



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

ESTUDIO ENERGÉTICO DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO
MEDIANTE EL MÉTODO DE BALANCE TÉRMICO

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ENERGÍA

PRESENTA
RUDY HUMBERTO DZIB MAGLAH

DIRECTOR DE TESIS
DR. FERNANDO ENRIQUE FLORES MURRIETA

ASESORES
DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR
DR. JOSÉ HERNANDEZ RODRIGUEZ
DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS TITULADO

“Estudio Energético de las Villas Universitarias UQROO mediante el Método de Balance Térmico”

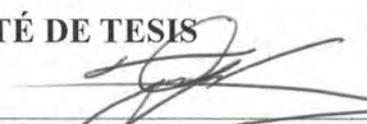
ELABORADO POR
RUDY HUMBERTO DZIB MAGLAH

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERÍA EN SISTEMAS DE ENERGÍA

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:



DR. FERNANDO ENRIQUE FLORES MURRIETA

ASESOR:



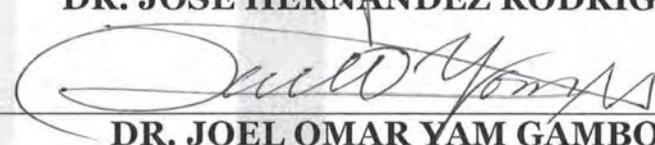
DR. JORGE OVIDIO AGUILAR AGUILAR

ASESOR:

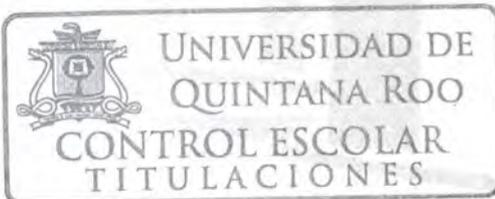


DR. JOSÉ HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

ASESOR:



DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, MARZO DE 2020

Agradecimientos

A mi madre Irma por poner su confianza en mí y apoyarme siempre a seguir adelante en la vida y en mis estudios. Por educarme y enseñarme siempre los valores que me forjaron hasta el día de hoy. Le agradezco todo por el simple hecho de ser “Mi Madre”.

A mi hermana Lucero por estar siempre apoyándome en los momentos más difíciles.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Energía por el tiempo y dedicación que le dieron a mis compañeros y a mí; y por brindarnos los conocimientos necesarios para poder llegar hasta el final.

A todos mis compañeros de la carrera por apoyarnos mutuamente y motivarnos a seguir adelante.

Al Mtro. Agustín Murillo Panti por permitirme tener acceso a los Planos de las villas Universitarias y por brindarme información que fueron relevantes para llevar a cabo éste trabajo de tesis.

Dedicatoria.

A mi Madre:

Que con mucho esfuerzo y dedicación me regalo la oportunidad de poder estudiar en la Universidad de Quintana Roo y así poder forjarme un buen futuro.

A mi hermana:

Que siempre estuvo para apoyarme y motivarme a ser una mejor persona.

A mis amigos:

Que siempre estuvieron para apoyarme en los momentos más difíciles y a pesar de la distancia siempre depositaron su fe en mí y me motivaron a seguir mis sueños.

Resumen

Este trabajo presenta un estudio energético, en donde a través de un balance térmico se determina la capacidad de las unidades de aire acondicionado apropiado para el edificio y por consiguiente, la implementación de alternativas para el ahorro de energía del mismo. Para llevar a cabo el balance térmico, se implementaron dos metodologías, una para determinar las ganancias de calor a través de la envolvente y otra para determinar las ganancias de calor en el interior del edificio. Primeramente, se relatan los antecedentes de la historia de la climatización y como ha ido evolucionando a lo largo del tiempo. También se describe el panorama energético de México y el impacto que tuvo la introducción de la industria de los aires acondicionados en la sociedad.

Posteriormente, se describen las diferentes metodologías más empleadas para determinar las ganancias de calor en una edificación. Luego se describe la metodología descrita por la Norma Oficial Mexicana (Nom-020-ener-2011), para el cálculo de ganancias de calor en el exterior y la metodología descrita por A.L Miranda (2004) para determinar las ganancias de calor en el interior del edificio. Seguidamente, se describe las condiciones del edificio de las Villas Universitarias UQROO y se determinan los requerimientos necesarios para llevar a cabo el cálculo de las ganancias de calor de éste.

Con base a lo anterior, se calcula la capacidad de las unidades de aire acondicionado para cada espacio del edificio y consecuentemente se relata un marco de propuesta para el ahorro de energía reduciendo las ganancias de calor por conducción y convección térmicas a través de la envolvente del edificio. Por último se expresan las conclusiones en base a los resultados obtenidos y se describen algunas recomendaciones para mejorar las condiciones de confort del edificio y el ahorro de energía.

ÍNDICE

Introducción	1
Justificación	3
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
Alcance	4
Capítulo I. Antecedentes	5
1.1 Estado del arte de los sistemas de Aire Acondicionado.	5
1.2 Panorama Energético de México.	9
1.2.1 <i>Petrolíferos</i>	11
1.2.2 <i>Prospectiva de Energías Renovables.</i>	12
1.2.3 <i>Independencia Energética</i>	12
1.2.4 <i>Consumo de Energía per cápita.</i>	14
1.2.5 <i>Producción de energía primaria.</i>	14
1.2.6 <i>Panorama energético de los aires acondicionados.</i>	16
1.2.7 <i>Equipos de refrigeración</i>	19
1.2.8 <i>Unidades autónomas</i>	19
Capítulo II. Métodos de cálculo de cargas térmicas.	22
2.1 Metodologías de balance térmico.	22
2.1.1 <i>El modelo físico</i>	23
2.1.2 <i>Características del método de balance térmico.</i>	23
2.1.3 <i>Ecuaciones del balance térmico</i>	23
2.2 Metodología función de transferencia (TFM)	26
2.2.1 <i>Procedimiento de cálculo.</i>	26
Capítulo III. Método de balance térmico	27
3.1 Condiciones del proyecto.	27
3.1.1 <i>Localidad.</i>	27
3.1.2 <i>Edificio.</i>	27
3.1.3 <i>Parámetros de diseño.</i>	27
3.1.4 <i>Consideraciones de la construcción.</i>	28
3.2 NOM-020-2011	29
3.2.1 <i>Calculo de las ganancias de calor a través de la envolvente.</i>	29
3.2.1.1 <i>Ganancia de calor por conducción.</i>	29

3.2.1.2 Ganancia de calor por radiación.	30
3.3 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor (K) en la envolvente.	31
3.4 Orientación.	31
3.5 Calculo de las ganancias de calor internas.	32
3.5.1 Calculo de calor sensible.	32
3.5.1.1 Calor sensible debido al aire de infiltraciones.	32
3.5.1.2 Calor sensible generado por personas que ocupan el local.	34
3.5.1.3 Calor generado por la iluminación del local.	35
3.5.1.4 Calor sensible generado por máquinas y/o equipos electrodomésticos.	35
3.5.1.5 Calor sensible producido por el aire de ventilación	35
3.5.2 Calculo de calor latente	38
3.5.2.1 Calor latente debido al aire por infiltraciones.	38
3.5.2.2 Calor latente generado por las personas que ocupan el local.	39
3.5.2.3 Calor latente producido por el aire de ventilación	39
3.6 Calculo de cargas totales	40
3.6.1 Carga sensible efectiva parcial y latente efectiva parcial	40
3.6.2 Carga sensible efectiva total y latente efectiva total.	40
Capítulo IV. Calculo de las ganancias de calor de las Villas universitarias UQROO .	41
4.1 Datos generales	41
4.2 Calculo de las ganancias de calor sensible.	43
4.2.1 Calor sensible por conducción y radiación a través de la envolvente.	43
4.2.1.1 Ganancia de calor sensible por conducción.	43
4.2.1.2 Ganancias de calor por radiación.	45
4.2.2 Ganancias de calor sensible debido al aire de infiltraciones.	47
4.2.3 Ganancias de calor sensible generado por las personas que residirán en el local.	47
4.2.4 Ganancias de calor generado por la iluminación del local.	48
4.2.5 Ganancias de calor generado por las máquinas y/o equipos electrodomésticos del local.	48
4.2.6 Ganancias de calor sensible debido al aire de ventilación	49
4.3 Calculo de las ganancias de calor latente.	49
4.3.1 Ganancias de calor latente debido al aire de infiltraciones.	49
4.3.2 Ganancias de calor latente generado por personas que residirán en el local.	50

4.3.3 Ganancias de calor latente generado por aire de infiltración.	50
Capítulo V. Resultado y análisis.....	51
5.1 Resultados	51
5.1.1 Ganancias de Calor latente.....	51
5.1.1.1 Calculo de las ganancias de calor por conducción a través de la envolvente. .51	
5.1.1.2 Ganancias de calor por radiación	54
5.1.1.3 Ganancias de calor sensible debido al aire de infiltraciones.....	55
5.1.1.4 Ganancias de calor sensible generado por personas que residen en el local..55	
5.1.1.5 Ganancias de calor sensible generado por iluminación	56
5.1.1.6 Ganancias de calor sensible generado por equipos electrodomésticos.....	56
5.1.1.7 Ganancia de calor sensible debido al aire de ventilación.	57
5.1.2 Ganancias de calor latente.	57
5.1.2.1 Ganancias de calor latente debido al aire de infiltraciones.	57
5.1.2.2 Ganancias de calor latente generado por personas que residen el en local. ...	58
5.1.2.3 Ganancias de calor latente generado por el aire de ventilación.	58
5.1.3 Resumen de las Ganancias de calor de las villas universitarias UQROO.	59
5.1.4 Determinación de la capacidad de las unidades de aire acondicionado.	59
5.2 Análisis.....	60
Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	70
APENDICE A	72
APENDICE B.....	88
APENDICE C	91
ANEXO 1.....	92
ANEXO 2.....	103
ANEXO 3.....	104
ANEXO 4.....	105

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 LA AHLAMBRA DE GRANADA, ESPAÑA.....	5
FIGURA 1.2 VASIJAS DE BARRO CON TIERRA HÚMEDA COMO REFRIGERANTE.	7
FIGURA 1.3 ACONDICIONADOR "BOMBA DE CALOR"	200
FIGURA 1.4 CONSOLA CONDENSADA POR AIRE	200
FIGURA 1.5 CONSOLA CONDENSADA POR AGUA.....	211
FIGURA 1.6 ACONDICIONADOR "EQUIPO PARTIDO" DE GAMA RESIDENCIAL.	211
FIGURA 3.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN MURO O PARED DE CONCRETO.....	288
FIGURA 3.2 ORIENTACIÓN PARA LAS PAREDES Y MUROS.....	311
FIGURA 3.3 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA INSTALACIÓN QUE UTILIZA SOLO AIRE DEL LOCAL.	366
FIGURA 3.4 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA INSTALACIÓN QUE UTILIZA SOLO AIRE DEL EXTERIOR.....	366
FIGURA 3.5 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA INSTALACIÓN QUE MEZCLA AIRE DEL EXTERIOR CON EL AIRE DEL LOCAL.....	377
FIGURA 4.1 ORIENTACIÓN DE LOS MUROS DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO	411
FIGURA 4.2 MODELO 3D DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO (VISTA LATERAL DERECHA).	422
FIGURA 4.3 MODELO 3D DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO (VISTA FRONTAL).	422
FIGURA 4.4 MODELO 3D DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO (VISTA POSTERIOR).	433

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1 DEMANDA DE PETROLÍFEROS POR SECTOR Y COMBUSTIBLE, 2016-2017	111
TABLA 1.2 PRODUCCIÓN DE ENERGIA PRIMARIA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.5
TABLA 3.1 CONDICIONES INTERIORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA RECOMENDADOS PARA UNA MEJOR ZONA DE CONFORT.....	277
TABLA 3.2 AIRE DE INFILTRACIONES POR METROS CÚBICOS POR HORA (M3/H, POR PERSONA Y POR PUERTA.).....	333
TABLA 3.3 CALOR EMITIDO POR LAS PERSONAS EN WATTS (W).	344
TABLA 3.4 AIRE DE VENTILACIÓN EN METROS CÚBICOS POR HORA (M3/H), POR PERSONA Y POR PUERTA. VENTILACIÓN MÍNIMA Y OCUPACIÓN MÁXIMA ESTIMADA EN DIVERSOS LOCALES....	38
TABLA 4.1 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE DE LA HABITACIÓN 1 (PLANTA BAJA).	444
TABLA 4.2 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE DE LA HABITACIÓN 2 (PLANTA BAJA).	444
TABLA 4.3 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE DE LA HABITACIÓN 1 (PLANTA ALTA).....	444
TABLA 4.4 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE DE LA HABITACIÓN 2 (PLANTA BAJA).	455
TABLA 4.5 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 1 (PLANTA BAJA).....	466
TABLA 4.6 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 2 (PLANTA BAJA).....	466
TABLA 4.7 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 1 (PLANTA ALTA)	466
TABLA 4.8 CALOR SENSIBLE DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 2 (PLANTA ALTA)	466
TABLA 4.9 NÚMERO DE PERSONAS Y PUERTAS POR CADA HABITACIÓN.	477
TABLA 4.10 CALOR SENSIBLE Y LATENTE GENERADO POR PERSONAS A CIERTA TEMPERATURA. .	477
TABLA 4.11 CANTIDAD Y POTENCIA DE LAS LUMINARIAS DE CADA HABITACIÓN DEL EDIFICIO. ..	488
TABLA 4.12 EQUIPOS Y ELECTRODOMÉSTICOS DE CADA HABITACIÓN DEL EDIFICIO.	488
TABLA 4.13 CAUDAL DE AIRE POR VENTILACIÓN CONSIDERADO PARA CADA HABITACIÓN.....	49
TABLA 5.1 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR SENSIBLE POR CONDUCCIÓN DE LA HABITACIÓN 1	511
TABLA 5.2 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR SENSIBLE POR CONDUCCIÓN DE LA HABITACIÓN.	522
TABLA 5.3 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR SENSIBLE POR CONDUCCIÓN DE LA HABITACIÓN.	522
TABLA 5.4 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR SENSIBLE POR CONDUCCIÓN DE LA HABITACIÓN 2	533
TABLA 5.5 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 1.....	544
TABLA 5.6 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 2.....	544

TABLA 5.7 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 1.....	544
TABLA 5.8 CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR DEBIDO A LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS SUPERFICIES TRANSPARENTES DE LA HABITACIÓN 2.....	555
TABLA 5.9 CALCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE POR AIRE DE INFILTRACIONES DEL EDIFICIO DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO.....	555
TABLA 5.10 CALCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE GENERADO POR PERSONAS.....	555
TABLA 5.11 CÁLCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE POR ILUMINACIÓN.....	566
TABLA 5.12 CALCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR GENERADO POR EQUIPOS ELECTRODOMÉSTICOS.....	566
TABLA 5.13 CALCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE DEBIDO AL AIRE DE VENTILACIÓN.	577
TABLA 5.14 CALCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR LATENTE DEBIDO AL AIRE DE INFILTRACIONES.	577
TABLA 5.15 CALCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR LATENTE GENERADO POR PERSONAS.	588
TABLA 5.16 CALCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR LATENTE GENERADO POR EL AIRE DE VENTILACIÓN.	588
TABLA 5.17 RESUMEN DE LAS GANANCIAS DE CALOR SENSIBLE Y LATENTE DE CADA UNO DE LAS HABITACIONES DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO.....	59
TABLA 5.18 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO PARA CADA HABITACIÓN DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO	59
TABLA 5.19 COMPARACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE LA GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “ESPUMA DE POLIETILENO CON ALUMINIO PURO”.....	644
TABLA 5.20 COMPARACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE LA GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “PLACA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”.	655
TABLA 5.21 COMPARACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE LA GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “PLACA DE FOAMULAR CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO”.	666
TABLA 5.22 COMPARACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE LA GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “PLACA DE POLIESTIRENO EXTRUIDO”.....	677

LISTA DE GRÁFICAS.

GRAFICA 1.1 RESERVAS PROBADAS DE PETRÓLEO EN EL MUNDO	10
GRAFICA 1.2 DISTRIBUCIÓN DE PETRÓLEO POR DESTINO, 2016-2017 (MILES DE BARRILES DE PETRÓLEO).....	11
GRAFICA 1.3 EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO NACIONAL DE ENERGÍA, 2018.	;
.....	ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.3
GRAFICA 1.4 ÍNDICE DE INDEPENDENCIA ENERGÉTICA	;
.....	ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.3
GRAFICA 1.5 CONSUMO DE ENERGÍA PER CAPITA.....	;
.....	ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.4
GRAFICA 1.6 ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA.;	ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.5
.....	
GRAFICA 1.7 CONSUMO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS COMERCIALES.....	177
GRAFICA 1.8 CONSUMO DE ENERGÍA EN HOSPITALES.....	177
GRAFICA 1.9 CONSUMO DE ENERGÍA EN OFICINAS.	188
GRAFICA 1.10 CONSUMO DE ENERGÍA EN HOTELES.....	188
GRAFICA 5.1 PORCENTAJES DE LAS GANANCIAS DE CALOR DE LA HABITACIÓN 1 (PLANTA BAJA).	600
.....	
GRAFICA 5.2 PORCENTAJES DE LAS GANANCIAS DE CALOR DE LA HABITACIÓN 2 (PLANTA BAJA).	611
.....	
GRAFICA 5.3 PORCENTAJES DE LAS GANANCIAS DE CALOR DE LA HABITACIÓN 1 (PLANTA ALTA).	622
.....	
GRAFICA 5.4 PORCENTAJES DE LAS GANANCIAS DE CALOR DE LA HABITACIÓN 1 (PLANTA ALTA).	622
.....	
GRAFICA 5.5 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “ESPUMA DE POLIETILENO CON ALUMINIO PURO”.....	644
GRAFICA 5.6 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “PLACA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO”.	655
GRAFICA 5.7 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “PLACA DE FOAMULAR CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO”	666
GRAFICA 5.8 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE GANANCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CAPACIDAD DEL EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO IMPLEMENTANDO “PLACA DE POLIESTIRENO ESTRUIDO”	677

LISTA DE APÉNDICES

APENDICE A Tablas

Tabla A.1 Valores para el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente.

Tabla A.2 Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral más allá de los límites de ésta.

Tabla A.3 Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral hasta los límites de ésta.

Tabla A.4 Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de ventanas remetidas.

Tabla A.5 Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de ventanas con partesoles.

APENDICE B Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (K).

APENDICE C Valores de conductividad térmica de los materiales de construcción.

LISTA DE ANEXOS.

ANEXO 1 Planos de las Villas Universitarias UQROO

ANEXO 2 Temperatura máxima promedio por Entidad Federativa y Nacional, 2018.

ANEXO 3 Carta psicométrica

ANEXO 4 Ficha técnica de aislantes térmicos.

Introducción

El clima del planeta está cambiando constante e intensamente más que en cualquier otra época: la actividad humana es la causa principal. El cambio climático es uno de los principales problemas ambientales y sociales de la humanidad debido a las consecuencias que puede tener.

- 1.- La Tierra recibe la radiación solar. Una parte de la radiación recibida rebota (se refleja) en la atmósfera terrestre, en las nubes y el suelo y regresa al espacio exterior.
- 2.- Parte de la radiación atraviesa la atmósfera alcanzando la superficie terrestre y calentándola.
- 3.- La tierra remite sus propias radiaciones de calor, denominadas infrarrojas, de onda más larga.
- 4.- Parte de las radiaciones infrarrojas escapan al espacio.
- 5.- Otra parte de esa radiación infrarroja es atrapada y retenida por los gases de efecto invernadero, calentando las capas bajas de la atmósfera y evitando que todo el calor se pierda en el espacio. A mayor concentración de gases de efecto invernadero, mayor retención de calor.
- 6.- Estos gases extra incrementan el efecto invernadero natural y provocan el calentamiento global que da lugar a un cambio radical en el clima: es el cambio climático

La temperatura del planeta sube: es el calentamiento global

Las temperaturas de la superficie del planeta aumentan a gran ritmo. En los últimos 100 años, la temperatura media global ha aumentado 0.76 °C. 11 de los 12 años más calurosos desde 1850 se concentran entre 1995 y 2006. En España ese calentamiento ha sido de 1.5 °C. En el Ártico, hasta 5 °C. Este aumento de la temperatura media de la Tierra es el calentamiento global. Al igual que cuando tenemos fiebre unos pocos grados respecto de nuestra temperatura normal nos afectan profundamente, ese aumento de temperatura media es suficiente para que el clima cambie de forma acelerada y profunda [1].

La medida justa: el efecto invernadero natural

La causa del calentamiento global es el incremento del “Efecto invernadero” natural por el aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero producido por las actividades humanas.

El efecto invernadero "natural" permite la vida en la Tierra tal y como la conocemos, con una "cómoda" temperatura media global de 14.5 °C al retener parte del calor del sol que la

Tierra devuelve al espacio, como el tejado de cristal de un invernadero. Sin él, la temperatura media sería de -18 °C y nuestro planeta un lugar yermo y helado [1].

A partir de la era industrial, el aumento de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, producidos sobre todo por el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) en la producción de energía, en el transporte y en la industria, ha provocado un incremento del efecto invernadero. La tala y quema de bosques y algunos métodos de explotación agropecuaria y otras actividades también contribuyen.

El cambio climático y la industria del aire acondicionado

Desde que han comenzado las mediciones de la temperatura del planeta, cada año éstas son rebasadas sistemáticamente.

¿Qué es lo que plantea el calentamiento global para esta industria, no solo con las temperaturas actuales, sino el constante aumento? En primer lugar, mas venta de equipos de aire acondicionado o, por lo menos, en algunas ciudades, no en todas. En china, el incremento del uso de estos sistemas fue de 8% en 1990 a 70% en 2015 [2].

También plantea un considerable incremento de la huella de carbono que deja esta industria, un tema considerado ya en las nuevas tecnologías de uso de refrigerantes más amables con el medio ambiente y equipos cada vez más energéticamente eficientes. Al respecto de esta huella, ha habido declaraciones, como la de John Kerry, secretario de Estado de Estados Unidos, respecto de la enmienda al protocolo de Montreal, quien dijo que los refrigerantes y los aires acondicionados son más peligrosos que la organización terrorista del estado islámico de Irak, ISIS.

El aire acondicionado es necesario en estos tiempos: sin él, mucha gente moriría por los choques de calor, las personas serian improductivas y otros etc. Así que el reto se torna cada vez más complicado ante esta ecuación: a más calentamiento global, mas uso de sistemas de climatización; en consecuencia, mas consumo de energía y polución.

Justificación

El confort térmico es uno de los objetivos principales del presente trabajo. La implementación de un balance térmico es de suma importancia ya que mediante esta técnica se nos permitirá cumplir con las condiciones necesarias para un ambiente confortable para los ocupantes de la edificación a estudiar.

La presente tesis realiza el cálculo de balance térmico de una edificación proyectada, empleando como métodos los descritos por la Secretaría de Energía en la norma NOM-020-ENER-2011 para las ganancias de calor del edificio a través de la envolvente, y las ganancias de calor internas del mismo mediante la metodología de Miranda A.L (2004).

Implementando estos métodos, se podrán determinar todas las ganancias de calor que intervienen en la edificación y de esta manera, seleccionar el o los equipos necesarios y apropiados para establecer un ambiente de confort y así mismo, de acuerdo al diseño térmico de la edificación para la reducción de calor, seleccionar un sistema de aire acondicionado que permita el mínimo consumo de energía del equipo para reducir el costo de operación de éste.

Objetivos

Objetivo General

Determinar las ganancias de calor en los espacios del edificio denominado Villas Universitarias de la Universidad de Quintana Roo, mediante la implementación de un balance térmico, para proponer estrategias que servirán para reducir el consumo de energía de dicho edificio.

Objetivos específicos

- Determinar las ganancias térmicas exteriores en los espacios destinados para su estudio mediante la implementación de la Norma Oficial Mexicana para la eficiencia energética en edificios para uso residencial (**NOM-020-ENER-2011**).
- Determinar las ganancias térmicas en los espacios destinados para su estudio mediante la implementación de la metodología para el cálculo de cargas térmicas interiores de Ángel Luis Miranda, 2004
- Determinar el dimensionamiento adecuado para el sistema de aire acondicionado necesario con base en los resultados obtenidos por el método de balance térmico.
- Determinar el dimensionamiento adecuado para el sistema de aire acondicionado implementando diferentes aislamientos térmicos en la techumbre con base en los resultados obtenidos por el método de balance térmico.

Alcance

Determinar el dimensionamiento de los sistemas de aire acondicionado de las Villas Universitarias para elaborar una propuesta que permitan reducir el consumo de energía eléctrica en la edificación considerando en los cálculos la comparación de dos aspectos esenciales: Sin aislamiento térmico en la techumbre y con aislamiento térmico en la techumbre.

Con base en lo mencionado, para dar cumplimiento a las propuestas, el contenido del siguiente trabajo consta de los siguientes capítulos:

Capítulo I. Antecedentes.

En este capítulo se presentan los antecedentes históricos de la climatización, así como el panorama energético en México y el impacto en el consumo de energía debido a la utilización de aires acondicionados en el país.

Capítulo II. Métodos de cálculo de las cargas térmicas.

Presenta los diferentes métodos para calcular las cargas térmicas del espacio destinado para su estudio y se determina el método más efectivo para un mejor resultado.

Capítulo III. Método de balance térmico.

Se describe a detalle el método de balance térmico como el más efectivo para calcular las cargas térmicas, implementando la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ener-2011, “Eficiencia energética en edificaciones-envolvente de edificios para uso habitacional” y la metodología de Ángel Luis Miranda, 2004.

Capítulo IV. Cálculo de las cargas térmicas de las Villas universitarias de la UQROO.

Se escribe el proceso de los cálculos realizados con base a los métodos descritos en el capítulo III.

Capítulo V. Aislamiento térmico.

Se describen los cálculos para la reducción de transferencia de calor a través de la envolvente considerando los aislantes térmicos en la techumbre utilizando el método mencionado en el capítulo III.

Capítulo VI. Resultados y observaciones

Se presentan los resultados obtenidos mediante los cálculos de cargas térmicas realizados en los capítulos IV y V.

Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones.

Se expresan las conclusiones y las recomendaciones en base a los resultados obtenidos, y se presentan los beneficios del estudio de las cargas térmicas de las Villas Universitarias UQROO.

Capítulo I. Antecedentes

1.1 Estado del arte de los sistemas de Aire Acondicionado.

El enfriamiento evaporativo es un fenómeno que ocurre en la naturaleza. Cuando el aire y el agua entran en contacto, el agua se evapora dentro del aire circundante, reduciendo su temperatura. Esta es la razón por la cual en un día caluroso se está más fresco cerca de un lago, una cascada o una fuente. La sensación de enfriamiento que siente una persona cuando una brisa pasa y evapora la transpiración en su piel, es la experiencia humana más común del fenómeno [3].

La refrigeración evaporativa era el método más utilizado como enfriamiento, mucho antes de conocerse los principios de refrigeración por compresión mecánica de vapor. Data de cerca de 2500 a.c, difundiéndose principalmente en la india, Irán, Egipto y Persia, donde se conocía como uno de los procedimientos más efectivos, debido a la gran cantidad de calor latente que involucra la evaporación del agua [3].

La Ahlambra de Granada en España y los jardines de Irán usaban estos principios de enfriamiento evaporativo, ejemplos de sus tradiciones como se muestra en la Figura 1.1, Donde tres hermanos trabajaron como ingenieros y científicos bajo el patronato de los califas de Bagdad en el siglo IX, en el que uno de ellos, Pedro “El Grande” instaló en sus jardines de San Petesburgo un sistema de cortinas de agua sobre los árboles próximos a los bancos, sin que estos se mojaran, a fin de aprovechar estos efectos evaporativos para refrigerar su espacio [3].



Figura 1.1 La Ahlambra de Granada, España.
Fuente: Flores Murrieta Fernando, 2008.

En nuestros climas tropicales durante los días de más calor, nuestros antepasados buscaban refrescarse trasladándose a áreas cerca de la costa o a las montañas. La otra alternativa era aumentar la evaporación del sudor mediante el abanico de mano que fue inventado hace más de 4.000 años. El abanico aumenta la circulación de aire sobre la piel y en realidad logra el mismo efecto que se obtiene en las torres de enfriamiento.

Unos de los primeros en desarrollar el abanico para mover mayores cantidades de aire fueron los chinos; en el siglo II el inventor Ding Huan desarrolló el primer abanico que podía mover grandes masas de aire. Este se movía manualmente y con un diámetro de aproximadamente 2 metros podía refrescar una habitación completa [4].

En la antigüedad, los egipcios ya utilizaban sistemas y métodos para reducir el calor. Se utilizaba principalmente en el palacio del faraón, cuyas paredes estaban formadas por enormes bloques de piedra, con un peso superior a mil toneladas. Durante la noche, tres mil esclavos dismantelaban las paredes y acarreaban las piedras al desierto del Sahara. Como el clima desértico es extremo y la temperatura disminuye a niveles muy bajos durante las horas nocturnas, las piedras se enfriaban notablemente.

Justo antes de que amaneciera, los esclavos acarreaban de regreso las piedras al palacio y volvían a colocarlas en su sitio. Se supone que el faraón disfrutaba de temperaturas alrededor de los 26 °C, mientras que afuera el calor subía hasta casi el doble. En ese entonces se necesitaban miles de esclavos para poder realizar la labor de acondicionar el aire para el faraón [5].

Antes de que existiera la refrigeración artificial, se utilizaba el hielo natural para el enfriamiento, los antiguos romanos transportaban hielo desde el Líbano hasta los palacios en Damasco y Bagdad, y compartían con los griegos el hielo que conservaban en pozos con pasto, paja y ramas de árboles para mantener el frío y tener una reserva para las épocas de calor. En otros pueblos cercanos se producía hielo llenando vasijas de arcilla con agua (Figura 1.2) y se colocaban sobre lechos de paja durante la noche y si las condiciones climáticas lo permitían, la evaporación nocturna originaba la formación de capas en la superficie de las vasijas. Estos primeros métodos de producir hielo fueron el ejemplo de la capacidad humana en la historia de la termotecnia [6].



Figura 1.2 Vasijas de barro con tierra húmeda como refrigerante.
Fuente: Google, 2019.

Hacia el año 1553 el médico español Blas Villafranca estudio el enfriamiento del agua y del vino por medio de mezclas refrigerantes, nombrando la palabra refrigerar por primera vez. En 1607 se descubrió que una mezcla de agua con sal servía para congelar agua.

En el siglo XVII el científico Robert Boyle y el astrónomo Philippe Laire utilizaron mezclas refrigerantes para la investigación científica en laboratorios. Gracias a la cita de Sigaud de la Found “El éter expuesto al aire se evapora con mayor rapidez y produce un frio muy sensible en el cuerpo que se evapora”, el farmacéutico Collège de Pharmacie de Paris logro formar hielo artificial.

