

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE EDIFICACIONES. ESTUDIO CASO: LABORATORIO
DE MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA – UNALM”

Presentado por:

BETSY DANIELA ROMERO VERÁSTEGUI

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA

LIMA – PERÚ

2016

DEDICATORIA

A mis padres, Rosita y Carlos, por sus enseñanzas, paciencia, comprensión, apoyo y amor.

A mi hermano Diego, por su tolerancia y cariño.

A mis abuelitos Esther y Reynaldo, por su amor incondicional y porque sé que siempre están conmigo, cuidándome.

A mis tíos, Alfonso y Armando, por haber creído siempre en mí.

A todas las personas especiales que han estado a mi lado a lo largo de este camino.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial al Arquitecto Eduardo Linares por su importante apoyo y asesoramiento, sin el cual no hubiera sido posible desarrollar esta investigación.

Al Ing. Miguel Málaga y al Ing. Manuel Barreno por todas las facilidades otorgadas para la realización de esta tesis.

A la Dra. Doris Zúñiga y al biólogo Ricardo Santos del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la UNALM por el apoyo brindado para la toma de información.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN

ABSTRACT

| | | |
|--------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. | FACTORES CLIMÁTICOS..... | 4 |
| 2.1.1. | CLIMA | 4 |
| 2.1.2. | RADIACIÓN SOLAR..... | 4 |
| 2.1.3. | VIENTOS | 12 |
| 2.1.4. | TEMPERATURA DEL AIRE..... | 13 |
| 2.1.5. | HUMEDAD DEL AIRE..... | 13 |
| 2.1.6. | PRECIPITACIÓN | 13 |
| 2.1.7. | TOPOGRAFÍA..... | 13 |
| 2.2. | ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA..... | 14 |
| 2.2.1. | ACUERDO DE CARTAGENA..... | 14 |
| 2.2.2. | JAVIER PULGAR VIDAL..... | 16 |
| 2.2.3. | KÖPPEN..... | 23 |
| 2.2.4. | THORNTWAITE (SENAMHI) | 26 |
| 2.2.5. | RAYTER-ZÚÑIGA | 29 |
| 2.3. | BALANCE TÉRMICO EN EDIFICACIONES | 31 |
| 2.3.1. | PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR | 31 |
| 2.3.2. | INTERCAMBIO DE CALOR EN LAS EDIFICACIONES | 36 |
| 2.3.3. | FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TRANSFERENCIA DE FLUJO CALORÍFICO EN EDIFICACIONES | 39 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 2.3.4. | PROCESOS TÉRMICOS EN UNA EDIFICACIÓN | 42 |
| 2.3.5. | LA ZONA DE CONFORT..... | 55 |
| 2.3.6. | PUENTES TÉRMICOS | 56 |
| 2.4. | EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES..... | 57 |
| 2.4.1. | EFICIENCIA ENERGÉTICA..... | 57 |
| 2.4.2. | EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES | 58 |
| 2.4.3. | EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES EN PERÚ..... | 60 |
| 2.5. | LEGISLACIÓN RELACIONADA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES | 61 |
| 2.5.1. | PERÚ..... | 61 |
| 2.5.2. | ARGENTINA..... | 71 |
| 2.5.3. | CHILE | 88 |
| 2.5.4. | MÉXICO | 107 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 120 |
| 3.1. | MATERIALES | 120 |
| 3.2. | MÉTODOS | 120 |
| 3.2.1. | ANÁLISIS DE NORMATIVAS SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES..... | 120 |
| 3.2.2. | IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EL PLANTEAMIENTO DE ESTUDIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA..... | 121 |
| 3.2.3. | DEFINICIÓN DE PROPUESTA METODOLÓGICA..... | 124 |
| 3.2.4. | ESTUDIO DE CASO | 124 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 129 |
| 4.1. | MATRIZ COMPARATIVA DE NORMATIVAS..... | 129 |
| 4.2. | CRITERIOS DE EVALUACIÓN | 138 |
| 4.2.1. | CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA..... | 140 |
| 4.2.2. | ORIENTACIÓN – RADIACIÓN | 147 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.3. BALANCE TÉRMICO – AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS MATERIALES..... | 154 |
| 4.3. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA | 159 |
| 4.3.1. PRE-ANÁLISIS DE ASOLEAMIENTO: ORIENTACIÓN DE VANOS Y MUROS | 160 |
| 4.3.2. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR INTERNO..... | 160 |
| 4.3.3. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR POR RADIACIÓN | 161 |
| 4.3.4. ANÁLISIS DE MATERIALES DE LA ENVOLVENTE: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR | 162 |
| 4.3.5. ANÁLISIS DE VENTILACIÓN: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR..... | 163 |
| 4.3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 165 |
| 4.3.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA..... | 165 |
| 4.3.8. PROPUESTAS DE MEJORA..... | 165 |
| 4.4. CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL LABORATORIO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA..... | 166 |
| 4.4.1. PRE-ANÁLISIS DE ASOLEAMIENTO: ORIENTACIÓN DE VANOS Y MUROS | 166 |
| 4.4.2. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR INTERNO..... | 167 |
| 4.4.3. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR POR RADIACIÓN | 169 |
| 4.4.4. ANÁLISIS DE MATERIALES DE LA ENVOLVENTE: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR | 171 |
| 4.4.5. ANÁLISIS DE VENTILACIÓN: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR..... | 177 |
| 4.4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 180 |
| 4.4.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA..... | 180 |
| 4.4.8. PROPUESTAS DE MEJORA..... | 181 |

