de reflectancia. Posición techo

Capítulo 5

Simulación Térmica

Se pueden obtener los efectos sobre la ganancia de calor, sobre el consumo, carga de enfriamiento, retiro de calor y demanda de energía eléctrica de una vivienda a través de la simulación numérica. Se empleó un escrito en lenguaje Basic y en un ambiente gráfico con el paquete Visual Basic 6, conteniendo una base de datos para las condiciones de Mexicali y Cienfuegos, Cuba.

La simulación consiste en ingresar todos los datos generales de la construcción al simulador térmico, a continuación se presentan desglosados los datos que se ingresan en el simulador:

- Periodo de simulación.
 - Un día del año.
 - ✦ Ciudad
 - ✦ Mes
 - ✦ Día
 - Un mes del periodo de verano.
 - ✦ Ciudad
 - Todo el periodo de verano (mayo a octubre).
 - ✦ Ciudad.
- Dimensiones y propiedades de la envolvente.
 - Muros.
 - ✦ Tipo de muro.
 - ✦ Área de muro: Norte, Sur, Este y Oeste.
 - ✦ Resistencia térmica.
 - ✦ Temperatura de piso.

✦ Área de planta.

➤ Techos.

✦ Tipo de techo.

✦ Área de techo.

Resistencia térmica

➤ Puertas y ventanas.

✦ Tipo de ventana: Norte, Sur, Este y Oeste.

✦ Área de ventana: Norte, Sur, Este y Oeste.

✦ Tipo de Puerta: Norte, Sur, Este y Oeste.

✦ Área de Puerta: Norte, Sur, Este y Oeste.

● Personas.

➤ Nivel de actividad de las personas.

➤ Personas por hora.

● Equipos.

➤ Tipo de equipo.

➤ Factor de uso.

➤ Cantidad de equipo por hora.

● Datos de carga de enfriamiento por piso.

➤ Piso planta baja.

➤ Piso intermedio.

➤ Piso superior.

● Datos de retiro de calor por piso.

- Rapidez máxima de extracción de calor.
- Rapidez mínima de extracción de calor.
- Variación del punto de control de temperaturas.
- Rapidez de flujo de aire de ventilación.
- Rapidez de flujo de aire de infiltración.
- Tipo de construcción.
 - ✦ Ligera.
 - ✦ Mediana.
 - ✦ Pesada.
- Datos de facturación.
 - Rendimiento energético del equipo de aire acondicionado.
 - Tipo de tarifa.

Los datos se piden en unidades inglesas, aunque el despliegue de resultados se entrega, ya sea en unidades inglesas (carga de enfriamiento en $\frac{Btu}{h}$, retiro de calor en $\frac{Btu}{h}$) como en unidades internacionales (carga de enfriamiento en *ton*, retiro de calor en *ton*, consumo en *kWh*). El consumo es desplegado en unidades internacionales debido a que al aplicar la tarifa de la región se requieren dichas unidades.

Se hace utilizando una interfase con Excel para el despliegue de resultados de la simulación térmica (Hernández, 2006).

La simulación se realizó a casas con muros de ladrillo o de block , así como también se le aplicó aislamiento y principalmente se le aplicó la pintura reflectiva para saber su efecto y se consideraron los siguientes casos:

1. Sin aislar, sin pintura reflectiva, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
2. Sin aislar, con pintura reflectiva nueva sólo en techo, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
3. Sin aislar, con pintura reflectiva sucia sólo en techo, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
4. Sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
5. Sin aislar, con pintura reflectiva sucia en techo y nueva en muros, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
6. Aislado sólo techo, sin pintura reflectiva, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
7. Aislado en techo y con pintura reflectiva nueva sólo en techo, muros sin aislar y sin pintura, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
8. Aislado sólo techo, muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")

9. Aislado sólo techo, muros sin aislar, con pintura reflectiva sucia en techo (0.6) y muros (0.4). (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
10. Techo y muros aislados, sin pintura reflectiva (actual), (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
11. Techo y muros aislados, con pintura reflectiva, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4")
12. Techo y muros sin aislar, sin pintura reflectiva, muros de block de concreto. (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4")
13. Techo y muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en ambos, muros de block de concreto, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4")
14. Techo y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en ambos. (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4").
15. Techo aislado y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4").

De la simulación térmica se obtuvieron una serie de datos con los diferentes casos que anteriormente se mencionaron para Mexicali y Cienfuegos, Cuba cada una con su historial de temperaturas

correspondientes, analizando dos unidades de eficiencia en enfriamiento como lo son SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$ para ambas ciudades.

En la tabla 5.1 se representan los datos del mejor de los casos para Mexicali, donde el techo de concreto y el muro de ladrillo están aislados, con pintura reflectiva y una eficiencia del aire acondicionado con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$.

Tabla 5.1: Datos del caso de techo de concreto y muros de ladrillo, con aislamiento y pintura reflectiva con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ para Mexicali.

CASO SEER 6	MES	Carga Enfriamiento (ton)	Retiro de Calor (ton)	Consumo (kWh)	Facturación (pesos)
11	MAYO	333,19	234,00	728,11	350,24
11	JUNIO	447,05	295,38	854,12	418,48
11	JULIO	535,16	345,16	968,77	481,18
11	AGOSTO	552,56	353,00	984,45	491,50
11	SEPTIEMBRE	390,67	263,27	783,77	386,38
11	OCTUBRE	104,63	77,34	365,84	162,75

En la tabla 5.2 se presentan los datos obtenidos del simulador del mejor de los casos para Cienfuegos, Cuba con techo y muros aislados con pintura reflectiva con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$.

Tabla 5.2: Datos del caso de techo de concreto y muros de ladrillo, con aislamiento y pintura reflectiva con SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ para Cienfuegos, Cuba.

CASO SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$	MES	Carga Enfriamiento (ton)	Retiro de Calor (ton)	Consumo (kWh)	Facturación (pesos)
11	MAYO	172.28	140.25	550.91	256.68
11	JUNIO	381.98	275.76	892.25	438.69
11	JULIO	399.79	284.30	920.70	455.61
11	AGOSTO	403.95	272.97	892.93	442.63
11	SEPTIEMBRE	365.36	267.06	869.74	432.55
11	OCTUBRE	308.37	231.06	783.58	388.33

Estos casos se registra un menor consumo, carga de enfriamiento para Mexicali y Cienfuegos, Cuba.

En la tabla 5.3 se presenta el caso más crítico para la ciudad de Mexicali, donde el material de construcción es de block. El techo y los muros no cuentan con aislamiento ni pintura reflectiva.

Tabla 5.3: Datos del caso con techo de concreto y muros de block, sin aislamiento ni pintura reflectiva son SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ para Mexicali.

CASO SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$	MES	Carga Enfriamiento (ton)	Retiro de Calor (ton)	Consumo (kWh)	Facturación (pesos)
12	MAYO	1384,10	945,59	2151,29	1942,33
12	JUNIO	1873,06	1215,76	2694,89	2787,60
12	JULIO	2249,47	1431,32	3141,09	3703,57
12	AGOSTO	2325,50	1468,22	3214,90	3870,48
12	SEPTIEMBRE	1632,43	1077,07	2411,38	2313,89
12	OCTUBRE	431,34	307,92	827,00	411,78

En la tabla 5.4 se muestran los datos del caso más crítico del simulador para la ciudad de Cienfuegos, Cuba. Utilizando un SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$

Tabla 5.4: Datos del caso con techo de concreto y muros de block, sin aislamiento ni pintura reflectiva son SEER 6 para Cienfuegos, Cuba.

CASO SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$	MES	Carga Enfriamiento (ton)	Retiro de Calor (ton)	Consumo (kWh)	Facturación (pesos)
12	MAYO	612.59	503.31	1277.04	835.53
12	JUNIO	1392.60	1031.30	2403.33	2271.94
12	JULIO	1461.74	1069.02	2490.14	2393.40
12	AGOSTO	1490.93	1045.79	2438.56	2338.21
12	SEPTIEMBRE	1328.80	994.36	2324.35	2201.62
12	OCTUBRE	1115.98	852.85	2027.17	1826.52

Asimismo, se presentan los resultados completos de todos los casos analizados para Mexicali y Cienfuegos en el anexo D y E.

Capítulo 6

Resultados

Pinturas elastoméricas reflectivas:

Las pruebas de adherencia efectuadas para los cuatro recubrimientos elastoméricos sobre diferentes materiales de construcción corresponden a un tiempo de aplicación de al menos tres días, es decir, cuando el material ya había secado y logrado las condiciones de estabilidad. Puede observarse cómo el caso del mortero arena-cemento presenta la menor adherencia para todos ellos y varía desde un 25% a un 45%.

En cuanto a adherencia a cinco diferentes materiales, se encuentra que en el cartón de yeso se adhiere bastante bien. Sin embargo, en los cuatro recubrimientos se observa que uno de ellos (Thermotek) presenta resultados más pobres en dos de los materiales: concreto y lámina galvanizada aún cuando en madera y concreto sus resultados son similares a los de los demás fabricantes y, que todos ellos presentan una muy baja adherencia en mortero (cemento-arena) como el que se utiliza en emplaste de muros.

Cuando el sustrato es madera aglomerada todos los recubrimientos exhibieron adherencias bastante elevadas y cercanas al 100%. Cuando se coloca sobre concreto (como es el caso de una losa de un techo) existen variaciones en adherencia entre dos de ellos con respecto a los dos restantes lo que da una indicación de que al menos en estas pruebas, estos recubrimientos serían menos resistentes a la acción de la abrasión.

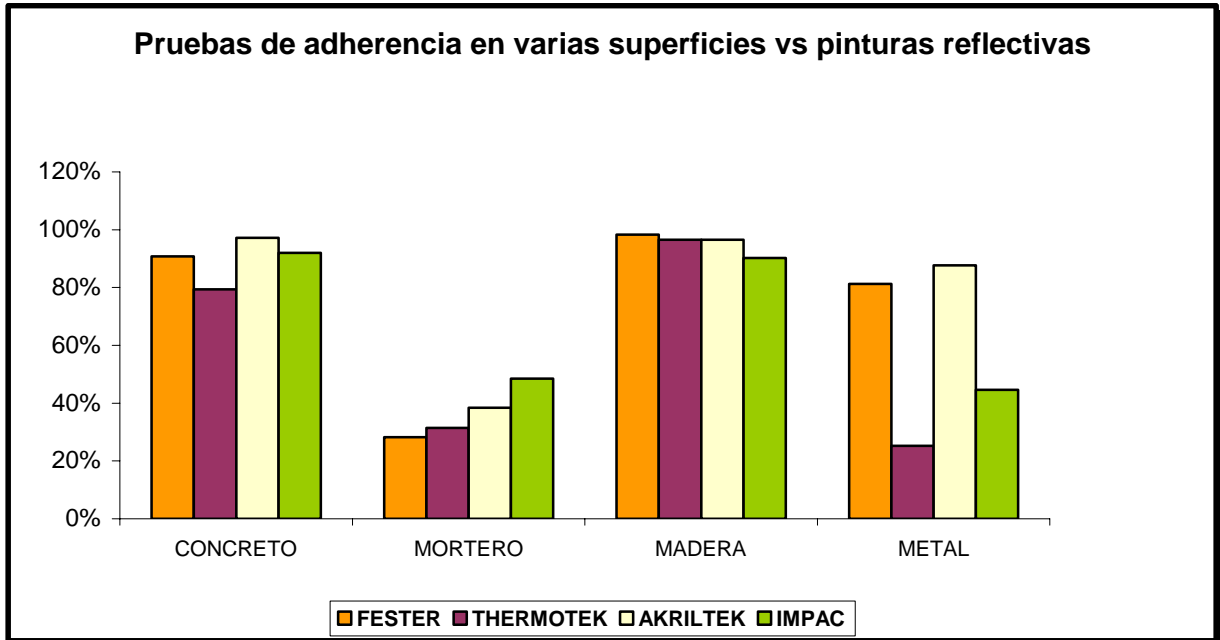


Figura 6.1: Resultados de las pruebas de adherencia para los recubrimientos analizados.

Las reflectancias de todos los recubrimientos analizados presentan variaciones que van desde el 30% hasta valores mayores al 90% en función de la hora del día y no ha podido establecerse aún una base sólida de comparación para decidir sin lugar a dudas diferencias estadísticas significativas confiables a partir de la información recabada.

Los datos de reflectancia se corresponden a pintura limpia y sin que se haya depositado polvo ni sufrido efectos de pérdida de propiedades ópticas por exposición a la luz solar o al exterior.

Se realizaron mediciones de reflectividad y se utilizó un arreglo experimental para discriminar los factores significativos en la variación de reflectancia debido a: exposición al exterior, polvo, orientación, radiación ultravioleta. En la figura 6.2 se presentan los resultados del porcentaje

de reflectividad de los cuatro recubrimientos estudiados medidos en la orientación norte de los modelos.

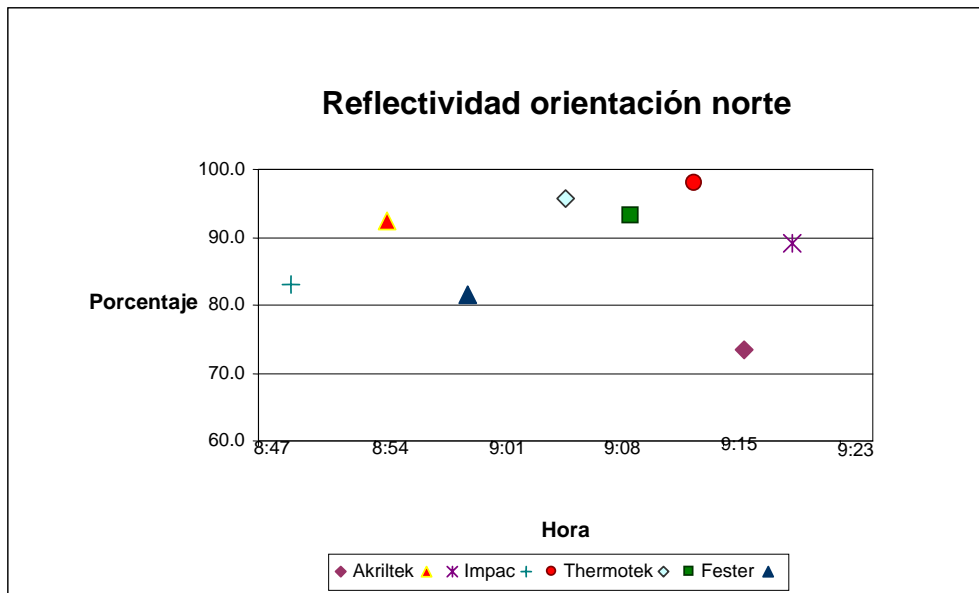


Figura 6.2: Porcentaje de reflectividad de los recubrimientos analizados.
Cara norte.

La reflectancia es mayor al 80% en el intervalo de tiempo mostrado. No obstante uno de ellos presenta un resultado menor. La reflectancia tiene que ver con la cantidad de luz solar recibida sobre una superficie y la que es reflejada por la misma en virtud de sus propiedades ópticas. Adicionalmente, las superficies no sólo reciben radiación solar directa sino que también incide sobre ellas la radiación difusa que proviene de todas las direcciones de la bóveda celeste y que está asociada a longitudes de onda más larga que en el espectro visible. Los resultados presentados son para recubrimientos limpios y recién aplicados en los cuales no se ha

manifestado aún el fenómeno de depositación de polvo, de desgaste por el exterior o degradación por efecto de la radiación solar.

Iluminación y radiación:

Con el estudio y análisis de las pinturas se determinó la ganancia de calor de las viviendas a través de la envolvente y de ese modo racionalizar el uso de energía en los sistemas de enfriamiento.

Se tomaron mediciones de las muestras continuamente durante un periodo de seis meses (de agosto a enero) en distintas fechas.

Se presentan las fechas de muestreo en la tabla 6.1 siguiente:

Tabla 6.1: Fechas de muestreo

AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	ENERO
20 de agosto de 2004	06 de septiembre de 2004	01 de octubre de 2004	18 de enero de 2005
23 de agosto de 2004	10 de septiembre de 2004		19 de enero de 2005
27 de agosto de 2004	20 de septiembre de 2004		
	24 de septiembre de 2004		

En los datos obtenidos se analizó y registró la siguiente información:

Basados en la prueba de Duncan, los datos de iluminación mostraron que en las fechas del 20, 23, 27 de agosto y el 06 de septiembre se comportaron de la misma manera pues no mostraron cambio alguno en la comparación de las medias. Esto se debió a que las muestras estaban

limpias y sus propiedades no estaban aun afectadas por los factores externos (temperatura, humedad, polvo y tiempo de exposición al sol).

Se tomó como punto de referencia el porcentaje de reflectancia de los valores promedio de las mediciones realizadas el 20 de agosto, en un promedio de horario de 11:00 a 12:00 del día, hora en que la radiación solar es significativa, esto se muestra en la tabla 6.2.

Tabla 6.2: Porcentaje de Iluminación del segmento del espectro de luz visible del día 20 de agosto del 2005.

PINTURAS	PROMEDIOS en Lux	PROMEDIOS en W/m²	%REFLECTANCIA
Impac 5000	59306	86.82	53.39
Akriltek	59733	87.45	53.85
Imper fácil (Fester)	55545	81.32	50.06
Thermotek	60985	89.28	54.97
Puntos Techo	21652	31.69	19.52

Para el día 10 de septiembre, las condiciones cambiaron, ya que tenían más tiempo de exposición a la intemperie y presentaban una ligera capa de polvo que provocó variación en las comparaciones, los porcentajes mostrados en la tabla 6.3 indican las pérdidas en la iluminación reflejada.

Tabla 6.3: Porcentaje del espectro de luz visible del día 10 de septiembre del 2004.

PINTURAS	PROMEDIOS	PORCENTAJE REFLECTANCIA
Impac 5000	33161	47.83
Akriltek	30694	43.92
Imper fácil (Fester)	34600	49.97
Thermotek	35094	50.65
Puntos Techo	16357	23.62

En las fechas siguientes las variaciones también se hicieron presentes en la prueba de Duncan y en las mediciones del día 20 de septiembre se muestra, por supuesto, una pérdida mayor en las propiedades de las pinturas, esto se observa claramente en la tabla 6.4, se deduce pues, que la reducción que observaron fue gradual con el paso del tiempo.

Tabla 6.4: Porcentaje del segmento de espectro de luz visible del día 20 de septiembre del 2004.