Jacob Perkins fue el físico americano que en el año 1834 desarrollo la primera máquina de compresión de vapor, cargada con éter, su máquina contenía los cuatro elementos principales que se encuentran en los modernos sistemas de refrigeración; un compresor, un condensador, una válvula de la expansión y un evaporador.

Perkins habla de su máquina como: “Un aparato o medios mediante los cuales estoy capacitado de usar fluidos volátiles con el objeto de producir el enfriamiento o la congelación de líquidos y, al mismo tiempo, condensar constantemente dicho fluido volátil para usarlo una y otra vez, sin desperdicio.”

En 1902 Willis Carrier sentó las bases de la maquinaria de refrigeración moderna y al intentar aplicarla a los espacios habitados, se encontró con el problema del aumento de la humedad relativa del aire enfriado, y al estudiar cómo evitarlo, desarrolló el concepto de climatización de verano, pero fue hasta el año 1906 que se patento el primer equipo de aire acondicionado en los Estados Unidos, como “Un equipo para tratar el aire”. La primera venta fuera de los Estados Unidos fue para una fábrica de Japón en 1907, iniciando una fuerte expansión del sistema de aire acondicionado en las fábricas.

En 1915, Carrier y seis amigos reunieron 32.600 dólares y fundaron “La compañía de Ingeniería Carrier” cuyo objetivo era garantizar al cliente el control de la temperatura y humedad a través de la innovación tecnológica y el servicio al cliente.

En 1922 Carrier lleva a cabo uno de los logros de mayor impacto en la historia de la industria: “La enfriadora centrífuga”. Este nuevo sistema de refrigeración se estrenó en 1924 en los grandes almacenes Hudson de Detroit, en los cuales se instalaron tres enfriadoras centrífugas para enfriar el sótano y posteriormente el resto de la tienda.

Tal fue el éxito, que inmediatamente se instalaron este tipo de máquinas en hospitales, oficinas, aeropuertos, fábricas, hoteles y grandes almacenes.

En 1928 se fabricó un equipo de climatización doméstico que enfriaba, calentaba, limpiaba y hacía circular el aire y cuya principal aplicación era la doméstica, pero la Gran Depresión en los Estados Unidos puso punto final al aire acondicionado en los hogares.

Hasta después de la Segunda Guerra Mundial las ventas de equipos domésticos no empezaron a tener importancia en empresas y hogares.

Uno de los logros más significativos en la industria HVACR fue la fabricación de sistemas con compresores centrífugo. Este tipo de compresor fue el primer método práctico de aire acondicionado para espacios amplios. Este logro por sí solo preparó el camino para el desarrollo de equipos que ofrecieron confort a hospitales, escuelas, oficinas, aeropuertos, hoteles y tiendas departamentales.

El uso de la refrigeración y aire acondicionado, cada día se va incrementando y encuentra más aplicaciones; hace algunos años, el uso principal de la refrigeración era la producción de hielo, ahora la refrigeración es esencial, en la producción y distribución y conservación de alimentos, y para el funcionamiento de servicios vitales. Con el aire acondicionado se vive más confortable y saludablemente. Y muchos procesos industriales se efectuarán de manera más eficiente.

1.2 Panorama Energético de México.

El petróleo y la electricidad han tenido un papel determinante en el desarrollo del país desde la década de los treinta. La energía continúa siendo una de las actividades económicas más importantes del país y la fuente principal de los ingresos públicos federales. El sector energético representa 3% del PIB nacional [7]. El actual marco normativo, constitucional y legal determina que el manejo de los hidrocarburos y la electricidad son sectores exclusivos del Estado.

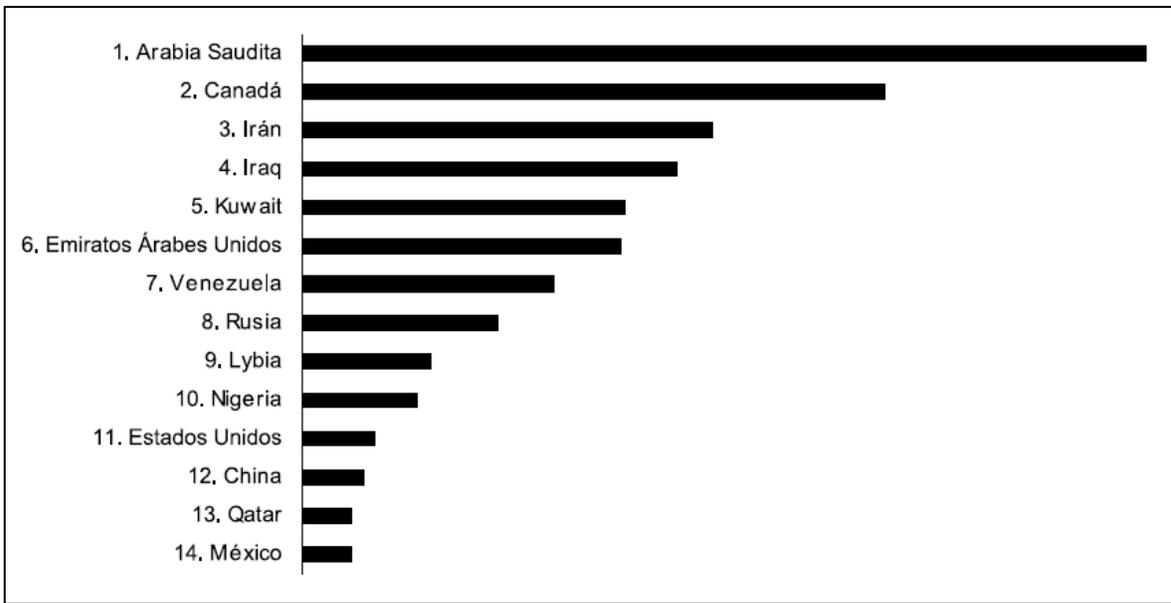
Actualmente las únicas actividades permitidas a la inversión privada en el ámbito de los hidrocarburos, es en el área de gas natural (transporte, almacenamiento, distribución y mantenimiento). En el ámbito del sector eléctrico el Estado es el único participante en la generación, transmisión y distribución de electricidad, en tanto que la cogeneración y el autoabastecimiento están abiertos al sector privado.

En cuanto a los hidrocarburos, México continúa siendo uno de los grandes productores de petróleo en el mundo. Pemex es el quinto productor mundial, con reservas probadas de petróleo crudo de 27 mil millones de barriles, lo cual sitúa al país en el noveno lugar mundial. Sin embargo, esto revela una fuerte caída de las reservas de crudo, desde la perspectiva de las anunciadas en el pasado por Pemex y las propias autoridades gubernamentales durante varios lustros.

Cabe referir que en 1982 se informó que las reservas de crudo ascendían a 72 mil millones de barriles. Entre las explicaciones de la fuerte caída en las reservas están que las actuales reservas están certificadas por instituciones internacionales. Además, Pemex controla 41.4 billones de pies cúbicos de gas natural, de los cuales 34.4 millones de pies cúbicos están en forma asociada y el resto proviene de yacimientos de gas seco [8].

El sector energético en México vive una situación crítica que exige una discusión seria entre la sociedad civil, los empresarios, los partidos políticos y el gobierno. De las soluciones que se propongan a este problema depende en buena medida el futuro de México. Es importante conocer la situación actual del país en materia energética en un contexto diversificado.

De acuerdo a la Grafica 1.1, se puede observar los puestos que ocupan 14 países petroleros en el mundo, y que por desgracia México ocupa el último lugar con el menor de reservas de petróleo.

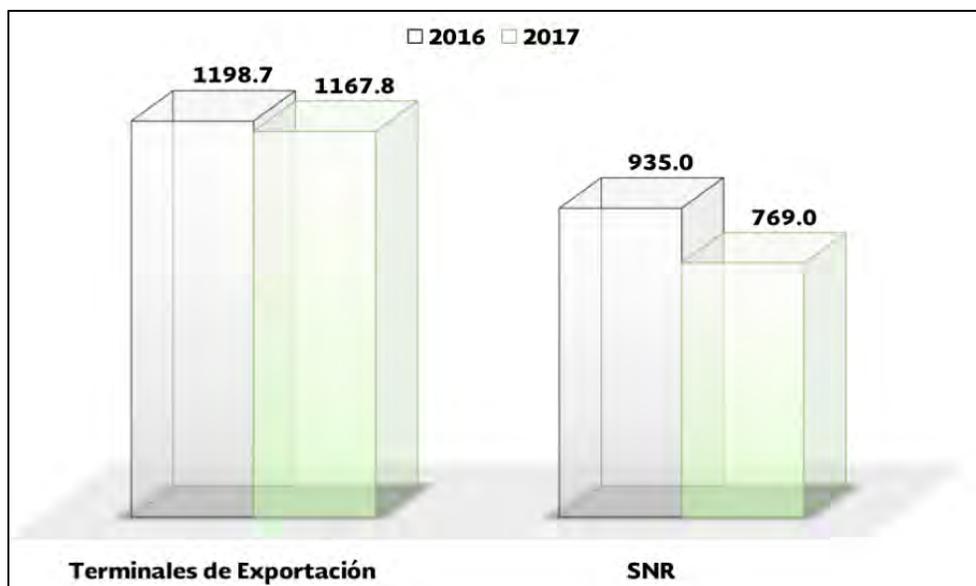


Grafica 1.1 Reservas probadas de petróleo en el mundo
Fuente: SENER con información del SIE, 2017.

En 2017, la producción de petróleo crudo fue de 1,948 miles de barriles diarios, cantidad 9.5% menor a la obtenida en 2016, debido principalmente a disminución en la perforación y terminación de pozos.

Este hecho ocasiono que la disponibilidad de petróleo para ser distribuido fuera menor respecto al año anterior. En 2017, el destino final de la producción fue de 39.7% para el Sistema Nacional de Refinación, 2.6% menos respecto al 2016 y 60.3% se envió a terminales de exportación, 17.8% menos respecto a 2016 [9].

En la siguiente gráfica se indica la diferencia en la que se redujo la disponibilidad del petróleo entre el año 2016 y 2017.



Grafica 1.2 Distribución de petróleo por destino, 2016-2017 (Miles de barriles de petróleo)
Fuente: SENER con información del SIE, 2017.

1.2.1 Petrolíferos

En 2017, la demanda total de petrolíferos fue de 1,543 mbd [9]; 0.4% menos respecto a 2016. El consumo por sector se distribuyó de la siguiente manera:

- 79.4% se destinó a las necesidades de consumo del sector transporte.
- 11% represento el consumo del sector eléctrico.
- 8.2% represento la demanda de petrolíferos en el sector industrial.
- 15% correspondió al sector petrolero.

En la Tabla 1.1 se puede observar los diferentes petrolíferos y la diferencia de barriles producidos entre el año 2016 y 2017 por cada sector.

Tabla 1.1 Demanda de petrolíferos por sector y combustible, 2016-2017

Petrolífero	Transporte		Eléctrico		Industrial		Petrolero	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Gasolinas	823.0	798.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.4
Diésel	349.9	344.0	11.2	11.9	26.3	28.8	10.3	7.5
Combustóleo	0.4	0.4	113.7	134.7	13.6	14.4	19.9	13.8
Turbosina	76.2	81.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Coque de Petróleo	0.0	0.0	20.3	22.5	82.8	83.2	0.0	0.0
Total	1249.5	1224.8	145.2	169.2	122.7	126.4	31.1	22.7

Fuente: Elaborado por SENER, IMP con información de ASA, CFE, CRE, Pemex, SE y empresas privadas, 2017.

1.2.2 Prospectiva de Energías Renovables.

Uno de los compromisos que México ha adoptado, es transitar a un modelo energético más sustentable y las energías renovables son parte fundamental de este nuevo modelo. En los últimos años, gracias al fuerte desarrollo de las energías renovables en todo el mundo y en México, se ha logrado la atracción de nuevas inversiones que, en el mediano y largo plazo, se verán reflejadas en el crecimiento de la economía.

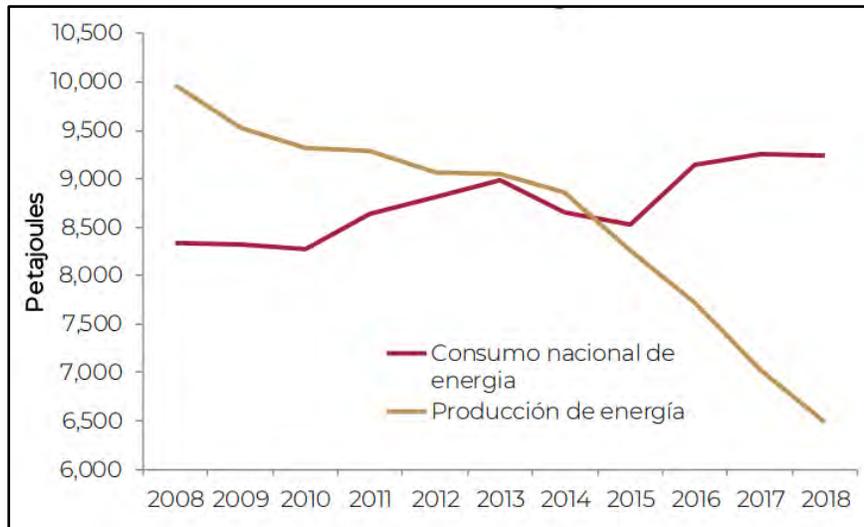
A nivel mundial, el crecimiento de la capacidad instalada con tecnologías renovables se incrementó sustancialmente en los últimos cinco años. Según lo reportado por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés), entre 2016 y 2017, se dio un incremento de 8.3% en la capacidad instalada de generación eléctrica con fuentes renovable.

Respecto a México, entre 2007 y 2017, los usuarios de electricidad se incrementaron a una tasa media anual de 2.5%, y registraron en el último año poco más de 42 millones de usuarios. Así mismo, el consumo bruto de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) creció, para el mismo periodo, a una tasa media de 2.6% para ubicarse en 309,727 GWh en 2017. En respuesta a estos incrementos, la generación eléctrica con energías renovables creció a una tasa de 4% [10].

La generación con energía hidroeléctrica se posicionó una vez más como la fuente renovable con mayor participación en la matriz de generación eléctrica, al registrar en 201, el 67.9% del total de participación de las energías renovables. En Segunda se encuentra la eólica con el 2.6% [10].

1.2.3 Independencia Energética

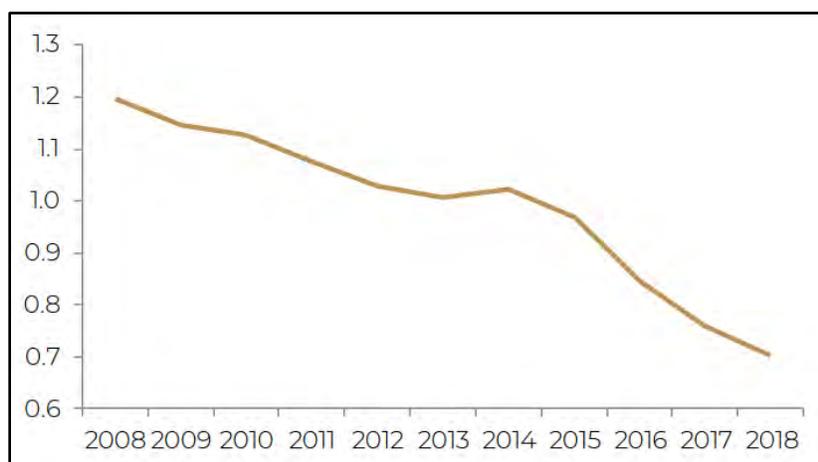
En el transcurso de 2018, el consumo de energía en México superó 29.8% a la producción de energía primaria, quedando así un consumo total de 9,236.86 PetaJoules. Por otro lado, hubo una disminución de 0.1% en el consumo y una producción de 7,027.22 (2018) PJ a 6484.84 (2019) PJ, dando origen a una disminución del 7.7% en la producción respecto al año anterior (Grafica 1.3) [11].



Grafica 1.3 Evolución de la producción y el consumo Nacional de Energía, 2018
Fuente: Sistema de Información Energética, SENER 2018.

Al cierre de 2018, México presentó un índice de independencia energética equivalente a 0.70 (Grafica 1.4). Es decir, se produjo 29.8% menos energía de la que se puso a disposición para las diversas actividades de consumo dentro del territorio nacional. Durante los últimos diez años, este indicador ha disminuido en promedio anual de 5.18% [11].

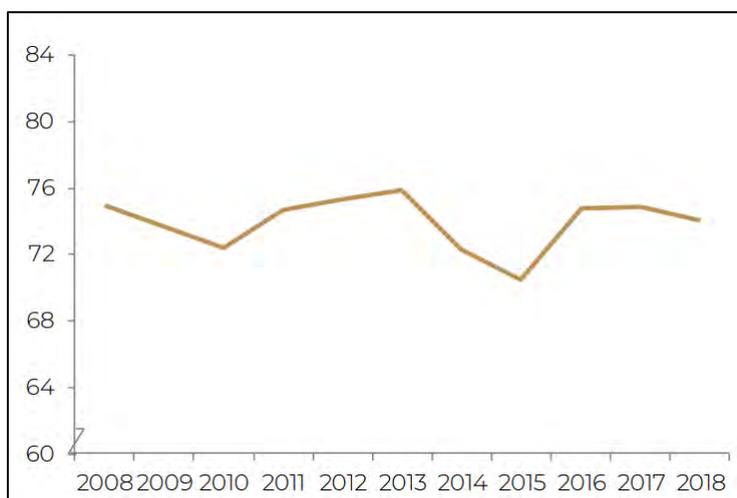
La independencia energética es el índice utilizado a nivel internacional para medir, de forma general, el grado en que un país puede cubrir su consumo de energía derivado de su producción; si es mayor a uno, el país se considera independiente de energía. Por ello, el 2018 es el cuarto año consecutivo en que México muestra dependencia de las importaciones de energía para satisfacer su demanda energética.



Grafica 1.4 Índice de independencia energética
Fuente: Sistema de Información Energética, SENER 2018.

1.2.4 Consumo de Energía per cápita.

El consumo de energía per cápita fue 74.05 GJ en 2018, un 1.1% menor al 2017. Por otro lado, la población nacional creció 1.0% entre 2017 y 2018, al pasar de 123.52 a 124.74 millones de habitantes. En los últimos diez años, el consumo de energía per cápita decreció 1.2% en promedio cada año (Gráfica 1.5) [11].



Gráfica 1.5 Consumo de energía per cápita (GJ por habitante)

Fuente: Elaborado por SENER con información de CONAPO e INEGI.

Por otra parte, el consumo de electricidad per cápita, aumento 5.9% respecto al año 2017, posicionándose en 2,228.10 kilowattshora (KWh). Lo anterior, puede deberse a diversos factores, entre los que se encuentra un incremento en la densidad poblacional de 1.0%, y un consumo generalizado de electricidad de 277,928.22 GWh, cuya participación incrementó a 6.9%, respecto al año anterior.

1.2.5 Producción de energía primaria.

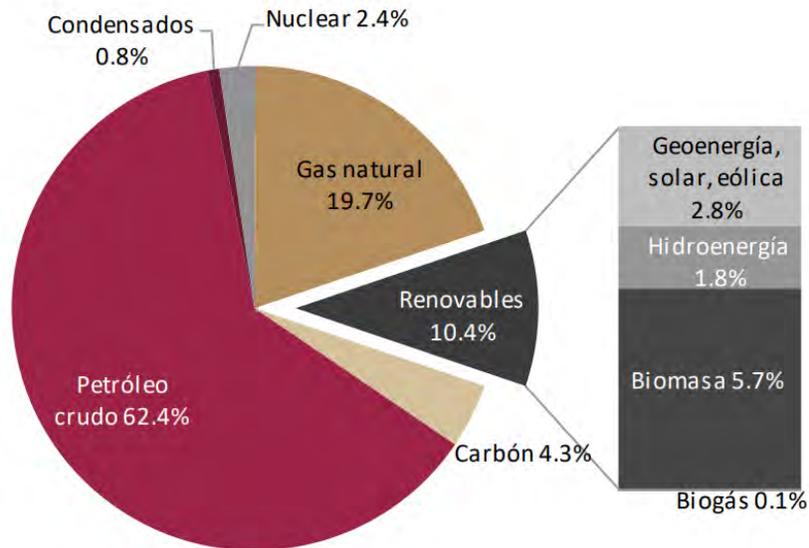
México es un país que figuraba históricamente como productor neto de energía, gracias al aprovechamiento de sus recursos energéticos primarios, especialmente de los hidrocarburos; sin embargo, de 2012 al 2018 la producción ha caído a un ritmo acelerado de 33.12%. En contraste con el año pasado, la producción de energía disminuyó 7.7%, lo que equivale a 6,484.84 PJ producidos durante 2018 (Tabla 1.2), cifra comparable con los niveles de producción de hace cuarenta años [11].

Tabla 1.2 Producción de energía primaria.

	2017	2018	Variación porcentual (%) 2018/2017	Estructura porcentual (%) 2018
Total	7,027.22	6,484.84	-7.72	100
Carbón	308.24	279.58	-9.30	4.31
Hidrocarburos	5,940.60	5,374.18	-9.53	82.87
Petróleo crudo	4,354.89	4,045.95	-7.09	62.39
Condensados	67.28	48.90	-27.32	0.75
Gas natural	1,518.43	1,279.33	-15.75	19.73
Nucleoenergía	113.22	156.00	37.79	2.41
Renovables ¹	665.16	675.08	1.49	10.41
Hidroenergía	114.65	116.95	2.00	1.80
Geoenergía	127.43	113.18	-11.18	1.75
Solar	15.16	23.98	58.21	0.37
Energía eólica	38.23	47.12	23.25	0.73
Biogás	2.52	2.84	12.86	0.04
Biomasa	367.18	371.01	1.04	5.72
Bagazo de caña	116.87	121.93	4.33	1.88
Leña	250.31	249.08	-0.49	3.84

Fuente: Sistema de Información Energética. SENER

La siguiente grafica indica el porcentaje de producción de Energía primaria en México.



Grafica 1.6 Estructura de la producción de energía primaria.

Fuente: Sistema de Información Energética. SENER.

1.2.6 Panorama energético de los aires acondicionados.

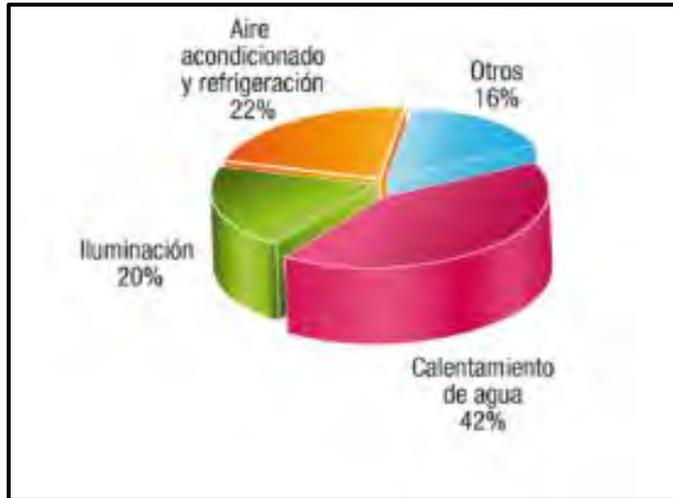
El mercado de refrigeración y aire acondicionado es un gran consumidor de energía eléctrica. Para entornos residenciales, pequeños comercios y edificios se comercializan sistemas de aire acondicionado de dos unidades denominados *minisplit* los cuales emplean refrigerantes conocidos como Clorofluorocarbonos (CFC) e Hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

Cada verano, el consumo de electricidad en México aumenta 30 %, conforme los hogares y negocios encienden sus equipos de aire acondicionado, asegura el reporte “*Impacto Energético de la Climatización en México y Estrategias de Mitigación*”, desarrollado por investigadores del Lawrence Berkeley National Laboratory (LNBL), la U.C. Berkeley y el Instituto de Energías Renovables de la UNAM para la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

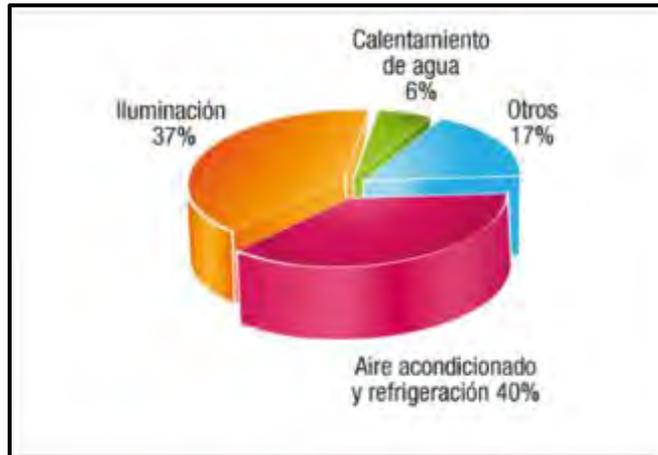
De acuerdo con el estudio, esto representó una demanda de 22.6 TWh en 2015, equivalente a 9 % de la electricidad generada dicho año, que en términos económicos significó un gasto de 77 billones de pesos. Cuando menos la mitad de este monto es absorbido por los subsidios gubernamentales, sostiene el estudio, haciendo que la climatización sea un asunto de principal importancia para la Secretaría de Hacienda y Crédito Público [12].

En el 2016, en México se tenían instalados 16 millones de unidades de aires acondicionados, y en ese mismo año el volumen de ventas fue de 2 millones de unidades. Se estima que el enfriamiento de espacios a nivel nacional representa aproximadamente 9.8% del uso total de la energía en edificios. En 2016 esto representó el consumo de 37 TWh que es más del doble de consumo del año 2000 (16 TWh) y cinco veces más que en 1990 (7 TWh). Para 2016, la Agencia Internacional de Energía (IEA) estima que la refrigeración de espacios representó alrededor del 10% de la demanda total de electricidad promediada en todos los países. Las proporciones más altas se registraron en los Estados Unidos, donde alcanzó el 16%, Medio Oriente (15%), México (14%) y Japón (10%) [13].

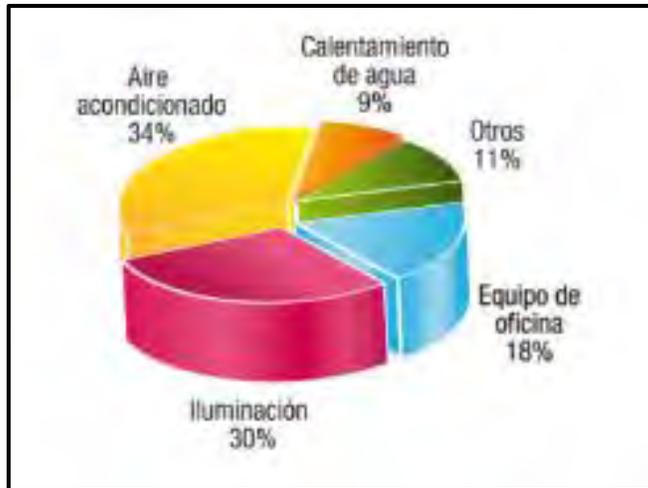
En las siguientes graficas se puede observar los diferentes consumos de energía en porcentajes para diferentes establecimientos determinados en México.



Grafica 1.7 Consumo de energía en edificios comerciales.
Fuente: Mundo HVACR (2017)



Grafica 1.8 Consumo de energía en hospitales
Fuente: Mundo HVACR (2017)



Gráfica 1.9 Consumo de energía en oficinas.
Fuente: Mundo HVACR (2017)



Gráfica 1.10 Consumo de energía en hoteles.
Fuente: Mundo HVACR (2017)

La eficiencia de los equipos de aire acondicionado tiene un gran impacto en este efecto, un análisis sugiere que una mejora del 30% en el rendimiento global para 2030 reduciría la carga máxima en una equivalencia a 710 centrales eléctricas de tamaño mediano. El impacto del enfriamiento de espacios en términos de emisiones totales de CO₂ aumenta en casi todos los países. El aumento global crece del 3% al 5% en 2050. Como parte del aumento en las emisiones globales, la refrigeración es responsable de alrededor del 18%. En México, la refrigeración representa más del 25% del aumento en las emisiones totales de CO₂, la mayor participación de cualquier país, lo que refleja el fuerte crecimiento de la demanda de refrigeración en relación con otros usos finales [13].

1.2.7 Equipos de refrigeración

El acondicionamiento de aire o climatización tiene como función principal la generación y el mantenimiento de un adecuado nivel de confort para los ocupantes de un ambiente cerrado o bien la garantía del mantenimiento de un conjunto de condiciones ambientales para el desarrollo de un proceso o actividad ambiental dentro de un recinto [14].

En cuanto a los aires acondicionados, se reconoce con ese nombre al equipo o maquinaria que se utiliza para la producción de frío o calor. Hay algunos equipos de aire acondicionado que se utilizan fundamentalmente para climatizar viviendas, pequeños locales comerciales, simples despachos, habitaciones individuales, etc.

Se trata de aparatos de fácil instalación y que no requieren una central de aire acondicionado. Se llaman equipos de pequeña potencia, ya que estos suelen estar comprendida, más o menos, entre 1 y 6 kW. Los equipos de mayor potencia se denominan de gama industrial o de gran potencia. Otra clasificación muy utilizada es: gama doméstica llamada también residencial y los de gama comercia-industrial [15].

1.2.8 Unidades autónomas

Una unidad autónoma es un equipo de tratamiento de aire, con producción propia de frío y calor y con todos los elementos necesarios para efectuar el tratamiento del aire. Las unidades autónomas pueden clasificarse según diversos criterios:

Según el medio de refrigerante del condensador:

- Equipos de condensación por aire
- Equipos de condensación por agua

Según su configuración

- Equipo compacto
- Equipo partido

Según el tipo

- Acondicionadores de ventana
- Consolas
- Equipos partidos
- Equipos portátiles

Acondicionador de ventana

La condensación se realiza en el exterior, es decir, mediante el aire exterior. El compresor es hermético y monofásico. Se utilizan para enfriar el aire de un local o habitación determinado. La gama de potencias con que se fabrica es, aproximadamente, entre 1 y 6 kW. El acondicionador de ventana convencional solo enfría el aire en verano y puede proporcionar calor en invierno mediante una resistencia eléctrica que puede llevar incorporada. Hay unidades que están preparadas para que el circuito de refrigeración trabaje de forma reversible y, entonces, dan frío en verano y calor en invierno, sin resistencia eléctrica; entonces el acondicionador se llama “*bomba de calor*”. En la Figura 1.5 se puede observar que tiene un diseño sencillo con unas ranuras para expulsar el calor.