| | | |
|------|----------------------------------|-----|
| V. | CONCLUSIONES..... | 191 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 194 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 196 |
| IX. | ANEXOS..... | 202 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1: Fechas de inicio de las estaciones y ángulo de declinación para el hemisferio sur | 8 |
| Cuadro 2: Climas en el Perú según Köppen | 23 |
| Cuadro 3: Precipitación efectiva..... | 26 |
| Cuadro 4: Distribución de la precipitación a través del año..... | 26 |
| Cuadro 5: Eficiencia de temperatura | 27 |
| Cuadro 6: Humedad atmosférica | 27 |
| Cuadro 7: Conductancia de cámaras de aire..... | 44 |
| Cuadro 8: Número de cambios por hora (N) | 45 |
| Cuadro 9: Relación del área de salida y área de entrada de ventanas y el valor con que la unidad 3150 debe reemplazarse en la Ecuación 13 | 48 |
| Cuadro 10: Factores de transmisión del vidrio..... | 51 |
| Cuadro 11: Tasa de desprendimiento calorífico en exceso del cuerpo humano para diversas actividades. | 52 |
| Cuadro 12: Características climáticas de cada zona bioclimática | 63 |
| Cuadro 13: Valores límites máximos de transmitancia térmica (U) en W/m^2K | 64 |
| Cuadro 14: Características de las zonas bioambientales de la República Argentina | 73 |
| Cuadro 15: Valores de $K_{máx adm}$ para condición de invierno, en $W/m^2.K$ | 81 |
| Cuadro 16: Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para muros, en $W/m^2.K$ | 81 |
| Cuadro 17: Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano en techos, en $W/m^2.K$ | 81 |
| Cuadro 18: Valores orientativos del coeficiente de absorción para superficies exteriores . | 82 |
| Cuadro 19: Valores máximos de transmitancia térmica para evitar condensación en condiciones críticas ($W/m^2.K$)..... | 83 |
| Cuadro 20: Clases de eficiencia energética | 85 |
| Cuadro 21: Localización y descripción del clima por zonas | 91 |
| Cuadro 22: Pendientes de cubierta, protección contra el sol y características climáticas de las zonas (Valores medios período 1961-2005) | 93 |
| Cuadro 23: Transmitancia térmica de la envolvente, valores máximos en W/m^2K | 96 |
| Cuadro 24: Disminución de demanda de energía para calefacción esperada..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 25: Grados días anuales por zona térmica | 99 |
| Cuadro 26: Valores de transmitancia térmica máxima – “U” (W/m ² K) y valores mínimos de resistencia térmica – “R _t ” (m ² K/W) para cada zona térmica | 102 |
| Cuadro 27: Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente..... | 103 |
| Cuadro 28: Transmitancia térmica (“U”) ponderada de muros admisible para zonas térmicas 3, 4, 5, 6 y 7..... | 104 |
| Cuadro 29: Exigencias térmicas y valores de transmitancia térmica recomendados | 107 |
| Cuadro 30: Clasificación por zonas térmicas | 109 |
| Cuadro 31: Zonas Térmicas de la República Mexicana | 110 |
| Cuadro 32: Resistencia Térmica Total (Valor “R”) de un elemento de la envolvente..... | 113 |
| Cuadro 33: Características del edificio para uso habitacional de referencia..... | 118 |
| Cuadro 34: Áreas de ocupación de la edificación | 125 |
| Cuadro 35: Comparativo de normas latinoamericanas..... | 132 |
| Cuadro 36: Recomendaciones de orientación en función al análisis de asoleamiento..... | 150 |
| Cuadro 37: Radiación solar por orientaciones y fechas | 152 |
| Cuadro 38: Valores de radiación solar (W/m ² -h) interpolados para latitud 12° | 154 |
| Cuadro 39: Cuadro de datos de la geometría de la edificación modelo | 154 |
| Cuadro 40: Valores de radiación (W/m ² -h)..... | 156 |
| Cuadro 41: Resultados del análisis | 157 |
| Cuadro 42: Área de ventanas por orientación – Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología | 167 |
| Cuadro 43: Calor interno (Watts/día) – Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología..... | 169 |
| Cuadro 44: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo cálido | 170 |