PINTURAS	PROMEDIOS	PORCENTAJE REFLECTANCIA
Impac 5000	39961	43.06
Akriltek	36700	39.40
Imper Fácil (Fester)	41233	43.57
Thermotek	46276	45.87
Puntos Techo	20188	21.84

Al analizar este comportamiento se tomó la decisión de limpiar una muestra de cada una de las pinturas, para estudiar los cambios que pudiesen presentar. Como era de esperarse las comparaciones de la prueba de Duncan también presentaron cambios. Pero al analizar los porcentajes de reflectancia promedio del día 24 de septiembre (tabla 6.5) se observó que aún cuando las variaciones persistieron, el porcentaje de reflectancia en la iluminación fue mayor que en la fecha de la toma anterior a la limpieza de las muestras. En el caso de la reflexión de la iluminación, todas se vieron afectadas positivamente, a saber en un 9% aproximadamente con respecto a la medición tomada un día antes de la limpieza a las placas.

Tabla 6.5: Porcentaje del espectro de luz visible de los días 24 de septiembre y 01 de octubre del 2004.

PINTURAS	PROMEDIOS 24 de Sep.	PORCENTAJE REFLECTANCIA 24 de Sep.	PROMEDIOS 01 de Oct.	PORCENTAJE REFLECTANCIA 01 de Oct.
Impac 5000	34545	45.45	29842	42.45
Akriltek	32833	43.25	27442	38.12
Imper fácil (Fester)	36276	47.78	31685	45.09
Thermotek	37024	48.77	33688	47.85
Puntos Techo	21277	28.08	15637	22.27

Por otro lado, con respecto a las mediciones de radiación UV, los valores dados en mW/cm^2 y tomados con una longitud de onda de 365 nm, según la prueba de Duncan, las cuatro primeras mediciones no mostraron variación en la comparación de sus medias (20-agosto al 06-septiembre). Se tomó como punto de referencia el porcentaje de reflectancia de los valores promedio de las mediciones realizadas el 20 de agosto, en un promedio de horario de 11:00 a 12:00 del día, hora en que la radiación solar es mayor, esto se muestra en la tabla 6.6.

Tabla 6.6: Porcentaje de Radiación ultravioleta del día 20 de agosto del 2004.

PINTURAS	PROMEDIO en mW/cm^2	PORCENTAJE REFLECTANCIA
Impac 5000	0.12455	4.45
Akriltek	0.11548	4.15
Imper fácil (Fester)	0.12267	4.41
Thermotek	0.13945	4.97
Puntos Techo	0.18398	6.57

Para el día 06 de septiembre las comparaciones en la prueba de Duncan mostraron una notable variación con respecto a los porcentajes de referencia, estos porcentajes se muestran en la tabla 6.7.

Tabla 6.7: Porcentaje del espectro de radiación ultravioleta del día 06 de septiembre del 2004.

PINTURAS	PROMEDIO en mW/cm²	PORCENTAJE REFLECTANCIA
Impac 5000	0.08645	7.48
Akriltek	0.08397	7.26
Imper fácil (Fester)	0.08342	7.22
Thermotek	0.09136	7.91
Puntos Techo	0.11964	10.22

Hay que destacar que se esperaba una reducción en el porcentaje reflectividad de radiación, sin embargo, al comparar estos porcentajes con los de referencia se nota que estos aumentaron. Se estima pues que este comportamiento se debe a que el día 06 de septiembre la radiación fue mayor que los otros días pues puede corroborarse con los puntos del techo de concreto que observan un aumento en su porcentaje reflectividad de radiación.


Por su parte, las mediciones a partir del 10 de septiembre y hasta el 1 de octubre presentaron una variación muy pequeña, esto se observa en las tablas 6.8 y 6.9 Es importante recordar que, después del día 20 de septiembre una de tres de las muestras se lavaron y las propiedades de radiación de las pinturas también se vieron afectadas por esta acción.

Tabla 6.8: Porcentaje del espectro de radiación ultravioleta de los días 10 y 20 de septiembre del 2004.

PINTURAS	PROMEDIOS 10 de Sep.	PORCENTAJE REFLECTANCIA 10 de Sep.	PROMEDIOS 20 de Sep.	PORCENTAJE REFLECTANCIA 20 de Sep.
Impac 5000	0.10267	6.72	0.13188	6.05
Akriltek	0.10376	6.80	0.12994	5.95
Imper fácil (Fester)	0.10073	6.60	0.13445	6.17
Thermotek	0.11067	7.25	0.14976	6.85
Puntos Techo	0.13848	9.07	0.17058	7.78

Tabla 6.9: Porcentaje de radiación ultravioleta de los días 24 de septiembre y 01 de octubre del 2004.

PINTURAS	PROMEDIOS 24 de Sep.	%REFLECTANCIA 24 de Sep.	PROMEDIOS 01 de Oct.	%REFLECTANCIA 01 de Oct.
Impac 5000	0.13076	6.98	0.10979	6.73
Akriltek	0.12297	6.58	0.11182	6.88
Imper fácil (Fester)	0.12245	6.55	0.11133	6.82
Thermotek	0.14245	7.60	0.12345	7.57
Puntos Techo	0.16145	8.63	0.13515	8.27



Después de un largo periodo de exposición a la intemperie (más de dos meses) se retomaron los muestreos de las películas de pintura durante los días 18 y 19 de enero (mes invernal) del 2005, estos días presentaron un cielo despejado. Estas mediciones fueron tomadas utilizando el mismo procedimiento empleado para las mediciones anteriores. Por otro lado, durante el tiempo de espera, perteneciente a la época invernal, en la zona se presentaron fuertes vientos y lluvias frecuentes. El análisis que a continuación se describe, muestra el comportamiento de las películas de pintura para iluminación y radiación, referente a su reflectividad.

En cuanto a iluminación se refiere, los días 18 y 19 de enero las películas de pintura mostraron pérdidas en sus propiedades, estas oscilaron entre el 15% y 20% con respecto a las mediciones de referencia (tabla 6.10), y las pérdidas entre el 18 y 19 de enero fueron de alrededor del 1%, es por ello que se puede concluir que las muestras de pintura han alcanzado un equilibrio con respecto a los agentes externos, esto es, aún cuando las propiedades siguen perdiéndose en las muestras expuestas, estas pérdidas se han reducido significativamente.

Tabla 6.10: Porcentaje del espectro de luz visible de los días 18 y 19 de enero.

PINTURAS	PROMEDIOS 18 de Enero	PORCENTAJE REFLECTANCIA 18 de Enero	PROMEDIOS 19 de Enero	PORCENTAJE REFLECTANCIA 19 de Enero
Impac 5000	252.39	34.27	268.82	33.77
Akriltek	239.82	32.43	254.76	32.00
Imper fácil (Fester)	248.36	33.71	259.85	32.64
Thermotek	283.64	38.50	309.70	38.90
Puntos Techo	142.31	19.31	143.35	18.01

Para el porcentaje reflectividad de radiación debe tomarse en cuenta que los porcentajes de variabilidad son menores que los presentados en iluminación puesto que los factores externos no influyen en la radiación del mismo modo que en iluminación. Esto puede verse en el comportamiento de los días 18 y 19 de enero los cuales mostraron poca variación en sus propiedades (Tabla 6.11). En estos datos el porcentaje reflectividad de radiación alcanzó el equilibrio rápidamente, pues los resultados mostrados el día 6 de septiembre presentan un comportamiento muy parecido al de enero, sin embargo, no deben ignorarse los datos de los puntos del techo (referencia) pues arrojan un porcentaje reflectividad de radiación de alrededor del 9.5%.

Tabla 6.11: Porcentaje de radiación ultravioleta de los días 18 y 19 de enero.

PINTURAS	PROMEDIOS 18 de Enero	PORCENTAJE REFLECTANCIA 18 de Enero	PROMEDIOS 19 de Enero	PORCENTAJE REFLECTANCIA 19 de Enero
Impac 5000	0.09321	8.42	0.11064	7.47
Akriltek	0.08985	8.12	0.10764	7.28
Imper fácil (Fester)	0.09397	8.50	0.10636	7.19
Thermotek	0.10033	9.07	0.11782	7.97
Puntos Techo	0.10691	9.68	0.12706	8.59

Las pérdidas de iluminación reflejada, provocadas por los cambios de temperatura, humedad, polvo y tiempo de exposición al sol, son del orden del 15% al 20% en todas las pinturas, en tanto que las pérdidas de radiación reflejada oscilan entre el 1% y 2%, observando en estas pérdidas poca influencia del exterior, sin embargo, aun cuando se originan gradualmente, analizándolas en conjunto queda claro que tienen un efecto significativo en el ahorro de energía eléctrica.

Simulación:

En la simulación de las casas en la ciudad de Mexicali se tomaron diferentes condiciones así como diferentes tipos de material por ejemplo se simuló una vivienda considerando la construcción de techo de losa de

concreto de 4" y muros de block de 8" sin aislamiento y sin pintura reflectiva con SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$, presento un consumo de energía de 14440,55

kWh el cual no originó ningún ahorro de energía, este caso siendo más crítico en cuanto al ahorro de energía, se tomó como base para determinar el ahorro de los demás casos.

En el caso anterior, al cambiar los muros de block por el ladrillos de 8" se presentó una pequeña disminución del consumo obteniendo un ahorro de energía de 9%. Al aplicar la pintura reflectiva sólo en el techo, sin aislamiento, se registró un porcentaje de 18% por el efecto de la pintura requiriendo menor carga de enfriamiento y retiro de calor. Cuando se aplica la pintura reflectiva en muros y techo y se mantuvo el mismo porcentaje por el efecto de la pintura de 18%.

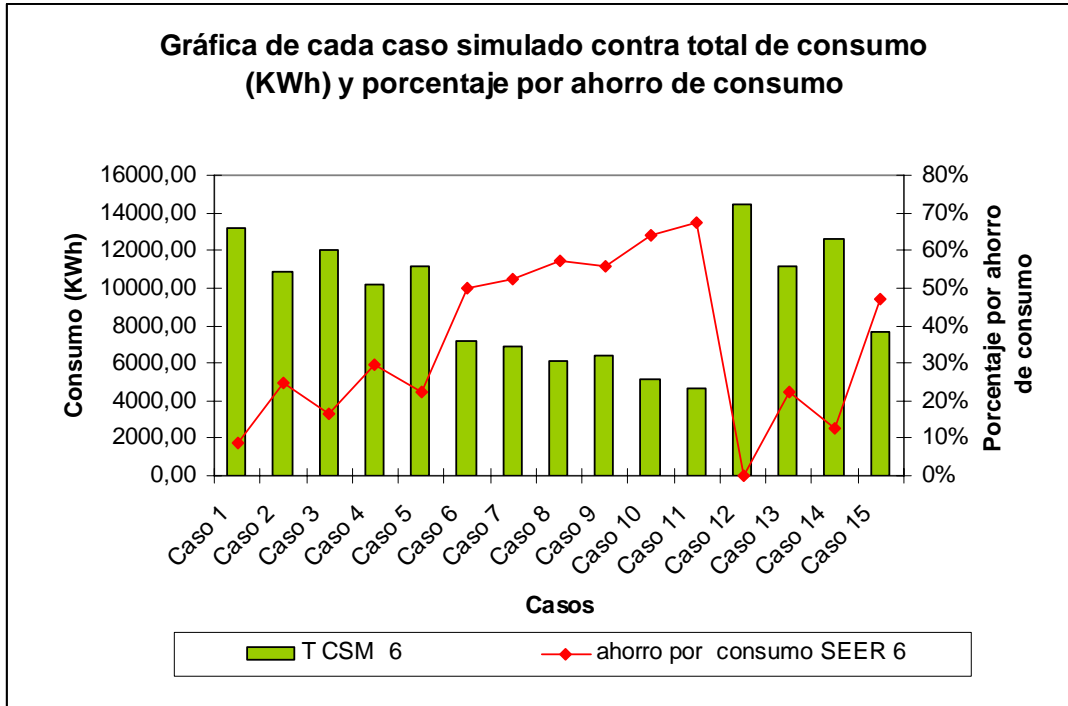


Figura 6.3: Casos simulados contra el total de consumo y porcentaje de ahorro por consumo con SEER 6

Las pinturas al intemperie se llenan de polvo por los que presentan perdidas en su propiedades lo que le impide realizar su función de reflejar. Se simuló una vivienda en la cual la pintura estaba sucia y no tenia aislamiento por lo que se presento un porcentaje de ahorro de consumo de 13%. El 17% es caso en el cual no tenia aislamiento y la pintura estaba sucia solo en el techo comportándose con 10% por el efecto de la pintura, causa de la degradación del color de la pintura y de la perdida de reflectividad. Utilizando aislamiento de 2" solo en techos, sin pintura reflectiva con muros de ladrillo y techo de concreto presento

un ahorro de consumo de 50% y por el efecto de la pintura de un 48%. Con las mismas condiciones de aislamiento en el techo y con pintura reflectiva nueva pero los muros sin aislar y sin pintura presenta un ahorro de consumo de 52% tomando en cuenta que favoreció un 2% al aplicarle la pintura reflectiva nueva en el techo, de la misma manera que aumento el ahorro por el efecto de la pintura a un 51% aplicando en la mismas condiciones que en el anterior pero aplicando la pintura nueva en techo y muros que obtuvo un ahorro por consumo de 58% y por el efecto de la pintura de 57%. Al utilizar el aislamiento en techo y muros sin pintura reflectiva actual, esto quiere decir que cuenta con pintura pero ya tiene tiempo de exposición al exterior presento un ahorro por la pintura 69%. Si se utiliza la pintura reflectiva nueva y con aislamiento en ambas partes de la construcción se comporta como el mejor de los casos con ahorro por consumo de 68% y con un ahorro muy favorable por el efecto de la pintura de un 74%.

En la tabla 6.12 que a continuación se presenta refleja el total de consumo y el porcentaje de ahorro por el consumo para SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ y el ahorro por el efecto de la pintura.

Tabla 6.12: Total del ahorro de consumo y ahorro por efecto de pintura.

MES	Total Consumo (kWh)	PORCENTAJE consumo SEER 6	PORCENTAJE Efecto de la pintura
Caso 1	13146.07	9	0
Caso 2	10844.55	25	18
Caso 3	12043.50	17	10
Caso 4	10199.13	29	24
Caso 5	11193.58	22	17
Caso 6	7197.43	50	48
Caso 7	6880.94	52	51
Caso 8	6149.81	57	58
Caso 9	6357.35	56	57
Caso 10	5178.72	64	69
Caso 11	4685.05	68	74
Caso 12	14440.55	0	0
Caso 13	11197.28	22	18
Caso 14	12623.06	13	6
Caso 15	7666.35	47	46

De la figura 6.4 a la 6.18 se representa el consumo que presentaron los 15 casos simulados desde el mes de mayo a octubre con las dos eficiencias (SEER 6 y SEER 13), para la ciudad de Mexicali. De la figura 6.4 a la 6.18 se representa el consumo que presentaron los 15 casos simulados desde el mes de mayo a octubre con las dos eficiencias (SEER

6 $\frac{kBtu}{kWh}$ y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$), para la ciudad de Mexicali.

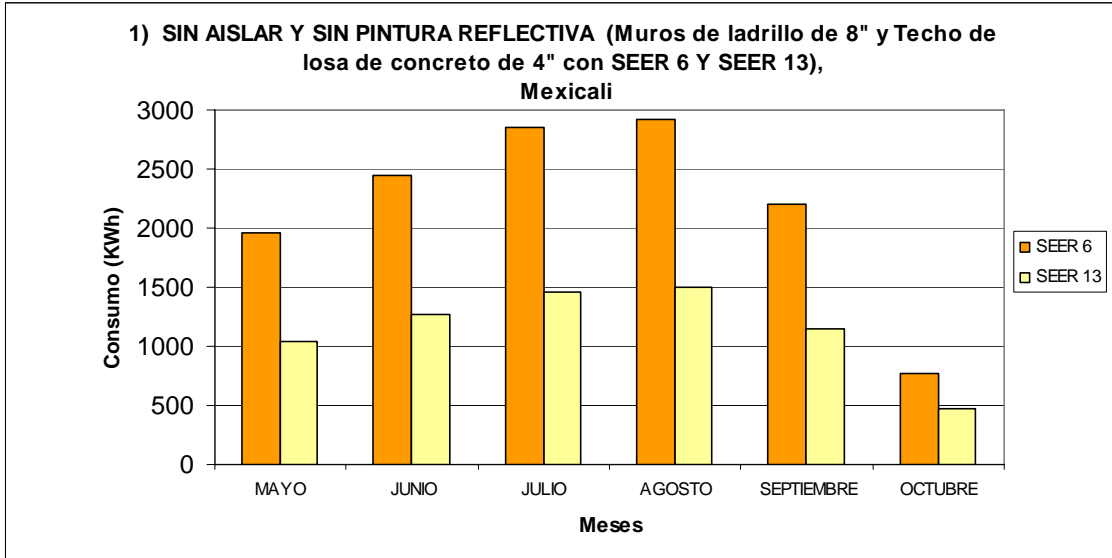


Figura 6.4: Sin aislar y sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 Y SEER 13), Mexicali.

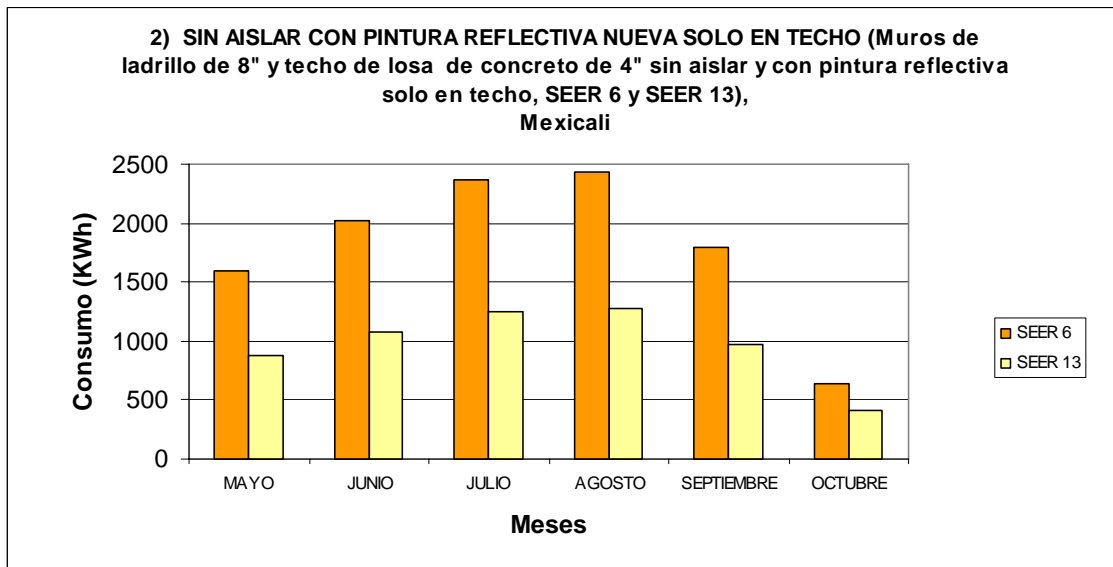


Figura 6.5: Sin aislar con pintura reflectiva nueva sólo en techo (muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" sin aislar y con pintura reflectiva sólo en techo, SEER 6 y SEER 13), Mexicali.