Figura 1.3 Acondicionador "Bomba de calor"
Fuente: ar-storeshop.com

Consola condensada por aire

Se trata de un equipo muy similar al acondicionador de ventana, pero con una apariencia externa de consola como se observa en la Figura 1.6; ésta tiene un aspecto que permite integrar con mayor o menor fortuna en el conjunto de la habitación. Consta de dos partes diferenciadas, aunque no están separadas. La parte anterior que comprende el evaporador y el ventilador, y la parte posterior que comprende el compresor y el condensador. Las dos partes van unidas por las tuberías de fluido frigorífico y, mecánicamente, por tornillería. Se recomienda pos posibilidades de instalación: Posición vertical y posición horizontal.



Figura 1.4 Consola condensada por aire
Fuente: Catalogeneral.toshiba-aires.net.

Consola condensada por agua.

La novedad fundamental respecto a la consola de aire está en el condensador, que es refrigerado por agua. Debe de preverse una aportación de agua y dos salidas, una para el agua caliente y otra para el drenaje del agua condensada en el evaporador. Respecto al agua que llega a la unidad para refrigerar el condensador, deben adoptarse algunas precauciones: si es agua de la red debe controlarse la temperatura, porque puede ocurrir que este demasiado fría en ocasiones. Si es agua procedente de una torre de refrigeración, debe mantenerse su temperatura entre los 25 o 30 °C; esto se consigue con un termostato que controle el ventilador de la torre. Se puede observar en la figura 4 que el diseño es diferente a los mencionados anteriormente, siendo de esta manera casi completamente cerrado.



Figura 1.5 Consola condensada por agua.
Fuente: Trane.com

Equipo partido

Este equipo está compuesto por dos partes separadas, unidas por mangueras flexibles de corta longitud. La condensación se hace por aire, por lo que la unidad condensadora debe colocarse siempre en el exterior. Hay la variedad mural y la de techo o “Roof Top”. En la mural, el evaporador se pone en la pared, en la de techo, más para centros comerciales y gama industrial, el evaporador se pone en el techo. El condensador siempre en el exterior. Se puede observar en la figura 5, que su diseño es más simple, y a diferencia de los anteriores su forma es rectangular.



Figura 1.6 Acondicionador "Equipo partido" de gama residencial.
Fuente: Ciredeksa.cl

Capítulo II. Métodos de cálculo de cargas térmicas.

2.1 Metodologías de balance térmico.

Es importante conocer los conceptos de calor *sensible* y *latente*, puesto que éstos son las tipos de cargas térmicas que se pretenden calcular mediante los diferentes métodos de balance de calor.

De esta manera se puede clasificar las cargas térmicas, según su incidencia:

- Cargas térmicas sensibles: Son aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: Son aquellas que originan una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire).

El cálculo de las cargas térmicas de cualquier construcción es lo primordial para la simulación de energía. El balance térmico es usado para el cálculo. La carga térmica en el aire es dada por cargas internas, por las iluminaciones, los ocupantes y por los muros que han absorbido la radiación. Los métodos para el análisis de energía se clasifican en dinámicos y estáticos, (ASHRAE, 2009, p.19.3). Los dos métodos de balance térmico utilizan la transferencia por conducción, para conocer si se gana o se pierde calor, la principal diferencia entre los dos métodos es como calculan las subsecuentes transferencias de calor en los espacios.

El método de balance térmico para el cálculo de cargas, como se describe en la Guía de ASHRAE para la construcción “Cálculos de carga” (Pedersen et al. 2001, 2003). Su desarrollo se basa en la primera ley de la termodinámica (Conservación de la energía) y los principios de algebra matricial (ASHRAE, 2009, p. 19.5). Este método requiere menos suposiciones que el método de ponderación de factores, además es más flexible. Sin embargo, el método de balance de calor requiere más cálculos en cada punto en el proceso de simulación por lo que es necesario el uso de la computadora [16].

EL método de balance térmico permite conocer la carga térmica, es decir, el calor que ingresa o se pierde en el sistema, para calcular sobre la masa de aire en el espacio. Ese método en general contiene una ecuación de balance de calor para cada una de las superficies de la envolvente, además de una ecuación para el aire de la habitación, lo que permite conocer la temperatura del aire.

2.1.1 El modelo físico

El método para calcular la carga de enfriamiento del espacio consiste en utilizar ecuaciones de balance térmico para determinar la temperatura de las superficies interiores de la estructura del edificio al mismo tiempo y luego calcular la carga de enfriamiento sensible en el espacio, que es igual a la suma de la transferencia de calor por convección de estas superficies, las cargas de enfriamiento latentes y la carga de enfriamiento debido al aire infiltrado en el tiempo t . Considere una habitación típica con aire acondicionado. Consta principalmente de ventanas, techos y pisos. También hay luces eléctricas, y equipos. La transferencia de calor entre varias superficies tiene lugar bajo las siguientes suposiciones [17].

- Solo se considera el flujo de calor transitorio unidimensional a través de la envolvente del edificio.
- El aire de la habitación se mezcla perfectamente con el aire de suministro, de modo que la temperatura del aire de la habitación resultante es uniforme.
- Los materiales de la envolvente del edificio son homogéneos. La temperatura de la superficie, el coeficiente de transferencia de la superficie y la capacidad de absorción de cada superficie son valores uniformes. La reflectividad es muy pequeña y puede ser ignorada.
- La carga de refrigeración se calcula en función al valor medio de un intervalo de tiempo fijo, como 1 h.

2.1.2 Características del método de balance térmico.

El método de térmico es más directo y claro en la metodología de cálculo de carga. Al utilizar el método de balance de calor, no se requiere el supuesto de suposición lineal, y el cambio de ciertos parámetros, como el coeficiente de transferencia de calor por convección de la superficie, se puede modelar según sea necesario. Si se debe incluir la transferencia de humedad en el período de enfriamiento en el modo de apagado nocturno en un lugar donde el clima exterior es cálido y húmedo en verano, el método de balance de calor tendrá un resultado comparativamente más preciso. Sin embargo, el método de equilibrio térmico exige un trabajo laborioso, más tiempo de computación, programas informáticos complicados y usuarios experimentados. Solo las computadoras centrales costosas podían ejecutar programas de computadora que adoptaban la metodología de balance de calor en los años 70 y principios de los 80. El método de balance de calor se utiliza generalmente para fines de investigación y análisis.

2.1.3 Ecuaciones del balance térmico

Cualquier superficie interior de esta habitación con aire acondicionado puede recibir transferencia de calor por conducción en el tiempo t , denotado por $q_{i,t}$, Btu / h (W), del

material de construcción adyacente. Cada superficie interior recibe radiación solar de onda corta del vidrio de la ventana y la transferencia de calor por radiación de onda larga desde otras superficies interiores y desde las superficies de los accesorios de iluminación, electrodomésticos, equipos y ocupantes. La transferencia de calor por convección también está presente entre estas superficies interiores y el aire de la habitación. El balance de calor sensible en la superficie i (para $i = 1, 2, \dots, m$) en el tiempo t puede expresarse como:

$$q_{i,t} = [h_{ci}(T_{r,t} - T_{i,t}) + \sum_{j=1}^k h_{ij}(T_{j,t} - T_{i,t})]A_i + S_{ir,t} + L_{ir,t} + E_{ir,t} + O_{ir,t} \quad (2.1)$$

dónde:

h_{ci} = Coeficiente de transferencia de calor por convección de la superficie i , Btu / h.ft²°F, (W/ m².°C)

h_{ij} = Coeficiente de transferencia de calor radiactivo entre la superficie interior i y j , $i \neq j$, Btu / h.ft² °F, (W/ m².°C)

$T_{r,t}$ = Temperatura ambiente del aire en el tiempo t , °F (°C).

$T_{i,t}$ = Temperatura de la superficie i en el tiempo t , °F (°C).

$T_{j,t}$ = Temperatura de la superficie j en el tiempo t , °F (°C).

A_i = Área de la superficie i , ft² (m²).

$S_{ir,t}$ = Radiación solar transmitida a través del vidrio de la ventana y adsorbida por la superficie i en el momento t , Btu/h (W).

$L_{ir,t}$ = Energía radiactiva de las luces eléctricas adsorbida por la superficie i en el momento t , Btu/h (W).

$E_{ir,t}$ = Energía radiactiva del equipo adsorbida por la superficie i en el momento t , Btu/h(W).

$O_{ir,t}$ = Energía radiactiva de los ocupantes adsorbida por la superficie i en el momento t , Btu/h (W).

Debido a que el calor por conducción y el calor por radiación radiactivo en la ecuación 2.1 son funciones continuas del tiempo $f(t)$, la transferencia de calor por conducción en estado transitorio $q_{i,t}$, puede resolverse mediante ecuaciones diferenciales parciales utilizando soluciones numéricas (método de diferencia finita).

Por lo general, la temperatura del aire ambiente $T_{r,t}$ se considera constante, y la Ecuación 2.1 y las ecuaciones de la función de transferencia de conducción se pueden resolver simultáneamente para determinar las temperaturas de la superficie interior.

Entonces, la carga de enfriamiento sensible en el tiempo t , denotada por $Q_{rs, t}$, Btu / h (W), puede calcular como:

$$Q_{rs,t} = \sum_{i=1}^m h_{ci} (T_{i,t} + T_{r,t}) A_i + 60V_{if,t} \rho C_{pa} (T_{o,t} + T_{r,t}) + S_{c,t} + L_{c,t} + E_{c,i} + O_{c,t} \quad (2.2)$$

dónde:

$V_{if,t}$ = Caudal de volumen del aire infiltrado en el tiempo t , cfm [$m^3 / (60s)$]

ρ = Densidad del aire, lb/ft³ (kg/m³)

C_{pa} = Calor específico del aire húmedo, Btu/lb.°F (J/kg.°C)

$T_{o,t}$ = Temperatura del aire exterior en el momento t , °F (°C)

$S_{c,t}$ = Calor solar que entra por las ventanas y se transforma en el aire de la habitación en el momento t , Btu/h (W)

$L_{c,t}$ = Calor sensible de las luces eléctricas y se transforma en el aire de la habitación en el momento t , Btu/h (W)

$E_{c,t}$ = Calor sensible de los equipos y se transforma en el aire de la habitación en el momento t , Btu/h (W)

$O_{c,t}$ = Calor sensible de los ocupantes y se transforma en el aire de la habitación en el momento t , Btu/h (W)

Dado que las ganancias de calor latente se convierten instantáneamente en cargas de enfriamiento latentes, por lo tanto, la carga de enfriamiento del espacio latente en el tiempo t , o $Q_{rl,t}$, Btu / h (W), se puede calcular como:

$$Q_{rl,t} = q_{il,t} + 60V_{if} \rho (w_{o,t} - w_{r,t}) h_{fg} + E_{l,t} + O_{l,t} \quad (2.3)$$

dónde:

$q_{il,t}$ = Calor latente de la superficie interior i y se convierte en aire ambiente en el momento t , Btu/h (W)

$W_{o,t}$ = Relación de humedad del aire infiltrado en el tiempo t

$W_{r,t}$ = Relación de humedad del aire del cuarto en el tiempo t

$h_{f,g}$ = Calor latente de condensación en el tiempo t , Btu/lb (J/kg)

$E_{l,t}$ = Calor latente del equipamiento en el tiempo t , Btu/h (W)

$O_{l,t}$ = Calor latente de los ocupantes en el tiempo t , Btu/h (J/W)

Entonces, la carga de enfriamiento del espacio en el tiempo t , indicada por $Q_{rc,t}$, es:

$$Q_{rc,t} = q_{rs,t} + q_{rl,t} \quad (2.4)$$

2.2 Metodología función de transferencia (TFM)

El método de función de transferencia o factor de ponderación es una simplificación del método de balance de calor. La amplia aplicación del TFM se debe a la facilidad de uso de las entradas y las funciones del software del TFM y al ahorro de tiempo de cálculo. En el método de transferencia, las temperaturas de la superficie interior y la carga de enfriamiento del espacio se calcularon primero mediante el método de balance de calor exacto para muchas construcciones representativas. Luego se calcularon los coeficientes de función de transferencia (factores de pesaje) que convierten las ganancias de calor en cargas de refrigeración. Algunas veces, el coeficiente de la función de transferencia también se desarrolló a través de pruebas y experimentos.

El coeficiente de la función de transferencia de la habitación (factor de ponderación) se generó originalmente sobre la base de una configuración típica de una habitación de 15 ft x 15 ft x 10ft (4.5 m x 4.5 m x 3 m) y una exposición de 30 por ciento de vidrio a principios de los años setenta. A fines de la década de 1980, la introducción de 14 parámetros influyentes de la zona caracterizada por Sowell (1988) permite que el coeficiente de función de transferencia de sala adoptado se ajuste más al tipo de habitación que se va a utilizar. Hoy en día, TFM es el método de cálculo de carga asistido por computadora más ampliamente adoptado en las firmas de consultoría de HVAC&R.

2.2.1 Procedimiento de cálculo.

El cálculo de la carga de refrigeración del espacio utilizando el método de la función de transferencia consta de dos pasos:

- Primero, las ganancias de calor o la pérdida de calor de las paredes exteriores, techos y pisos se calculan utilizando factores de respuesta o coeficiente de función de transferencia de conducción; y las ganancias de calor solar e interno se calculan directamente para la hora programada.
- En segundo lugar, el coeficiente de la función de transferencia de la habitación o los factores de ponderación de ésta, se utilizan para convertir las ganancias de calor en cargas de refrigeración, o las pérdidas de calor en cargas de calefacción.

El TFM está limitado porque las cargas de enfriamiento calculadas dependen del valor del coeficiente de la función de transferencia, así como de las características del espacio y de la forma en que se varían de las utilizadas para generar el coeficiente de la función de transferencia. Además, TFM supone que la carga de enfriamiento total puede calcularse simplemente agregando los componentes individuales, el principio de superposición. Sin embargo, esta suposición puede causar algunos errores.

Capítulo III. Método de balance térmico

3.1 Condiciones del proyecto.

Las condiciones del proyecto se refieren a datos que serán constantes o fijos durante el desarrollo de éste.

Entre estos datos destacan los siguientes:

3.1.1 Localidad.

Lugar geográfico que cuenta con condiciones de temperatura y humedad.

3.1.2 Edificio.

Localización exacta del edificio de estudio (dirección, coordenadas).

3.1.3 Parámetros de diseño.

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas térmicas, es necesario determinar las condiciones de diseño del edificio. Éstas se clasifican de la siguiente manera:

- **Condiciones exteriores de diseño**

Las temperaturas de diseño exterior varían de acuerdo con la localización y orientación del edificio, y por consiguiente, las paredes, ventanas y techumbre del mismo.

- **Condiciones interiores de diseño:** Es necesario fijar determinados valores de temperatura y humedad relativa, para mantener las condiciones de confort en el interior del edificio. Como se puede observar en la Tabla 3.1, los valores de temperatura y humedad relativa para una condición de confort se encuentran en 25 °C y 50% respectivamente (De acuerdo a la ASHRAE).

Tabla 3.1 Condiciones interiores de temperatura y humedad relativa recomendados para una mejor zona de confort.

Condiciones		Situación
Temperatura seca (°C)	Humedad relativa (%)	
20	60	Fuera de la zona de confort: Frio
25	50	Zona de confort
30	40	Fuera de la zona de confort: Caluroso

Fuente: Miranda, A.L 2008.

3.1.4 Consideraciones de la construcción.

Para llevar a cabo el balance térmico en el edificio es muy importante conocer los materiales que componen a éste. Los materiales deben de contar con las mejores condiciones de diseño para que las ganancias de calor sean lo más mínimo posible.

Los muros típicos de los edificios comúnmente están conformados de la siguiente manera: mortero, block, mortero. En la Figura 3.1 que se muestra a continuación, se aprecia de manera gráfica la composición de los muros típicos de los edificios de esta zona.

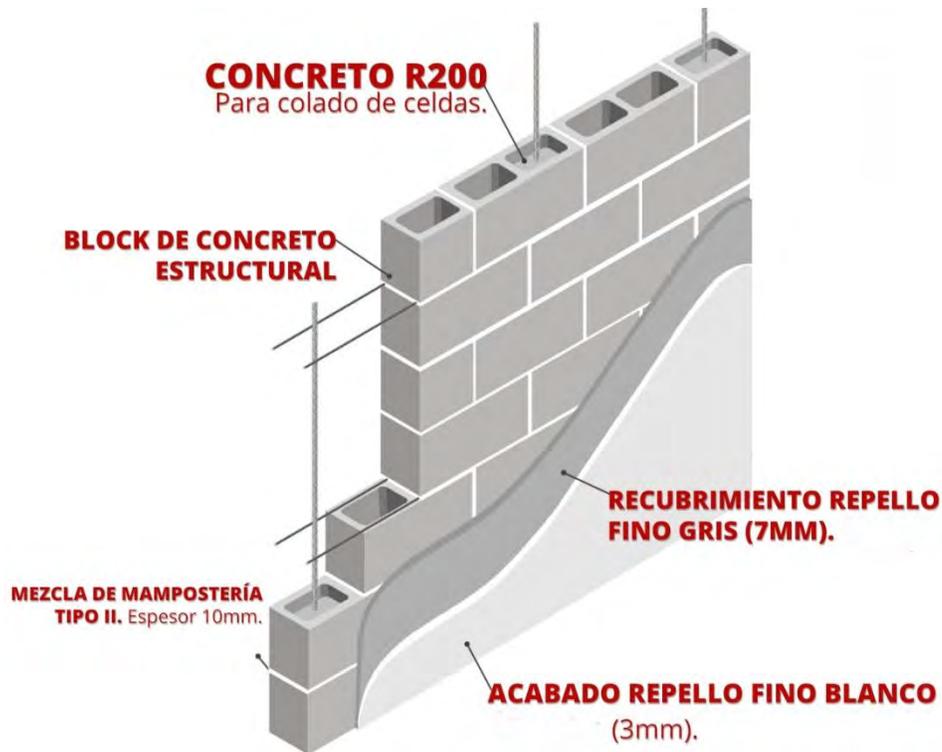


Figura 3.1 Representación gráfica de un muro o pared de concreto.

Fuente: Prelosa.com

3.2 NOM-020-2011

La Norma Oficial Mexicana fue elaborada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), con la colaboración de diferentes organismos, instituciones y empresas. Fue publicado por el Diario Oficial de la Federación el 5 de agosto del 2011 [18].

Esta Norma Oficial Mexicana tiene como objetivo limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

Esta Norma Oficial Mexicana aplica a todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los edificios para uso habitacional existentes.

Si el uso de un edificio dentro del campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana, constituye el 90 por ciento o más del área construida, esta Norma Oficial Mexicana aplica a la totalidad del edificio.

3.2.1 *Calculo de las ganancias de calor a través de la envolvente.*

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, se determina de acuerdo a la NOM-020-ENER-2011 como la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps} \quad (3.1)$$

en donde:

ϕ_p : es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, en W.

ϕ_{pc} : es la ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en W.

ϕ_{ps} : es la ganancia de calor por radiación solar a través de las partes transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en W.

3.2.1.1 *Ganancia de calor por conducción.*

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, y utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{pc} = \sum_{i=1}^6 \phi_{pci} \quad (3.2)$$

dónde:

i : son las diferentes orientaciones. 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste y 6 es superficie inferior.

Es importante mencionar, que cualquier porción de la envolvente con colindancia con la tierra se considera que tiene una ganancia de calor de cero. Sin embargo, si el edificio proyectado tiene ganancia de calor a través del piso, éste debe considerarse como una superficie inferior, y su ganancia de calor debe sumarse a la del resto de la envolvente. Un ejemplo típico es un edificio cuyo estacionamiento ocupa los primeros pisos. La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{pci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (t_{ei} - t)] \quad (3.3)$$

dónde:

ϕ_{pci} : es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i , en W.

j : son las diferentes porciones que conforman la parte de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente global de transferencia de calor.

K_j : es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción

A_{ij} : es el Área de la porción j con orientación i , en m^2 .

t_{ei} : es el valor de la temperatura equivalente promedio para la orientación i , determinada según la Tabla A.1 del Apéndice A, en $^{\circ}C$.

t : es el valor de la temperatura interior del edificio, que se considera igual a $25^{\circ}C$.

3.2.1.2 Ganancia de calor por radiación.

Es la suma de la ganancia por radiación solar a través de cada una de las partes transparentes, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{ps} = \sum_{i=5}^5 \phi_{psi} \quad (3.4)$$

en donde:

i : son las diferentes orientaciones. 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste.

La ganancia de calor por radiación solar a través de la componente con orientación i , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{pci} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_i \times SE_{ij}] \quad (3.5)$$

dónde:

ϕ_{psi} : es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en W.

j : son las diferentes porciones transparentes que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente de sombreado, un factor de ganancia de calor solar y un factor de corrección por sombreado exterior.

A_{ij} : es el área de la porción transparente j con orientación i , en m^2 .

CS_j : es el coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, según la especificación del fabricante, con valor adimensional entre cero y uno.

FG_i : es la ganancia de calor solar por orientación en W/m^2 .

SE_{ij} : es el factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente

3.3 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor (K) en la envolvente.

Los valores del coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente proyectada, se determinarán de acuerdo al método de cálculo establecido en el Apéndice B.

3.4 Orientación.

Debido a que la ganancia de calor a través de las paredes varía con la orientación, se establecen las siguientes convenciones:

Norte: cuyo plano normal está orientado desde 45° al oeste y menos de 45° al este del norte verdadero.

Este: cuyo plano normal está orientado desde 45° al norte y menos de 45° al sur del este verdadero.

Sur: cuyo plano normal está orientado desde 45° al este y menos de 45° al oeste del sur verdadero.

Oeste: cuyo plano normal está orientado desde 45° al sur y menos de 45° al norte del oeste verdadero.

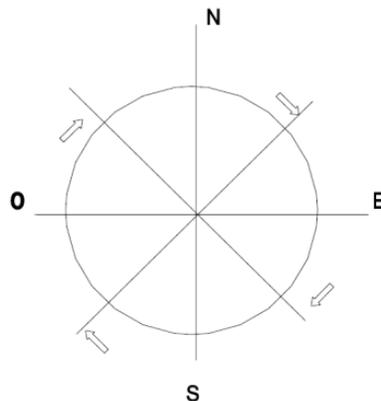


Figura 3.2 Orientación para las paredes y muros.

Fuente: Secretaría de Energía, 2001.

3.5 Cálculo de las ganancias de calor internas.

La NOM-008-ENER-2001 está limitada únicamente al cálculo de las ganancias de calor a través de la envolvente, para determinar estas cargas se aplicará la metodología descrita por Miranda, A.L. (2004), el cual hace referencia a las ganancias de calor que se generan en el interior del edificio. Estas ganancias de calor se derivan en las siguientes partidas:

Carga sensible

- Calor sensible debido al aire de infiltraciones.
- Calor sensible generado por las personas que ocupan el local.
- Calor sensible generado por la iluminación del local.
- Calor sensible generado por máquinas en el interior del local.
- Calor sensible debido a la ventilación del local.

Carga latente

- Calor latente debido al aire de infiltraciones.
- Calor latente generado por las personas que ocupan el local.
- Calor latente debido a la ventilación del local.

3.5.1 Cálculo de calor sensible.

Las partidas que integran las ganancias de calor sensible se calculan de la siguiente manera:

3.5.1.1 Calor sensible debido al aire de infiltraciones.

El local que se pretende acondicionar debe estar exento de entradas de aire caliente del exterior. Sin embargo, cuando se abren las puertas o ventanas, o bien a través de las fisuras, es inevitable que algo de aire exterior entre en el local.

Para valorar la cantidad de aire que entra por las puertas puede utilizarse la Tabla 3.2, considerando que el dato obtenido en esta tabla es por puerta y por persona.

Tabla 3.2 Aire de infiltraciones por metros cúbicos por hora (m³/h, por persona y por puerta.)

Tipo de local	Volumen V_i en m ³ /h por personas y puerta	
	Sin vestíbulo	Con vestíbulo
Bancos	13.5	10.2
Peluquerías	8.5	6.5
Bares	12	9
Estancos	51	38
Pequeños comercios	13.6	10.2
Tienda de confecciones	4.3	3.2
Farmacias	11.9	9
Habitación hospital	6	4.4
Sala de té	8.5	6.5
Restaurantes	4.3	3.2
Comercio en general	6	4.4

Fuente: Miranda, A.L (2004).

Una vez calculado el valor del caudal total de infiltraciones, V_i , que es igual a:

$$V_i = \text{Valor de la Tabla 3.2} \times \text{número de personas} \times \text{número de puertas} \quad (3.6)$$

Aplicamos la fórmula:

$$Q_{SI} = 0.34V_i\Delta T \quad (3.7)$$

dónde:

V_i : Volumen de infiltración en m³/h.

ΔT : Salto térmico en °C.

Q_{SI} : Calor sensible debido a las infiltraciones; viene dado en W.

En el SI, la fórmula sería:

$$Q_{SI} = m_i C_{pm} \Delta T = \rho V_i C_{pm} \Delta T \quad (3.8)$$

Siendo:

m_i : El caudal másico.

C_{pm} : El calor específico del aire.

V_i : El caudal volumétrico.

ρ : La densidad del aire.

Aceptando valores medios

$$Q_{SI} = 1.2 \times (V_i / 3600) \times 1.025 \Delta T \cong 0.34 V_i \Delta T \quad (3.9)$$

Que es la fórmula anterior, con V_i en m^3/h . El C_{pm} del aire es 1.025 J/kg K.

3.5.1.2 Calor sensible generado por personas que ocupan el local.

Las personas que ocupan el recinto generan calor sensible y calor latente debido a la actividad que realizan, y a que su temperatura (aproximadamente 37°C) es mayor que la que debe mantenerse en el local (25°C). Cuando se habla de las personas que ocupan el local, se hace referencia al número medio de personas que lo ocupan, no a las personas que pueda haber en un instante determinado.

En la Tabla 3.3 se muestra la información que se necesita, según la temperatura del local y el tipo de actividad que realicen las personas del local.

El valor obtenido en la Tabla 3.3, bastará multiplicarlo por el número de personas del local. Esta partida se denomina Q_{SP} .

$$Q_{SP} = \text{Valor de la Tabla 3.3} \times \text{numero de personas} \quad (3.10)$$

Tabla 3.3 Calor emitido por las personas en Watts (W).

Cuadro de actividad	28 °C		27 °C		26 °C		24 °C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en Reposo	52	53	58	47	64	41	70	30
Sentado trabajo ligero	52	64	58	58	64	52	70	47
Oficinista actividad moderada	52	81	58	76	64	70	70	58
Persona de pie	52	81	58	87	64	81	76	70
Persona que pasea	52	93	58	87	64	81	76	70
Trabajo sedentario	58	105	64	99	70	93	81	81
Trabajo ligero taller	58	163	64	157	70	151	87	134
Persona que camina	64	186	70	180	81	169	99	151
Persona que baila	81	215	87	204	99	198	110	180
Persona en trabajo penoso	134	291	140	291	145	285	151	268

Fuente: Miranda, A.L (2004).

3.5.1.3 Calor generado por la iluminación del local.

La iluminación también produce calor que hay que considerar. Si la iluminación es incandescente, se toma directamente la potencia eléctrica de iluminación, I , en W.

Si la iluminación es fluorescente, además hay que multiplicar por el factor 1.25.

Llamaremos Q_{SIL} a esta partida; así pues:

$$\text{a) Incandescente:} \quad Q_{SIL} = I \quad (3.11)$$

$$\text{b) Fluorescente:} \quad Q_{SIL} = 1.25 I \quad (3.12)$$

3.5.1.4 Calor sensible generado por máquinas y/o equipos electrodomésticos.

En la mayor parte de climatizaciones de viviendas, oficinas o locales similares no se encuentran éstas partidas. Esta partida se denomina Q_{SM} .

En el caso que hubiese una máquina, ésta partida se calcula a partir de la potencia nominal de la máquina, en W, multiplicada por $1-\eta$, siendo η el rendimiento de la máquina en tanto por uno. Si la máquina se refrigera con agua que entra y sale del recinto esta partida se ignora.

Así, una vez determinado el calor generado por cada máquina y/o equipos electrodomésticos, basta con multiplicarlo por el número de aparatos.

3.5.1.5 Calor sensible producido por el aire de ventilación

La cantidad de aire exterior que se utiliza en la mezcla, se llama *aire de ventilación* y es el estrictamente necesario para producir una renovación conveniente del aire del local.

Es posible extraer el aire de un local, enfriarlo y volver a introducirlo en el mismo (Figura 3.3); de hecho, algunos aparatos de aire acondicionado funcionan así. Sin embargo, cuando en el local existen fuentes de mal olor, como son fumadores, olores corporales, etc., el aire siempre es el mismo (aire viciado), aunque lo estemos enfriando. Por lo tanto, no habrá sensación de confort, y no será debido a la temperatura, sino al aire mismo, que provocará mal olor e irritación de ojos dentro del recinto.

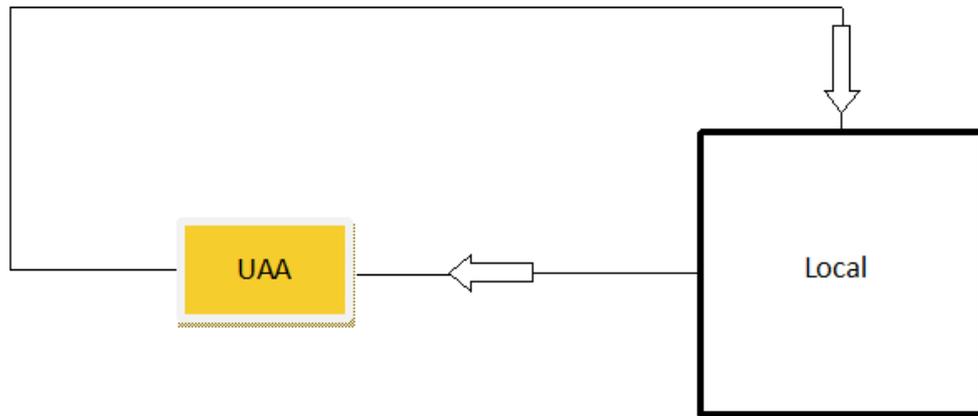


Figura 3 Representación esquemática de una instalación que utiliza solo aire del local.
Fuente: Merlin Euan, Noé 2013 [19].

Otra posibilidad es no emplear aire del local (Figura 3.4), sino únicamente aire exterior. Este sistema no presenta los inconvenientes del primero, sin embargo, la máquina debe enfriar aire exterior que está muy caliente y, por lo tanto, emplea mucha energía en el proceso.