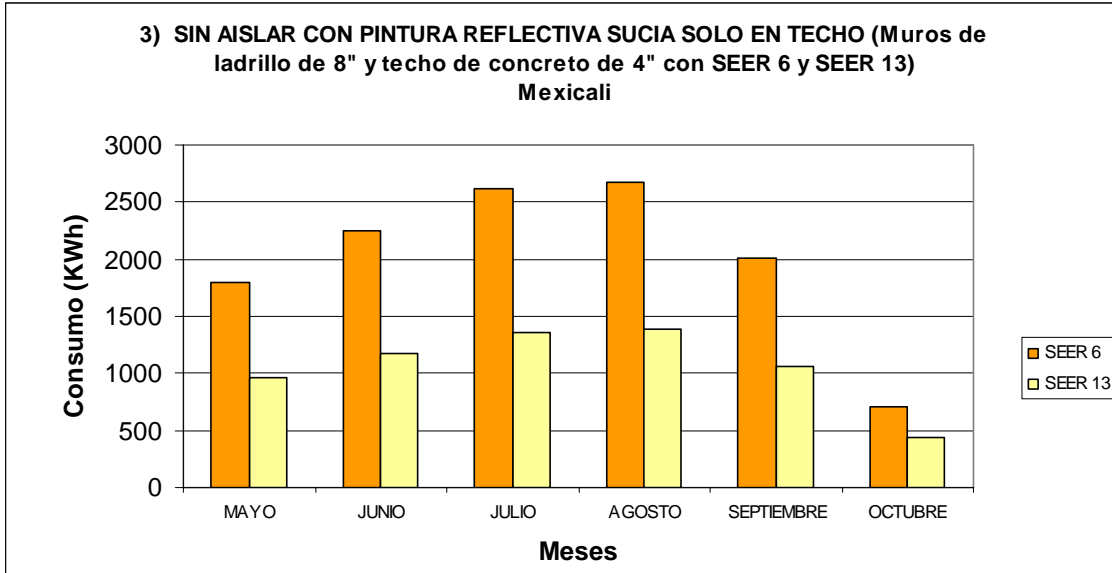


Figura 6.6: Sin aislar con pintura reflectiva sucia sólo en techo (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$) Mexicali.

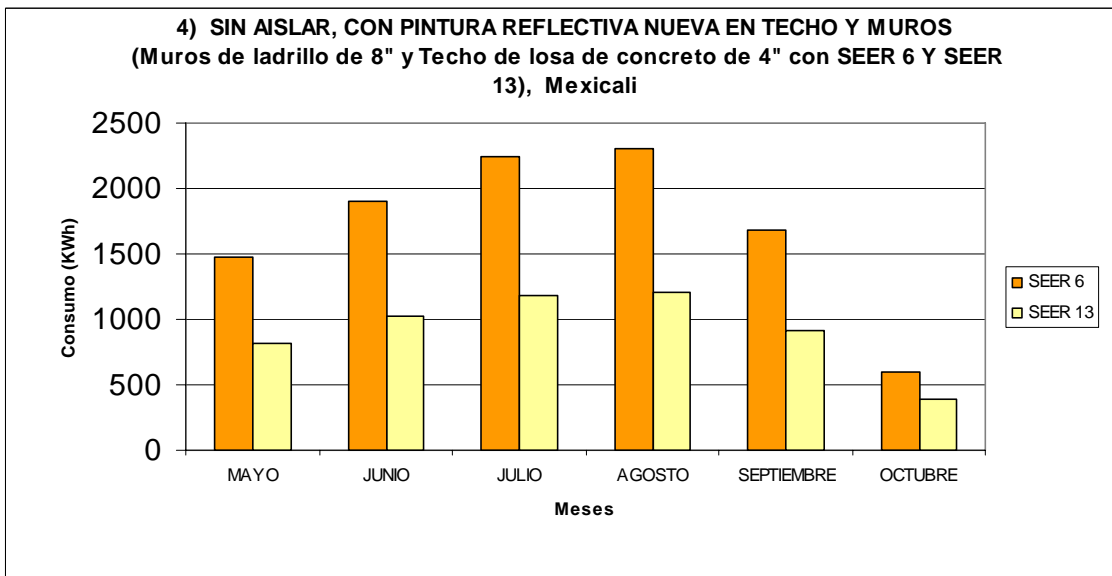


Figura 6.7: Sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$), Mexicali.

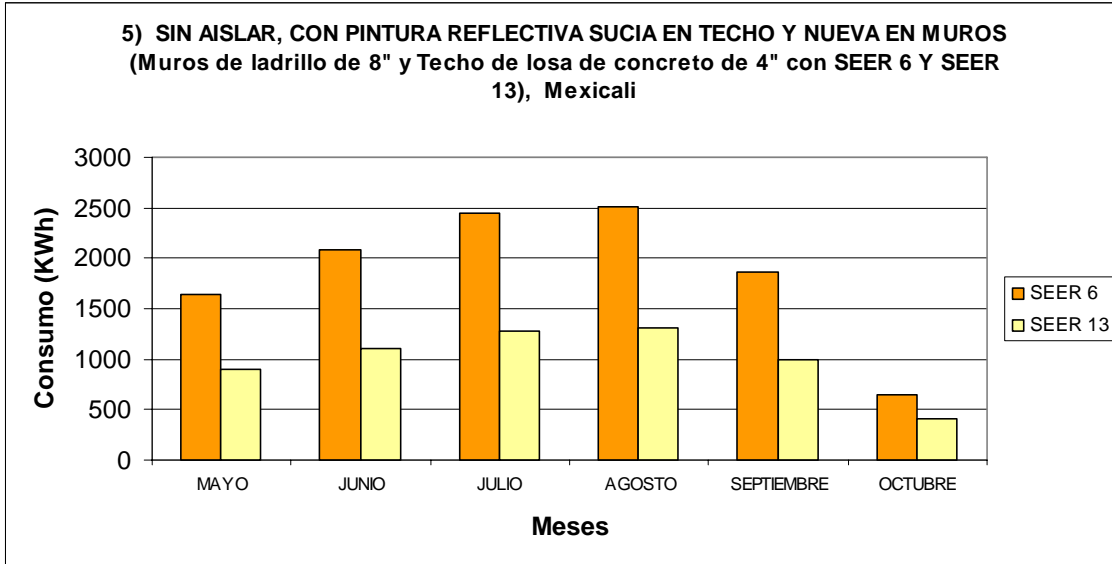


Figura 6.8: Sin aislar, con pintura reflectiva sucia en techo y nueva en muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con

SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER $13 \frac{kBtu}{kWh}$), Mexicali.

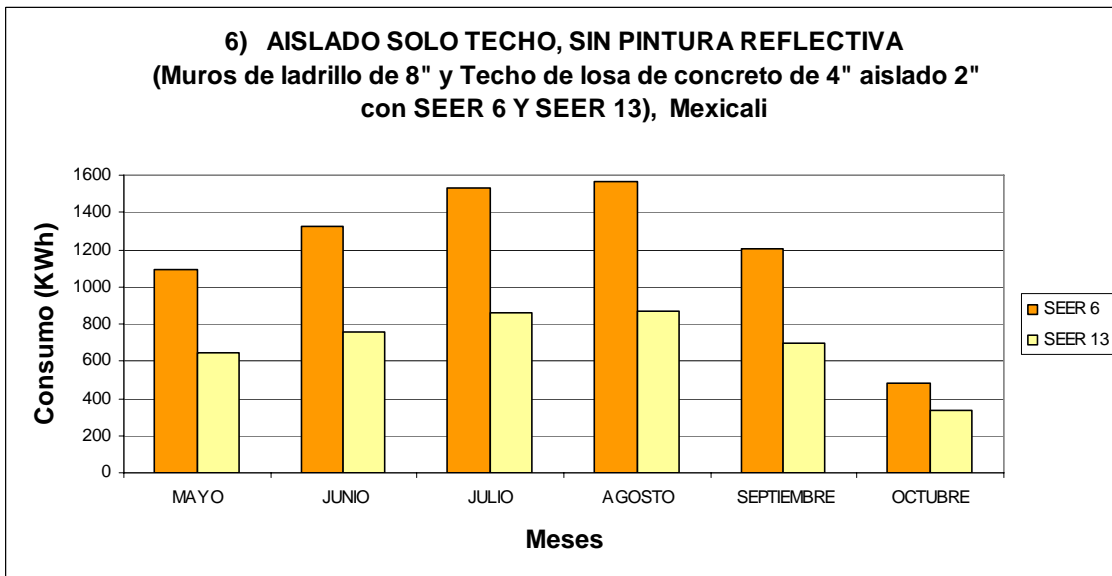


Figura 6.9: Aislado sólo techo, sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de

8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER

$13 \frac{kBtu}{kWh}$), Mexicali.

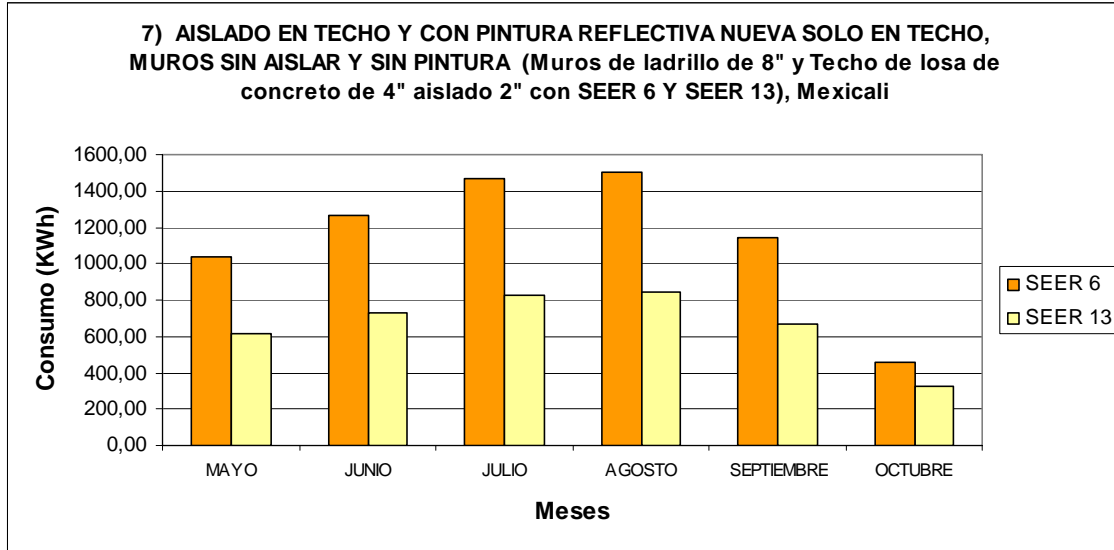


Figura 6.10: Aislado en techo y con pintura reflectiva nueva sólo en techo, muros sin aislar y sin pintura (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$), Mexicali.

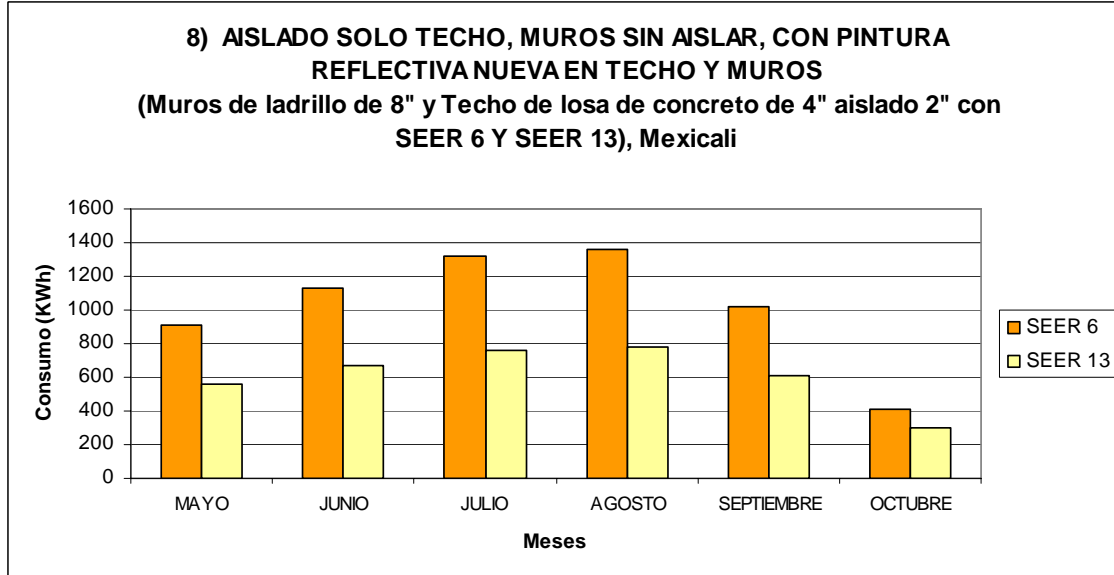


Figura 6.11: Aislado sólo techo, muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$), Mexicali.

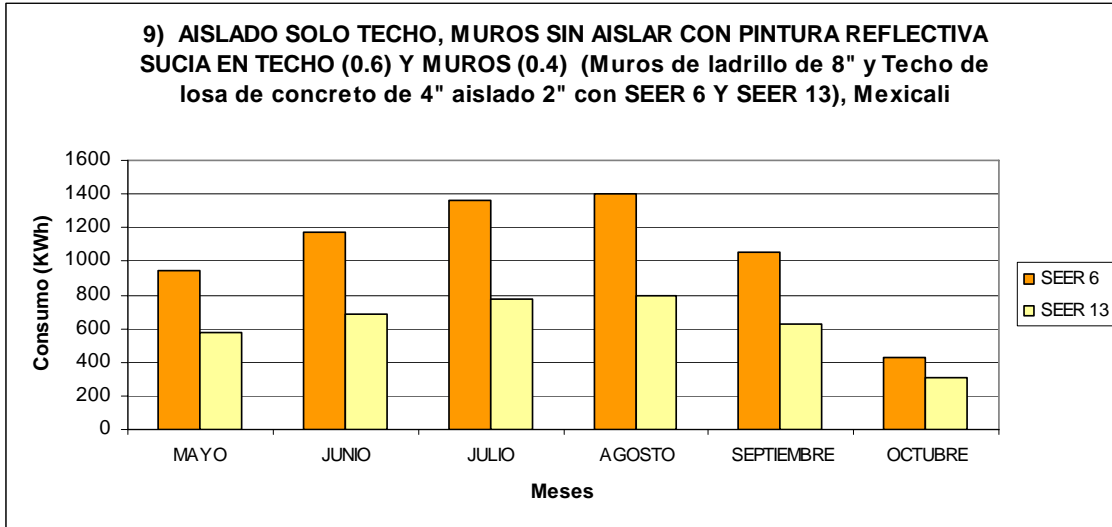


Figura 6.12: Aislado sólo techo, muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en techo (0.6) y muros (0.4) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER $13 \frac{kBtu}{kWh}$).

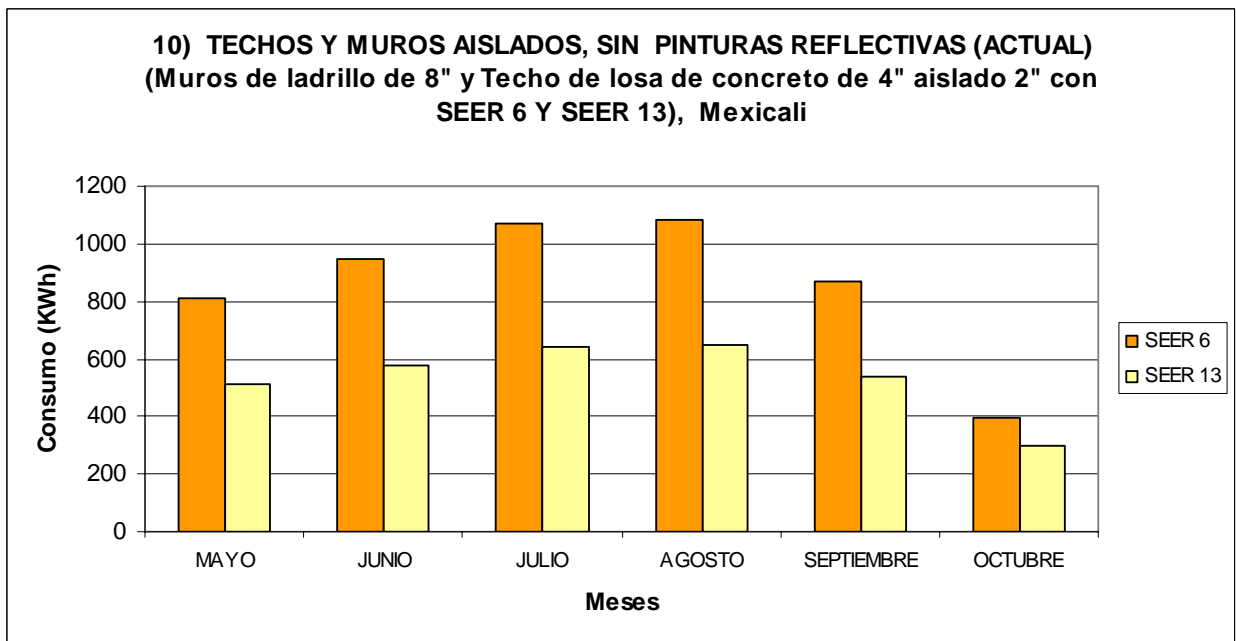


Figura 6.13: Techos y muros aislados, sin pinturas reflectivas (actual) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con

SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER $13 \frac{kBtu}{kWh}$), Mexicali.

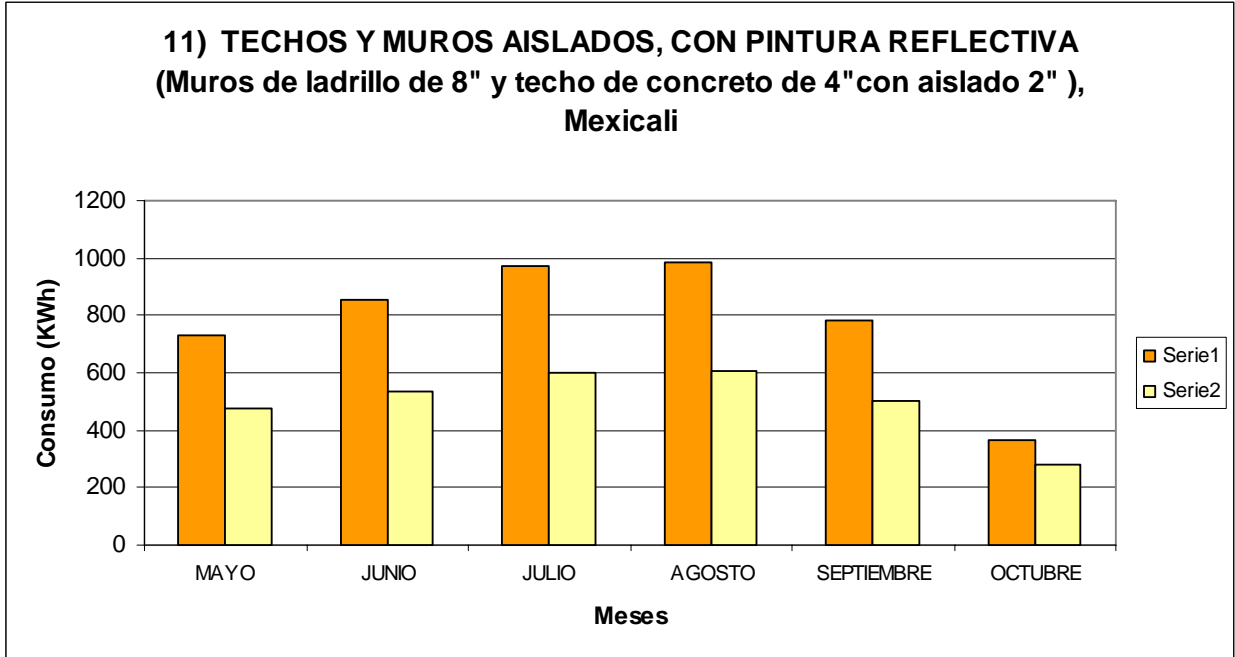


Figura 6.14: Techos y muros aislados, con pintura reflectiva, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" con aislado 2"), Mexicali.

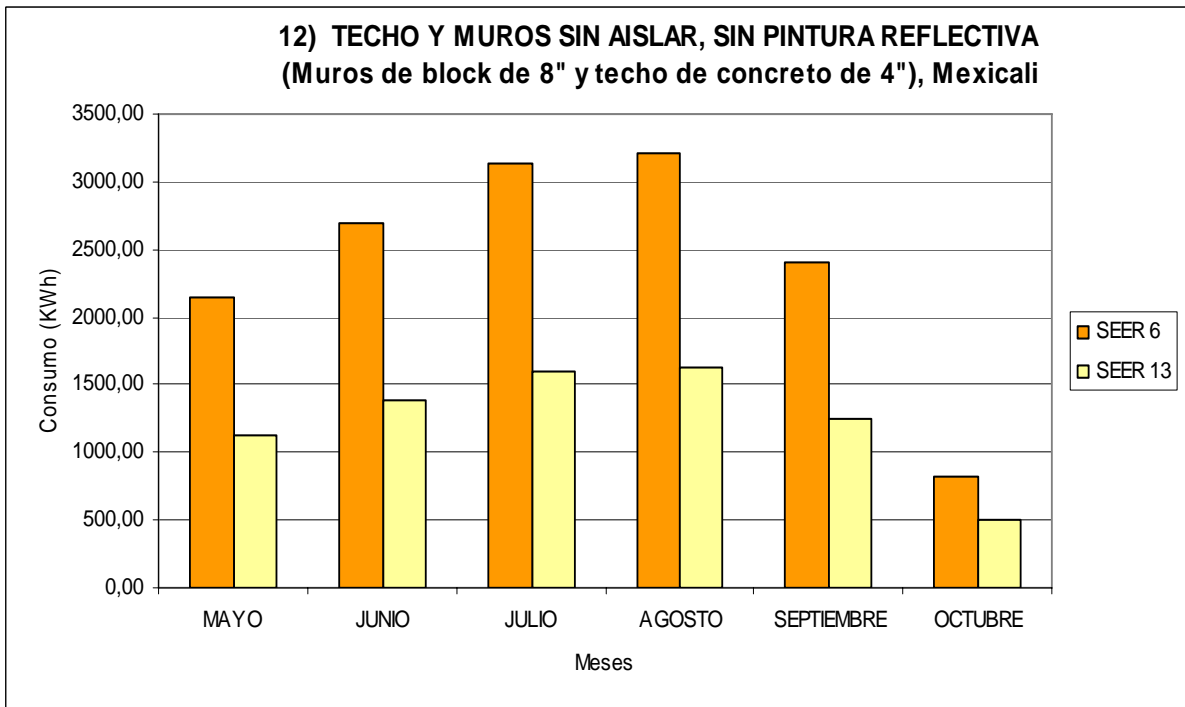


Figura 6.15: Techo y muros sin aislar, sin pintura reflectiva (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Mexicali.

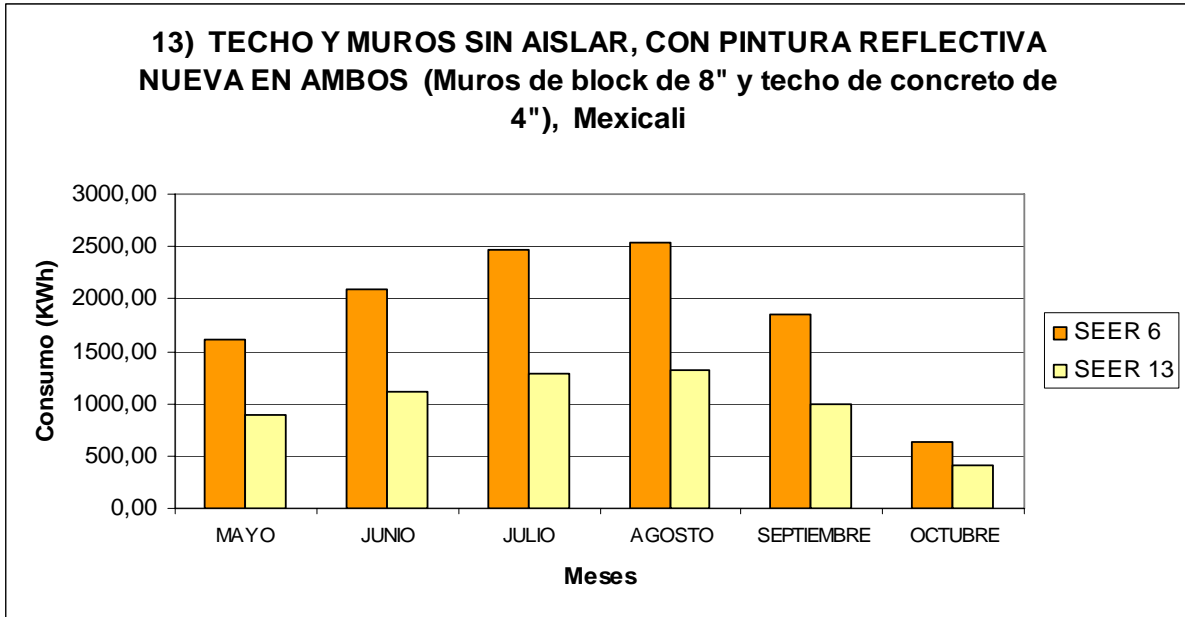


Figura 6.16: Techo y muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en ambos (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Mexicali.

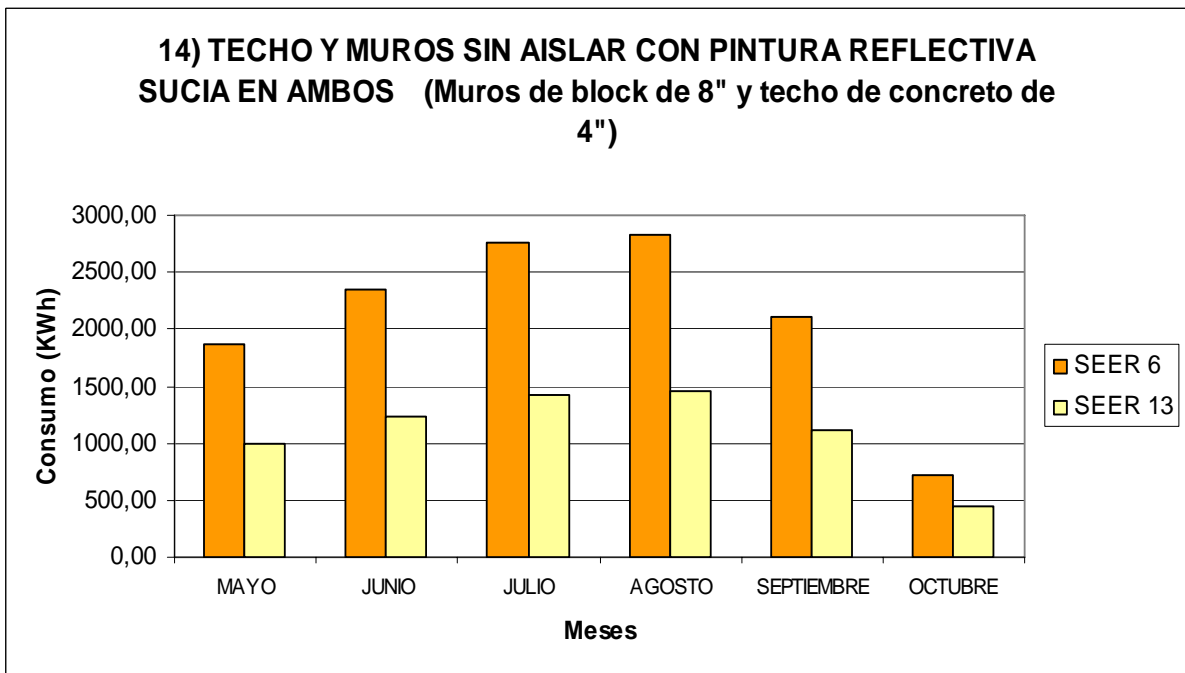


Figura 6.17: Techo y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en ambos, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4").

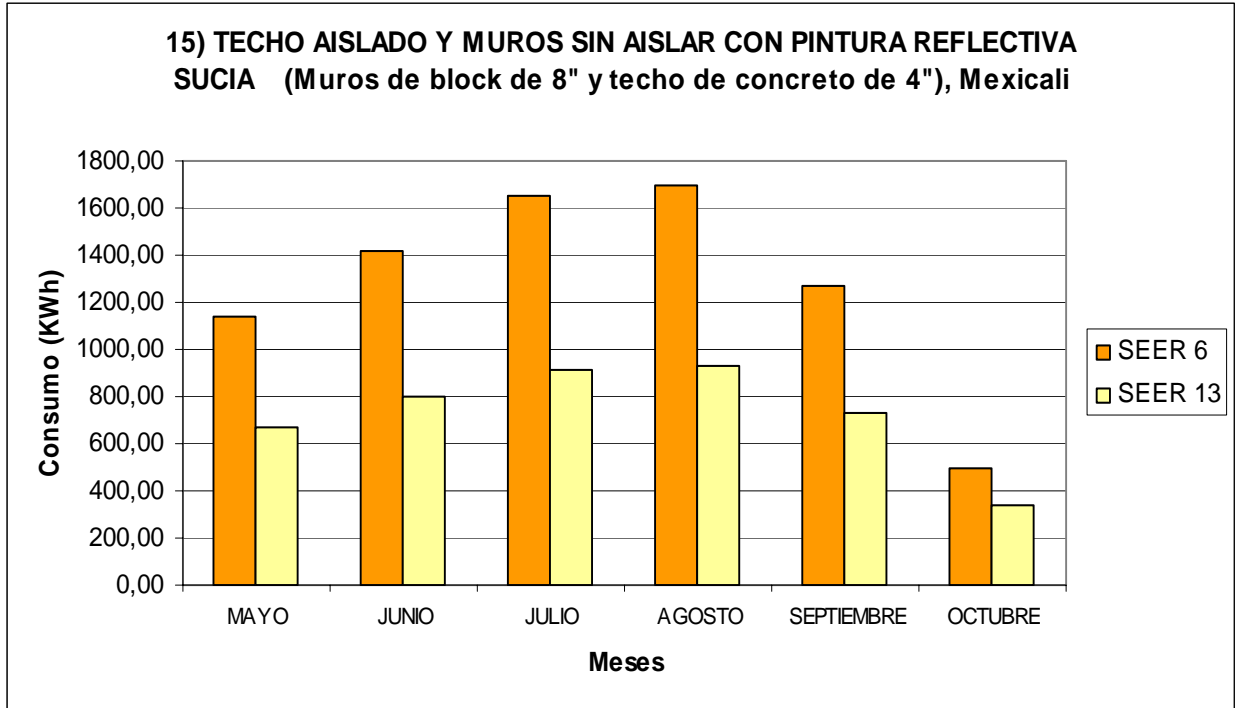


Figura 6.18: Techo aislado y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Mexicali.

Durante el periodo mayo a octubre se encuentra uno de los meses más críticos como lo es mes de agosto, en este mes se pueden registrar altas temperaturas, por lo que se requiere mayor carga de enfriamiento. Por la simulación se obtiene el retiro de calor y la carga de enfriamiento ambas en toneladas de capacidad de enfriamiento. Las cuales permitió calcular el porcentaje del ahorro por el efecto de la pintura.

En la tabla 6.13 se muestra la carga de enfriamiento en toneladas y el retiro de calor del mes de agosto con los 15 casos simulados para Mexicali.

Tabla 6.13: Datos de Carga de enfriamiento y retiro de calor del mes de agosto para Mexicali.

Casos Agosto	Carga Enfriamiento (ton)	Retiro Calor (ton)
1	2131.97	1319.30
2	1800.90	1076.91
3	1946.64	1198.63
4	1674.31	1012.71
5	1820.06	1113.43
6	1105.31	643.31
7	1053.09	611.55
8	926.51	538.54
9	949.71	559.54
10	641.95	402.98
11	552.56	353.00
12	2325.50	1468.22
13	1833.00	1129.44
14	2045.91	1273.40
15	1175.56	706.84

Como se puede ver en la tabla anterior se puede observar que el caso simulado número 12 es el caso que no cuenta con aislamiento ni pintura reflectiva y el material de construcción es de muro de block con techo de losa de concreto de 4", ya que presenta mayor carga de enfriamiento y retiro de calor y el mejor de los casos el 10, que cuenta con aislamiento de 2" en techo de concreto y muros de ladrillo de 8" y sobre todo cuenta con pintura reflectiva.

Para un mejor entendimiento se muestra la figura 6.19 donde se representa los datos anteriores del mes de agosto respecto a la carga de enfriamiento y al retiro de calor.

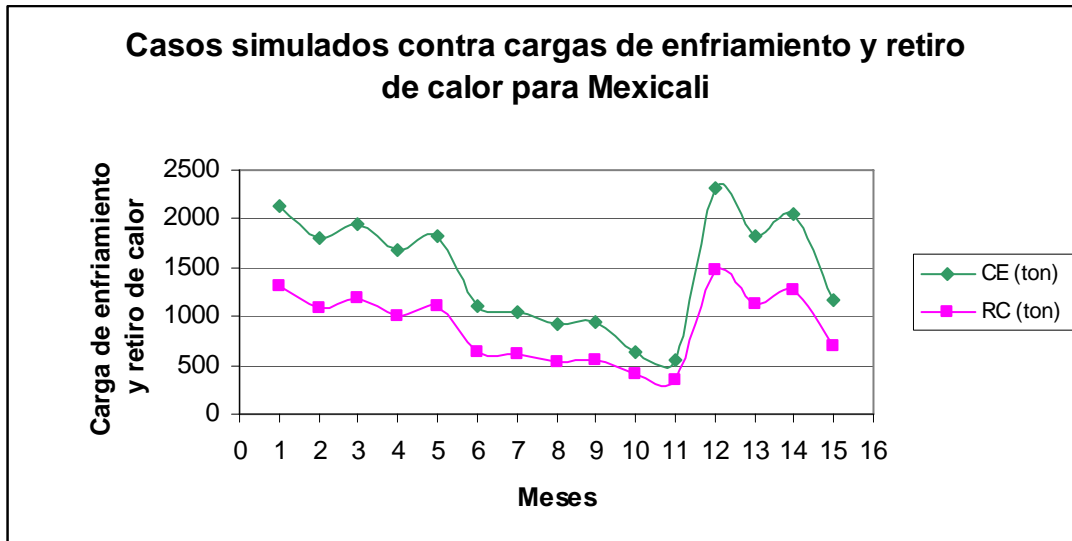



Figura 6.19: muestra la carga de enfriamiento y retiro de calor durante el mes de agosto para Mexicali.

La carga de enfriamiento y el retiro de calor confirman que el mejor caso en el cual se presenta menor carga de enfriamiento y menor retiro de calor sigue siendo el caso en el que el techo y los muros están aislados y cuentan con pintura reflectiva.

En lo que respecta a Cienfuegos, Cuba, la mayoría de los tipos de vivienda cuentan con el mismo material de construcción que las de la ciudad de Mexicali. Para la simulación se presentaron los mismos 15 casos con las mismas variaciones, utilizando la pintura reflectiva como una ayuda para disminuir el retiro de calor y la carga de enfriamiento.



En la simulación de las casas en la ciudad de Cienfuegos, Cuba se tomaron diferentes condiciones, así como diferentes tipos de material por ejemplo se simuló una vivienda considerando la construcción de techo de losa de concreto de 4" y muros de block de 8" sin aislamiento y sin pintura reflectiva con SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$, presentó un consumo de energía de 12960,60 kWh el cual no originó ningún ahorro de energía, este caso, más crítico en cuanto al ahorro de energía, se tomó como base para determinar el ahorro de los demás casos.