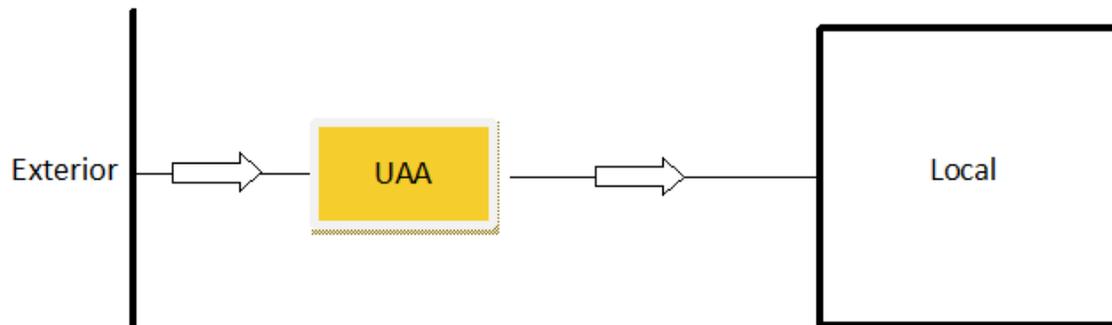


Figura 3.4 Representación esquemática de una instalación que utiliza solo aire del exterior.
Fuente: Merlin Euan, Noé, 2013 [19].

La tercera posibilidad (Figura 3.5) es mezclar aire del exterior con aire procedente del local; este método es el más adecuado porque reúne las ventajas de los dos anteriores y ninguno de los inconvenientes.

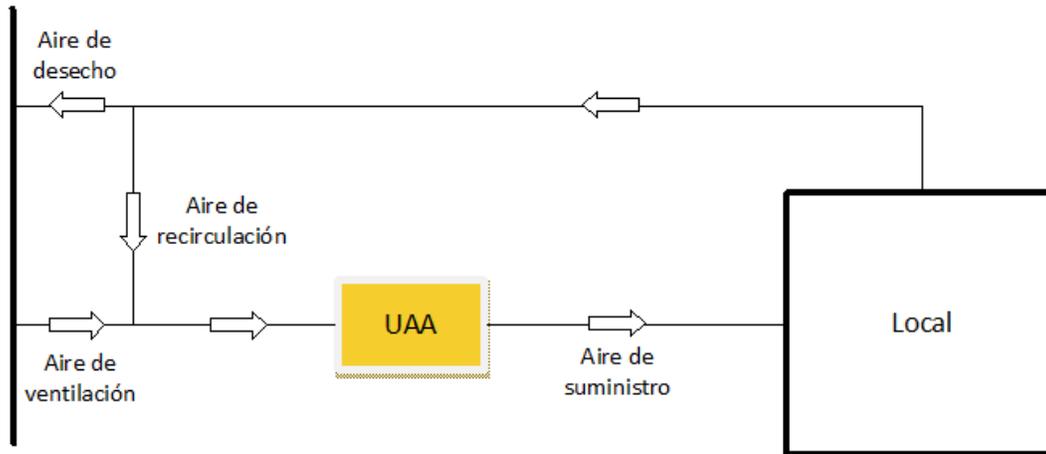


Figura 3.5 Representación esquemática de una instalación que mezcla aire del exterior con el aire del local.
Fuente: Merlín Euan, Noé, 2013 [19].

La cantidad de aire exterior que se utiliza en la mezcla, se llama *aire de ventilación* y es el estrictamente necesario para producir una renovación conveniente del aire del local.

En la Tabla 3.4 se presentan los valores usuales que se utilizan, como valor mínimo y valor aconsejado, en m³/h por persona. Basta multiplicar por el número de personas para tener el caudal de aire de ventilación.

Ésta partida se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{SV} = 0.34fVv\Delta T \quad (3.13)$$

V_v : Es el caudal de volumétrico de ventilación, tomado de la Tabla 3.4, en m³/h.

ΔT : Salto térmico en °C.

Q_{SV} : Calor sensible debido a la ventilación; viene dado en W.

f : Es un coeficiente de la batería de enfriamiento, denominado "*factor de by-pass*". Miranda (2004) recomienda considerar este valor igual a 0.3.

Tabla 3.4 Aire de ventilación en metros cúbicos por hora (m³/h), por persona y por puerta. Ventilación mínima y ocupación máxima estimada en diversos locales.

Tipo de local		Ocupación Personas/m ²	Caudal mínimo [m ³ /h/persona]	Caudal mínimo [m ³ /h/m ²]
Restaurantes y locales de ocio	Comedor	0.75	34	*
	Cafetería	1.1	34	*
	Bar/Pub	1.1	51	*
	Cocina	0.22	25	*
	Disco	1.08	42	*
Oficinas	Oficina	0.08	34	*
	Recepción	0.65	25	*
	Sala Conferencia	0.54	43	*
Grandes Almacenes	Planta Baja	0.32	*	5.5
	Plantas Superiores	0.22	*	3.7
Teatro	Recepción	1.6	34	*
	Auditorio	1.6	25	*
Zonas Deportivas	Zona deportiva	0.75	42	*
Centros Docentes	Aulas	0.54	25	*
	Biblioteca	0.22	25	*
Hoteles	Habitaciones	*	50/habitación	*
	Recepciones	0.32	25	*

Fuente: Miranda, A.L (2004).

3.5.2 *Calculo de calor latente*

Las ganancias de calor latente se calculan de la siguiente manera:

3.5.2.1 *Calor latente debido al aire por infiltraciones*

Con el mismo caudal de infiltraciones, V_i , obtenido a partir de la Tabla 3.2, se aplica la siguiente fórmula:

$$Q_{LI} = 0.83V_i\Delta W \quad (3.14)$$

V_i : Caudal de infiltraciones, en m³/h.

Q_{LI} : Calor latente de infiltraciones, en W.

ΔW : Diferencia de las humedades absolutas, en g/kg de aire seco, del aire exterior del local menos la del interior del local. Estas humedades absolutas se obtienen mediante una carta psicométrico.

En el SI, la fórmula sería:

$$QLI = miLm \Delta W = \rho ViLm \Delta T \quad (3.15)$$

dónde:

mi : El caudal másico.

ρ : La densidad del aire.

Vi : El caudal volumétrico.

Lm : El calor latente medio.

ΔW : La diferencia de humedades en g/kg de aire seco.

Tomando valores medios:

$$Q_{LI} = (1.2 V) / 3600 \times (2'478,000 \Delta W) / 1000 = 0.83 V_i \Delta W \quad (3.16)$$

que la fórmula anterior, con V_i en m³/h y ΔW en g de agua/kg de aire seco.

3.5.2.2 Calor latente generado por las personas que ocupan el local.

En la Tabla 3.3 aparece el dato del calor latente generado por persona, el cual se multiplicara por el número de personas. Esta partida se denomina Q_{LP} , en W.

$$Q_{LP} = \text{Valor de la Tabla 3.3} \times \text{número de personas} \quad (3.17)$$

3.5.2.3 Calor latente producido por el aire de ventilación

Ésta partida se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{LV} = 0.83 f V_v \Delta W \quad (3.18)$$

dónde:

V_v : Caudal de ventilación, tomado de la Tabla 6, en m³/h.

Q_{LV} : Calor latente de ventilación en W.

ΔW : Diferencia de las humedades absolutas, en g/kg de aire seco, del aire exterior del local menos la del interior del local. Estas humedades absolutas se obtienen mediante una carta psicométrico.

f : Es un coeficiente de la batería de enfriamiento, denominado “factor de by-pass”. Miranda (2004) recomienda considerar este valor igual a 0.3.

3.6 Calculo de cargas totales

3.6.1 Carga sensible efectiva parcial y latente efectiva parcial

De todo lo anterior, se deriva que:

La carga sensible efectiva parcial, Q_{SEP} , será:

$$Q_{SEP} = \phi pc + \phi ps + Q_{SI} + Q_{SP} + Q_{SIL} + Q_{SM} + Q_{SV} \quad (3.19)$$

La carga latente efectiva parcial, Q_{LEP} , será:

$$Q_{LEP} = Q_{LI} + Q_{LP} + Q_{LV} \quad (3.20)$$

Se denomina *parcial* porque no se considera ningún factor de seguridad aumentativo.

3.6.2 Carga sensible efectiva total y latente efectiva total.

Son las anteriores parciales, aumentadas en un tanto por cierto de seguridad, con el fin de asegurarse de haber calculado todas las posibilidades de producción e ingreso de calor al local. Es preferible calcular la carga térmica, ligeramente por exceso que por defecto.

Usualmente se considera entre un 5 y 10% de aumento. Si consideramos un 10%, se tiene:

$$Q_{SE} = Q_{SEP} + (0.10 \cdot Q_{SEP}) = 1.1 \cdot Q_{SEP} \quad (3.21)$$

$$Q_{LE} = Q_{LEP} + (0.10 \cdot Q_{LEP}) = 1.1 \cdot Q_{LEP} \quad (3.22)$$

Capítulo IV. Calculo de las ganancias de calor de las Villas universitarias UQROO

4.1 Datos generales

En este capítulo, se representan las referencias de la localidad y el edificio a estudiar. Las condiciones exteriores del lugar en donde se encuentra el edificio como la temperatura promedio máxima del exterior y la Humedad relativa fueron consideradas de acuerdo a la *CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)* [20](Anexo 2) y la página meteorológica *Weather Atlas* [21] respectivamente.

La temperatura promedio máxima anual de la localidad es de 32.5 °C y una H.R de 77.5%.

Localidad: Chetumal	Código postal: 77019	Latitud: 18°31'29.2"N
Municipio: Othón P. Blanco	Tipo de local: Residencia	Longitud: 88°16'23.7"W
Estado: Quintana Roo		Altitud: 11 m
Colonia: Del bosque		

Edificio: Villas universitarias UQROO

Dirección: Av. Universidad entre cruce con calle Cedro.

Temperatura exterior: 32.5 °C	Diferencias de temperatura: 7.5 °C
Temperatura interior: 25 °C	Humedad absoluta exterior: 23.7
Humedad Relativa exterior: 77.5%	Humedad absoluta interior: 10 g _a /kg _a
Humedad Relativa interior: 50 %	Diferencias de humedades abs: 13.7

La Figura 4.1 representa la orientación de las Villas Universitarias. Como se puede observar, la orientación de los muros se encuentra dentro del rango tal como se mostró en la Figura 3.2 del capítulo anterior. De tal manera que, la orientación de cada muro queda de la siguiente manera: 1. Norte; 2. Este; 3. Sur; 4. Oeste

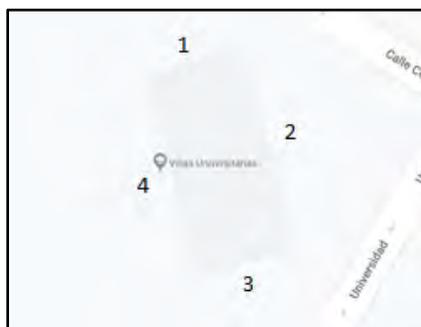


Figura 4.1 Orientación de los muros de las Villas Universitarias UQROO
Fuente: Google Maps, 2019.

Las siguientes Figuras representan un modelo 3D del edificio de las villas Universitarias UQROO.

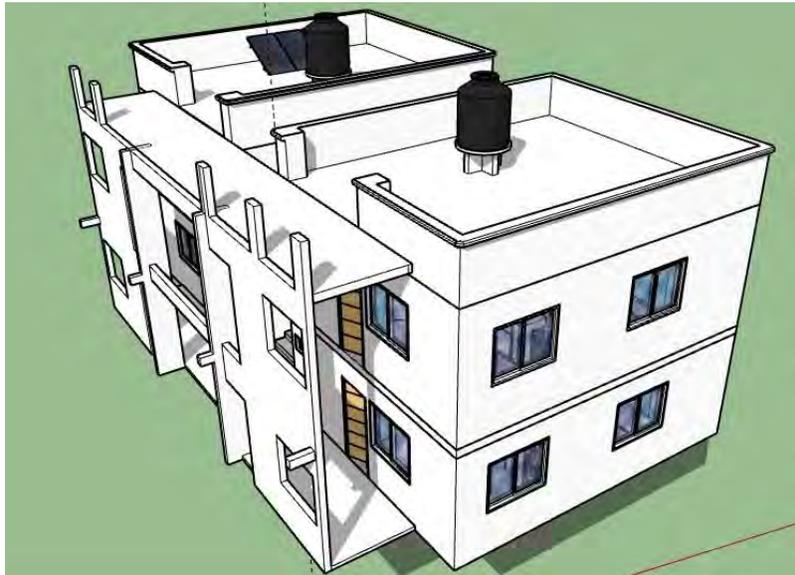


Figura 4.2 Modelo 3D de las Villas Universitarias UQROO (vista lateral derecha).
Fuente: Elaborado por Santos Itza Mariel; Guzmán Virgen Cecilia, 2015.



Figura 4.3 Modelo 3D de las Villas Universitarias UQROO (vista frontal).
Fuente: Elaborado por Santos Itza Mariel; Guzman Virgen Cecilia, 2015.



Figura 4.4 Modelo 3D de las Villas Universitarias UQROO (vista posterior).
Fuente: Elaborado por Santos Itza Mariel; Guzmán Virgen Cecilia, 2015.

4.2 Cálculo de las ganancias de calor sensible.

Para calcular las ganancias de calor a través de la envolvente se utilizan las ecuaciones planteadas en la NOM-020-Ener-2011. Es importante considerar las dimensiones de cada uno de las paredes del edificio, ya que a partir de estos datos se obtienen las áreas de éstas, los cuales serán de utilidad para llevar a cabo los cálculos. Los planos del edificio de estudio se muestran en el Anexo 1.

4.2.1 Calor sensible por conducción y radiación a través de la envolvente.

4.2.1.1 Ganancia de calor sensible por conducción.

Las ganancias de calor sensible por conducción se determinan mediante la ecuación 3.3 para cada uno de los muros del edificio en orientación i .

Las temperaturas del exterior se consideraron de acuerdo a la Tabla A.1 del Apéndice A en el cual se muestra la ganancia de calor promedio para cada muro de acuerdo a su orientación. Para el caso de los muros orientados en dirección oeste, se consideró una temperatura de 30.5 °C (medido por medio de un termo-higrómetro) debido a que en ésta parte del edificio se encuentra un muro a la altura del mismo, por lo que el sol no incide directamente en los muros. Así mismo, esta temperatura también se consideró para aquellos muros que colindan con la escalera del edificio que pasa a través de éste debido a que es un espacio abierto en el cual la radiación solar tampoco incide directamente. Para el interior de la residencia se consideró una temperatura de 25 °C.

Para la superficie que colinda entre la planta alta y baja, es decir, la superficie inferior de planta alta y que a su vez es la superficie superior (techo) de la planta baja, no se considera ya que ambos espacios estarán climatizados.

Para todos los muros que se encuentran orientados hacia el Este, se consideró únicamente 3 capas en su composición, ya que en la parte externa se limita hasta el concreto descubierto (Block hueco) con detalles amorfos diseñados con un fin estético, quedando de la siguiente manera; pintura vinílica interna, mortero interno y el block de concreto.

A continuación, las Tablas 4.1 a 4.4 muestran los cálculos de las ganancias de calor por conducción por cada espacio del edificio.

Tabla 4.1 Calor sensible debido a la conducción a través de la envolvente de la habitación 1 (Planta baja).

Envolvente	Área (m ²)	Coefficiente global de transferencia K (W/m ² K)	ΔT (°C)	φ _{PC} (W)
Muro norte	20.88	2.42	6	302.71
Muro este	18.41	2.62	9	433.44
Muro oeste	18.41	2.42	5.5	244.67
Muro sur	20.88	2.42	5.5	277.49
Ventana Norte 1	1.8	4.90	2	17.64
Ventana Norte 2	1.8	4.90	2	17.64
Ventana Este 1	1.38	4.90	3	20.29
Ventana Este 2	1.38	4.90	3	20.29
Ventana Oeste	0.54	4.90	5.5	14.55
Puerta de madera Oeste	1.8	2.62	5.5	25.9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2 Calor sensible debido a la conducción a través de la envolvente de la habitación 2 (Planta baja).

Envolvente	Área (m ²)	Coefficiente global de transferencia K (W/m ² K)	ΔT (°C)	φ _{PC} (W)
Muro norte	20.88	2.42	5.5	277.49
Muro este	18.41	2.62	9	433.44
Muro oeste	18.41	2.42	5.5	244.67
Muro sur	20.88	2.42	7	353.17
Ventana Este 1	1.8	4.90	3	26.46
Ventana Este 2	1.8	4.90	3	26.46
Ventana Sur 1	1.38	4.90	4	27.05
Ventana Sur 2	1.38	4.90	4	27.05
Ventana Oeste	0.54	4.90	5.5	14.55
Puerta de madera Oeste	1.8	2.62	5.5	25.9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3 Calor sensible debido a la conducción a través de la envolvente de la habitación 1 (Planta alta).

Envolvente	Área (m ²)	Coefficiente global de transferencia K (W/m ² K)	ΔT (°C)	φ _{PC} (W)
Muro norte	20.88	2.42	6	302.72
Muro este	18.41	2.62	9	433.44
Muro oeste	18.41	2.42	5.5	244.67
Muro sur	20.88	2.42	5.5	277.49
Ventana Norte 1	1.8	4.90	2	17.64
Ventana Norte 2	1.8	4.90	2	17.64
Ventana Este 1	1.38	4.90	3	20.29
Ventana Este 2	1.38	4.90	3	20.29

Ventana Oeste	0.54	4.90	5.5	14.55
Puerta de madera Oeste	1.8	2.62	5.5	25.9
Techo	47.62	1.82	20	1731.9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4 Calor sensible debido a la conducción a través de la envolvente de la habitación 2 (Planta baja).

Envolvente	Área (m ²)	Coefficiente global de transferencia K (W/m ² K)	ΔT (°C)	ϕ_{PC} (W)
Muro norte	20.88	2.42	5.5	277.49
Muro este	18.41	2.62	9	433.44
Muro oeste	18.41	2.42	5.5	244.67
Muro sur	20.88	2.42	7	353.17
Ventana Este 1	1.8	4.90	3	26.46
Ventana Este 2	1.8	4.90	3	26.46
Ventana Sur 1	1.38	4.90	4	27.05
Ventana Sur 2	1.38	4.90	4	27.05
Ventana Oeste	0.54	4.90	5.5	14.55
Puerta de madera Oeste	1.8	2.62	5.5	25.9
Techo	47.62	1.82	20	1731.9

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 Ganancias de calor por radiación.

Para el cálculo de las ganancias de calor por radiación se utilizó la ecuación 3.5 mencionado en el capítulo III. Se consideraron todas las ventanas de cada habitación ya que la radiación solar incide directamente sobre éstas, a excepción de las ventanas de los baños ya que se encuentran bajo sombra.

Las ventanas de las habitaciones son del tipo polarizado por lo que se consideró un valor para el coeficiente de sombreado del cristal **CS** igual a 0.7 de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Para todas las ventanas orientadas en dirección Norte y Sur se consideró un coeficiente de corrección por sombreado exterior **SE** igual a 1, debido a que no cuentan con ningún tipo de volado ni remetimiento que cubra las superficies transparentes con sombra.

En el caso de las ventanas orientadas en dirección Este, se consideró un coeficiente **SE** de 0.495 obtenido de la Tabla A.4 del Apéndice A para ventanas remetidas orientadas al Este y Oeste con latitud de 14° a 19°.

El factor de ganancias solar promedio **FG** se consideró de acuerdo a la Tabla A.1 del apéndice A para cada ventana de acuerdo a su orientación.

A continuación, las Tablas 4.5 a 4.8, muestran los cálculos de las ganancias de calor por radiación a través de las superficies transparentes del edificio.

Tabla 4.5 Calor sensible debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 1 (Planta baja)

Superficie transparente	Área (m ²)	ϕ_{PC} (W)
Ventana Norte 1	1.8	119.7
Ventana Norte 2	1.8	119.7
Ventana Este 1	1.38	72.68
Ventana Este 2	1.38	72.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6 Calor sensible debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 2 (Planta baja)

Superficie transparente	Área (m ²)	ϕ_{PC} (W)
Ventana Sur 1	1.8	149.94
Ventana Sur 2	1.8	149.94
Ventana Este 1	1.38	72.68
Ventana Este 2	1.38	72.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7 Calor sensible debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 1 (Planta alta)

Superficie transparente	Área (m ²)	ϕ_{PC} (W)
Ventana Norte 1	1.8	119.7
Ventana Norte 2	1.8	119.7
Ventana Este 1	1.38	72.68
Ventana Este 2	1.38	72.68

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8 Calor sensible debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 2 (Planta alta)

Superficie transparente	Área (m ²)	ϕ_{PC} (W)
Ventana Sur 1	1.8	149.94
Ventana Sur 2	1.8	149.94
Ventana Este 1	1.38	72.68
Ventana Este 2	1.38	72.68

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Ganancias de calor sensible debido al aire de infiltraciones.

Se consideró un local del tipo “Habitación hospital” (sin vestíbulo) de acuerdo a la Tabla 3.2 ya que es el local con más semejanza a una habitación del edificio de estudio, puesto que tiene un número limitado de personas y el tipo de confort suelen ser los mismos.

Para la temperatura interna se consideró 25 °C y para la temperatura externa 32.5 °C.

A continuación, las Tabla 4.9 se muestran el número de personas consideradas para cada habitación y el número de puertas de cada una de éstas.

Tabla 4.9 Número de personas y puertas por cada habitación.

Planta	Espacio	Personas	Puertas
Baja	Habitación 1	3	1
	Habitación 2	3	1
Alta	Habitación 1	3	1
	Habitación 2	3	1

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Ganancias de calor sensible generado por las personas que residirán en el local.

Puesto que el local tiene como función servir como una vivienda, los residentes suelen realizar actividades que conllevan un esfuerzo mínimo, por lo que se consideró “sentado con trabajo ligero” de acuerdo a la Tabla 3.3 del capítulo III como actividad para el cálculo de las ganancias de calor sensible que generan las personas durante su estadía. Para llevar a cabo el cálculo fue necesario realizar una interpolación ya que en dicha tabla, no se encuentran los datos de calor sensible generado por persona a una temperatura de 25 °C, el cual es a la temperatura que se desea mantener en el recinto.

A continuación, la Tabla 4.10 muestra los cálculos de las ganancias de calor sensible y latente, de acuerdo a la actividad y el número de personas que residirán en el local, a determinadas temperaturas, incluyendo la temperatura de confort que se desea en el interior de las habitaciones.

Tabla 4.10 Calor sensible y latente generado por personas a cierta temperatura.

T (°C)	Calor Sensible (W)	Calor Latente (W)
24	70	47
25	67	49.5
26	65	52

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Ganancias de calor generado por la iluminación del local.

De acuerdo al plano del edificio del Anexo 1, cada habitación cuenta con un total de 10 lámparas; 4 lámparas ahorradoras de 20 W y 3 gabinetes con 2 lámparas de tubo fluorescentes de 30 W cada uno. La siguiente tabla muestra el total de lámparas existentes en el edificio, específicamente en el interior de cada habitación.

Tabla 4.11 Cantidad y potencia de las luminarias de cada habitación del edificio.

Espacio		Consumo/unidad (W)	Cantidad
Planta baja	Habitación 1	20	4
		30	6
	Habitación 2	20	4
		30	6
Planta alta	Habitación 1	20	4
		30	6
	Habitación 2	20	4
		30	6

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Ganancias de calor generado por las máquinas y/o equipos electrodomésticos del local.

La siguiente Tabla muestra los aparatos electrodomésticos que incluyen las habitaciones del local, así como también la potencia de cada uno de éstos.

Tabla 4.12 Equipos y electrodomésticos de cada habitación del edificio.

Espacio		Equipo	Cantidad	Consumo/unidad (W)
Planta baja	Habitación 1	Ventiladores	3	65
		Aire acondicionado	1	1680
		Computadora	3	150
	Habitación 2	Ventiladores	3	65
		Aire acondicionado	1	1680
		Computadora	3	150
Planta alta	Habitación 3	Ventiladores	3	65
		Aire acondicionado	1	1680
		Computadora	3	150
	Habitación 4	Ventiladores	3	65
		Aire acondicionado	1	1680
		Computadora	3	150

Fuente: Elaboración propia

Nota: La cantidad de aparatos electrodomésticos incluidos en la tabla son los ya establecidos actualmente. Puesto que por el momento no se incluyen más aparatos o quipos en las habitaciones del local, se incluyó otro equipo que usualmente utilizan todas las personas en la actualidad.

4.2.6 Ganancias de calor sensible debido al aire de ventilación

Para calcular las ganancias de calor debido al aire por ventilación, se consideraron los datos correspondientes mencionados en la Tabla 3.4 del capítulo III. En este caso, para el tipo de local se eligió “Hoteles-habitaciones” ya que es el que le corresponde a los espacios del edificio.

A continuación en la Tabla 4.13 se muestran los valores del caudal mínimo ($\text{m}^3/\text{h}/\text{habitación}$) para cada habitación.

Tabla 4.13 Caudal de aire por ventilación considerado para cada habitación.

Espacio		Caudal mínimo ($\text{m}^3/\text{h}/\text{habitación}$)
Planta baja	Habitación 1	50
	Habitación 2	50
Planta alta	Habitación 1	50
	Habitación 2	50

Fuente: Elaboración propia

4.3 Cálculo de las ganancias de calor latente.

Para llevar a cabo los cálculos de las cargas térmicas latentes, se utilizaron datos mencionados en las partidas anteriores. Las partidas que se calcularon son las siguientes.

4.3.1 Ganancias de calor latente debido al aire de infiltraciones.

Anteriormente se eligió un tipo de local “Habitación hospital” tomado de la Tabla 3.2 del capítulo III, ya que es el local con más semejanza a las habitaciones del edificio de estudio, por lo que para éste caso, se utilizó el mismo. De igual manera el número de personas y puertas serán los mismos como se mencionó en las tablas de las partidas anteriores (Tabla 4.9).

La diferencia de Humedades absolutas (ΔW) que se utilizó en éste cálculo, fueron obtenidas mediante una carta psicométrica como se muestra en el Anexo 3, el cual tiene un valor de 23.7 g/kg de aire seco.

4.3.2 Ganancias de calor latente generado por personas que residirán en el local.

En la Tabla 4.10 de la partida 4.2.3 se muestra el valor del calor latente generado por personas para una temperatura de 25 °C, calculado mediante una interpolación de acuerdo a la Tabla 3.3 (A.L Miranda) del capítulo III.

4.3.3 Ganancias de calor latente generado por aire de infiltración.

En esta partida, se consideró el mismo valor para el caudal del aire de ventilación por espacio, como se muestra en la Tabla 4.13 de la partida 4.2.6. Así mismo, también se consideró el mismo valor para la diferencia de Humedad Absoluta medido por medio de una carta psicométrica con un valor igual a 23.7 g/kg de aire seco.

Capítulo V. Resultado y análisis

En este capítulo se muestran todas las ganancias de calor calculados a partir de las ecuaciones mostradas en el capítulo III y tomando en cuenta las consideraciones del capítulo anterior.

A continuación se muestran las Tablas con los valores resultantes.

5.1 Resultados

5.1.1 Ganancias de Calor latente.

5.1.1.1 Calculo de las ganancias de calor por conducción a través de la envolvente.

Planta baja

Tabla 5.1 Calculo de la ganancia de calor sensible por conducción de la habitación 1

Envolvente	Área (m ²)	1/hi	1/he	L1/λ1	L2/λ2	L3/λ3	L4/λ4	L5/λ5	M (m ² K /W)	K (W/m ² K)	Te (°C)	Ti (°C)	ΔT (°C)	ΦPC (W)
Muro Norte	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	31	25	6	302.72
Muro Este	18.41	0.123	0.077			0.1503	0.0277	0.0038	0.3823	2.6160	34	25	9	433.44
Muro Oeste	18.41	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	244.67
Muro Sur	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	277.49
Ventana Norte 1	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	27	25	2	17.64
Ventana Norte 2	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	27	25	2	17.64
Ventana Este 1	1.38	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	28	25	3	20.29
Ventana Este 2	1.38	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	28	25	3	20.29
Ventana Oeste	0.54	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	30.5	25	5.5	14.55
Puerta Oeste	1.8	0.123	0.077	0.1818					0.3822	2.6164	30.5	25	5.5	25.90
Total =													1374.63	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.2 Calculo de la ganancia de calor sensible por conducción de la habitación 2.

Envolvente	Área (m ²)	1/hi	1/he	L1/λ1	L2/λ2	L3/λ3	L4/λ4	L5/λ5	M (m ² K /W)	K (W/m ² K)	Te (°C)	Ti (°C)	ΔT (°C)	ΦPC (W)
Muro Norte	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	277.49
Muro Este	18.41	0.123	0.077			0.1503	0.0277	0.0038	0.3823	2.6160	34	25	9	433.44
Muro Oeste	18.41	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	244.67
Muro Sur	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	32	25	7	353.17
Ventana Este 1	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	28	25	3	26.46
Ventana Este 2	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	28	25	3	26.46
Ventana Sur 1	1.38	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	29	25	4	27.05
Ventana Sur 2	1.38	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	29	25	4	27.05
Ventana Oeste	0.54	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	30.5	25	5.5	14.55
Puerta Oeste	1.8	0.123	0.077	0.182					0.3822	2.6164	30.5	25	5.5	25.90
Total =													1456.25	

Fuente: Elaboración propia.

Planta alta

Tabla 5.3 Calculo de la ganancia de calor sensible por conducción de la habitación 1.

Envolvente	Área (m ²)	1/hi	1/he	L1/λ1	L2/λ2	L3/λ3	L4/λ4	L5/λ5	M (m ² K /W)	K (W/m ² K)	Te (°C)	Ti (°C)	ΔT (°C)	ΦPC (W)
Muro Norte	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	31	25	6	302.72
Muro Este	18.41	0.123	0.077			0.1503	0.0277	0.0038	0.3823	2.6160	34	25	9	433.44
Muro Oeste	18.41	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	244.67
Muro Sur	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	277.49
Ventana Norte 1	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	27	25	2	17.64
Ventana Norte 2	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	27	25	2	17.64
Ventana Este 1	1.38	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	28	25	3	20.29

Ventana Este 2	1.38	0.123	0.077	0.0037						0.2041	4.9004	28	25	3	20.29
Ventana Oeste	0.54	0.123	0.077	0.0037						0.2041	4.9004	30.5	25	5.5	14.55
Puerta Oeste	1.8	0.123	0.077	0.182						0.3822	2.6164	30.5	25	5.5	25.90
Techo	47.62	0.106	0.077	0.0538	0.0287	0.2525	0.0277	0.004		0.5499	1.8185	45	25	20	1731.90
Total =															3106.53

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.4 Calculo de la ganancia de calor sensible por conducción de la habitación 2

Envolvente	Area (m ²)	1/hi	1/he	L1/λ1	L2/λ2	L3/λ3	L4/λ4	L5/λ5	M (m ² K /W)	K (W/m ² K)	Te (°C)	Ti (°C)	ΔT (°C)	ΦPC (W)	
Muro Norte	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	277.49	
Muro Este	18.41	0.123	0.077			0.1503	0.0277	0.0038	0.3823	2.6160	34	25	9	433.44	
Muro Oeste	18.41	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	30.5	25	5.5	244.67	
Muro Sur	20.88	0.123	0.077	0.0038	0.0277	0.1503	0.0277	0.0038	0.4139	2.4163	32	25	7	353.17	
Ventana Este 1	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	28	25	3	26.46	
Ventana Este 2	1.8	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	28	25	3	26.46	
Ventana Sur 1	1.38	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	29	25	4	27.05	
Ventana Sur 2	1.38	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	29	25	4	27.05	
Ventana Oeste	0.54	0.123	0.077	0.0037					0.2041	4.9004	30.5	25	5.5	14.55	
Puerta Oeste	1.8	0.123	0.077	0.182					0.3822	2.6164	30.5	25	5.5	25.90	
Techo	47.62	0.106	0.077	0.0538	0.0287	0.2525	0.0277	0.0038	0.5499	1.8185	45	25	20	1731.90	
Total =															3188.15

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2 Ganancias de calor por radiación

Planta baja

Tabla 5.5 Calculo de la ganancia de calor debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 1.