En el caso anterior al cambiar los muros de block por el ladrillos de 8" se presentó una pequeña disminución del consumo, obteniendo un ahorro de energía de 5% al aplicar la pintura reflectiva sólo en el techo. Sin aislamiento se registró un porcentaje de 24% por el ahorro del efecto de la pintura requiriendo menor carga de enfriamiento y retiro de calor. Cuando aplicamos la pintura reflectiva en muros y techo aumento el 29% por el efecto de la pintura.

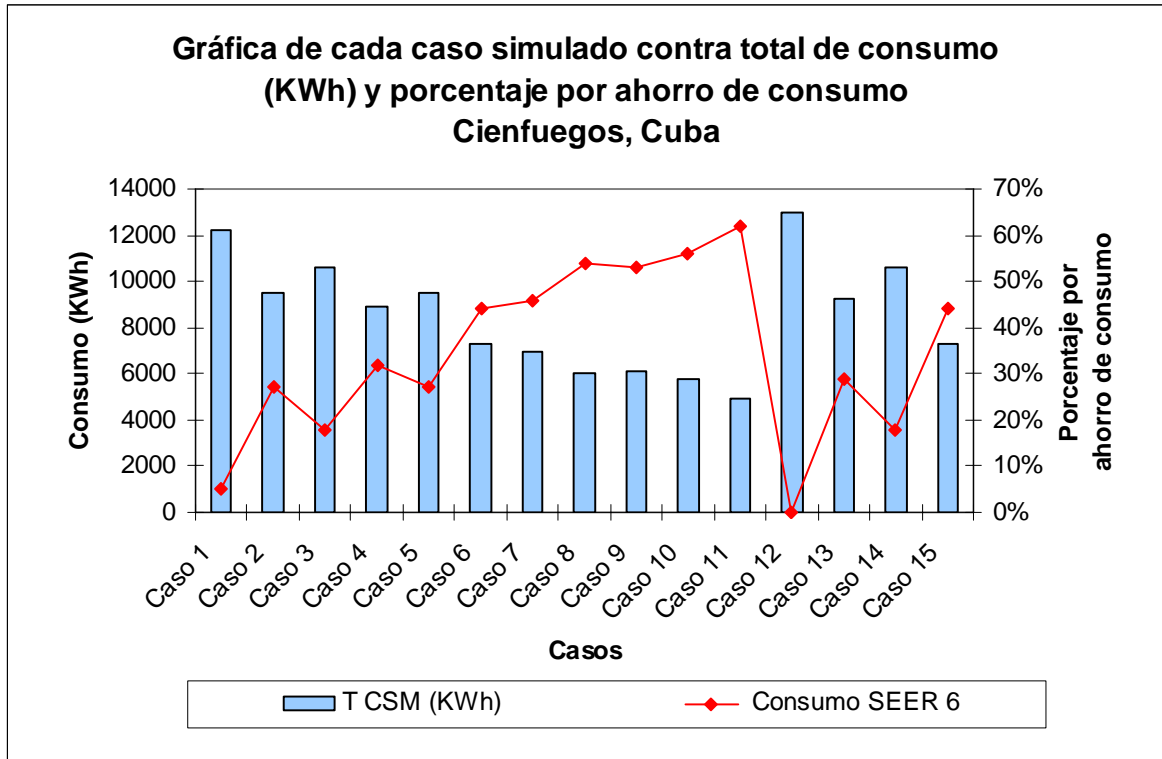


Figura 6.20: Casos simulados contra el total de consumo y porcentaje de ahorro por consumo con SEER 6, Cienfuegos, cuba.

Se simuló un caso en el cual la pintura estaba sucia y no se utilizó aislamiento se presentó un porcentaje de ahorro de consumo de 18% con un porcentaje semejante de 18% al caso en el cual no tenía aislamiento y la pintura estaba sucia sólo en el techo comportándose con 14% por el ahorro del efecto de la pintura, causa de la degradación del color de la pintura y de la pérdida de reflectividad. Utilizando aislamiento de 2" solo en techos, sin pintura reflectiva con muros de ladrillo y techo de concreto presentó un ahorro de consumo de 44% y por un ahorro por efecto de la

pintura de un 47%. Con las mismas condiciones de aislamiento en el techo y con pintura reflectiva nueva pero los muros sin aislar y sin pintura presenta un ahorro de consumo de 46% tomando en cuenta que favoreció al aplicarle la pintura reflectiva nueva en el techo, de la misma manera que aumento el ahorro por el efecto de la pintura a un 51%. Aplicando en la mismas condiciones que en el anterior pero aplicando la pintura reflectiva nueva en techo y muros obtuvo un porcentaje de ahorro por consumo de 54% y por el efecto de la pintura de 60%. Al utilizar el aislamiento en techo y muros sin pintura reflectiva actual, esto quiere decir que cuenta con pintura pero con tiempo de exposición al exterior presentando un ahorro por la pintura 64%. Si se utiliza la pintura reflectiva nueva y con aislamiento en ambas partes de la construcción se comporta como el mejor de los casos ya que cuenta con ahorro de consumo de 62% y con un ahorro muy favorable por el efecto de la pintura de un 71%.

En la tabla 6.14 se refleja el total de consumo y el porcentaje de ahorro por el consumo para SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ y el ahorro por el efecto de la pintura.

Tabla 6.14: Total del ahorro de consumo y ahorro por efecto de pintura en Cienfuegos, Cuba

MES	Total Consumo (kWh)	Consumo SEER 6(%)	Efecto de la pintura (%)
Caso 1	12250.47	5	0
Caso 2	9462.05	27	24
Caso 3	10600.68	18	14
Caso 4	8867.45	32	33
Caso 5	9479.90	27	22
Caso 6	7285.53	44	47
Caso 7	6981.31	46	51
Caso 8	5997.14	54	60
Caso 9	6126.89	53	58
Caso 10	5759.97	56	64
Caso 11	4910.11	62	71
Caso 12	12960.60	0	0
Caso 13	9256.28	29	29
Caso 14	10630.11	18	13
Caso 15	7265.47	44	49

En la figura 6.21 se presenta el consumo de todos los casos simulados en Cienfuegos, Cuba durante el periodo de mayo a octubre, se puede observar que el caso 12 de block de 8" es el que impacta más el consumo ya que no se cuenta ni con aislamiento y no se le aplicó pintura reflectiva por lo que representa mayor carga de enfriamiento y retiro de calor. Por lo contrario el caso 11 sigue siendo el mejor de los casos porque se le aplicó la pintura reflectiva y además cuenta con aislante y su material de construcción es el ladrillo.

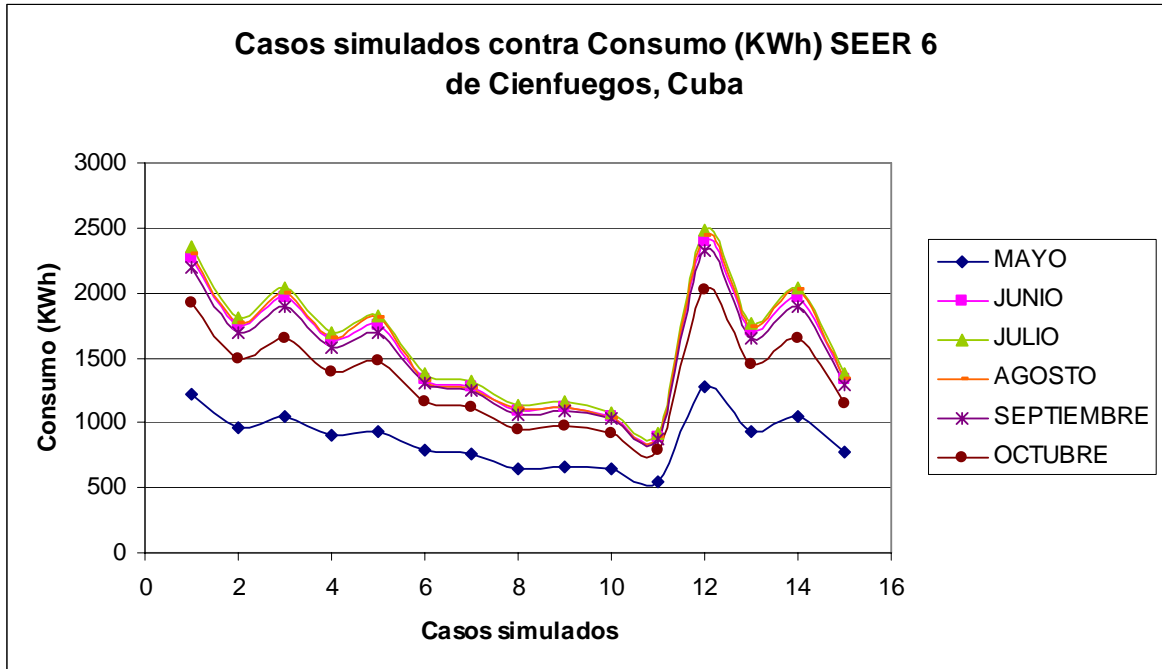


Figura 6.21: Representa el consumo en (kWh) de todos los casos simulados en Cienfuegos, Cuba (mayo-octubre).

De la figura 6.22 a la 6.36 se representa el consumo que presentaron los 15 casos simulados desde el mes de mayo a octubre con las dos eficiencias (SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ y SEER $13 \frac{kBtu}{kWh}$), para la ciudad de Cienfuegos Cuba.

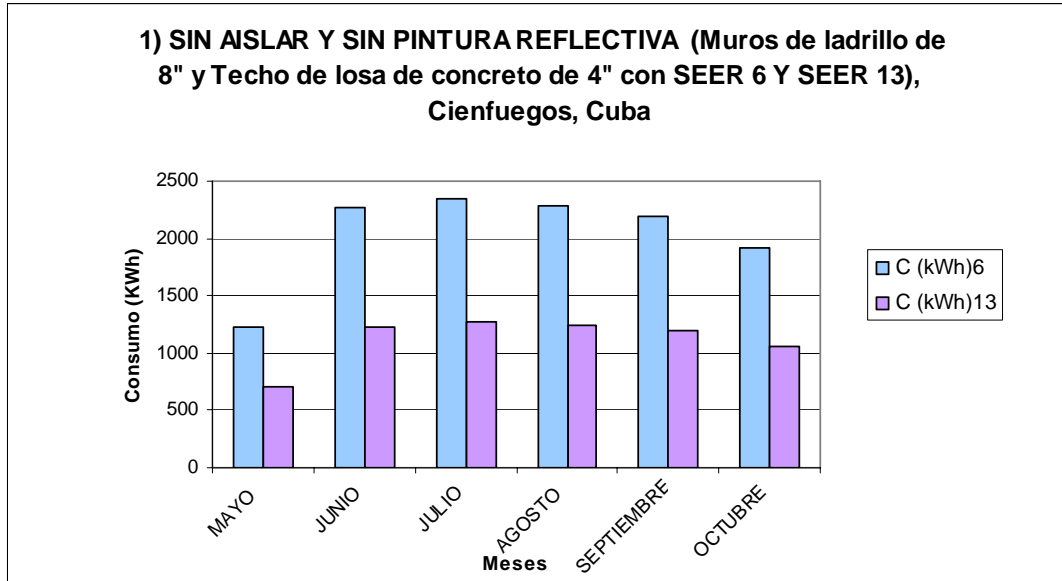


Figura 6.22: Sin aislar y sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" con SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$), Cienfuegos, Cuba.

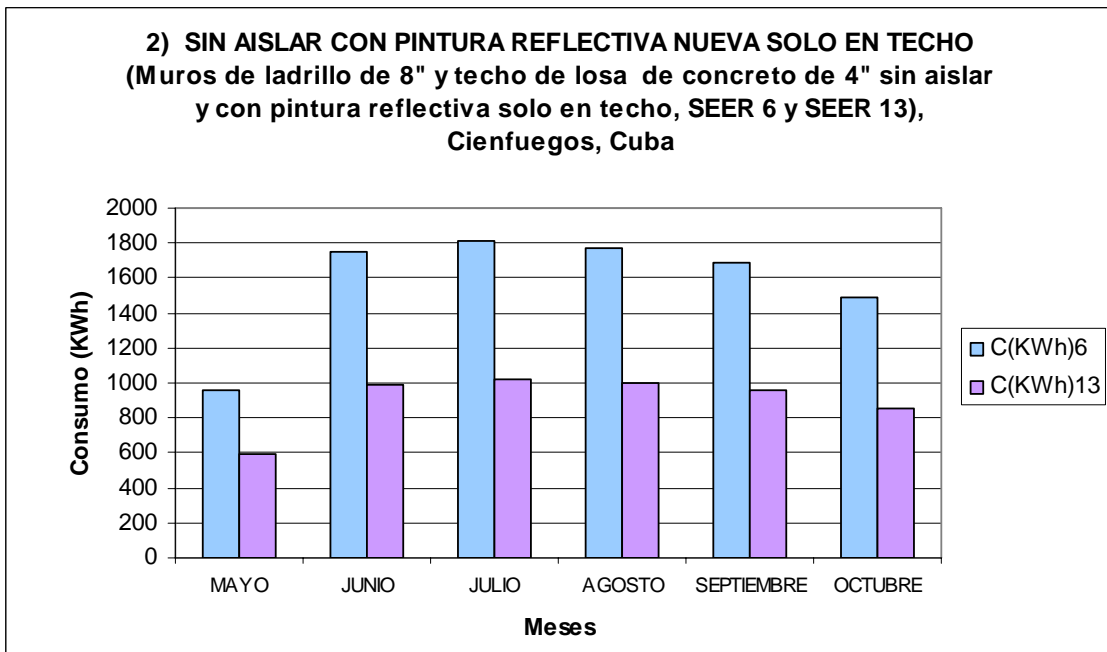


Figura 6.23: Sin aislar con pintura reflectiva nueva solo en techo (muros de ladrillo de 8" y techo de losa de concreto de 4" sin aislar y con pintura reflectiva sólo en techo, SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$), Cienfuegos, Cuba.

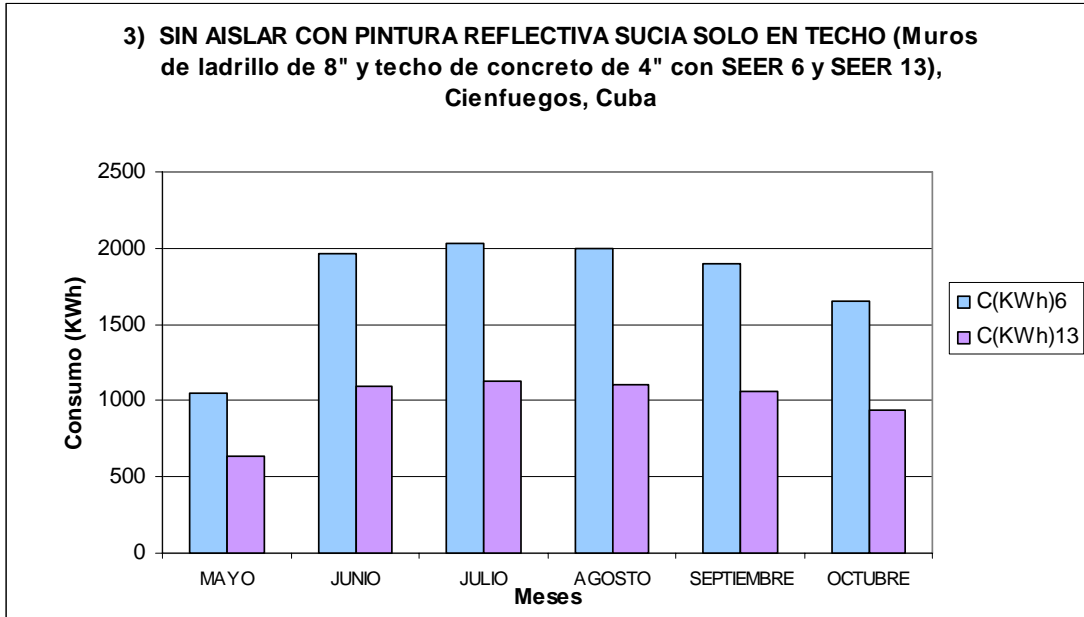


Figura 6.24: Sin aislar con pintura reflectiva sucia sólo en techo (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" para Cienfuegos, Cuba.

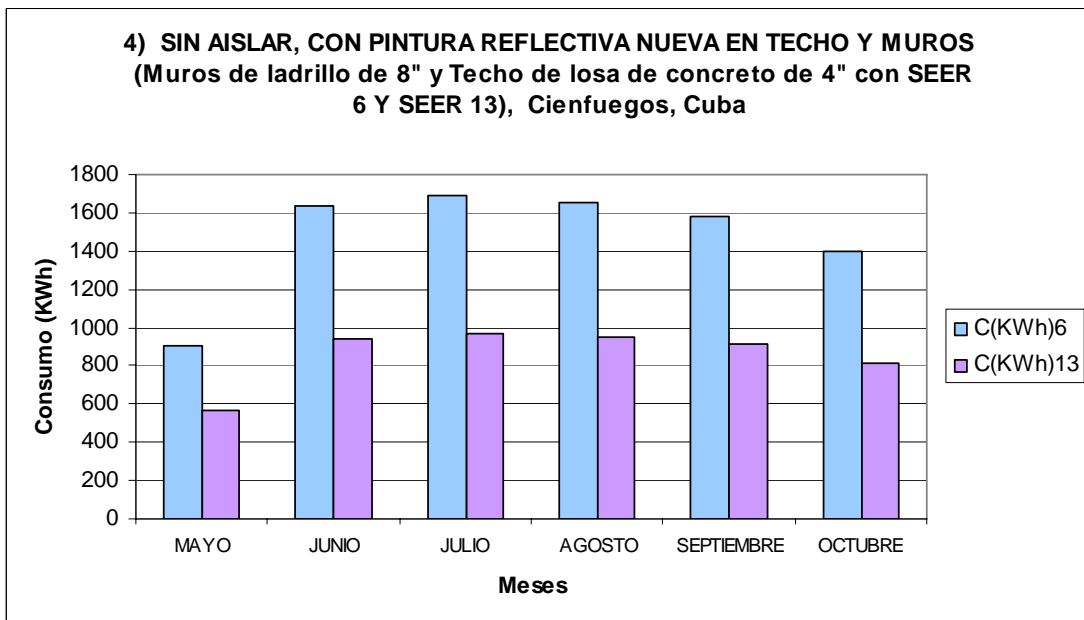


Figura 6.25: Sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con SEER

$6 \frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER $13 \frac{kBtu}{kWh}$), Cienfuegos, Cuba.

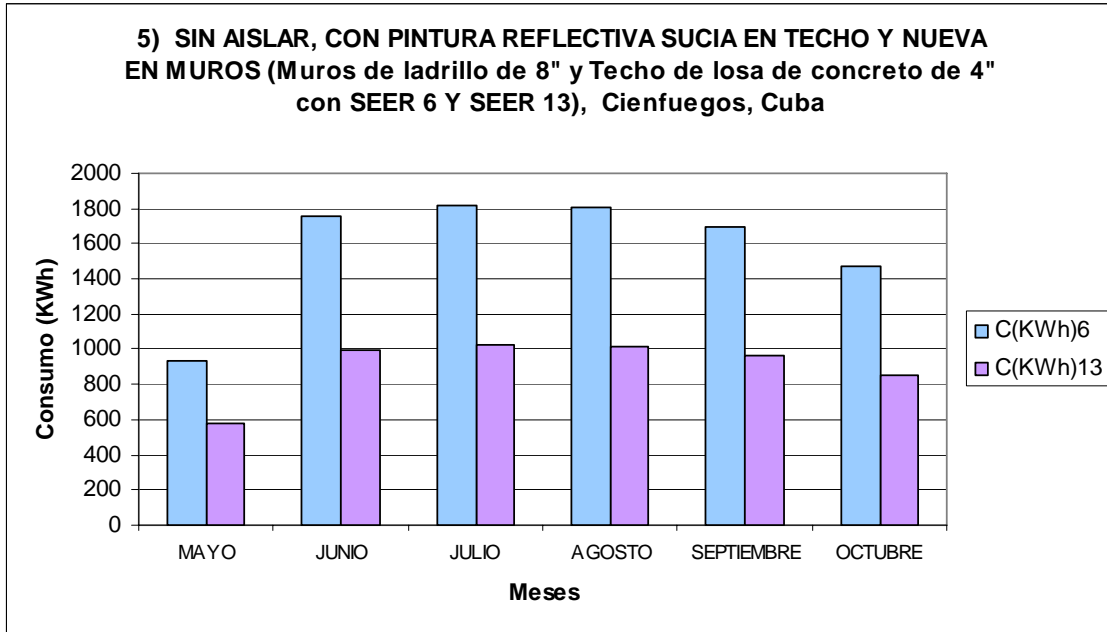


Figura 6.26: Sin aislar, con pintura reflectiva sucia en techo y nueva en muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" con

$SEER 6 \frac{kBtu}{kWh}$ Y $SEER 13 \frac{kBtu}{kWh}$), Cienfuegos, Cuba.

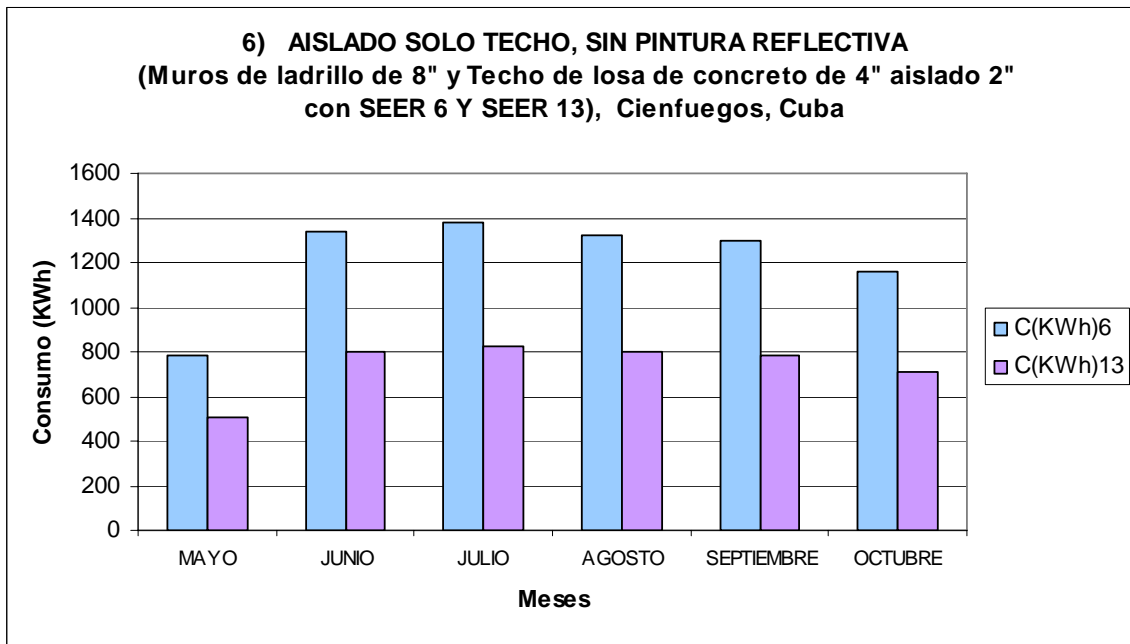


Figura 6.27: Aislado sólo techo, sin pintura reflectiva (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2"), Cienfuegos, Cuba.

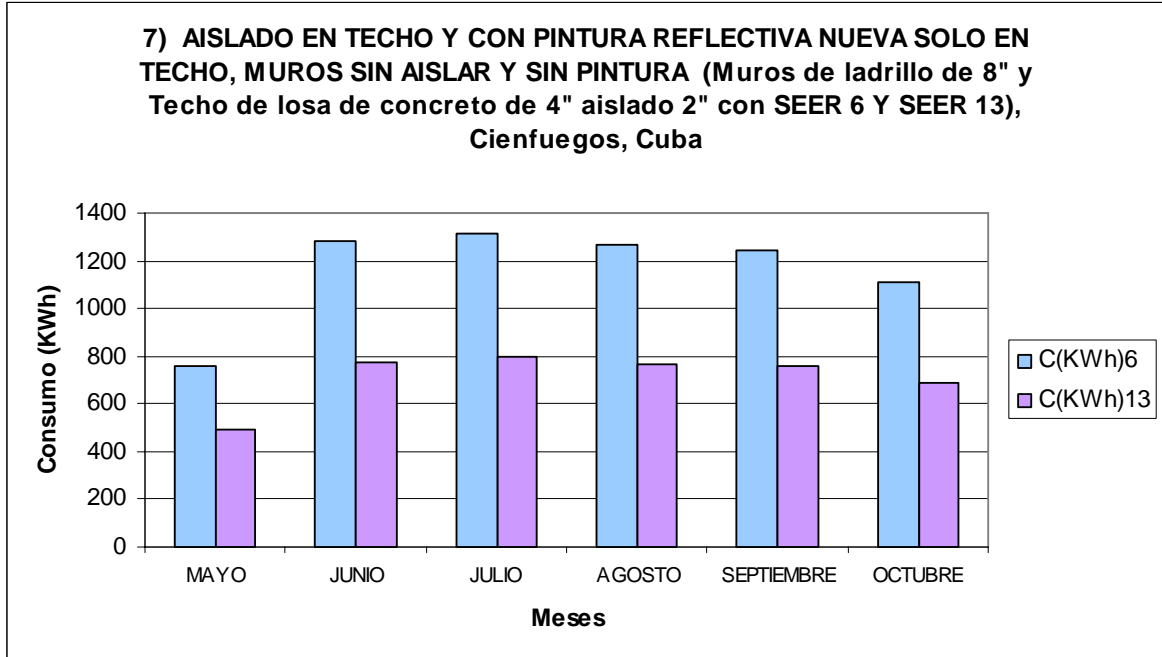


Figura 6.28: Aislado en techo y con pintura reflectiva nueva sólo en techo, muros sin aislar y sin pintura (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2"), Cienfuegos, Cuba.

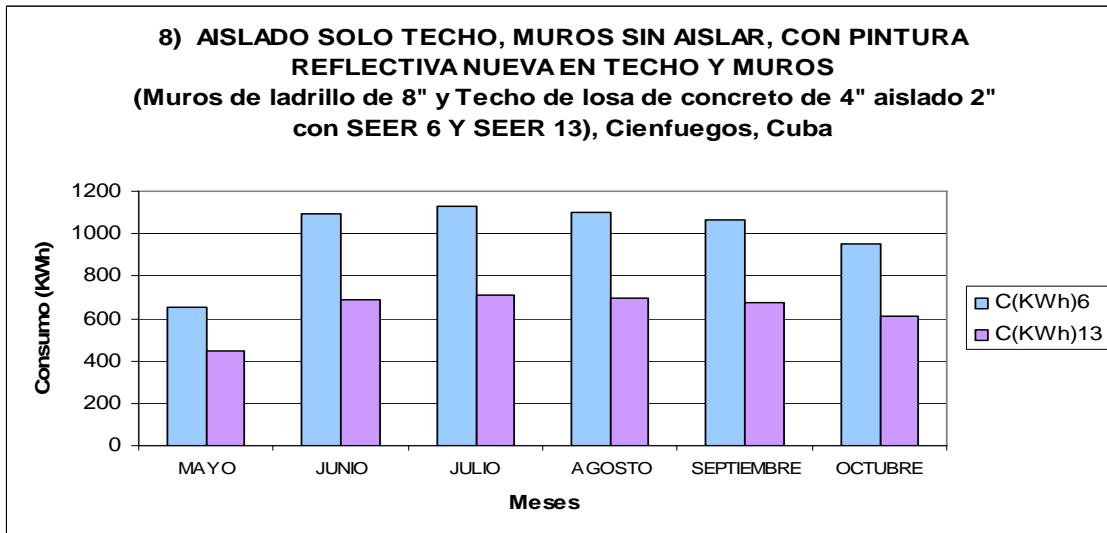


Figura 6.29: Aislado sólo techo, muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en techo y muros (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con SEER $6 \frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER $13 \frac{kBtu}{kWh}$), Cienfuegos, Cuba.

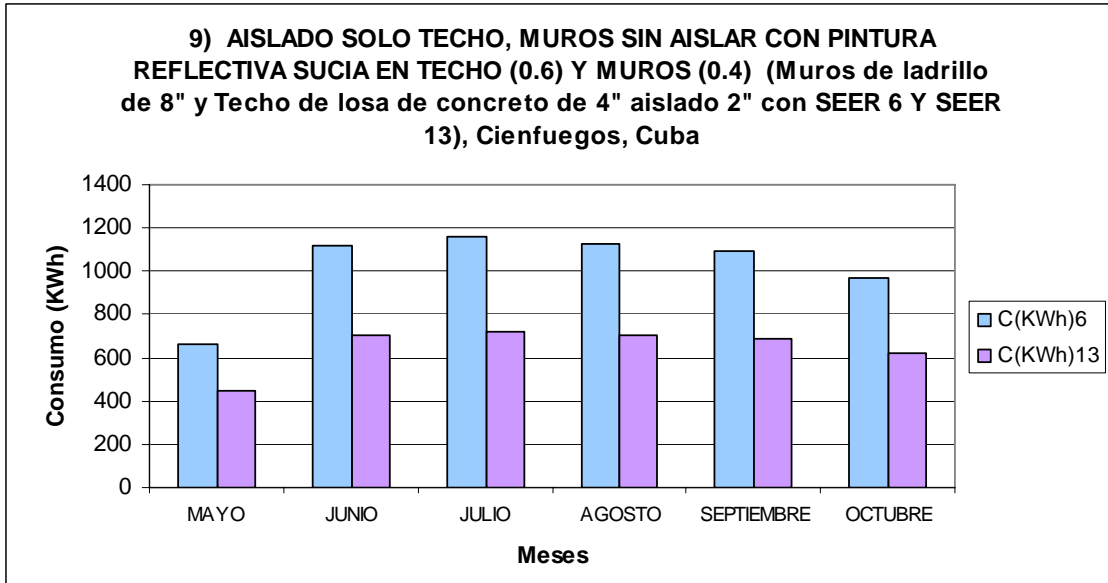


Figura 6.30: Aislado sólo techo, muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en techo (0.6) y muros (0.4) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2"), Cienfuegos, Cuba.

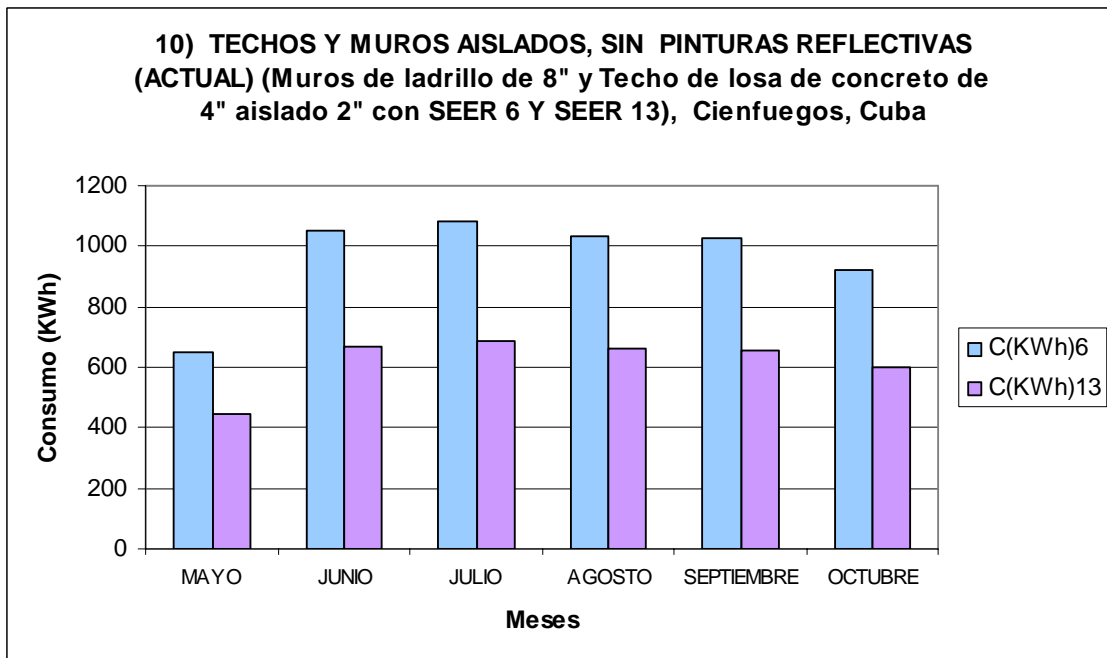


Figura 6.31: Techos y muros aislados, sin pinturas reflectivas (actual) (Muros de ladrillo de 8" y Techo de losa de concreto de 4" aislado 2" con

SEER 6 $\frac{kBtu}{kWh}$ Y SEER 13 $\frac{kBtu}{kWh}$), Cienfuegos, Cuba.

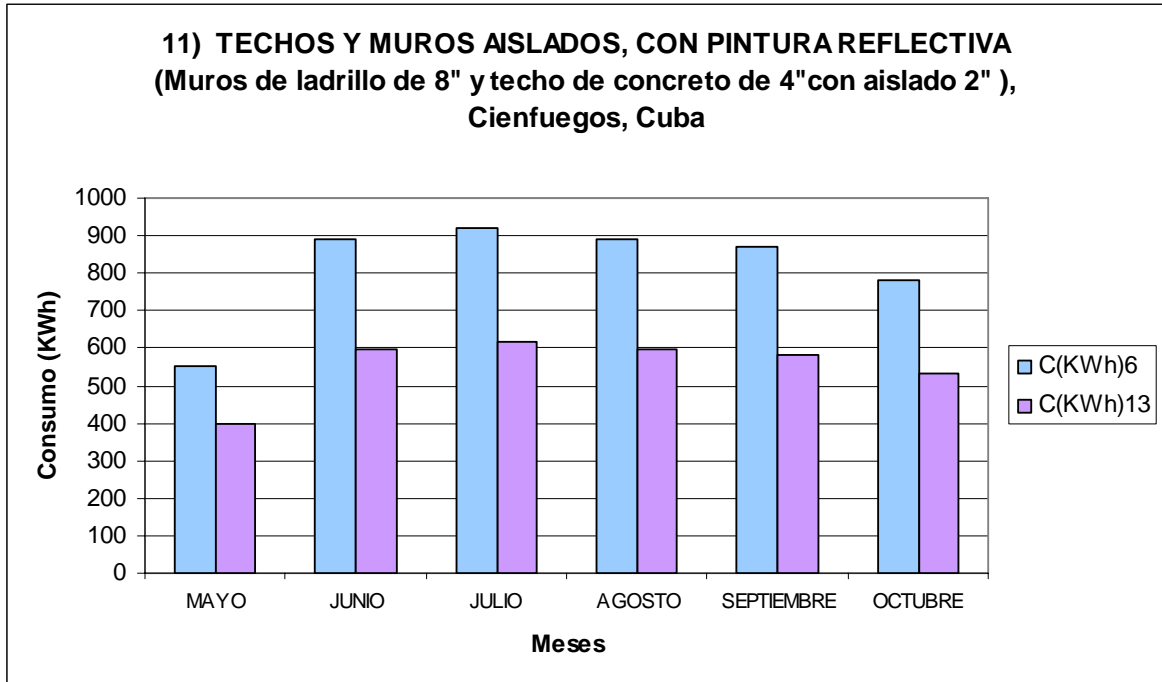


Figura 6.32: Techos y muros aislados, con pintura reflectiva, (Muros de ladrillo de 8" y techo de concreto de 4" con aislado 2"), Cienfuegos, Cuba.