Superficie transparente	Área (m ²)	Coefficiente de sombreado del vidrio CS	Ganancia de calor por orientación FG (°C)	Factor de corrección por sombreado exterior SE	ϕ_{PSI} (W)
Ventana Norte 1	1.8	0.7	95	1	119.70
Ventana Norte 2	1.8	0.7	95	1	119.70
Ventana Este 1	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Ventana Este 2	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Total =					384.76

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.6 Calculo de la ganancia de calor debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 2.

Superficie transparente	Área (m ²)	Coefficiente de sombreado del vidrio CS	Ganancia de calor por orientación FG (°C)	Factor de corrección por sombreado exterior SE	ϕ_{PSI} (W)
Ventana Sur 1	1.8	0.7	119	1	149.94
Ventana Sur 2	1.8	0.7	119	1	149.94
Ventana Este 1	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Ventana Este 2	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Total =					445.24

Fuente: Elaboración propia.

Planta alta

Tabla 5.7 Calculo de la ganancia de calor debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 1.

Superficie transparente	Área (m ²)	Coefficiente de sombreado del vidrio CS	Ganancia de calor por orientación FG (°C)	Factor de corrección por sombreado exterior SE	ϕ_{PSI} (W)
Ventana Norte 1	1.8	0.7	95	1	119.7
Ventana Norte 2	1.8	0.7	95	1	119.7
Ventana Este 1	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Ventana Este 2	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Total =					384.76

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.8 Calculo de la ganancia de calor debido a la radiación a través de las superficies transparentes de la habitación 2.

Superficie transparente	Área (m ²)	Coefficiente de sombreado del vidrio CS	Factor de ganancia de calor por orientación FG (°C)	Factor de corrección por sombreado exterior SE	ϕ_{PSI} (W)
Ventana Sur 1	1.8	0.7	119	1	149.94
Ventana Sur 2	1.8	0.7	119	1	149.94
Ventana Este 1	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Ventana Este 2	1.38	0.7	152	0.495	72.68
Total =					445.24

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.3 Ganancias de calor sensible debido al aire de infiltraciones.

Tabla 5.9 Calculo de las ganancias de calor sensible por aire de infiltraciones del edificio de las Villas Universitarias UQROO.

Espacio	Personas	Puertas	V_i de acuerdo a la Tabla 3.2 (m ³ /h)	V_i Total (m ³ /h)	T_e (°C)	T_i (°C)	ΔT (°C)	QSI (W)
Planta baja								
Habitación 1	3	1	6	18	32.5	25	7.5	45.9
Habitación 2	3	1	6	18	32.5	25	7.5	45.9
Planta alta								
Habitación 1	3	1	6	18	32.5	25	7.5	45.9
Habitación 2	3	1	6	18	32.5	25	7.5	45.9
Total =								183.6

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.4 Ganancias de calor sensible generado por personas que residen en el local.

Tabla 5.10 Calculo de las ganancias de calor sensible generado por personas

Espacio	Personas	Calor sensible emitido por persona (W)	Q_{SP} (W)
Planta baja			
Habitación 1	3	67	201
Habitación 2	3	67	201
Planta alta			
Habitación 1	3	67	201
Habitación 2	3	67	201
Total =			804

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.5 Ganancias de calor sensible generado por iluminación

Tabla 5.11 Calculo de las ganancias de calor sensible por iluminación.

Espacio	Potencia (W)	Lámparas	Q _{SIL} (W)	Q _{SIL} *1.25 (W)
Planta baja				
Habitación 1	20	4	80	100
	30	6	180	225
Habitación 2	20	4	80	100
	30	6	180	225
Planta alta				
Habitación 1	20	4	80	100
	30	6	180	225
Habitación 2	20	4	80	100
	30	6	180	225
Total =				1300

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.6 Ganancias de calor sensible generado por equipos electrodomésticos

Tabla 5.12 Calculo de las ganancias de calor generado por equipos electrodomésticos.

Espacio	Equipo	Cantidad	Consumo/unidad (W)	Q _{MAQ} (W)
Planta baja				
Habitación 1	Ventilador de techo	3	65	195
	Computadora	3	150	450
	Aire acondicionado mini Split 1.5 Ton.	1	1680	1680
Habitación 2	Ventilador de techo	3	65	195
	Computadora	3	150	450
	Aire acondicionado mini Split 1.5 Ton.	1	1680	1680
Planta alta				
Habitación 1	Ventilador de techo	3	65	195
	Computadora	3	150	450
	Aire acondicionado mini Split 1.5 Ton.	1	1680	1680
Habitación 2	Ventilador de techo	3	65	195
	Computadora	3	150	450
	Aire acondicionado mini Split 1.5 Ton.	1	1680	1680
Total =				9300

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.7 *Ganancia de calor sensible debido al aire de ventilación.*

Tabla 5.13 Cálculo de las ganancias de calor sensible debido al aire de ventilación.

Espacio	Caudal mínimo (m ³ /personas/habitación)	Personas	Te (°C)	Ti (°C)	Q _{SV} (W)
Planta baja					
Habitación 1	50	3	32.5	25	114.75
Habitación 2	50	3	32.5	25	114.75
Planta alta					
Habitación 1	50	3	32.5	25	114.75
Habitación 2	50	3	32.5	25	114.75
Total =					459.00

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 *Ganancias de calor latente.*

5.1.2.1 *Ganancias de calor latente debido al aire de infiltraciones.*

Tabla 5.14 Cálculo de las ganancias de calor latente debido al aire de infiltraciones.

Espacio	Vi de acuerdo a la Tabla 3.2	Personas	Puertas	Vi total (m ³ /h)	We (g/kg)	Wi (g/kg)	ΔW (g/kg)	Q _{LI} (W)
Planta baja								
Habitación 1	6	3	1	18	23.7	10	13.7	204.7
Habitación 2	6	3	1	18	23.7	10	13.7	204.7
Planta alta								
Habitación 1	6	3	1	18	23.7	10	13.7	204.7
Habitación 2	6	3	1	18	23.7	10	13.7	204.7
Total =								818.7

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2 Ganancias de calor latente generado por personas que residen en el local.

Tabla 5.15 Cálculo de las ganancias de calor latente generado por personas.

Espacio	Personas	Calor latente emitido por persona (W)	Q _{LP} (W)
Planta baja			
Habitación 1	3	49.5	148.5
Habitación 2	3	49.5	148.5
Planta alta			
Habitación 1	3	49.5	148.5
Habitación 2	3	49.5	148.5
Total =			594

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3 Ganancias de calor latente generado por el aire de ventilación.

Tabla 5.16 Cálculo de las ganancias de calor latente generado por el aire de ventilación.

Espacio	Caudal mínimo (m ³ /personas/habitación)	Personas	W _e (g/kg)	W _i (g/kg)	ΔW (g/kg)	Q _{LV} (W)
Planta baja						
Habitación 1	50	3	23.7	10	13.70	511.7
Habitación 2	50	3	23.7	10	13.70	511.7
Planta alta						
Habitación 1	50	3	23.7	10	13.70	511.7
Habitación 2	50	3	23.7	10	13.70	511.7
Total =						2046.8

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Resumen de las Ganancias de calor de las villas universitarias UQROO.

Tabla 5.17 Resumen de las ganancias de calor sensible y latente de cada uno de las habitaciones de las Villas Universitarias UQROO.

Espacio	Ganancias de calor sensible (W)							Ganancias de calor latente (W)			Q _{SEP} (W)	Q _{LEP} (W)	Q _{SE} (W)	Q _{LE} (W)
	Cond.	Rad.	Inf.	Per.	Ilum.	Electr.	Vent.	Inf.	Per.	Vent.				
Planta baja														
Habitación 1	1374.63	384.76	45.9	201	325	2325	114.75	204.68	148.5	511.695	4771.04	864.9	5248	951
Habitación 2	1456.25	445.24	45.9	201	325	2325	114.75	204.68	148.5	511.695	4913.14	864.9	5404	951
Planta alta														
Habitación 1	3106.53	384.76	45.9	201	325	2325	114.75	204.68	148.5	511.695	6502.95	864.9	7153	951
Habitación 2	3188.15	445.24	45.9	201	325	2325	114.75	204.68	148.5	511.695	6645.05	864.9	7310	951

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Determinación de la capacidad de las unidades de aire acondicionado.

Tabla 5.18 Determinación de la capacidad de los equipos de aire acondicionado para cada habitación de las Villas Universitarias UQROO

Espacio	Q _{ET} (W)	CAP _{EQ} (Ton)	CAP _{EQ} (Btu/h)
Planta baja			
Habitación 1	6,199.5	1.7626	21,151.5
Habitación 2	6,355.82	1.8070	21,684.8
Planta alta			
Habitación 1	8,104.6	2.3042	27,651.3
Habitación 2	8,260.9	2.3487	28,184.6

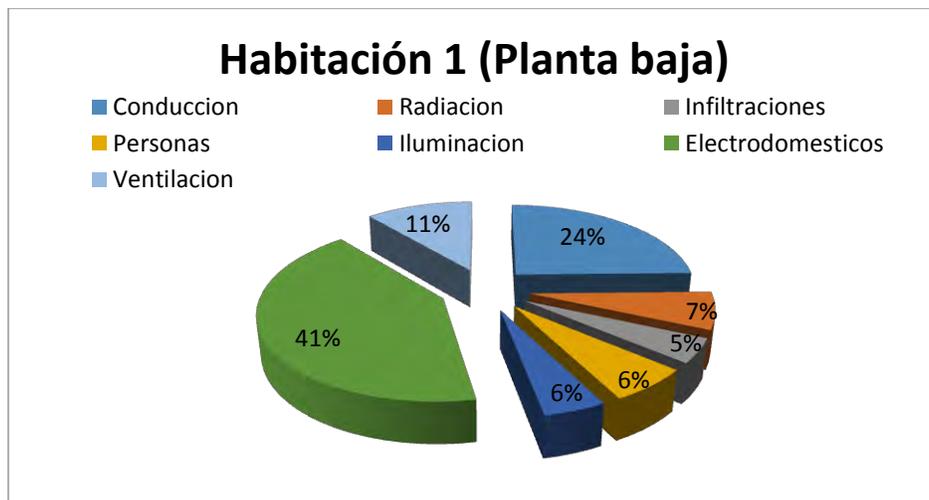
Fuente: Elaboración propia.

5.2 Análisis

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 5.17, se puede observar que las ganancias de calor son más elevadas en la planta alta. Esto se debe a que en la planta alta se suma una ganancia más debido a la techumbre que recibe la mayor parte de la radiación solar durante el día.

A continuación, en las siguientes graficas se muestran los porcentajes de las diferentes ganancias de calor para cada habitación del local.

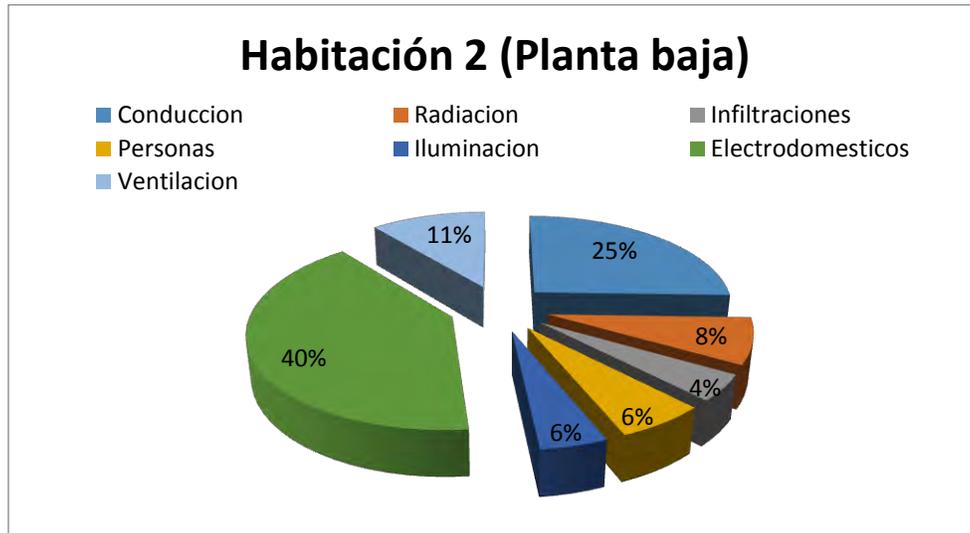
En la Gráfica 5.1 se puede observar que la ganancia de calor con mayor porcentaje en la habitación 1 (Planta baja), es debido a las máquinas y equipos electrodomésticos ya que en esta ganancia se incluye el equipo de aire acondicionado actual, el cual como se mostró en la Tabla 4.12, consume bastante energía (1680 W). Luego se tiene la ganancia de calor por conducción a través de la envolvente; seguido de las ganancia de calor por ventilación, ganancias de calor por radiación, ganancias de calor generado por personas, ganancias de calor por iluminación y por ultimo las ganancias de calor debido al aire de infiltraciones.



Grafica 5.1 Porcentajes de las ganancias de calor de la habitación 1 (Planta baja).

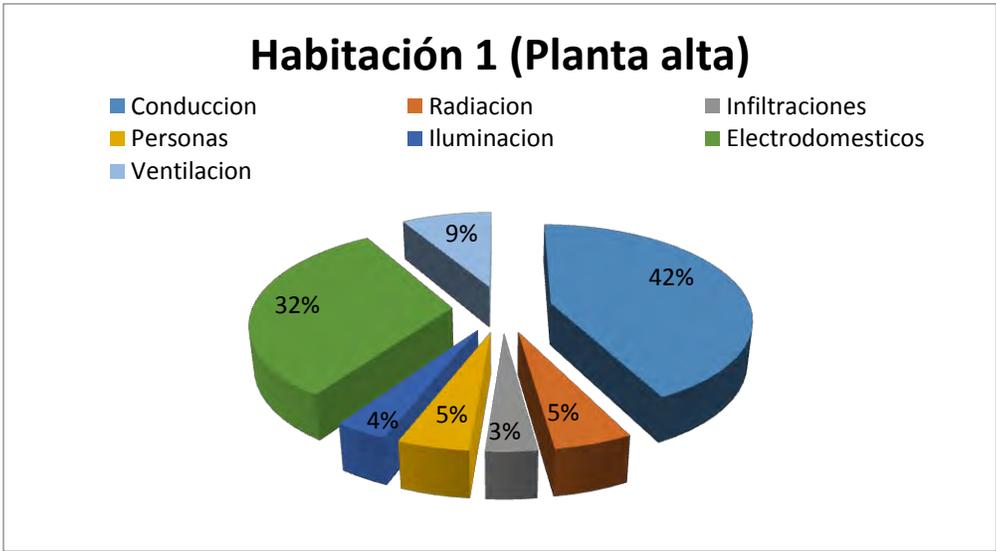
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 5.2 se muestran los porcentajes de las diferentes ganancias de calor en la habitación 2 (Planta baja). Como se puede observar, los porcentajes son muy similares a los de la habitación 1 debido a que se encuentran en las mismas condiciones, es decir, incluyen los mismos equipos electrodomésticos, el mismo número de habitantes, lámparas, ventanas y dimensiones en los muros. La ligera variación se debe al posicionamiento de las habitaciones.



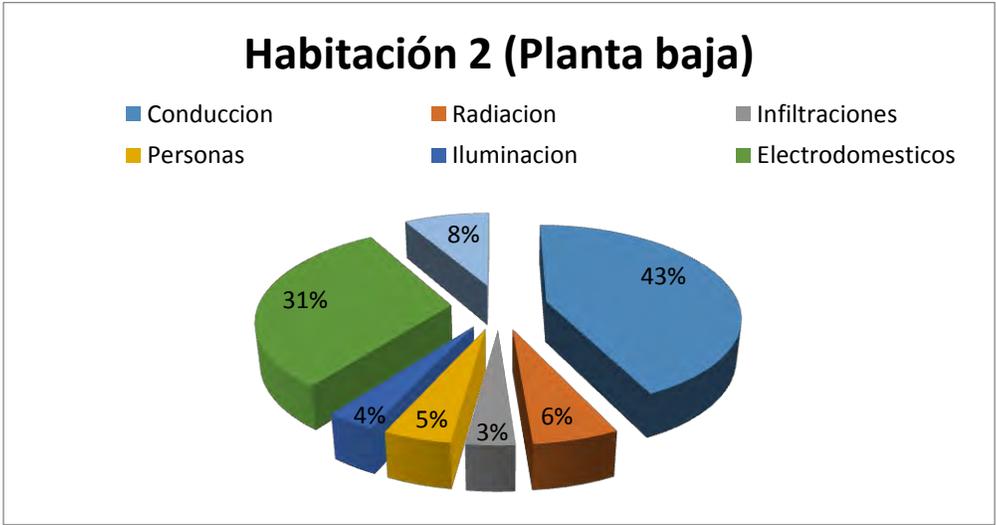
Gráfica 5.2 Porcentajes de las ganancias de calor de la habitación 2 (Planta baja).
Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 5.3 se muestran los porcentajes de las ganancias de calor de la habitación 1 (Planta alta). Como se puede observar, en este caso, la ganancia de calor con mayor porcentaje es debido a la conducción a través de la envolvente, ya que como se mencionó al inicio de éste apartado, la parte que más radiación recibe durante el día es la techumbre del edificio. Luego, la segunda ganancia de calor con mayor porcentaje es la generada por los equipos electrodomésticos; seguidos de las ganancias de calor por ventilación, ganancias de calor por radiación, ganancias de calor generado por personas, ganancias de calor por iluminación, y por ultimo las ganancias de calor por el aire de infiltraciones.



Grafica 5.3 Porcentajes de las ganancias de calor de la habitación 1 (Planta alta).
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en la Gráfica 5.4 ocurre el mismo caso que en las Gráficas 5.1 y 5.2. Los porcentajes son similares a los de la Gráfica 5.3 ya que, como se mencionó antes, las habitaciones se encuentran en las mismas condiciones.



Grafica 5.4 Porcentajes de las ganancias de calor de la habitación 1 (Planta alta).
Fuente: Elaboración propia.

5.3 Marco de Propuestas

La presente propuesta se realizó con la finalidad de incorporar alternativas para el ahorro de energía al emplear los equipos de aire acondicionado en las habitaciones de las Villas Universitarias UQROO, reduciendo las ganancias de calor por conducción y convección a través de la envolvente del edificio. Como se mencionó anteriormente en la partida 5.2, la mayor ganancia de calor por conducción es recibida por medio de la techumbre del edificio.

Para reducir éstas ganancias de calor, se realizaron nuevamente los cálculos de las ganancias de calor por conducción y convección a través de la envolvente, agregando a la capa de pintura vinílica de color claro en el exterior, únicamente en la techumbre del edificio; ya que esto permite una reducción de la temperatura entre 3 y 5 °C. Así mismo se proponen 4 aislantes térmicos distintos; “Espuma de polietileno con aluminio”, “Placa de poliestireno expandido”, “Placa de foamular” y “Placa de poliestireno extruido”

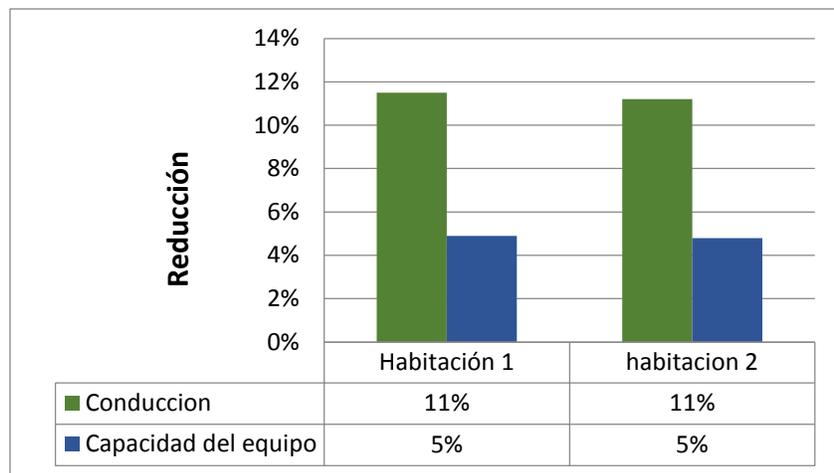
A continuación, las siguientes tablas y graficas muestran los resultados de la disminución de las ganancias de calor recibidas en la techumbre de las habitaciones de la planta alta.

Espuma de polietileno con aluminio puro

Tabla 5.19 Comparación de la reducción de la ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Espuma de polietileno con aluminio puro”.

Lugar (Planta alta)	Ganancia de calor por conducción sin A.T (W)	Ganancia de calor por conducción con A.T (W)	CAP _{EQ} sin A.T (Ton)	CAP _{EQ} con A.T (Ton)
Habitación 1	3106.53	2749.40	2.28	2.17
Habitación 2	3188.15	2831.01	2.33	2.22

Fuente: Elaboración propia.



Grafica 5.5 Porcentaje de reducción de ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Espuma de polietileno con aluminio puro”

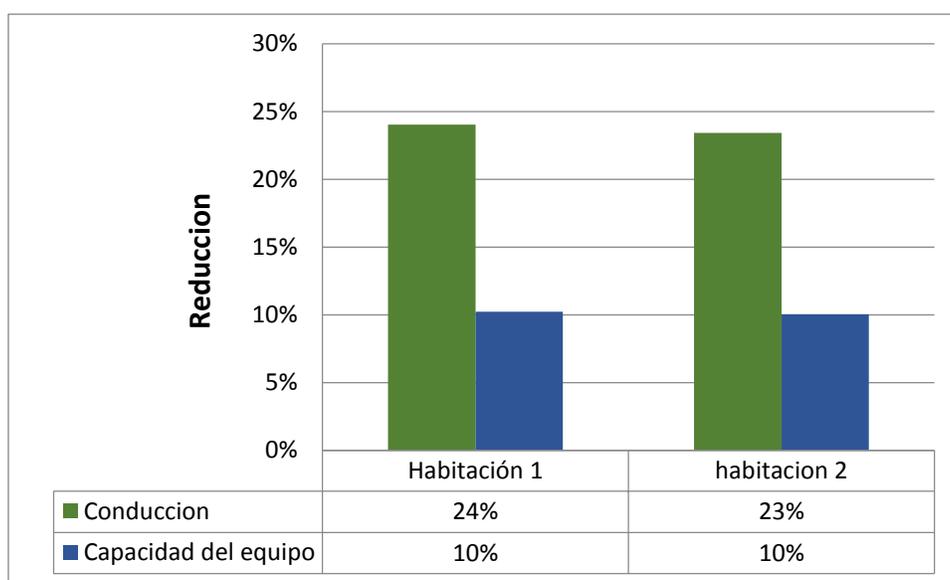
Fuente: Elaboración propia.

Placa de poliestireno expandido

Tabla 5.20 Comparación de la reducción de la ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Placa de poliestireno expandido”.

Lugar (Planta alta)	Ganancia de calor por conducción sin A.T (W)	Ganancia de calor por conducción con A.T (W)	CAP _{EQ} sin A.T (Ton)	CAP _{EQ} con A.T (Ton)
Habitación 1	3106.53	2359.96	2.28	2.05
Habitación 2	3188.15	2441.58	2.33	2.09

Fuente: Elaboración propia.



Grafica 5.6 Porcentaje de reducción de ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Placa de poliestireno expandido”.

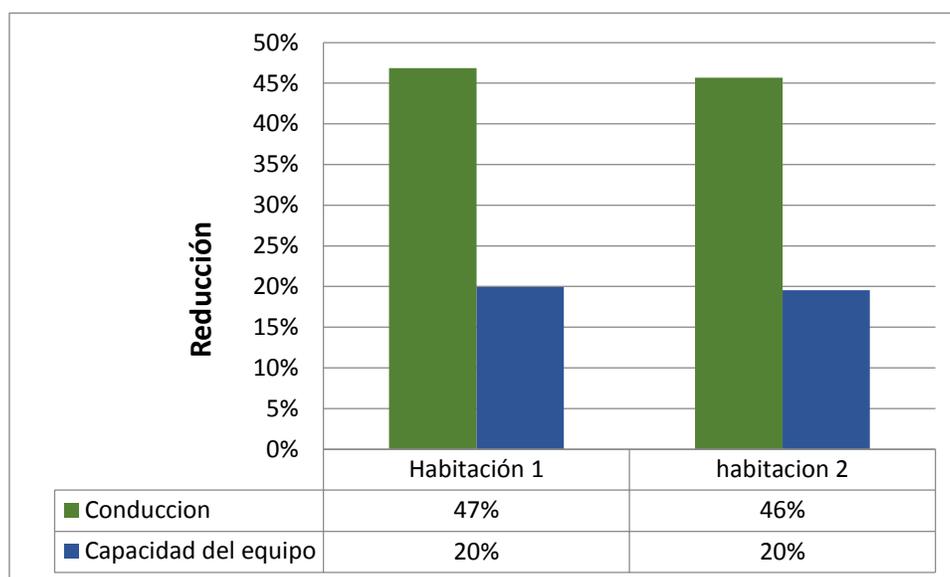
Fuente: Elaboración propia.

Placa de foamular con recubrimiento de concreto

Tabla 5.21 Comparación de la reducción de la ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Placa de foamular con recubrimiento de concreto”.

Lugar (Planta alta)	Ganancia de calor por conducción sin A.T (W)	Ganancia de calor por conducción con A.T (W)	CAP _{EQ} sin A.T (Ton)	CAP _{EQ} con A.T (Ton)
Habitación 1	3106.53	1650.77	2.28	1.83
Habitación 2	3188.15	1732.39	2.33	1.87

Fuente: Elaboración propia.



Grafica 5.7 Porcentaje de reducción de ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Placa de foamular con recubrimiento de concreto”

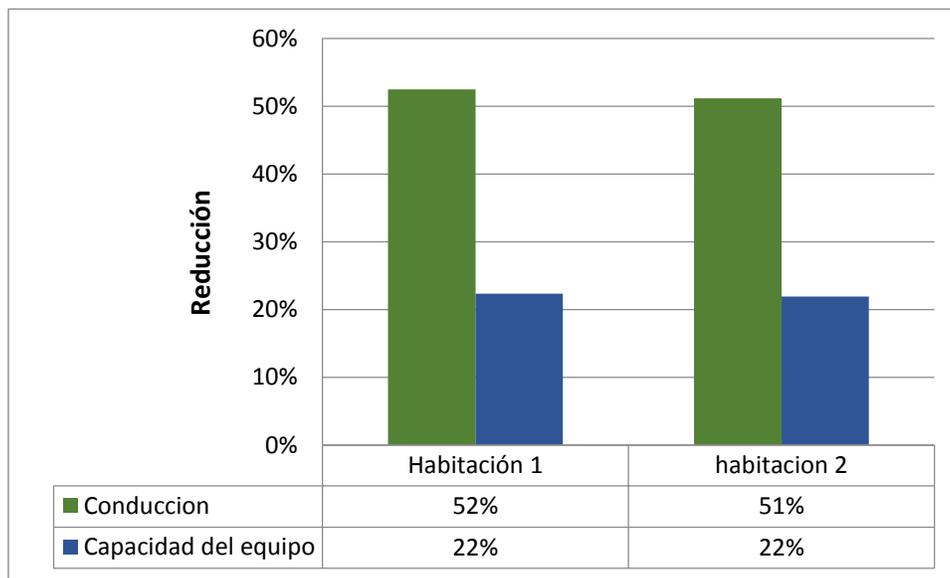
Fuente: Elaboración propia.

Placa de poliestireno extruido

Tabla 5.22 Comparación de la reducción de la ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Placa de poliestireno extruido”.

Lugar (Planta alta)	Ganancia de calor por conducción sin A.T (W)	Ganancia de calor por conducción con A.T (W)	CAP _{EQ} sin A.T (Ton)	CAP _{EQ} con A.T (Ton)
Habitación 1	3106.53	1476.24	2.28	1.77
Habitación 2	3188.15	1557.86	2.33	1.82

Fuente: Elaboración propia.



Grafica 5.8 Porcentaje de reducción de ganancia de calor por conducción y capacidad del equipo de aire acondicionado implementando “Placa de poliestireno estruido”

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones.

En este trabajo se realizó un estudio energético de las Villas Universitarias UQROO ubicado en la ciudad de Chetumal; con el objetivo de determinar las ganancias de calor en el edificio e identificar las unidades de climatización con la capacidad necesaria para mantener una temperatura de confort en base a éstos resultados y por ende, reducir el consumo energético.

Se realizaron los cálculos de cada uno de los factores que generan ganancias de calor en el edificio, y, durante este proceso se derivaron las siguientes conclusiones:

- Los espacios que reciben mayor ganancia de calor son las habitaciones 1 y 2 de la planta alta. Éstas dos habitaciones reciben una ganancia de calor extra puesto que la incidencia solar es recibida directamente en la techumbre del edificio, lo que ocasiona que en ésta parte de la envolvente se genere una ganancia de calor de un poco más del doble de lo que generan los demás factores juntos.
- Las ganancias de calor generado por las personas que residirán en el local no será mayor a la que pueden generar 3 de ellos, ya que esta cantidad es el límite de ocupantes por habitación.
- Las lámparas fluorescentes cumplen un papel fundamental en el cálculo. Estas lámparas son de alta eficiencia por lo que al ser lámparas ahorradoras consumen una cantidad muy baja de energía, que por lo contrario si el cálculo se realiza con lámparas tradicionales, éstas generarían de 4 a 6 veces más ganancia de calor. Además, las lámparas ahorradoras tienen la capacidad de convertir la mayor parte de la energía que consumen en luz, lo que lo hace favorable para reducir las ganancias de calor en las habitaciones.
- La ganancia de calor que es producido por las máquinas y/o equipos electrodomésticos puede variar dependiendo de cuantos y de que tipos sean éstos. Como se puede observar en las gráficas de la partida anterior, ésta ganancia de calor ocupa aproximadamente una tercera parte de las ganancias de calor totales en el edificio. Actualmente el edificio no cuenta con las máquinas y/o aparatos electrodomésticos que usualmente vienen integradas en una habitación para el uso del residente durante su estadía (frigorífico, cafetera, TV, etc.) pero no se descarta su implementación en el futuro.
- La implementación de los aislantes térmicos en la techumbre del edificio reduce considerablemente la ganancia de calor por conducción en las habitaciones de la planta alta. La reducción de la ganancia de calor dependerá completamente del tipo de aislante térmico a emplear. En las gráficas de la partida anterior se puede observar que el porcentaje de reducción varía entre un 10% hasta un 50%

dependiendo de las propiedades del aislante térmico. También, la implementación de los aislantes térmicos permite reducir la capacidad de las unidades de climatización desde un 5% hasta un poco más del 20% en consumo de energía.