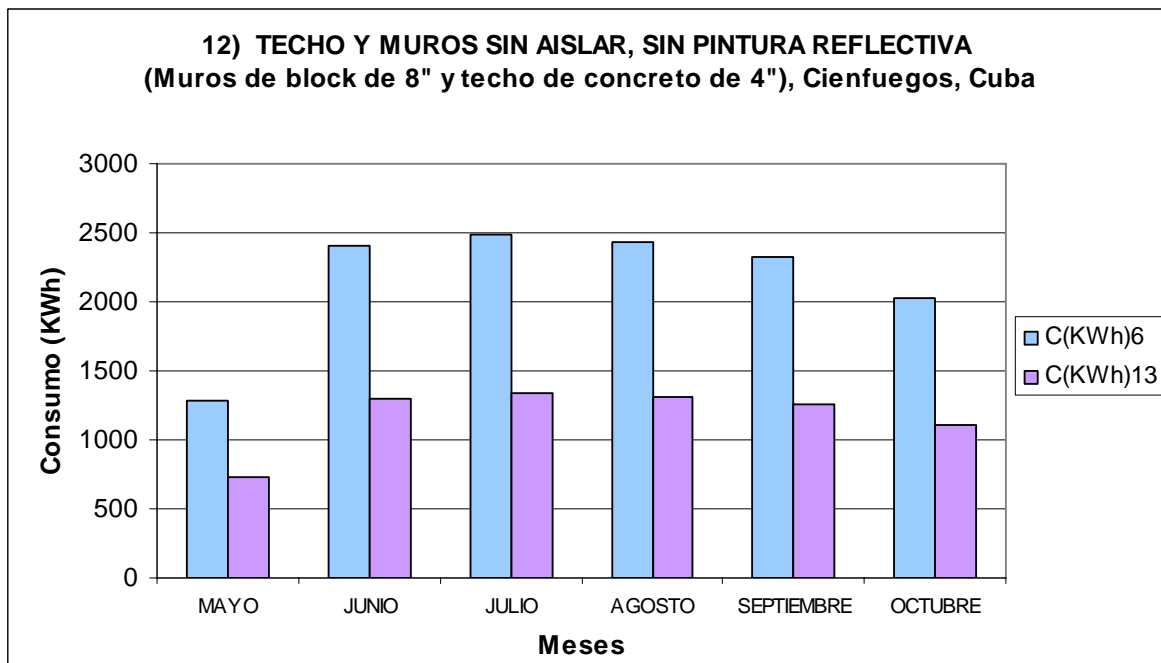


Figura 6.33: Techo y muros sin aislar, sin pintura reflectiva (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.

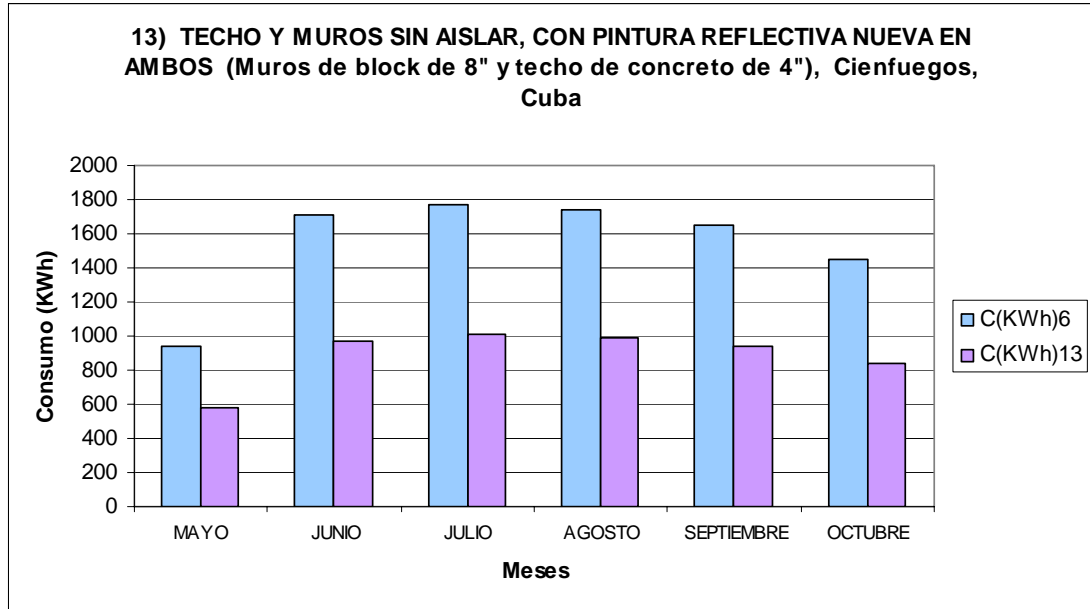


Figura 6.34: Techo y muros sin aislar, con pintura reflectiva nueva en ambos (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.

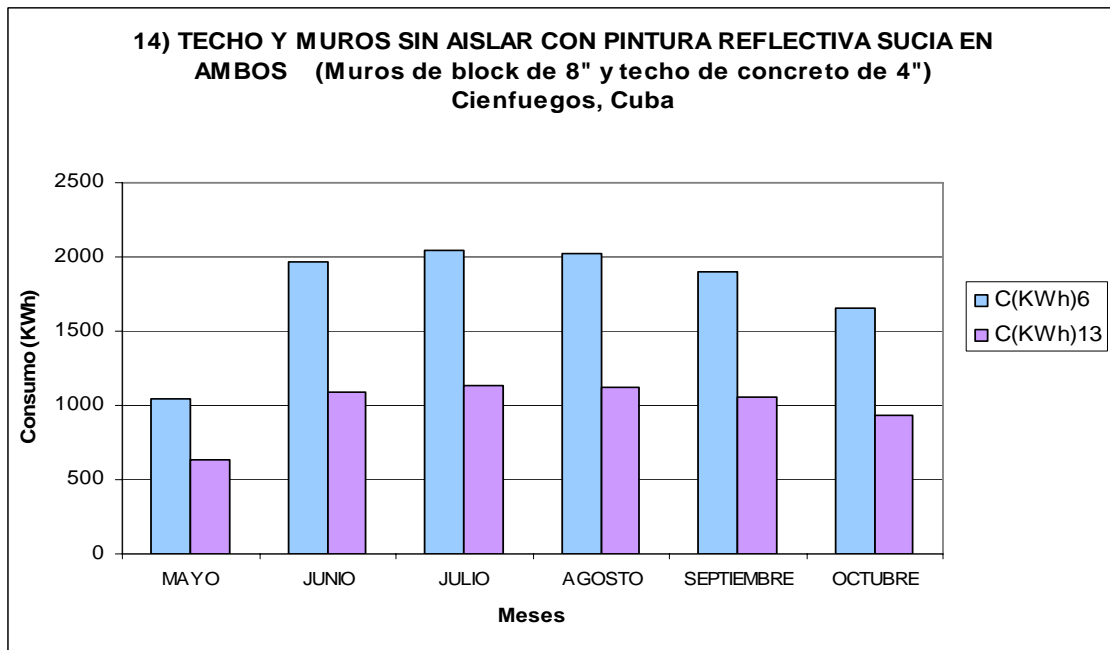


Figura 6.35: Techo y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia en ambos, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.

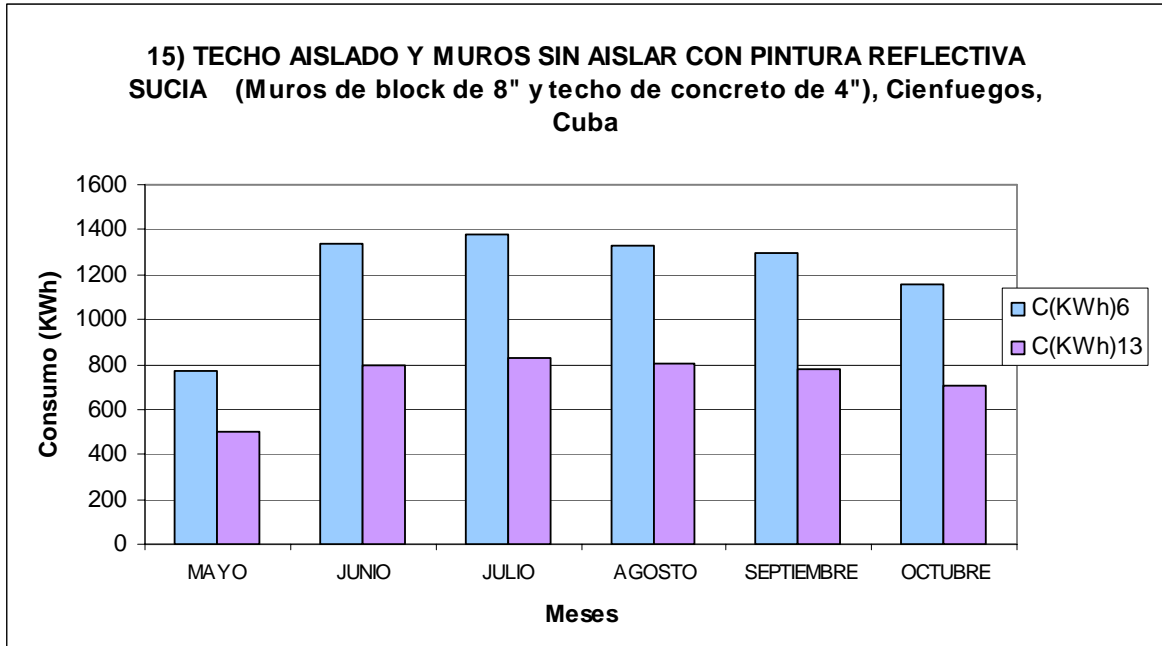


Figura 6.36: Techo aislado y muros sin aislar con pintura reflectiva sucia, (Muros de block de 8" y techo de concreto de 4"), Cienfuegos, Cuba.

Conclusiones

Al determinar el comportamiento de las cuatro pinturas elastoméricas se corrieron pruebas de adherencia primero para cada uno de los materiales de construcción. Se observó que el mortero arena-cemento presenta la menor adherencia para todos ellos.

Sin embargo, la pinturas de la marca Thermotek presentó menor adherencia para el material de concreto y lámina galvanizada aun cuando en madera y concreto sus resultados son similares a los de los demás fabricantes y, que todos ellos presentan una muy baja adherencia en mortero cemento-arena. Por lo tanto podemos utilizar este tipo de pinturas en madera aglomerada es conveniente ya que presenta bastante adherencia en cambio al utilizar la losa de concreto existen variaciones en dos pinturas, pero puede afirmarse que la madera y el concreto son los más apropiados para que se le aplique este tipo de cubierta.

De los datos obtenidos de la simulación térmica con los diferentes casos que anteriormente se mencionaron para las dos ciudades como Mexicali y Cienfuegos, Cuba cada una con su historial de temperaturas correspondientes, analizando dos unidades de eficiencia en enfriamiento como lo son $SEER\ 6\ \frac{kBtu}{kWh}$ y $SEER\ 13\ \frac{kBtu}{kWh}$ para ambas ciudades puede concluirse que para aumentar el ahorro de consumo de energía o para disminuir la carga de enfriamiento y el retiro de calor utilizando

viviendas de dos principales materiales de construcción como lo son el ladrillo y el block de 8" con aislamiento, es favorable aplicar las pinturas reflectivas ya que ayudan a disminuir la carga de enfriamiento, a haciendo notar que las pinturas no pueden considerarse como un tipo de aislamiento, debido a que la función de la pintura reflectiva es desviar la radiación solar evitando una transferencia de calor hacia el interior de la vivienda.

Utilizando un tipo de vivienda donde el techo es de concreto y los muros de ladrillo con aislamiento, con pintura reflectiva aplicada es el mejor de los casos para ambas ciudades ya que presenta un ahorro por efecto de la pintura reflectiva más el aislamiento de un 71% para Cienfuegos. Y un 74% para Mexicali presentando más del 50% por ahorro de consumo para ambas ciudades.

Utilizando el block en los muros y el techo de concreto sin aislamiento y sin aplicarle pintura reflectiva es el caso más crítico ya que presenta un consumo alto de energía y como no se le aplico pintura no presenta ningún ahorro por el efecto de la pintura, de los cuales las viviendas con esas características para ambas ciudades requieren más carga de enfriamiento y mayor retiro de calor lo que implica mayor gasto en el consumo de electricidad.

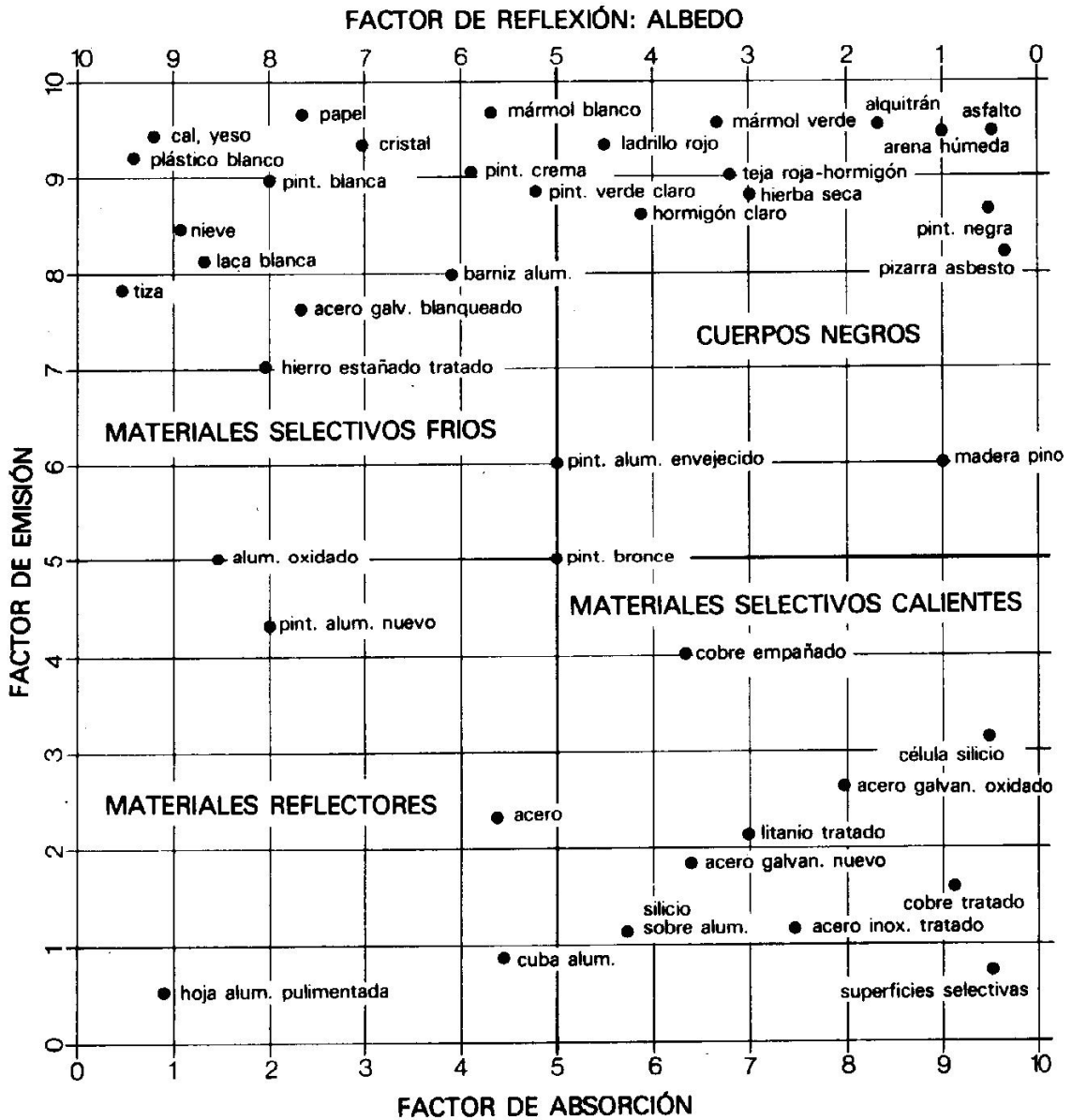
Algunas de las limitaciones sobre el uso de estas pinturas puede decirse que con la exposición al intemperie estas van perdiendo sus propiedades. Un ejemplo es el polvo, hace que la pintura pierda eficiencia lo cual implica menos reflectividad.

Con esta investigación se obtiene beneficios, uno de los principales es el ahorro de energía, en las viviendas, utilizando los materiales de ladrillo y block de 8", así como especificar el porcentaje por el ahorro por el efecto de la pintura reflectiva de las cuatro marcas.

Se recomienda que a las casas a las que se les va aplicar la pintura reflectiva cuenten con aislamiento para que sea mínimo el consumo de energía, debido a que las pinturas ayudan a desviar la radiación solar. Durante la experimentación nos encontramos que una vez aplicada la pintura se requiere de mantenimiento cada cierto tiempo por que la pintura se ensucia y pierde sus propiedades de reflectividad.

Anexos

Anexo A: Diagrama de factores de reflexión, emisión y absorción
 materiales reflectores, materiales selectivos (calientes y fríos) y cuerpos
 negros.



Anexo B :Propiedades de los materiales.

Descripción	Espesor <i>ft</i>	k $\frac{Btu}{hft^{\circ}F}$	ρ $\frac{lb}{ft^3}$	C_p $\frac{Btu}{lb^{\circ}F}$	R $\frac{^{\circ}Fft^2h}{Btu}$	Masa/Área $\frac{lb}{ft^2}$
Resistencia superficie exterior	0	0	0	0	0.33	0
Ladrillo cara 4 pulg	0.333	0.77	125	0.22	0.43	41.7
Recubrimiento de acero	0.005	26	480	0.1	0	2.4
Pedacera ½ pulg	0.042	0.11	70	0.4	0.38	2.2
Acabados	0.042	0.24	78	0.26	0.17	3.3
Resistencia al aire libre	0	0	0	0	0.91	0
Aislamiento 1 pulg	0.083	0.03	2	0.2	3.33	0.2
Aislamiento 2 pulg	0.167	0.03	2	0.2	6.67	0.3
Aislamiento 3 pulg	0.25	0.03	2	0.2	10	0.5
Madera 1 pulg	0.083	0.07	37	0.6	10	3.1
Madera 2 ½ pulg	0.208	0.07	37	0.6	2.98	7.7
Madera 4 pulg	0.333	0.07	37	0.6	4.76	12.3
Madera 2 pulg	0.167	0.07	37	0.6	2.39	6.2
Loseta de arcilla de 4 pulg	0.333	0.33	70	0.2	1.01	23.3
Block concreto ligero 4 pulg	0.333	0.22	38	0.2	1.51	12.7
Block concreto pesado 4 pulg	0.333	0.47	61	0.2	0.71	20.3
Ladrillo común de 4 pulg	0.333	0.42	120	0.2	0.79	40
Concreto pesado 4 pulg	0.333	1	140	0.2	0.33	46.7
Loseta de arcilla 8 pulg	0.667	0.33	70	0.2	2	46.7
Block concreto pesado 8 pulg	0.667	0.6	61	0.2	1.11	40.7
Ladrillo común 8 pulg	0.667	0.42	120	0.2	1.59	80
Concreto pesado 8 pulg	0.667	1	140	0.2	0.67	93.4
Concreto pesado 12 pulg	1	1	140	0.2	1	140
Concreto pesado 6 pulg	0.5	1	140	0.2	0.5	70
Block conc. Pesado 8 pulg (lleno)	0.667	0.34	53	0.2	1.96	35.4
Block conc. Ligero 12 pulg (lleno)	1	0.08	19	0.2	12.5	19
Block conc. Pesado 12 pulg (lleno)	1	0.39	56	0.2	2.56	56
Resistencia superficie interior	0	0	0	0	0.69	0
Emplaste ¾ pulg	0.063	0.42	100	0.2	0.15	6.3
Cielo	0	0	0	0	1	0
Loseta acústica	0.063	0.04	30	0.2	1.79	1.9

fuelle: (ASHRAE, Cooling and Heating Calculation Manual 1992)

Anexo C: Método de la prueba de Duncan.