- La implementación de un estudio energético o balance térmico en un edificio residencial u otro edificio destinado a otro fin, es muy útil para determinar apropiadamente la capacidad de las unidades de aire acondicionado con mucha facilidad; además, la información recabada puede ser muy útil para implementar diferentes estrategias para el ahorro de energía.

Por tanto, algunas de las recomendaciones para obtener un considerable ahorro de energía y el empleo eficiente de las unidades de aire acondicionado son:

- Emplear aislantes térmicos en la techumbre de las habitaciones de la planta alta para reducir las ganancias de calor por conducción a través de la envolvente del edificio.
- Utilizar las unidades de aire acondicionado solo si es necesario. Cada habitación del edificio cuenta con una cierta cantidad de ventiladores que pueden ser de utilidad en ciertas ocasiones en las que la temperatura del interior de la habitación no sobrepase de manera exagerada la temperatura de confort. De esta manera la ventilación proporcionada por estos aparatos, deberá ser suficiente para mantener dicho confort sin necesidad de encender el equipo de aire acondicionado.
- Plantar árboles, arbustos u otro tipo de vegetación alrededor del edificio. De acuerdo a varios estudios, la vegetación tiene una serie de características que permiten mejorar el comportamiento de los edificios y hacen que mejoren las condiciones ambientales a su alrededor. Las plantas pierden agua hacia el medio ambiente mediante la evapotranspiración. En ese cambio de fase se utiliza el calor del aire del entorno, de modo que además de aumentar la humedad ambiental se disminuye la temperatura del aire. En entornos cálidos, la presencia de vegetación puede llegar a refrescar la temperatura de 1 a 5 °C. Se calcula que una reducción de 5 °C de la temperatura exterior adyacente podría suponer ahorros en refrigeración de cerca de un 50 %. Además, brinda protección solar y aislamiento térmico al obstruir, filtrar y reflejar la radiación solar.
- Seguir utilizando unidades de aire acondicionado del tipo “*Inverter*”. Puesto que el edificio ya cuenta con éste tipo de unidades de climatización, se recomienda seguir utilizando estos equipos hasta el momento de consumir su vida útil. Llegado a este punto, se recomienda implementar nuevas unidades de climatización del mismo tipo con las capacidades apropiadas de acuerdo a los resultados totales de ganancias de calor obtenidos implementando el aislante térmico más factible.

Bibliografía

- [1] Dirección General de Cambio Climático y Educación Ambiental. Recuperado del sitio web:
https://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/DesarrolloRuralSostenibilidad/AreasTematicas/MA_CambioClimatico/ci.CAMBIO_CLIMATICO..detalleDepartamento?channelSelected=afc736552883a210VgnVCM100000450a15acRCRD
- [2] Mundo HVAC&R. Recuperado del sitio web:
<https://www.mundohvacr.com.mx/2016/09/cambio-climatico-industria-aire-acondicionado/>
- [3] Flores Murrieta, Fernando Enrique, Tesis Doctoral “Fabricación, monitorización y caracterización de un equipo de aire acondicionado de bajo impacto ambiental, utilizando un sistema combinado: Refrigerador evaporativo cerámico y tubos de calor REC-TC”, Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Noviembre 2008.
- [4] Sotolongo Alfredo, ACR “Automatización, Refrigeración y Climatización”, Agosto 2012. Recuperado del sitio web:
<https://www.acrlatinoamerica.com/201208294926/articulos/otros-enfoques/aire-acondicionado-y-su-historia.html>
- [5] Espinosa Luis Ramírez, Tesis “Proyecto de un sistema de acondicionamiento de aire para un quirófano perteneciente a un hospital, localizado en la ciudad de Toluca; Estado de México”, Instituto politécnico nacional; *Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica*, Unidad Azcapotzalco, Mayo 2013.
- [6] Resumen de la historia de la refrigeración: Elaborado por Jairo de Jesús García Regalado. Recuperado del sitio web:
https://www.academia.edu/10854780/Resumen_de_la_Historia_de_la_Refrigeraci%C3%B3n
- [7] Barnes de castro, Francisco, Artículo de investigación “Retos y oportunidades del sector energético nacional”, Tepoztlán, 29 de septiembre del 2011.
- [8] PEMEX. Recuperado del sitio web:
<http://www.pemex.com/Paginas/default.aspx>
- [9] SENER (Secretaria de Energía), “Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2018-2032”, México 2018.
- [10] SENER (Secretaria de Energía), “Prospectiva de Energías Renovables 2018-2032”, México 2018.
- [11] SENER (Secretaria de Energía), “Balance Nacional de Energía 2018”, México 2018.
- [12] PHCP PROS, “Especificar soluciones: Soluciones para agua, energía y sustentabilidad”. Recuperado del sitio web:
<https://www.especificarmag.com.mx/consumo-el-ctrico-en-m-xico-aumenta-30---en-verano-por-aire-acondicionado--se-ala-estudio-de-usaid.html>

- [13] SENER, “Eficiencia Energética: Dirección General de Eficiencia y Sustentabilidad Energética”, Julio 2018.
- [14] Francisco Javier Rey Martines, Eloy Velasco Gomez, “Curso universitario de Ingeniería de Climatización” Universidad de Valladolid, Noviembre 2006.
- [15] Angel Luis Miranda, “Técnicas de climatización”, 2da edición, Edit. Marco Combo; Gran Vía de Cortes Catalanes, 2008.
- [16] Gallardo Fuentes Gabriel, Tesis para maestría “Análisis del método dinámico para el cálculo térmico de edificios”, Instituto Politécnico Nacional, Tecamachalco, Estado de México, Junio 2014.
- [17] Shan k. Wang, “Handbook of air conditioning and refrigeration”, edit. McGraw Hill, segunda edición, 2000.
- [18] SEGOB, Diario Oficial de la Federación: Norma Oficial Mexicana NOM-020-Ener-2011, Eficiencia Energética en Edificaciones-Envolvente de Edificios para uso Habitacional.
- [19] Merlín Euan Noé, Tesis “Balance Térmico de las Oficinas del PRI, Kantunilkin, Quintana Roo”, Chetumal, Quintana Roo, septiembre del 2013.
- [20] CONAGUA, 2018. Recuperado del sitio web: <https://www.gob.mx/conagua>
- [21] Weather Atlas. Recuperado del sitio web: <https://www.weather-mx.com/es/mexico/chetumal-clima>

APENDICES

APENDICE A

Tabla A.1 Valores para el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente.

ESTADO	Ciudad	K de referencia (W/mK)		CONDUCCIÓN												RADIACIÓN				Barra para vapor						
				OPACA						TRANSPARENTE						TRANSPARENTE										
		Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros comparidos		Más de tres niveles		Temperatura equivalente promedio te (°C)												Factor de ganancia solar promedio F0 (W/m²)								
						T _{exterior}	Superficie interior	Techo	Muro masivo				Muro ligero				T _{interna}					Ventanas				
Techo y muro	Techo	Muro	N	E	S				O	N	E	S	O	T _{exterior}	N	E		S	O							
AGUASCALIENTES	Aguascalientes	0.833	0.833	0.909	24	26	37	24	27	26	26	30	33	32	32	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
BAJA CALIF. SUR	La Paz	0.526	0.526	0.714	25	31	45	31	34	32	33	36	40	38	39	25	27	28	29	29	322	70	159	131	164	SI
	Cabo S. Lucas	0.526	0.526	0.714	25	30	44	30	34	32	32	36	39	38	39	25	27	28	28	28	322	70	159	131	164	SI
BAJA CALIFORNIA	Ensenada	0.909	0.909	0.909	24	25	35	22	25	24	23	28	31	30	30	20	22	22	22	23	322	70	159	131	164	SI
	Mexicali	0.476	0.476	0.556	25	34	50	36	40	37	38	41	45	43	45	29	30	32	32	32	322	70	159	131	164	
CAMPECHE	Tijuna	0.714	0.714	0.909	23	26	37	24	27	25	25	30	33	32	32	22	23	24	24	24	322	70	159	131	164	SI
	Campeche	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	35	33	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	284	95	152	119	133	SI
COAHUILA	Cd. Carmen	0.526	0.526	0.625	25	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	284	95	152	119	133	SI
	Mondulove	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	29	29	322	70	159	131	164	
	Piedras Negras	0.526	0.526	0.625	25	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	322	70	159	131	164	SI
	Delicias	0.833	0.833	0.909	25	27	38	25	28	26	26	30	34	33	33	22	24	24	24	25	322	70	159	131	164	
COLIMA	Torón	0.526	0.526	0.625	25	30	43	30	33	31	31	35	39	37	38	25	27	28	28	28	322	70	159	131	164	
	Colima	0.556	0.556	0.909	25	29	42	28	32	30	30	34	38	36	37	24	26	27	27	27	274	91	137	118	146	SI
CHIHUAHUA	Manzanillo	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	34	32	32	36	40	38	40	26	27	28	29	29	274	91	137	118	146	SI
	Amatitán	0.526	0.526	0.625	26	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	SI
CHIHUAHUA	Comitan	0.833	0.833	0.909	23	25	35	22	24	24	23	28	31	30	30	20	22	22	22	23	272	102	140	114	134	
	San Cristóbal	0.909	0.909	0.909	23	22	31	19	20	20	20	25	27	27	26	18	20	20	20	20	272	102	140	114	134	
	Tapachula	0.526	0.526	0.714	25	30	44	30	33	31	32	36	39	37	38	25	27	28	28	28	272	102	140	114	134	SI
	Tuxtla Gutiérrez	0.556	0.556	0.833	25	29	42	29	32	30	30	34	38	36	37	24	26	27	27	27	272	102	140	114	134	SI
CHIHUAHUA	Casas Grandes	0.714	0.714	0.909	25	28	40	27	30	28	28	32	36	34	35	23	25	25	26	26	322	70	159	131	164	
	Chihuahua	0.625	0.625	0.909	25	28	41	27	30	29	29	33	36	35	36	24	25	26	26	26	322	70	159	131	164	
	Cd. Juárez	0.625	0.625	0.833	25	29	41	28	31	29	29	33	37	35	36	24	25	26	27	27	322	70	159	131	164	
	H. del Pinar	0.833	0.833	0.909	25	27	39	26	28	27	27	31	34	33	34	23	24	25	25	25	322	70	159	131	164	
D. F.	México (e)	0.909	0.909	0.909	23	23	33	20	22	22	21	26	29	28	29	19	21	21	21	21	272	102	140	114	134	
DURANGO	Durango	0.833	0.833	0.909	24	26	37	24	27	25	25	30	33	32	32	22	23	24	24	24	322	70	159	131	164	
	Lerdo	0.556	0.556	0.714	25	30	43	29	33	31	31	35	39	37	38	25	26	27	28	28	322	70	159	131	164	
GUANAJUATO	San Juan de los Rios	0.714	0.714	0.909	24	25	36	23	25	24	24	29	32	31	31	21	22	23	23	23	274	91	137	118	146	
	León (h)	0.714	0.714	0.909	25	27	38	25	28	26	26	31	34	33	33	22	24	24	24	25	274	91	137	118	146	
GUERRERO	Acapulco	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	35	33	33	36	41	39	40	26	28	29	29	29	274	91	137	118	146	SI
	Chilpancingo	0.714	0.714	0.909	25	27	38	25	28	27	26	31	34	33	33	22	24	24	25	25	274	91	137	118	146	
HIDALGO	Zihuatanejo	0.556	0.556	0.833	25	29	42	29	32	30	30	34	38	36	37	25	26	27	27	27	274	91	137	118	146	SI
	Pachuca	0.909	0.909	0.909	22	22	31	19	20	20	20	25	27	27	26	18	20	20	20	20	272	102	140	114	134	
	Tulancingo	0.909	0.909	0.909	23	23	32	19	21	21	20	25	28	27	27	19	20	20	20	21	272	102	140	114	134	
JALISCO	Guadalupe (c)	0.714	0.714	0.909	25	26	38	25	27	26	26	30	34	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
	Huajuarc	0.714	0.714	0.909	24	26	38	25	27	26	26	30	34	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
	Legos de Mar.	0.833	0.833	0.909	23	26	37	24	26	25	25	29	33	32	32	21	23	23	24	24	274	91	137	118	146	
	Ocotlán	0.714	0.714	0.909	25	27	38	25	28	26	26	30	34	33	33	22	24	24	24	25	274	91	137	118	146	
MEXICO	Puerto Vallarta	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	274	91	137	118	146	SI
	Chapingo, Teac.	0.833	0.833	0.909	23	23	32	20	22	22	21	26	29	28	28	19	21	21	21	21	274	91	137	118	146	
MICHOACÁN	Toluca	0.909	0.909	0.909	22	21	29	17	18	18	18	23	25	25	24	17	18	18	19	19	274	91	137	118	146	
	Morelia	0.833	0.833	0.909	24	25	35	23	25	24	24	28	31	30	30	21	22	23	23	23	274	91	137	118	146	
	Lizaso Carden.	0.526	0.526	0.625	25	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	274	91	137	118	146	SI
	Uruapan	0.833	0.833	0.909	24	25	35	23	25	24	24	28	31	30	30	21	22	23	23	23	274	91	137	118	146	
MORELOS	Cuernavaca	0.714	0.714	0.909	25	27	39	26	28	27	27	31	34	33	34	22	24	25	25	25	274	91	137	118	146	
	Cuautla	0.556	0.556	0.833	25	29	41	28	31	29	29	33	37	35	36	24	25	26	26	27	274	91	137	118	146	
NAYARIT	Tepec	0.714	0.714	0.909	24	27	39	26	29	27	27	31	35	34	34	23	24	25	25	25	274	91	137	118	146	SI
NUEVO LEÓN	Monterrey (d)	0.556	0.556	0.714	25	30	44	30	33	31	32	35	39	37	38	25	27	28	28	28	274	91	137	118	146	
	Guadalupe	0.714	0.714	0.909	24	26	38	25	27	26	26	30	34	33	33	22	23	24	24	24	272	102	140	114	134	
OAXACA	Salina Cruz	0.526	0.526	0.556	25	31	46	32	36	33	34	37	41	39	41	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	SI
	Puebla	0.833	0.833	0.909	24	24	34	21	23	23	22	27	30	29	29	20	21	22	22	22	272	102	140	114	134	
PUEBLA	Atlixco	0.714	0.714	0.909	23	25	35	23																		

ESTADO	Ciudad	K de referencia (W/m ² K)		CONDUCCIÓN												RADIACIÓN				Barrera para vapor						
				OPACA						TRANSPARENTE						TRANSPARENTE										
		Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros compartidos		Mas de tres niveles		Temperatura equivalente promedio te (°C)												Factor de ganancia solar promedio Pg (W/m ²)								
						T _{interior}	Superficie inferior	Techo	Muro masivo				Muro ligero				Tegoluz y azote					Ventanas				
Techo y muro		Techo	Muro				N	E	S	O	N	E	S	O		N	E	S	O							
SONORA	Guaymas	0.476	0.476	0.556	29	32	47	33	37	34	35	38	42	40	42	27	29	30	30	30	322	70	159	131	164	Si
	Hermosillo	0.476	0.476	0.526	25	33	48	34	38	35	36	39	43	41	43	28	29	30	31	31	322	70	159	131	164	
	Obregon	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	322	70	159	131	164	Si
TABASCO	Navojoa	0.526	0.526	0.526	25	31	45	31	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	322	70	159	131	164	Si
	Nogales	0.714	0.714	0.909	25	28	40	27	30	28	28	32	36	35	35	23	25	26	26	26	322	70	159	131	164	
	Villahermosa	0.526	0.526	0.556	25	32	46	32	36	34	34	38	42	40	41	27	28	29	30	30	272	102	140	114	134	Si
TAMAULIPAS	Comalcalco	0.526	0.526	0.625	25	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	Si
	Cd. Victoria	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	35	33	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	272	102	140	114	134	
	Tampico	0.526	0.526	0.625	25	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	28	272	102	140	114	134	Si
TLAXCALA	Matamoros	0.556	0.556	0.833	29	31	45	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	29	29	272	102	140	114	134	Si
	Reynosa	0.556	0.556	0.625	25	31	46	32	35	33	34	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	
	Nuevo Laredo	0.526	0.526	0.556	25	32	46	32	36	34	34	37	42	40	41	27	28	29	30	30	272	102	140	114	134	
VERACRUZ	Tlaxcala	0.909	0.909	0.909	23	24	33	21	23	22	22	27	29	29	28	20	21	21	21	22	272	102	140	114	134	
	Coatzacoahuas	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	29	29	272	102	140	114	134	Si
	Córdoba	0.714	0.714	0.909	24	27	38	25	28	27	27	31	34	33	33	22	24	24	25	25	272	102	140	114	134	
YUCATAN	Jalapa	0.714	0.714	0.909	23	25	36	23	25	24	24	29	32	31	31	21	22	23	23	23	272	102	140	114	134	Si
	Orizaba	0.714	0.714	0.909	24	26	37	24	26	25	25	29	33	32	32	21	23	23	24	24	272	102	140	114	134	
	Tuxpan	0.526	0.526	0.714	25	30	43	30	33	31	31	35	39	37	38	25	27	28	28	28	272	102	140	114	134	Si
ZACATECAS	Poza Rica	0.526	0.526	0.625	25	31	45	31	35	32	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	272	102	140	114	134	Si
	Venezuz	0.526	0.526	0.625	25	31	44	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	29	272	102	140	114	134	Si
	Merida	0.526	0.526	0.625	25	31	44	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	29	284	95	152	119	133	Si
ZACATECAS	Progreso	0.526	0.526	0.714	25	30	44	30	34	31	32	35	39	38	39	25	27	28	28	28	284	95	152	119	133	Si
	Valledoid	0.526	0.526	0.714	25	30	43	30	33	31	31	35	39	37	38	25	27	28	28	28	284	95	152	119	133	Si
	Fresnillo	0.833	0.833	0.909	23	24	34	21	23	23	22	27	30	29	29	20	21	22	22	22	274	91	137	118	146	
Zacatecas	0.909	0.909	0.909	22	24	34	21	23	23	22	27	30	29	29	20	21	22	22	22	274	91	137	118	146		

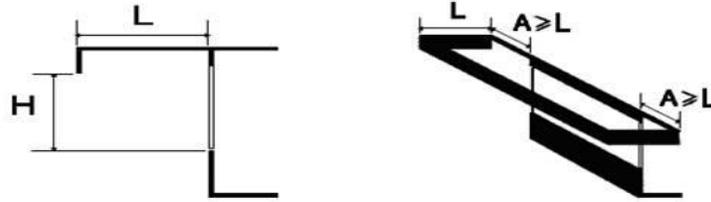
(a) Utilizar los mismos valores para los municipios conurbados del Estado de Mexico que forman la zona metropolitana.

(b) Utilizar los mismos valores para las ciudades de Celaya, Irapuato, Salamanca y Silao.

(c) Utilizar los mismos valores para los municipios de Tlaquepaque, Tonala y Zapopan.

(d) Utilizar los mismos valores para los municipios de Apodaca, Garza Garcia, Guadalupe, San Nicolas de los Garza y Santa Catarina.

Tablas para determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior (SE), por el uso de volados, ventanas remetidas y partesoles para diferentes orientaciones y latitudes.



VOLADO SOBRE LA VENTANA, CON EXTENSIÓN LATERAL MÁS ALLÁ DE LOS LÍMITES DE ÉSTA.

Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente más allá de los límites de ésta (A), una distancia igual o mayor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección establecido en la Tabla A.2.

Tabla A.2 Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral más allá de los límites de ésta.

L/H	NORTE		ESTE Y OESTE		SUR	
	I(*)	II(**)	I(*)	II(**)	I(*)	II(**)
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	0,94	0,94	0,95	0,98	0,92	0,96
0,20	0,90	0,90	0,90	0,96	0,85	0,93
0,30	0,86	0,88	0,85	0,93	0,79	0,90
0,40	0,84	0,84	0,80	0,92	0,73	0,87
0,50	0,82	0,82	0,77	0,90	0,68	0,84
0,60	0,80	0,80	0,73	0,89	0,63	0,82
0,70	0,79	0,79	0,70	0,87	0,59	0,79
0,80	0,78	0,78	0,67	0,86	0,55	0,78
1,00	0,76	0,75	0,63	0,84	0,49	0,75
1,20	0,74	0,73	0,60	0,83	0,45	0,74

(*) **ZONA I** (latitud desde 33° y hasta 23°)

(**) **ZONA II** (latitud menor de 23° y hasta 14°)

VOLADO SOBRE LA VENTANA, CON EXTENSIÓN LATERAL HASTA LOS LÍMITES DE ÉSTA.

Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente hasta los límites de ésta, o más allá de los límites de ésta, una distancia menor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la Tabla A.3.

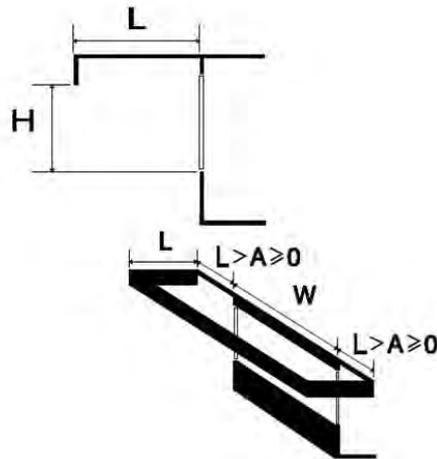


Tabla A.3 Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral hasta los límites de ésta.

Ventanas al Norte con latitud de 19° y hasta 14°						
W/H →	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89
0,2	0,90	0,85	0,82	0,81	0,80	0,80
0,3	0,88	0,81	0,77	0,74	0,73	0,72
0,4	0,84	0,77	0,72	0,69	0,67	0,66
0,5	0,82	0,73	0,67	0,64	0,62	0,61
0,6	0,80	0,70	0,63	0,60	0,57	0,56
0,7	0,79	0,67	0,61	0,56	0,53	0,52
0,8	0,78	0,66	0,58	0,53	0,50	0,49
1,0	0,75	0,64	0,54	0,48	0,44	0,43
1,2	0,73	0,62	0,51	0,44	0,40	0,39

Ventanas al Norte con latitud de 23° y hasta 19°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,93	0,90	0,91	0,91	0,91
0,2	0,90	0,89	0,82	0,84	0,84	0,84
0,3	0,87	0,85	1,03	0,78	0,78	0,79
0,4	0,85	0,83	0,99	0,73	0,74	0,74
0,5	0,83	0,80	0,95	0,81	0,77	0,70
0,6	0,82	0,78	0,92	0,78	0,74	0,72
0,7	0,81	0,76	0,90	0,76	0,72	0,70
0,8	0,84	0,75	0,88	0,74	0,69	0,68
1,0	0,79	0,73	0,85	0,70	0,66	0,64
1,2	0,78	0,72	0,82	0,68	0,63	0,61
Ventanas al Norte con latitud de 28° y hasta 23°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93
0,2	0,90	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
0,3	0,86	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82
0,4	0,84	0,79	0,79	0,78	0,77	0,77
0,5	0,82	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74
0,6	0,80	0,75	0,73	0,71	0,70	0,70
0,7	0,79	0,73	0,71	0,68	0,67	0,67
0,8	0,78	0,71	0,69	0,66	0,65	0,64
1,0	0,76	0,69	0,66	0,62	0,61	0,60
1,2	0,74	0,67	0,63	0,59	0,57	0,56
Ventanas al Norte con latitud de 32° y hasta 28°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93
0,2	0,92	0,91	0,89	0,88	0,88	0,88
0,3	0,90	0,88	0,86	0,84	0,84	0,84
0,4	0,89	0,86	0,83	0,81	0,81	0,80
0,5	0,87	0,84	0,81	0,78	0,78	0,77
0,6	0,86	0,82	0,80	0,76	0,75	0,74
0,7	0,86	0,81	0,78	0,74	0,73	0,72

0,8	0,85	0,80	0,77	0,72	0,71	0,70
1,0	0,84	0,79	0,74	0,69	0,68	0,67
1,2	0,84	0,78	0,72	0,68	0,66	0,65
Ventanas al Este y Oeste con latitud de 19° y hasta 14°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89
0,2	0,89	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79
0,3	0,86	0,78	0,76	0,73	0,71	0,71
0,4	0,83	0,73	0,70	0,65	0,64	0,63
0,5	0,79	0,69	0,65	0,59	0,58	0,57
0,6	0,77	0,65	0,61	0,54	0,52	0,51
0,7	0,76	0,63	0,58	0,50	0,48	0,47
0,8	0,74	0,61	0,54	0,46	0,44	0,43
1,0	0,72	0,57	0,48	0,40	0,37	0,36
1,2	0,71	0,54	0,44	0,36	0,32	0,30
Ventanas al Este y Oeste con latitud de 23° y hasta 19°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
0,2	0,87	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85
0,3	0,82	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79
0,4	0,78	0,76	0,74	0,73	0,73	0,73
0,5	0,75	0,72	0,69	0,68	0,68	0,68
0,6	0,73	0,68	0,65	0,64	0,64	0,63
0,7	0,70	0,65	0,62	0,60	0,59	0,59
0,8	0,68	0,62	0,59	0,57	0,56	0,56
1,0	0,65	0,58	0,54	0,51	0,50	0,50
1,2	0,63	0,55	0,50	0,47	0,45	0,45
Ventanas al Este y Oeste con latitud de 28° y hasta 23°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91
0,20	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,83

0,30	0,82	0,79	0,77	0,76	0,76	0,76
0,40	0,78	0,74	0,72	0,70	0,70	0,70
0,50	0,74	0,70	0,67	0,65	0,64	0,64
0,60	0,71	0,66	0,62	0,60	0,59	0,59
0,70	0,69	0,63	0,59	0,56	0,55	0,55
0,80	0,67	0,60	0,55	0,52	0,51	0,51
1,00	0,64	0,56	0,50	0,46	0,45	0,45
1,20	0,61	0,53	0,46	0,42	0,40	0,40

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 32° y hasta 28°

W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91
0,2	0,87	0,86	0,83	0,83	0,83	0,82
0,3	0,83	0,79	0,78	0,76	0,75	0,74
0,4	0,79	0,74	0,72	0,69	0,68	0,67
0,5	0,76	0,70	0,67	0,63	0,62	0,61
0,6	0,73	0,66	0,62	0,59	0,57	0,56
0,7	0,71	0,63	0,58	0,55	0,52	0,52
0,8	0,69	0,60	0,55	0,51	0,49	0,48
1,0	0,66	0,56	0,49	0,45	0,43	0,41
1,2	0,64	0,52	0,45	0,40	0,38	0,36

Ventanas al Sur con latitud de 19° y hasta 14°

W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,91	0,90	0,87	0,86	0,86
0,2	0,90	0,84	0,81	0,76	0,75	0,74
0,3	0,87	0,78	0,74	0,68	0,65	0,64
0,4	0,84	0,74	0,68	0,61	0,57	0,55
0,5	0,81	0,71	0,63	0,55	0,51	0,49
0,6	0,79	0,69	0,60	0,50	0,46	0,43
0,7	0,78	0,67	0,56	0,46	0,42	0,39
0,8	0,77	0,66	0,54	0,43	0,39	0,36
1,0	0,76	0,64	0,50	0,39	0,34	0,31
1,2	0,76	0,62	0,47	0,36	0,30	0,28

Ventanas al Sur con latitud de 23° y hasta 19°

W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,92	0,91	0,91	1,05	0,86	0,87
0,2	0,87	0,84	0,84	0,95	0,81	0,75
0,3	0,82	0,79	0,77	0,88	0,79	0,71
0,4	0,79	0,74	0,72	0,81	0,73	0,69
0,5	0,75	0,71	0,67	0,75	0,67	0,64
0,6	0,73	0,67	0,63	0,70	0,62	0,59
0,7	0,71	0,64	0,60	0,65	0,58	0,55
0,8	0,70	0,62	0,57	0,61	0,54	0,51
1,0	0,68	0,60	0,53	0,56	0,49	0,46
1,2	0,67	0,58	0,50	0,52	0,45	0,42

Ventanas al Sur con latitud de 28° y hasta 23°

W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,91	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88
0,2	0,86	0,82	0,80	0,79	0,79	0,79
0,3	0,82	0,77	0,73	0,72	0,71	0,71
0,4	0,80	0,72	0,68	0,65	0,65	0,64
0,5	0,76	0,69	0,63	0,60	0,59	0,58
0,6	0,74	0,65	0,59	0,55	0,53	0,53
0,7	0,73	0,63	0,55	0,51	0,49	0,48
0,8	0,71	0,61	0,52	0,47	0,45	0,44
1,0	0,69	0,58	0,48	0,42	0,40	0,38
1,2	0,68	0,56	0,46	0,39	0,36	0,35

Ventanas al Sur con latitud de 32° y hasta 28°

W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84
0,2	0,85	0,79	0,77	0,74	0,73	0,72
0,3	0,81	0,74	0,69	0,65	0,63	0,62
0,4	0,78	0,69	0,63	0,58	0,55	0,54
0,5	0,76	0,67	0,59	0,53	0,50	0,48

0,6	0,75	0,64	0,56	0,49	0,46	0,44
0,7	0,74	0,63	0,53	0,46	0,43	0,41
0,8	0,74	0,62	0,52	0,44	0,41	0,39
1,0	0,73	0,61	0,50	0,42	0,39	0,37
1,2	0,73	0,60	0,49	0,40	0,37	0,35

VENTANA REMETIDA

Si se construye una ventana remetida, se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la Tabla A.4.

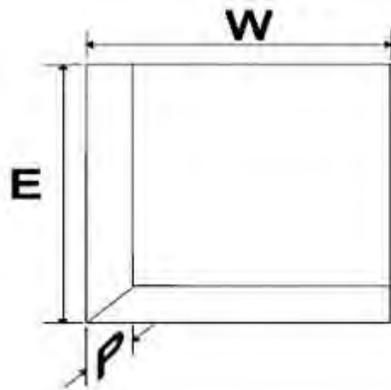


Tabla A.4. Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de ventanas remetidas

Ventanas al Norte con latitud de 19° y hasta 14°						
W/E →	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,71	0,82	0,87	0,88	0,88	0,89
0,2	0,57	0,64	0,74	0,75	0,79	0,80
0,3	0,45	0,54	0,62	0,68	0,68	0,72
0,4	0,38	0,48	0,53	0,62	0,63	0,65
0,5	0,28	0,42	0,47	0,57	0,57	0,57
0,6	0,27	0,33	0,42	0,50	0,52	0,52
0,7	0,22	0,29	0,37	0,46	0,49	0,49
0,8	0,21	0,25	0,35	0,40	0,45	0,45
1,0	0,17	0,17	0,29	0,34	0,38	0,40

	1,2	0,13	0,15	0,23	0,30	0,32	0,36
Ventanas al Norte con latitud de 23° y hasta 19°							
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor	
P/E							
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
0,1	0,69	0,83	0,86	0,89	0,90	0,91	
0,2	0,57	0,68	0,72	0,78	0,83	0,84	
0,3	0,45	0,61	0,87	0,72	0,74	0,78	
0,4	0,38	0,56	0,79	0,67	0,70	0,73	
0,5	0,29	0,52	0,75	0,75	0,65	0,67	
0,6	0,28	0,45	0,69	0,69	0,70	0,64	
0,7	0,24	0,42	0,65	0,67	0,67	0,67	
0,8	0,23	0,39	0,63	0,62	0,65	0,64	
1,0	0,20	0,32	0,58	0,57	0,60	0,61	
1,2	0,17	0,30	0,52	0,54	0,55	0,58	
Ventanas al Norte con latitud de 28° y hasta 23°							
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor	
P/E							
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
0,1	0,70	0,83	0,90	0,92	0,92	0,93	
0,2	0,54	0,66	0,80	0,83	0,87	0,87	
0,3	0,40	0,57	0,71	0,77	0,78	0,81	
0,4	0,32	0,51	0,63	0,73	0,74	0,77	
0,5	0,22	0,46	0,60	0,69	0,69	0,70	
0,6	0,20	0,39	0,54	0,63	0,66	0,67	
0,7	0,16	0,35	0,50	0,60	0,63	0,64	
0,8	0,14	0,32	0,48	0,55	0,60	0,61	
1,0	0,10	0,24	0,43	0,49	0,55	0,57	
1,2	0,06	0,23	0,37	0,46	0,49	0,53	
Ventanas al Norte con latitud de 32° y hasta 28°							
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor	
P/E							
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
0,1	0,71	0,85	0,91	0,92	0,92	0,93	
0,2	0,58	0,71	0,81	0,83	0,87	0,87	
0,3	0,47	0,63	0,73	0,78	0,80	0,83	
0,4	0,41	0,58	0,66	0,75	0,77	0,78	
0,5	0,34	0,53	0,62	0,71	0,73	0,74	

0,6	0,33	0,47	0,59	0,67	0,71	0,70
0,7	0,30	0,44	0,55	0,65	0,68	0,68
0,8	0,30	0,42	0,54	0,61	0,66	0,66
1,0	0,27	0,36	0,51	0,56	0,61	0,63
1,2	0,25	0,35	0,46	0,54	0,57	0,60
Ventanas al Este y Oeste con latitud de 19° y hasta 14°						
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,80	0,85	0,89	0,89	0,88	0,89
0,2	0,68	0,68	0,77	0,76	0,79	0,79
0,3	0,57	0,60	0,67	0,68	0,68	0,70
0,4	0,49	0,53	0,58	0,60	0,61	0,63
0,5	0,41	0,47	0,51	0,54	0,55	0,54
0,6	0,39	0,39	0,44	0,48	0,49	0,49
0,7	0,35	0,35	0,39	0,43	0,45	0,44
0,8	0,33	0,32	0,36	0,38	0,40	0,40
1,0	0,29	0,23	0,30	0,31	0,33	0,34
1,2	0,25	0,21	0,24	0,27	0,27	0,29
Ventanas al Este y Oeste con latitud de 23° y hasta 19°						
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,78	0,87	0,91	0,91	0,92	0,92
0,2	0,64	0,73	0,80	0,82	0,85	0,85
0,3	0,51	0,63	0,72	0,76	0,76	0,79
0,4	0,42	0,56	0,63	0,70	0,71	0,72
0,5	0,32	0,50	0,58	0,65	0,66	0,66
0,6	0,29	0,43	0,53	0,59	0,61	0,62
0,7	0,23	0,38	0,48	0,55	0,57	0,58
0,8	0,21	0,34	0,45	0,50	0,53	0,54
1,0	0,15	0,26	0,38	0,43	0,47	0,48
1,2	0,11	0,23	0,32	0,39	0,41	0,44
Ventanas al Este y Oeste con latitud de 28° y hasta 23°						
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,77	0,86	0,90	0,91	0,91	0,92
0,2	0,62	0,71	0,79	0,80	0,83	0,83
0,3	0,49	0,62	0,69	0,73	0,73	0,76
0,4	0,39	0,54	0,60	0,66	0,67	0,69
0,5	0,30	0,48	0,55	0,61	0,62	0,62
0,6	0,27	0,40	0,49	0,54	0,56	0,57
0,7	0,21	0,35	0,44	0,50	0,52	0,53
0,8	0,19	0,31	0,40	0,45	0,49	0,49
1,0	0,14	0,23	0,35	0,38	0,42	0,43
1,2	0,10	0,19	0,28	0,34	0,35	0,38

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 32° y hasta 28°

W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,83	0,88	0,90	0,91	0,91	0,91
0,2	0,73	0,76	0,80	0,81	0,82	0,82
0,3	0,63	0,67	0,72	0,73	0,73	0,75
0,4	0,56	0,60	0,64	0,66	0,66	0,67
0,5	0,48	0,55	0,58	0,60	0,60	0,60
0,6	0,45	0,48	0,52	0,55	0,55	0,55
0,7	0,40	0,44	0,47	0,50	0,51	0,50
0,8	0,38	0,40	0,44	0,45	0,47	0,47
1,0	0,33	0,33	0,38	0,39	0,41	0,41
1,2	0,29	0,29	0,32	0,34	0,35	0,36

Ventanas al Sur con latitud de 19° y hasta 14°

W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,77	0,83	0,87	0,85	0,85	0,87
0,2	0,66	0,67	0,74	0,71	0,74	0,73
0,3	0,57	0,59	0,62	0,62	0,61	0,63
0,4	0,52	0,53	0,52	0,55	0,53	0,54
0,5	0,46	0,47	0,47	0,49	0,47	0,46
0,6	0,44	0,40	0,41	0,42	0,42	0,41
0,7	0,41	0,37	0,37	0,39	0,38	0,37
0,8	0,41	0,35	0,35	0,34	0,35	0,34

1,0	0,38	0,28	0,31	0,29	0,30	0,29
1,2	0,36	0,27	0,26	0,26	0,25	0,26
Ventanas al Sur con latitud de 23° y hasta 19°						
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,72	0,83	0,89	1,04	0,85	0,87
0,2	0,55	0,67	0,76	0,91	0,80	0,74
0,3	0,40	0,56	0,67	0,82	0,75	0,71
0,4	0,31	0,48	0,58	0,75	0,69	0,68
0,5	0,21	0,41	0,52	0,68	0,63	0,61
0,6	0,19	0,34	0,46	0,61	0,58	0,56
0,7	0,14	0,29	0,41	0,56	0,54	0,52
0,8	0,13	0,26	0,37	0,50	0,50	0,49
1,0	0,10	0,20	0,32	0,43	0,44	0,43
1,2	0,08	0,18	0,27	0,40	0,39	0,40
Ventanas al Sur con latitud de 28° y hasta 23°						
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,74	0,81	0,86	0,88	0,87	0,88
0,2	0,56	0,66	0,74	0,75	0,78	0,79
0,3	0,43	0,55	0,63	0,67	0,68	0,71
0,4	0,36	0,49	0,54	0,61	0,62	0,63
0,5	0,28	0,42	0,49	0,55	0,55	0,56
0,6	0,26	0,34	0,43	0,48	0,50	0,50
0,7	0,22	0,31	0,38	0,44	0,46	0,46
0,8	0,21	0,27	0,35	0,38	0,42	0,42
1,0	0,19	0,21	0,30	0,33	0,35	0,37
1,2	0,17	0,19	0,25	0,29	0,31	0,33
Ventanas al Sur con latitud de 32° y hasta 28°						
W/E→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,73	0,80	0,84	0,84	0,84	0,84
0,2	0,60	0,64	0,70	0,70	0,72	0,71

0,3	0,50	0,55	0,60	0,61	0,60	0,62
0,4	0,46	0,48	0,51	0,54	0,53	0,54
0,5	0,40	0,45	0,47	0,49	0,48	0,47
0,6	0,39	0,40	0,42	0,44	0,44	0,43
0,7	0,36	0,37	0,39	0,41	0,41	0,40
0,8	0,36	0,35	0,38	0,38	0,40	0,38
1,0	0,34	0,31	0,36	0,35	0,37	0,36
1,2	0,32	0,30	0,32	0,34	0,34	0,35

PARTESOLES

Si se construye una ventana con partesoles, se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la Tabla A.5.

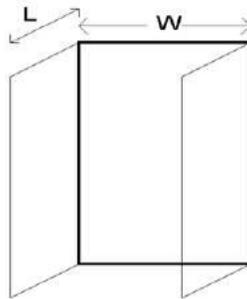


Tabla A.5. Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de ventanas con partesoles.

Latitud 14° hasta 19°			
L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,52	0,64	0,56
1	0,26	0,44	0,34
1,5	0,13	0,35	0,24
2	0,05	0,30	0,17
Latitud 19° hasta 23°			
L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,54	0,67	0,56
1	0,28	0,45	0,32
1,5	0,16	0,32	0,20
2	0,09	0,24	0,14
Latitud 23° hasta 28°			
L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,54	0,67	0,57
1	0,28	0,47	0,31
1,5	0,15	0,35	0,18
2	0,06	0,27	0,11
Latitud 28° hasta 32°			
L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,53	0,77	0,62
1	0,28	0,62	0,40
1,5	0,16	0,53	0,29
2	0,10	0,47	0,23

Procedimiento para la interpolación de datos en tablas.

Supóngase la siguiente tabla:

W/H	x_n	x_{n+1}
L/H		
y_n	a	b
y_{n+1}	c	d

Si el valor buscado corresponde a:

$$y_n < y < y_{n+1}$$

y

$$x_n < x < x_{n+1}$$

donde:

$x_n, x_{n+1}, y_n, y_{n+1}$ son los índices de la tabla y 'x' y 'y' son los valores que correspondan al resultado buscado en la tabla, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$F_x = \frac{(x - x_n)}{(x_{n+1} - x_n)}$$

$$F_y = \frac{(y - y_n)}{(y_{n+1} - y_n)}$$

$$\text{Valor buscado} = F_x F_y (d - c - b + a) + F_x (b - a) + F_y (c - a) + a$$

APENDICE B

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (k)

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{M} \quad (\text{B.1})$$

donde:

K : es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente del Edificio, de superficie a superficie, en $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

M : es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en $\text{m}^2 \text{K} / \text{W}$.

B.1 Aislamiento térmico total de las porciones de la envolvente de un edificio formado por capas homogéneas.

El aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio formado con capas térmicamente homogéneas, y perpendiculares al flujo del calor, deben de calcularse con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n} \quad (\text{B.2})$$

donde:

M : es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en $\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$.

h_i : es la conductancia superficial interior, en $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$. Su valor es 8.1 para superficies verticales, 9.4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba (del piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo), y 6.6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire interior o del aire interior al piso).

h_e : es la conductancia superficial exterior, y es igual a 13 $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$.

n : es el número de capas que forman la porción de la envolvente del edificio.

l : es el espesor de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio, en m.

λ : es el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio, en $\text{W}/\text{m} \text{K}$.

B.2: Aislamiento térmico total de porciones formadas por capas homogéneas y capas no homogéneas.

El aislamiento térmico total de las porciones de las envolvente de un edificio, formado con capas térmicamente homogéneas y térmicamente no homogéneas paralelas a la superficie, como se muestra esquemáticamente en la Figura 1A, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$M = \frac{1}{\frac{1}{M_{Parcial}} + \frac{F_1}{g} + \frac{F_2}{g} + \frac{F_n}{g}} \quad (B.3)$$

$$M_{Parcial} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n} \quad (B.4)$$

donde:

Mparcial: es el aislamiento térmico parcial de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie ($m^2 K/W$). Es la suma de todos los aislamientos térmicos de todas las capas y aislamientos superficiales que componen la parte de la envolvente del edificio, excepto lo de la capa no homogénea.

m: es el número de materiales que forman la capa no homogénea.

F: es la fracción del área total de la porción de la envolvente del edificio, ocupada por cada material en la capa no homogénea.

g: es el grueso de la capa no homogénea

Supóngase un muro estructurado de la forma siguiente: madera con triplay y mortero en la superficie exterior, tablero de yeso en la superficie interior y entre ambos una estructura de madera con polines verticales y aislante térmico.

Entonces, la estructura de madera (polines), y el aislamiento térmico son lo que se llama capas no homogéneas. En este caso particular se asume que el aislante térmico es el material 1 y que los polines son el material 2 (véase la figura B1). Para fines de cálculo se utilizarán las áreas totales.

Datos requeridos para el cálculo:

$$h_e = 13 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Mortero de cal al exterior de 5 mm} \quad l = 0,872 \text{ W/mK} \quad l = 0,005 \text{ m}$$

$$\text{Triplay de 9,6 mm} \quad l = 0,116 \text{ W/mK} \quad l = 0,0096 \text{ m}$$

$$\text{Aislante térmico} \quad l = 0,035 \text{ W/mK} \quad l = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Polín de madera de 0,05 por 0,1 m} \quad l = 0,130 \text{ W/mK} \quad l = 0,1 \text{ m}$$

Tablero de yeso de 9,6 mm

$$l = 0,168 \text{ W/mK} \quad l = 0,0096 \text{ m}$$

$$h_i = 8,1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El muro es de 2,4 m de altura y de 10 m de ancho. Por lo tanto, incluyendo los polines de los extremos se cuenta con 17 polines (la distancia entre polines es de 60 cm).

$$\text{Área de muro} = 2,4 \times 10 = 24 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de polines} = 17 \times 0,05 \times 2,4 = 2,04 \text{ m}^2$$

$$\text{Fracción del área total de polines} = 2,04/24 = 0,085$$

$$\text{Fracción del área total de aislante térmico} = (24-2,04)/24 = 0,915$$

$$M_{\text{Parcial}} = \frac{1}{8,1} + \frac{1}{13} + \frac{0,005}{0,872} + \frac{0,0096}{0,116} + \frac{0,0096}{0,118} = 0,3460152 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$M = \frac{1}{\frac{0,085}{\frac{0,3460152 + \frac{0,1}{0,130}}}} + \frac{0,915}{\frac{0,3460152 + \frac{0,1}{0,035}}} = 2,7634 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$K = \frac{1}{2,7634} = 0,3619 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

APENDICE C

Valores de conductividad térmica de los materiales de construcción.

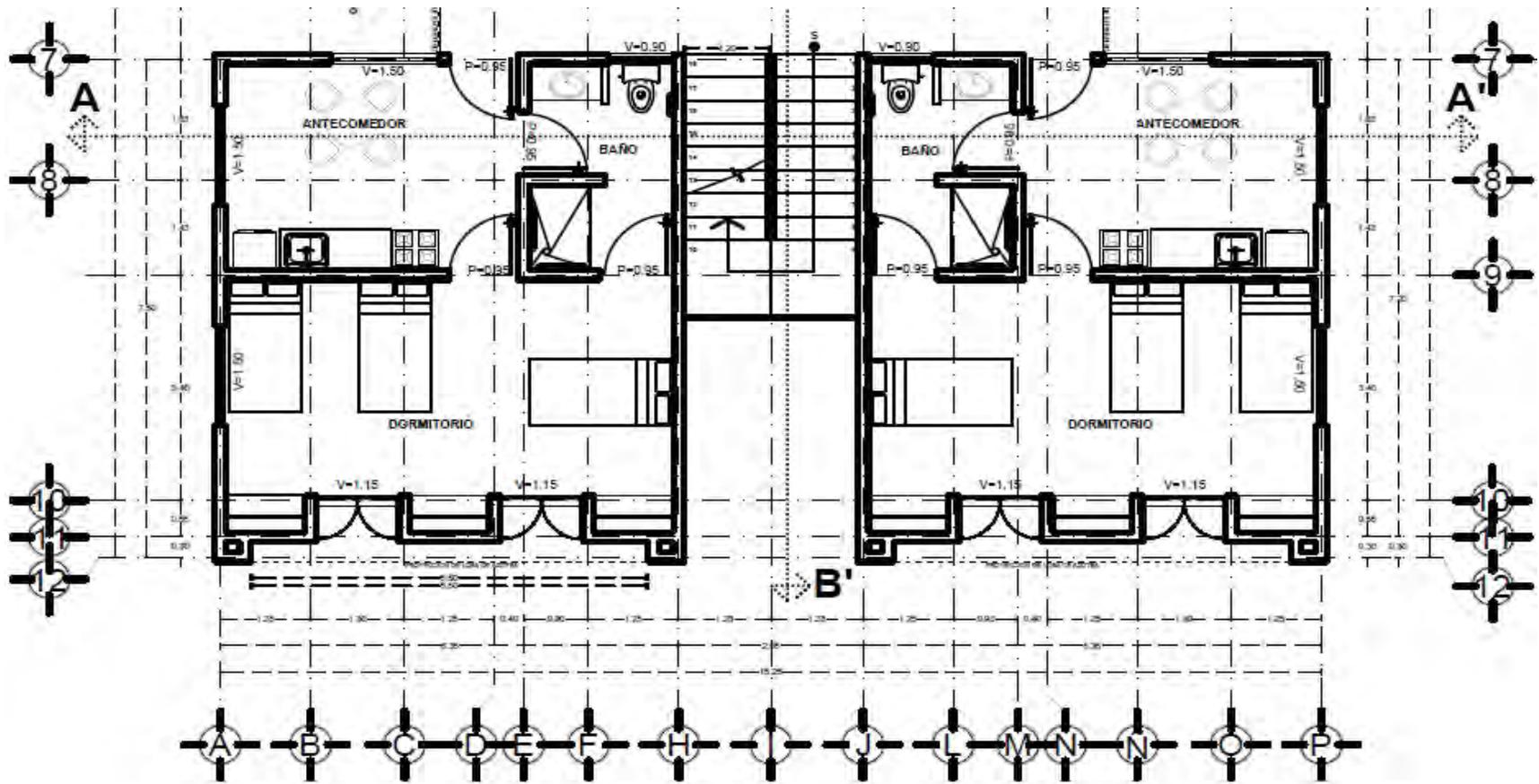
Subíndice	Material	L Espesor (m)	λ Conductividad Térmica (W/m K)
Muro			
1	Pintura exterior vinílica exterior	0.001	0.26
2	Aplanado de cal-arena-cemento (mortero) exterior	0.02	0.721
3	Block hueco de concreto vibro prensado	0.15	0.998
4	Aplanado de cal-arena-cemento (mortero) interior	0.02	0.721
5	Pintura interior vinílica interior	0.001	0.26
Ventanas			
1	Vidrio polarizado	0.003	0.814
Puertas			
1	Madera (Pino)	0.04	0.22
Techo segundo nivel			
1	Calcreto	0.02	0.372
2	Concreto armado	0.05	1.74
3	Vigueta y bovedilla	0.25	0.99
4	Aplanado de cal-arena-cemento (mortero)	0.02	0.721
5	Pintura vinílica	0.001	0.26
Aislante térmico			
1	Espuma de polietileno con aluminio puro	0.005	0.035
2	Placa de poliestireno expandido	0.015	0.036
3	Placas de Foamular con recubrimiento de concreto	0.075	0.02587
4	Placa de poliestireno extruido	0.3	0.034

ANEXOS

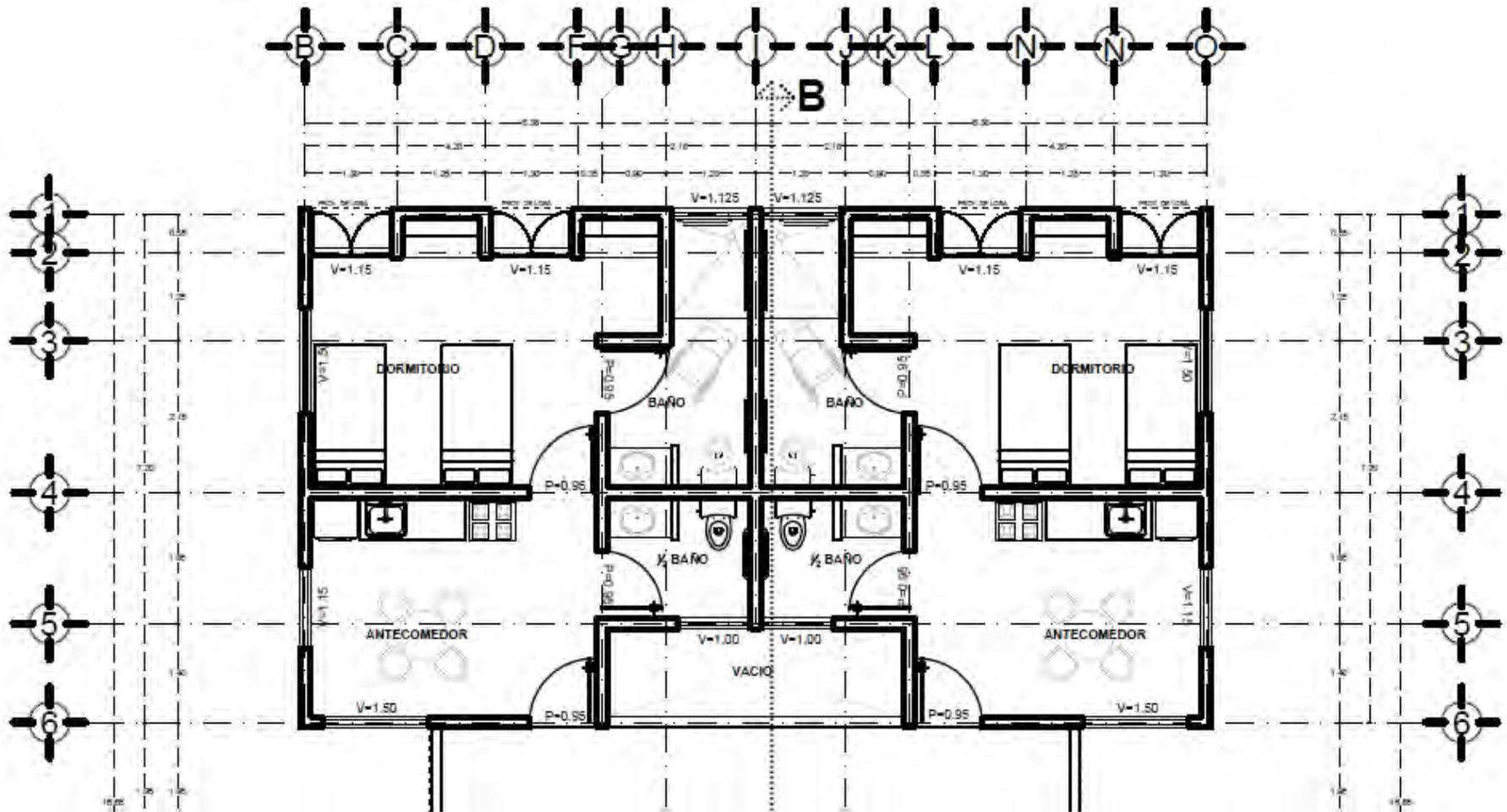
ANEXO 1

PLANOS DE LAS VILLAS UNIVERSITARIAS UQROO.

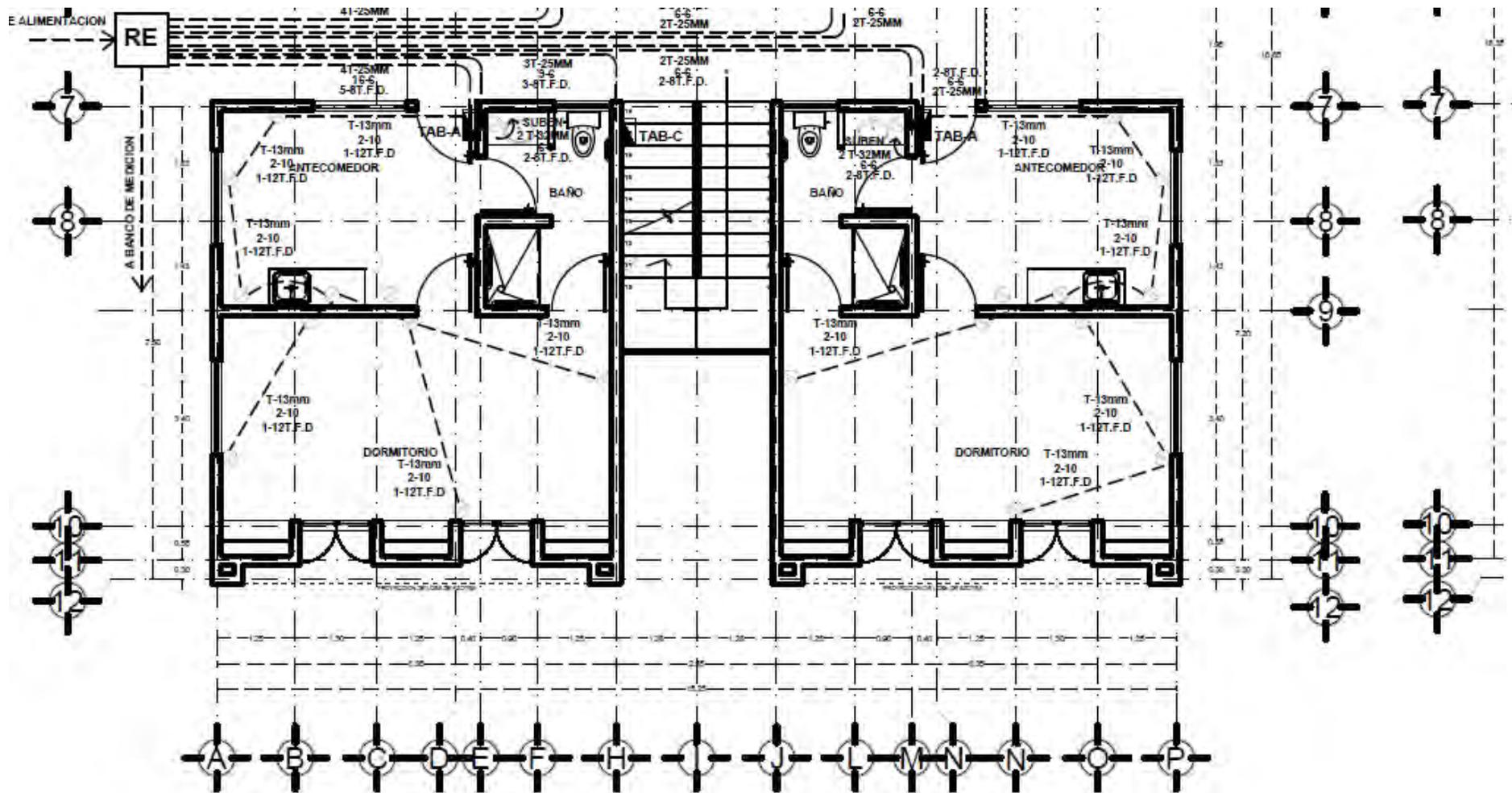
Se describen las dimensiones de las Villas universitarias UQROO. La orientación de los muros se describe de acuerdo a la Figura 4.1 del capítulo IV.