Es un procedimiento usado ampliamente para comparar todas las parejas de medias es el de la prueba de intervalos múltiples desarrollada por Duncan (1955). Para aplicar dicha prueba tomamos una muestra del mismo tamaño, la ordenamos ascendente los promedios de tratamiento y determina el error estándar de cada promedio, usando (Douglas C. Montgomery, 2002)

$$S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

Para muestras de diferentes tamaños, n se deben reemplazar por la media armónica n_h de $\{n_i\}$, en donde

$$n_h = \frac{a}{\sum_{i=1}^a (1/n_i)}$$

Por lo tanto $n_h = n$ si $n_1 = n_2 = \dots = n_a$. A partir de la tabla de intervalos significativos de Duncan se obtienen los valores de $r_\alpha(p, f)$, para $p = 2, 3, \dots, a$, en donde α es el nivel significativo y f es el número de grados de libertad del error. Estos intervalos deben transformarse en un conjunto de $a-1$ mínimos intervalos significativos (es decir R_p) para $p = 2, 3, \dots, a$ calculando

$$R_p = r_\alpha(p, f) S_{\bar{y}_i} \quad \text{para } p = 2, 3$$

Se muestran las diferencias observadas entre las medias, comenzando por el valor más alto contra el más pequeño, comparando esta diferencia

con el intervalo mínimo significativo R_a . Después se calcula la diferencia entre el valor mas alto y el segundo más pequeño y se compara con el intervalo significativo mínimo R_{a-1} . Este proceso continúa hasta que todas las medias han sido comparadas con la media más grande.

A continuación, la diferencia entre la segunda media más grande y la más pequeña se calcula y compara contra el intervalo mínimo significativo R_{a-1} . Este proceso que continua hasta que han sido consideradas las diferencias entre todos los $a(a-1)/2$ posibles pares. Si una diferencia observada es mayor que el intervalo mínimo significativo correspondiente, se concluye que la pareja de medias en cuestión es significativamente diferente. Para evitar contradicciones, ninguna diferencia entre una pareja de medias se considera significativa si las dos medias se encuentran entre otras dos que no difieran significativamente (Douglas C. Montgomery, 2002).

Anexo D: Datos de la simulación para Mexicali.

CASO SEER 6	MES	Carga Enfriamiento (ton)	Retiro Calor (ton)	Consumo (kWh)	Facturación (pesos)
1	MAYO	1280.22	852.06	1964.21	1705.49
1	JUNIO	1722.41	1093.55	2450.46	2331.88
1	JULIO	2064.02	1286.51	2851.48	3117.39
1	AGOSTO	2131.97	1319.30	2917.06	3264.98
1	SEPTIEMBRE	1503.90	969.36	2195.97	2036.00
1	OCTUBRE	401.05	277.87	766.90	379.32
2	MAYO	1009.82	664.59	1589.28	1230.82
2	JUNIO	1421.80	878.32	2020.00	1784.34
2	JULIO	1732.42	1045.35	2369.17	2238.79
2	AGOSTO	1800.90	1076.91	2432.27	2330.13
2	SEPTIEMBRE	1224.02	771.25	1799.74	1524.86
2	OCTUBRE	303.24	211.47	634.10	307.62
3	MAYO	1128.86	766.55	1793.20	1489.00
3	JUNIO	1554.14	990.02	2243.40	2068.51
3	JULIO	1878.40	1167.67	2613.79	2636.31
3	AGOSTO	1946.64	1198.63	2675.72	2774.33
3	SEPTIEMBRE	1347.23	875.80	2008.84	1794.60
3	OCTUBRE	346.30	248.70	708.55	347.82
4	MAYO	907.36	608.44	1476.97	1088.65
4	JUNIO	1307.29	818.31	1899.98	1631.68
4	JULIO	1605.77	980.48	2239.42	2072.98
4	AGOSTO	1674.31	1012.71	2303.88	2165.28
4	SEPTIEMBRE	1117.61	714.57	1686.39	1378.64
4	OCTUBRE	266.30	190.66	592.48	285.14
5	MAYO	1026.41	693.24	1646.58	1303.37
5	JUNIO	1439.63	910.94	2085.24	1867.32
5	JULIO	1751.75	1081.76	2441.97	2331.83
5	AGOSTO	1820.06	1113.43	2505.32	2427.91
5	SEPTIEMBRE	1240.82	801.36	1859.96	1602.55
5	OCTUBRE	309.37	221.68	654.51	318.64

Anexo D: (Continuación)

6	MAYO	656.64	414.32	1088.75	540.66
6	JUNIO	889.69	532.70	1328.75	905.07
6	JULIO	1068.98	627.14	1532.74	1169.85
6	AGOSTO	1105.31	643.31	1565.08	1216.66
6	SEPTIEMBRE	775.10	471.93	1201.10	752.62
6	OCTUBRE	204.41	134.92	481.00	224.94
7	MAYO	613.99	387.06	1034.22	511.87
7	JUNIO	842.28	503.25	1269.85	830.15
7	JULIO	1016.69	595.13	1468.71	1088.01
7	AGOSTO	1053.09	611.55	1501.55	1135.09
7	SEPTIEMBRE	730.96	444.22	1145.69	580.73
7	OCTUBRE	188.98	124.88	460.92	214.10
8	MAYO	511.53	323.72	907.55	444.99
8	JUNIO	727.78	435.24	1133.84	566.74
8	JULIO	890.04	521.43	1321.32	899.64
8	AGOSTO	926.51	538.54	1355.54	947.62
8	SEPTIEMBRE	624.55	380.11	1017.45	511.87
8	OCTUBRE	152.04	101.47	414.10	188.82
9	MAYO	530.49	341.44	942.99	463.70
9	JUNIO	748.84	454.57	1172.50	587.22
9	JULIO	913.28	542.55	1363.55	953.62
9	AGOSTO	949.71	559.54	1397.53	1001.53
9	SEPTIEMBRE	644.17	398.23	1053.69	531.33
9	OCTUBRE	158.90	107.96	427.08	195.82
10	MAYO	405.92	276.11	812.33	394.71
10	JUNIO	528.09	341.36	946.08	467.22
10	JULIO	624.65	395.42	1069.30	534.67
10	AGOSTO	641.95	402.98	1084.42	544.88
10	SEPTIEMBRE	466.06	306.35	869.94	432.66
10	OCTUBRE	130.90	92.74	396.64	179.39
11	MAYO	333.19	234.00	728.11	350.24
11	JUNIO	447.05	295.38	854.12	418.48
11	JULIO	535.16	345.16	968.77	481.18
11	AGOSTO	552.56	353.00	984.45	491.50
11	SEPTIEMBRE	390.67	263.27	783.77	386.38

Anexo D: (Continuación)

11	OCTUBRE	104.63	77.34	365.84	162.75
12	MAYO	1384.10	945.59	2151.29	1942.33
12	JUNIO	1873.06	1215.76	2694.89	2787.60
12	JULIO	2249.47	1431.32	3141.09	3703.57
12	AGOSTO	2325.50	1468.22	3214.90	3870.48
12	SEPTIEMBRE	1632.43	1077.07	2411.38	2313.89
12	OCTUBRE	431.34	307.92	827.00	411.78
13	MAYO	983.05	678.77	1617.63	1266.72
13	JUNIO	1426.42	912.72	2088.80	1871.86
13	JULIO	1756.37	1093.53	2465.51	2361.92
13	AGOSTO	1833.00	1129.44	2537.33	2493.00
13	SEPTIEMBRE	1216.86	797.07	1851.37	1591.47
13	OCTUBRE	286.43	212.73	636.63	308.98
14	MAYO	1156.45	800.77	1861.64	1575.63
14	JUNIO	1619.51	1045.49	2354.33	2209.61
14	JULIO	1969.54	1238.40	2755.26	2922.65
14	AGOSTO	2045.91	1273.40	2825.26	3078.35
14	SEPTIEMBRE	1396.53	921.63	2100.50	1912.84
14	OCTUBRE	349.08	257.46	726.08	357.28
15	MAYO	660.53	439.14	1138.38	566.86
15	JUNIO	928.73	577.85	1419.06	1019.95
15	JULIO	1131.07	686.59	1651.63	1321.78
15	AGOSTO	1175.56	706.84	1692.14	1379.81
15	SEPTIEMBRE	799.87	508.11	1273.47	845.97
15	OCTUBRE	198.62	140.25	491.67	230.70

Anexo E: Datos de simulación de Cienfuegos, Cuba

CASO SEER 6	MES	CE (ton)	RC (ton)	C (kWh)	(pesos)
1	MAYO	575.62	475.74	1221.89	765.72
1	JUNIO	1300.29	964.40	2269.54	2101.75
1	JULIO	1363.86	998.30	2348.70	2212.63
1	AGOSTO	1387.83	971.99	2290.96	2148.70
1	SEPTIEMBRE	1241.48	930.91	2197.46	2037.92
1	OCTUBRE	1043.94	800.23	1921.93	1690.12
2	MAYO	415.02	345.43	961.28	473.36
2	JUNIO	983.52	702.96	1746.66	1436.65
2	JULIO	1037.13	728.04	1808.17	1521.84
2	AGOSTO	1073.66	710.06	1767.12	1476.08
2	SEPTIEMBRE	934.80	678.27	1692.18	1386.11
2	OCTUBRE	778.79	582.59	1486.64	1125.98
3	MAYO	486.35	391.56	1053.54	522.07
3	JUNIO	1124.24	810.12	1960.97	1709.26
3	JULIO	1182.29	840.79	2033.67	1810.03
3	AGOSTO	1213.25	825.97	1998.93	1773.73
3	SEPTIEMBRE	1071.04	780.31	1896.26	1649.37
3	OCTUBRE	896.57	667.92	1657.31	1347.17
4	MAYO	357.46	319.22	908.86	445.68
4	JUNIO	869.71	647.12	1634.99	1294.60
4	JULIO	919.71	669.87	1691.84	1373.18
4	AGOSTO	960.61	652.22	1651.44	1327.54
4	SEPTIEMBRE	824.65	624.65	1584.94	1247.77
4	OCTUBRE	683.60	536.96	1395.39	1007.73
5	MAYO	428.80	332.66	935.74	459.87
5	JUNIO	1010.43	705.40	1751.55	1442.87
5	JULIO	1064.86	734.36	1820.81	1538.00
5	AGOSTO	1100.20	728.94	1804.88	1524.56

Anexo E: (Continuación)

CASO SEER 6	MES	CE (ton)	RC (ton)	C (kWh)	(pesos)
5	SEPTIEMBRE	960.89	677.73	1691.10	1384.71
5	OCTUBRE	801.39	577.18	1475.83	1111.97
6	MAYO	301.87	257.11	784.63	380.09
6	JUNIO	683.34	498.14	1337.01	915.58
6	JULIO	716.93	512.56	1377.22	971.08
6	AGOSTO	730.10	488.69	1324.37	907.60
6	SEPTIEMBRE	652.30	483.20	1302.04	882.83
6	OCTUBRE	548.28	419.39	1160.25	591.73
7	MAYO	276.30	244.12	758.66	366.37
7	JUNIO	632.91	469.55	1279.83	842.84
7	JULIO	664.91	482.66	1317.41	894.66
7	AGOSTO	680.08	458.56	1264.12	830.23
7	SEPTIEMBRE	603.48	455.83	1247.30	812.22
7	OCTUBRE	506.07	396.26	1113.98	566.75
8	MAYO	218.74	190.29	650.98	309.52
8	JUNIO	519.10	377.72	1096.17	546.77
8	JULIO	547.48	389.92	1131.93	567.99
8	AGOSTO	567.04	376.04	1099.07	552.70
8	SEPTIEMBRE	493.33	365.42	1066.48	538.20
8	OCTUBRE	410.88	315.52	952.51	479.56
9	MAYO	230.10	195.86	662.12	315.40
9	JUNIO	541.51	389.91	1120.56	559.69
9	JULIO	570.59	402.66	1157.42	581.55
9	AGOSTO	589.26	388.85	1124.69	566.39
9	SEPTIEMBRE	515.02	377.10	1089.83	550.74
9	OCTUBRE	429.63	325.40	972.27	490.23
10	MAYO	214.75	188.28	646.97	307.40
10	JUNIO	465.83	354.97	1050.67	522.66
10	JULIO	486.29	363.87	1079.83	540.27

Anexo E: (Continuación)

CASO SEER 6	MES	CE (ton)	RC (ton)	C (kWh)	F (pesos)
10	AGOSTO	487.16	342.29	1031.56	516.65
10	SEPTIEMBRE	446.53	345.37	1026.38	516.67
10	OCTUBRE	378.53	301.55	924.56	464.46
11	MAYO	172.28	140.25	550.91	256.68
11	JUNIO	381.98	275.76	892.25	438.69
11	JULIO	399.79	284.30	920.70	455.61
11	AGOSTO	403.95	272.97	892.93	442.63
11	SEPTIEMBRE	365.36	267.06	869.74	432.55
11	OCTUBRE	308.37	231.06	783.58	388.33
12	MAYO	612.59	503.31	1277.04	835.53
12	JUNIO	1392.60	1031.30	2403.33	2271.94
12	JULIO	1461.74	1069.02	2490.14	2393.40
12	AGOSTO	1490.93	1045.79	2438.56	2338.21
12	SEPTIEMBRE	1328.80	994.36	2324.35	2201.62
12	OCTUBRE	1115.98	852.85	2027.17	1826.52
13	MAYO	377.18	332.64	935.69	459.85
13	JUNIO	927.90	683.85	1708.44	1388.03
13	JULIO	982.38	709.16	1770.43	1473.60
13	AGOSTO	1029.82	694.76	1736.50	1436.77
13	SEPTIEMBRE	878.96	659.13	1653.89	1336.71
13	OCTUBRE	727.10	564.94	1451.34	1080.23
14	MAYO	479.05	387.55	1045.50	517.83
14	JUNIO	1129.00	813.18	1967.10	1717.06
14	JULIO	1189.84	845.46	2043.01	1821.97
14	AGOSTO	1229.38	835.56	2018.10	1798.34
14	SEPTIEMBRE	1073.63	782.12	1899.88	1654.04
14	OCTUBRE	895.39	667.52	1656.51	1346.14

Anexo E: (Continuación)

CASO SEER 6	MES	CE (ton)	RC (ton)	C (kWh)	F (pesos)
15	MAYO	280.35	252.24	774.89	374.94
15	JUNIO	660.08	496.48	1333.70	911.36
15	JULIO	695.57	511.94	1375.98	969.51
15	AGOSTO	718.44	491.78	1330.55	915.53
15	SEPTIEMBRE	627.76	480.76	1297.16	876.53
15	OCTUBRE	523.64	415.86	1153.19	587.92

Bibliografía

1. Biblioteca de consulta Microsoft ENCARTA 2005
2. SEP, *Baja California. Monografía estatal*, México, 1997., CEDEMUN, 1998. , INEGI, *Síntesis de Información Estadística I y II* ,1998.)
<http://www.elbalero.gob.mx/explora/html/bajanor/geografia.html>
3. Información geográfica de Cuba.
<http://www.inder.co.cu/indernet/Provincias/cfg/geograf%EDa.htm>
4. Parker, D., Barkaszi, S., Chandra, S., Beal, D., "Measured Cooling Energy Savings From Reflective Roofing Systems In Florida: Field And Laboratory Research Results," Funded by the Florida Energy Office in support of the Building Design Assistance Center.
<http://www.fsec.ucf.edu/bldg/pubs/pf293/Paper/B%study/B/paint2%BRreflective>
5. Pérez T. C., Campbell R. H., Notas para el curso de materiales aislantes y reflectivos, UABC, 1999
6. Rafael García Cueto y Alberto Tejeda Martínez "La radiación solar y radiación neta en Mexicali B.C, propiedades radiactivas" Instituto de Ingeniería de la UABC, Fac. de instrumentación electrónica, Universidad Veracruzana.
7. McQuiston F. C., Spitler J. D., Cooling and heating load calculation manual, Ed. ASHRAE, Estados Unidos, 1992

8. Pintura. (2006, 18) de agosto. *Wikipedia, La enciclopedia libre*.
<http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Pintura&oldid=4334103>
9. Joan Berniol, (2006) "Gracias sol" <http://www.gracias-sol.com/fun.html>
10. Acosta Luís Roberto, SIMA (Sistema de Información ambiental) copyright SIMA, (2001,2005).
http://www.sima.com.mx/valle_de_mexico/radiaci.asp.
11. Pérez T. C., Campbell R. H. E.,, 1996, Notas del curso "Materiales aislantes y reflectivos" del diplomado en uso eficiente de la energía. UABC.
12. García C. O. R., Área de Meteorología de la UABC, comunicación personal (1996).
13. María Guadalupe Amado Moreno "Pinturas Reflectivas para Ahorrar Electricidad en Edificaciones de Climas Cálidos", (febrero, 2004).
14. Emilio Hernández Martínez, Tesis: "Simulador térmico para optimizar el empleo de la energía eléctrica en construcciones de climas cálidos empleando la metodología de horas-grado", (2006).
15. Douglas C. Montgomery "Diseño y Análisis de experimentos" julio 2002, Grupo editorial Iberoamericana. Páginas 67-68.

-
16. Carlos Pérez Tello., 2004 "Protocolo del proyecto de pinturas reflectivas".

Documentos electrónicos:

Impermeabilizante fester Imper fácil.

www.fester.com

Impermeabilizante IMPAC 5000

www.impac.com

Impermeabilizante THERMOTEK

www.thermotek.com

Impermeabilizante AKRILTEK

www.akriltek.com.mx