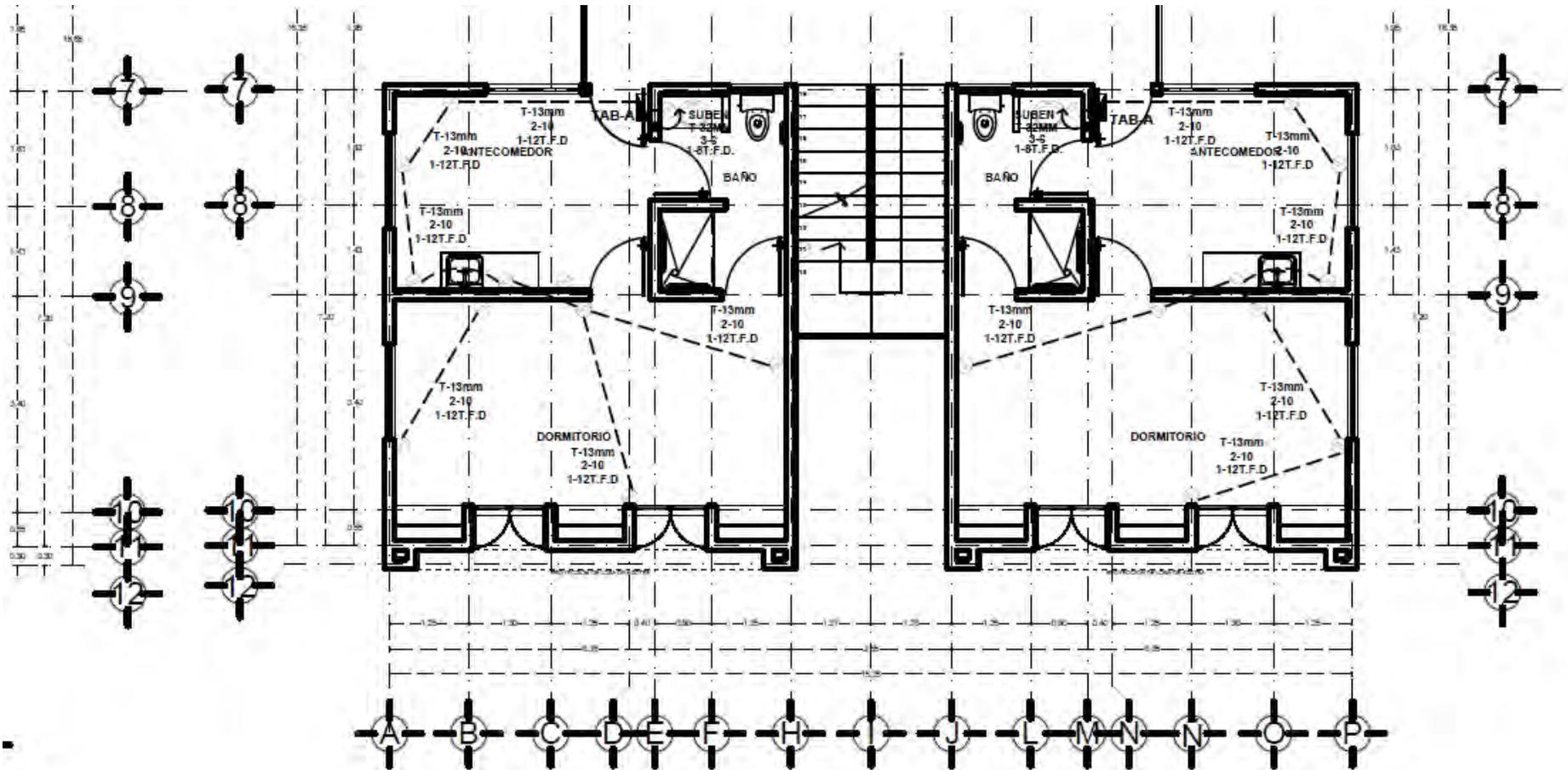
PLANTA BAJA



PLANTA ALTA



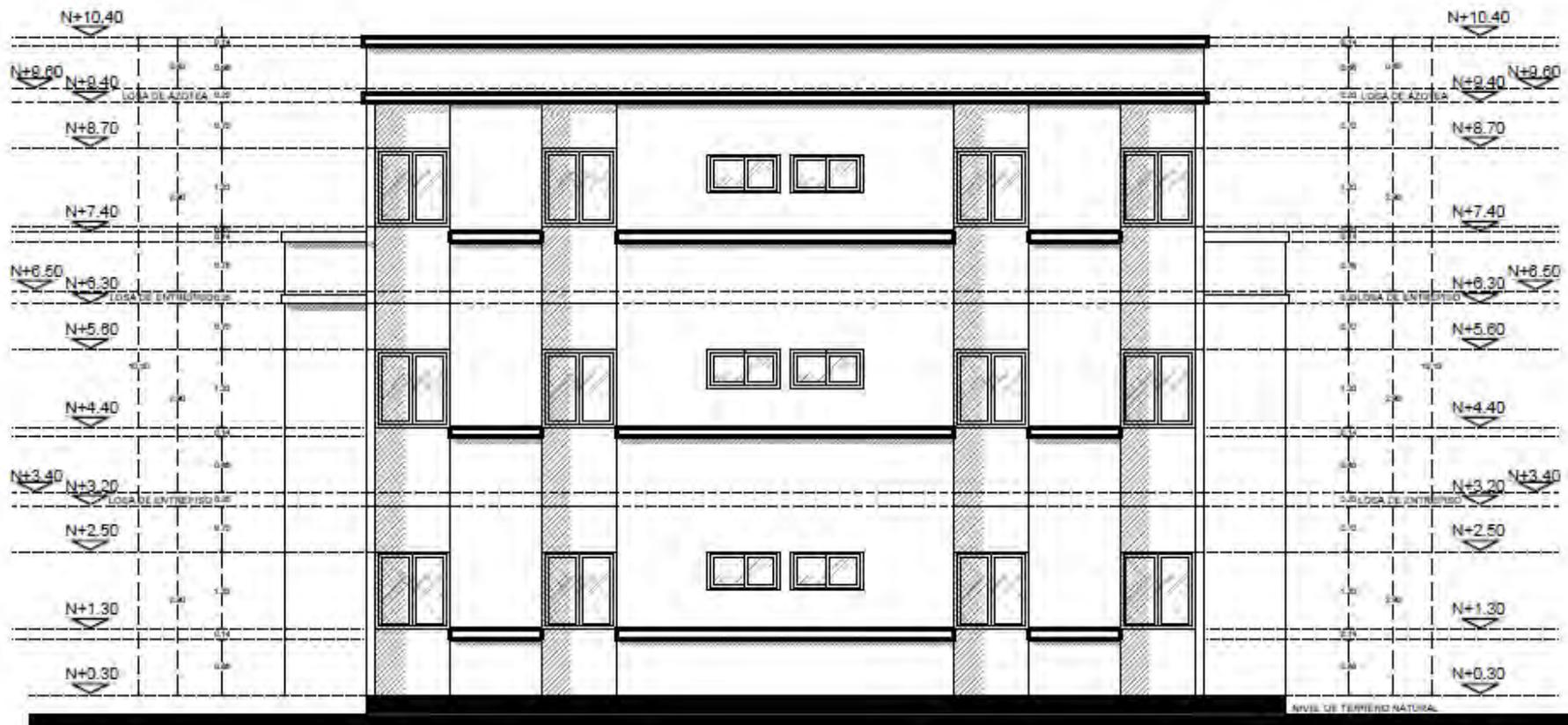
PLANO ELECTRICO PLANTA BAJA



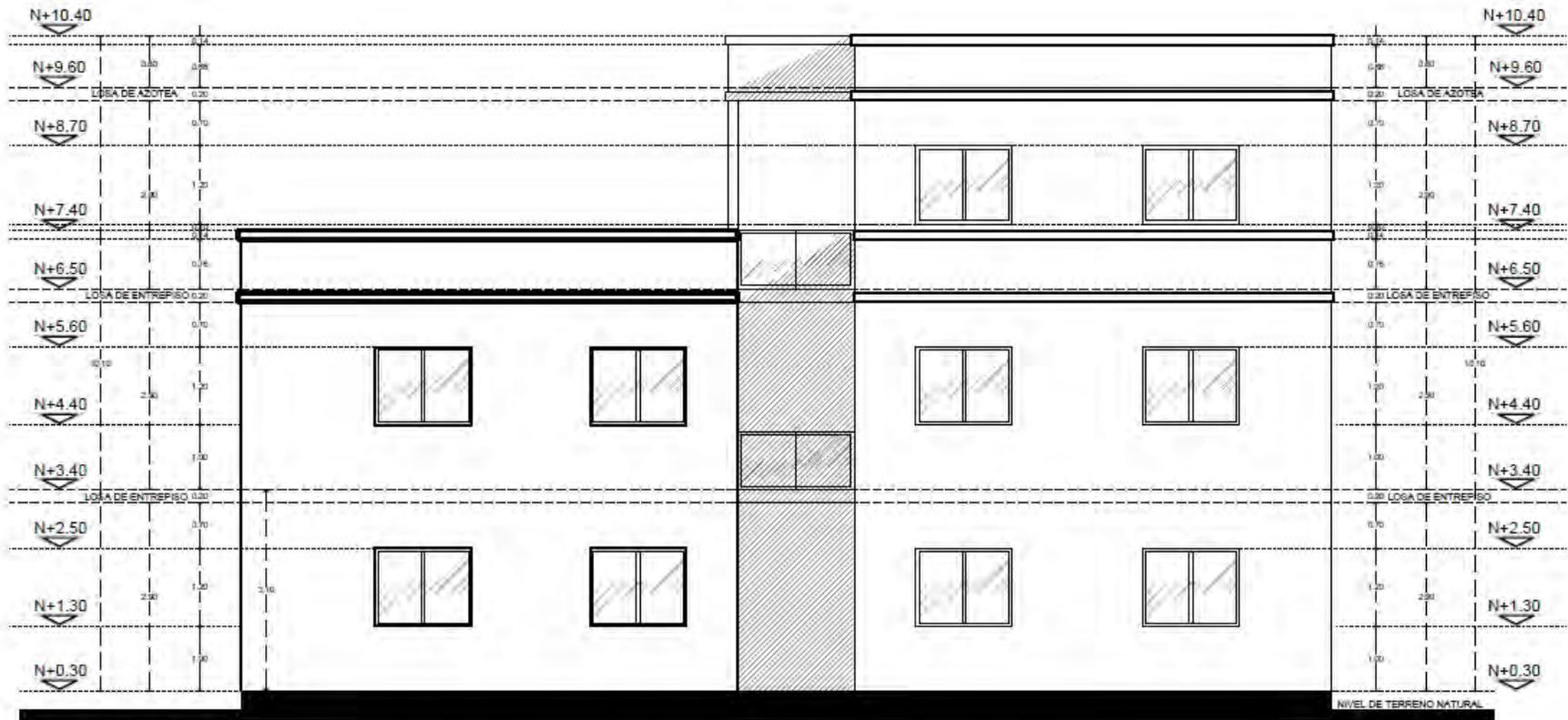
PLANO ELECTRICO PLANTA ALTA



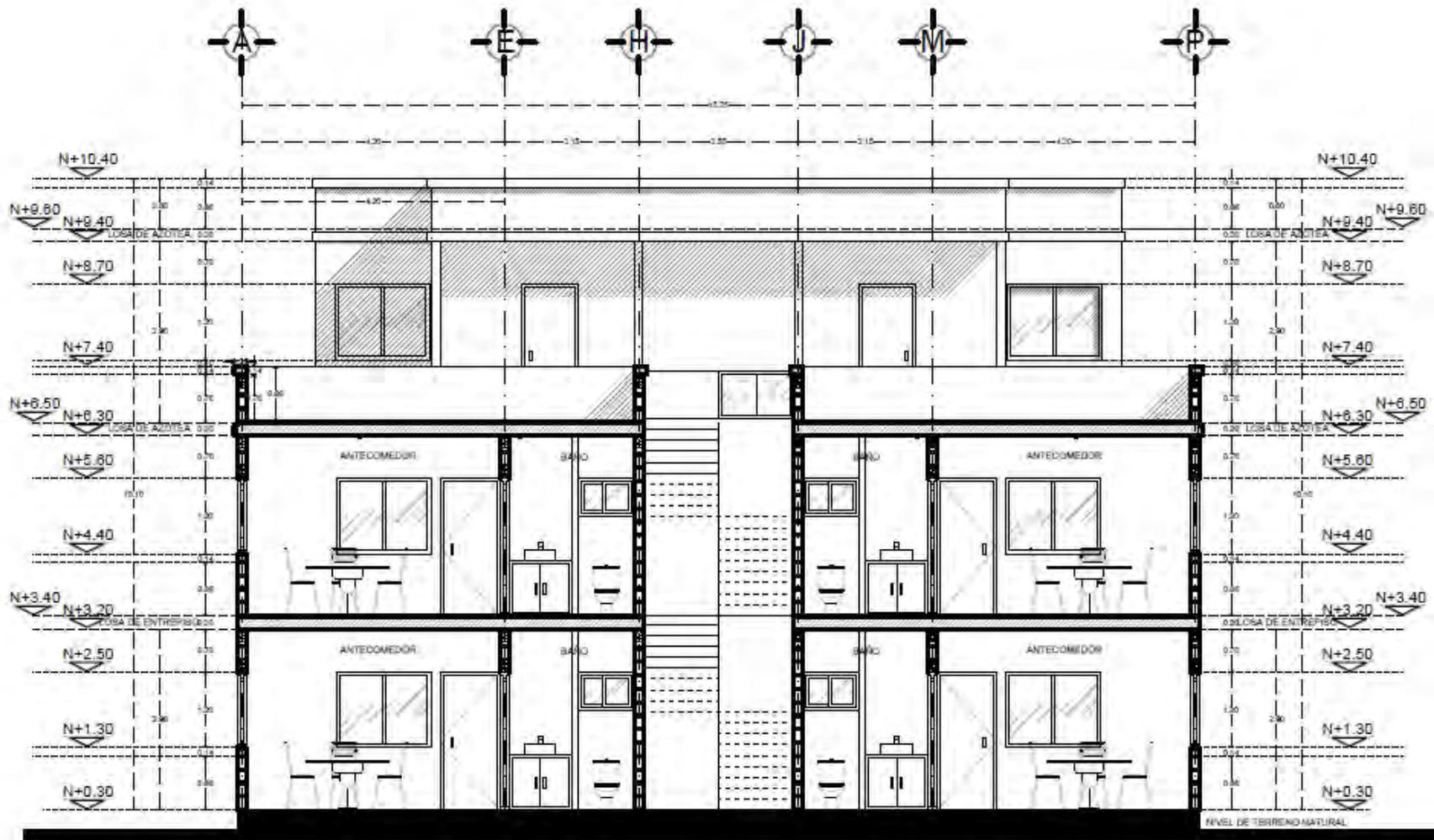
FACHADA OESTE



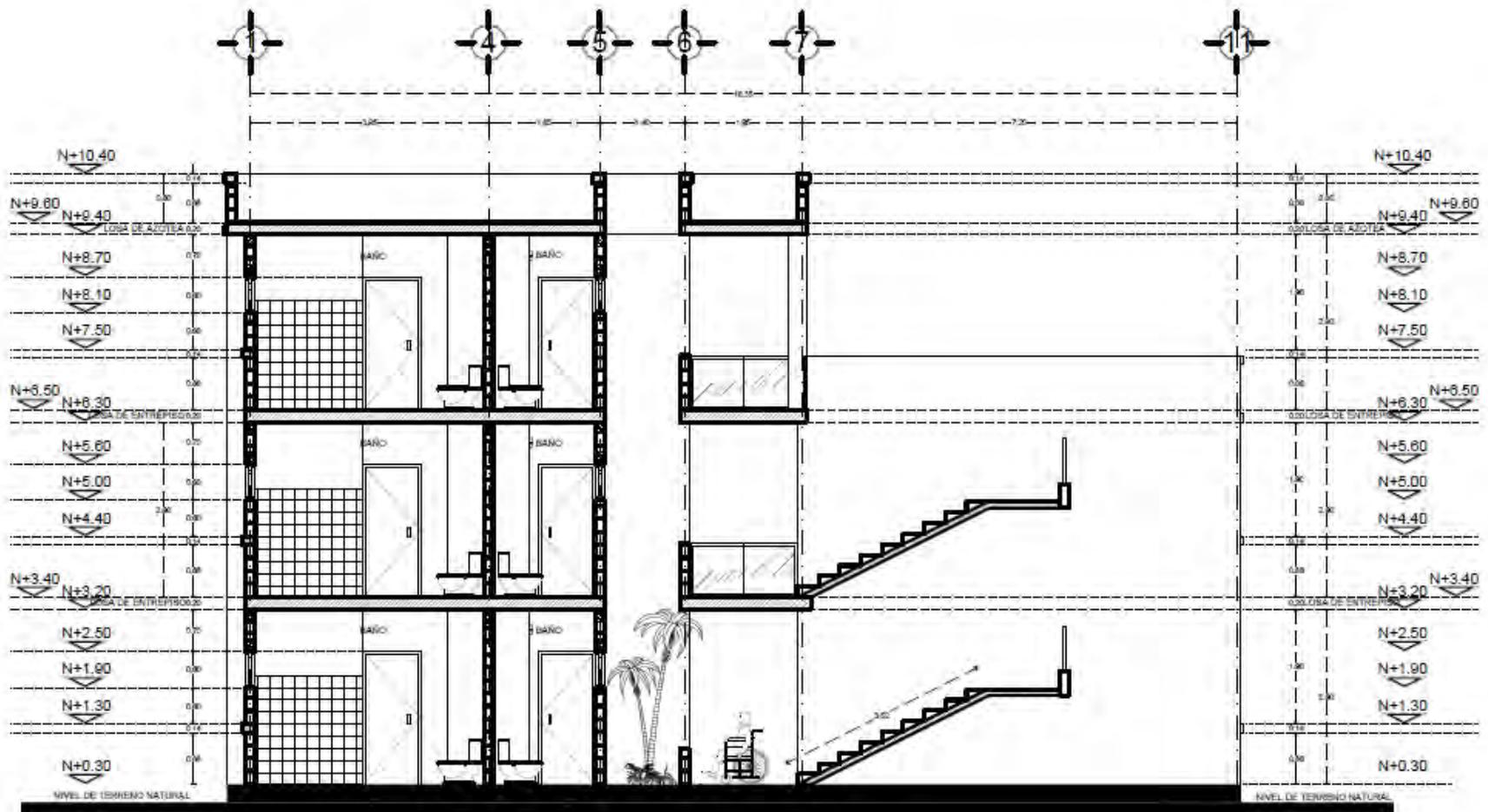
FACHADA ESTE



FACHADA SUR



FACHADA OESTE
CORTE TRANSVERSAL



FACHADA ESTE
CORTE LONGITUDINAL

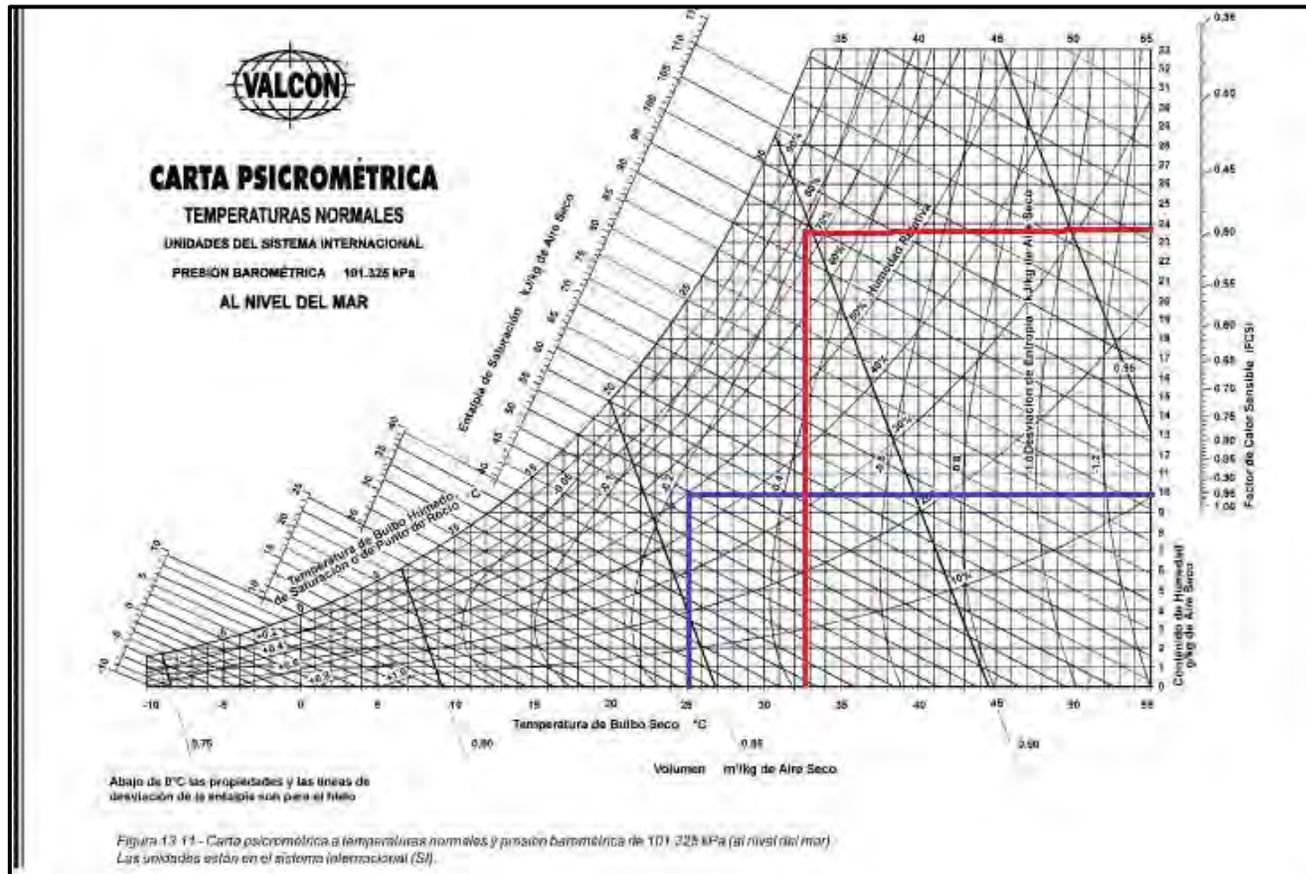
ANEXO 2



Temperatura Máxima Promedio por Entidad Federativa y Nacional 2018

Entidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Aguascalientes	22.6	25.1	29.5	30.2	30.9	28.2	27.9	27.4	25.9	25.1	23.1	21.7	26.5
Baja California	23.4	22.9	23.7	28.5	27.9	32.1	35.6	36.2	34.7	28.2	24.3	20.0	28.1
Baja California Sur	26.9	26.2	28.2	30.5	32.2	33.1	35.7	35.2	34.6	31.3	28.5	25.3	30.6
Campeche	27.9	32.4	34.7	35.7	35.1	34.4	34.9	34.1	33.8	32.5	31.4	29.9	33.1
Coahuila	19.4	24.8	28.3	29.9	34.9	36.1	35.4	35.3	29.6	26.9	22.4	20.8	28.7
Colima	32.0	33.1	33.5	33.5	35.1	33.7	35.4	34.2	34.1	33.4	32.8	32.7	33.6
Chiapas	28.2	32.0	33.4	33.1	33.2	31.2	32.2	31.3	31.2	30.5	30.4	28.9	31.3
Chihuahua	20.7	23.0	26.6	30.3	34.7	35.2	32.8	31.8	29.6	26.0	22.6	19.2	27.7
Ciudad de México	20.7	23.9	26.6	26.2	27.3	25.2	25.2	23.8	24.4	23.4	22.5	22.3	24.3
Durango	22.3	24.9	29.2	30.9	33.3	32.8	31.5	31.2	27.7	26.3	23.7	21.6	28.0
Guanajuato	23.2	26.1	30.4	30.8	31.7	28.2	27.9	27.2	26.7	26.3	24.5	23.5	27.2
Guerrero	30.6	32.3	33.6	34.1	34.1	32.0	33.3	31.1	31.4	31.0	30.9	30.9	32.1
Hidalgo	21.8	25.0	27.6	27.8	28.7	27.1	28.0	27.1	27.2	26.0	24.1	23.4	26.2
Jalisco	26.0	28.2	31.7	32.4	33.6	30.6	30.5	29.4	28.8	28.1	26.5	25.5	29.3
Estado de México	19.9	22.8	25.2	24.9	25.4	23.6	23.7	22.3	22.7	21.9	21.0	22.0	23.0
Michoacán	26.0	28.2	31.8	32.6	32.9	29.4	29.4	28.8	28.6	28.3	26.9	26.2	29.1
Morelos	27.2	30.9	33.6	33.6	31.3	29.3	30.5	28.0	27.9	28.0	27.5	27.2	29.6
Nayarit	29.7	32.8	34.6	35.1	36.7	35.1	34.8	34.1	33.6	33.0	32.2	29.9	33.5
Nuevo León	19.9	25.6	29.4	29.3	33.0	34.6	35.9	36.3	31.3	27.5	23.0	22.4	29.0
Oaxaca	26.6	30.3	32.2	32.0	33.3	30.2	31.0	30.8	30.9	30.2	29.4	27.8	30.4
Puebla	21.1	25.2	27.5	27.2	27.8	26.8	27.1	25.7	26.3	25.2	24.0	23.2	25.6
Querétaro	21.7	26.3	29.7	30.7	31.7	28.5	29.2	28.4	27.8	25.9	24.7	22.8	27.3
Quintana Roo	28.2	31.5	32.4	33.8	33.7	33.3	34.5	34.4	33.8	33.0	31.9	30.0	32.5
San Luis Potosí	22.3	28.4	31.3	31.3	33.7	33.7	34.3	33.5	32.2	29.2	26.2	25.2	30.1
Sinaloa	31.0	30.7	33.1	35.1	37.5	37.0	37.4	35.7	34.6	33.9	31.9	28.7	33.9
Sonora	26.3	24.6	28.9	33.2	35.9	38.6	38.1	35.9	35.9	30.3	26.8	22.7	31.4
Tabasco	26.6	30.9	33.0	33.7	34.7	34.3	35.2	33.8	33.6	32.5	30.6	29.0	32.3
Tamaulipas	21.9	27.9	30.2	30.5	33.5	35.0	36.4	36.3	33.8	29.7	25.2	24.6	30.4
Tlaxcala	20.8	24.0	26.2	25.1	26.3	23.2	24.9	23.5	24.2	23.0	22.2	21.5	23.7
Veracruz	22.1	27.2	28.8	28.8	30.8	30.9	30.9	29.8	30.3	28.1	26.0	25.0	28.2
Yucatán	27.3	32.3	33.6	35.1	34.6	33.9	35.1	34.4	33.8	32.8	31.1	29.7	32.8
Zacatecas	21.9	24.2	29.0	29.7	31.1	27.7	27.7	26.8	25.2	24.6	23.0	20.9	26.0
Nacional	24.1	26.8	29.8	31.4	33.5	33.3	33.3	32.5	31.1	28.7	26.1	24.1	29.6

ANEXO 3



Text: 32.5 °C; HR ext: 77.5 % = We: 23.7 ga/kg_{as}

Text: 25 °C; HR ext: 50 % = We: 10 ga/kg_{as}

ANEXO 4

FICHA TECNICA DE AISLANTES TERMICOS

ESPUMA DE POLIETILENO CON ALUMINIO PURO.

Características Técnicas

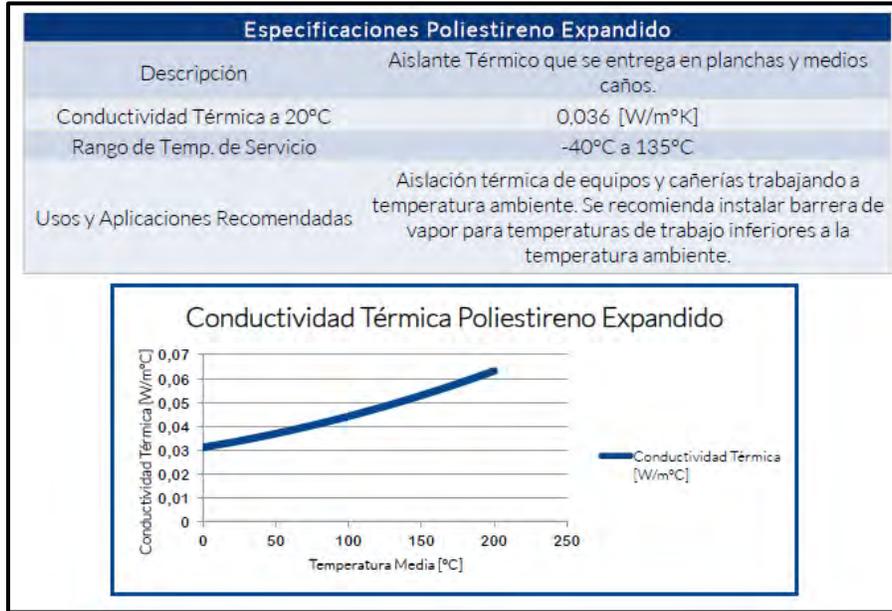
PRESENTACIÓN TÉCNICA

Características	Valor	Normal
Estructura de la celda	Cerrada	-
Espesor	0,5 a 50mm	-
Densidad	30 – 40 kg/m ³	ASTM D 1622
Conductividad térmica	0,035 a 0,0045 W/m ² C	ASTM C 528
Permeabilidad del agua	Impermeable	Dir. UEAtc
Absorción del agua	1,2% V/V – (42,6% P/P)	IRAM 1582
Permanencia del vapor de agua	0,033 gr/m ² hPa	IRAM 1735 – ASTM E-96
Estabilidad dimenc. b/calor Longitudinal	-4,5 / -4,2 %	-
Estabilidad dimenc. b/calor Transversal	+0,3/-0,8 (70°CX22 HS)	-
Resistencia al ozono	No hay agrietamiento-Rating 0	ASTM D 1171

PRESENTACIÓN COMERCIAL

Nomenclatura	Tratamiento	Uso recomendado	Espesor	Ancho	Largo	M2 Rollo
RAL5	c/ aluminio	Hogar - Industria	5 mm	1,00 m	20 m	20
RAL10	c/ aluminio	Hogar - Industria	10 mm	1,00 m	20 m	20
RAL15	c/ aluminio	Hogar - Industria	15 mm	1,00 m	20 m	20
RALD5	c/ doble aluminio	Hogar - Industria	5 mm	1,00 m	20 m	20
RALD10	c/ doble aluminio	Industria	10 mm	1,00 m	20 m	20
RALD15	c/ doble aluminio	Industria	15 mm	1,00 m	20 m	20

PLACA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO.



PLACA DE FOAMULAR CON RECUBRIMIENTO DE CONCRETO

PROPIEDADES FÍSICAS (ESPECIFICACIONES)

PROPIEDADES (POR UNIDAD)	MÉTODO DE PRUEBA	VALOR
Largo y ancho	-	16"x12" (40cm x 30cm)
Espesor total	-	3" (7.5cm)
Peso total	-	9kg ±0.1
Material aislante	-	Foamular®250
Espesor del material aislante	-	2" (5cm)
Densidad aparente del material aislante	NOM-018-ENER-2011	40,27 Kg/m ³
Conductividad Térmica Foamular® 250	NOM-018-ENER-2011	0,02587 W/m*K (0,1794 BTU*in ² /h*ft ² *F)
Resistencia al esfuerzo de compresión del material aislante	ASTM D1621	(1.76kg/cm ²)
Permeabilidad al vapor de agua	NOM-018-ENER-2011	0,0007 ng/Pa-s-m
Adsorción de humedad y absorción de agua	NOM-018-ENER-2011	0,0537% (Masa)
		0,0025% (Volumen)
Cubierta de protección	-	Concreto de agregados finos
Espesor cubierta de protección	-	1" (2.5 cm)
Resistencia al esfuerzo de compresión de la capa de protección	-	200 Kg/cm ²
Certificación del material aislante	Foamular® 250 cuenta con certificación ONNCCE NOM-018-ENER-201 y Sello FIDE.	

PLACA DE POLIETILENO EXTRUIDO

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Características técnicas	Normas	Unidades	30	40	50	60	70	80	100
Lambda ($\lambda_{90/90}$)	EN 12667/12939	W/mK	0,034	0,034	0,034	0,034	0,036	0,036	0,036
Resistencia térmica (RD)	EN 12667/12939	m ² K/W	0,90	1,20	1,50	1,80	1,95	2,20	2,80
Tolerancia en espesor (Δd)	EN-823	mm	+2,-2	+2,-2	+2,-2	+3,-2	+3,-2	+3,-2	+3,-2
Escuadrado (Sb)	EN-824	mm/m	5	5	5	5	5	5	5
Planimetría (Smáx)	EN-825	mm	7	7	7	7	7	7	7
Estabilidad dimensional 23°C y 90% ($\Delta \epsilon$)	EN-1604	%	≤5	≤5	≤5	≤5	≤5	≤5	≤5
Deformación bajo carga y temperatura ($\Delta \epsilon$)	EN-1605	70°/168h/40k Pa	≤5%	≤5%	≤5%	≤5%	≤5%	≤5%	≤5%
Fuego	EN-13501	-	E	E	E	E	E	E	E
Tracción paralela a las caras (σ)	EN-1607	kPa	>100	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Rest. Compresión (σ m)	EN-826	kPa	≥300	≥300	≥300	≥300	≥300	≥300	≥300
Fluencia compresión (σ c) 2% 50 años	EN-826	kPa	125	125	125	125	125	125	125
Absorción agua por inmersión total (Wp)	EN-12087	%	≤0,7	≤0,7	≤0,7	≤0,7	≤0,7	≤0,7	≤0,7
Absorción agua por difusión (Wd)	EN-12088	%	3	3	3	2,7	2,1	1,5	1,5
Resistencia hielo/deshielo ($\Delta \sigma_{10}$)	EN-12088	%	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Resistencia hielo/deshielo (ΔW_{it})	EN-12088	%	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1