| Cuadro 45: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo frío | 171 |
| Cuadro 46: Área de elementos verticales y horizontales en contacto con el exterior | 172 |
| Cuadro 47: Conductividad (W/m°C), conductancia (W/m ² °C), y/o espesor de materiales de la envolvente | 173 |
| Cuadro 48: Transmitancia térmica (W/m ² °C) calculada para los elementos de la envolvente | 174 |
| Cuadro 49: Temperaturas promedio para periodo cálido y frío – Zona climática: Costa Sur | 175 |
| Cuadro 50: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo cálido... | 176 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 51: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo frío..... | 176 |
| Cuadro 52: Ganancia de calor por ventanas abiertas – Periodo cálido | 178 |
| Cuadro 53: Pérdida de calor por infiltración – Periodo frío | 179 |
| Cuadro 54: Consolidado de ganancias/pérdidas de calor (Watts/día) | 180 |
| Cuadro 55: Balance económico | 181 |
| Cuadro 56: Área de ventanas por orientación – Propuesta..... | 182 |
| Cuadro 57: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo cálido | 183 |
| Cuadro 58: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo frío | 184 |
| Cuadro 59: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo cálido... | 185 |
| Cuadro 60: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo frío..... | 185 |
| Cuadro 61: Ganancia de calor por ventanas abiertas – Periodo cálido | 187 |
| Cuadro 62: Consolidado de ganancias/pérdidas de calor (Watts/día) – Propuesta | 188 |
| Cuadro 63: Eficiencia energética calorífica entre el edificio original y el propuesto | 188 |
| Cuadro 64: Evaluación económica – Propuesta | 190 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Diferentes caminos que puede seguir la radiación que llega a la atmósfera terrestre. | 5 |
| Figura 2: Distancia del sol a la tierra durante el día | 6 |
| Figura 3: Movimiento terrestre alrededor del sol | 6 |
| Figura 4: Ángulos de incidencia solar sobre la superficie terrestre según la estación climática..... | 7 |
| Figura 5: Análisis de sombras con <i>Sketchup</i> | 9 |
| Figura 6: Proyección de recorridos aparentes del sol – Proyección normal al plano. | 10 |
| Figura 7: Recorrido aparente del sol. 38° Latitud Sur. Proyecciones del ángulo de elevación solar a 9 hrs. (Proyección normal al plano)..... | 11 |
| Figura 8: Regiones climáticas de los países andinos | 15 |
| Figura 9: Ocho Regiones Naturales del Perú | 22 |
| Figura 10: Clasificación Köppen..... | 25 |
| Figura 11: Mapa de Clasificación climática del Senamhi | 28 |
| Figura 12: Leyenda. Mapa de Clasificación climática del Senamhi | 29 |
| Figura 13: Mapa de clasificación climática – Rayter Zúñiga..... | 30 |
| Figura 14: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A | 32 |
| Figura 15: Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y convección natural | 33 |
| Figura 16: Absorción de la radiación incidente sobre una superficie opaca de absorptividad α | 36 |
| Figura 17: Producción hidroeléctrica y termoeléctrica – Perú (en GWh)..... | 38 |
| Figura 18: Diferenciación de intercambio térmico propio del edificio y por equipo mecánico..... | 41 |
| Figura 19: Representación de intercambio térmico mediante uso de equipo mecánico..... | 41 |
| Figura 20: Flujo de aire alrededor de un edificio. Vista de planta y de corte..... | 46 |
| Figura 21: Influencia de los ángulos de incidencia solar..... | 50 |
| Figura 22: El vidrio y el efecto invernadero..... | 50 |
| Figura 23: La relación entre las potencias aparente, activa, la reactiva inductiva y el ángulo φ | 55 |

| | |
|--|-----|
| Figura 24: Envolverte tipo 1A | 65 |
| Figura 25: Envolverte tipo 1B | 66 |
| Figura 26: Envolverte tipo 2A | 66 |
| Figura 27: Envolverte tipo 2B | 67 |
| Figura 28: Envolverte tipo 3A | 67 |
| Figura 29: Envolverte tipo 3B | 68 |
| Figura 30: Envolverte tipo 3C | 68 |
| Figura 31: Envolverte tipo 4A | 68 |
| Figura 32: Envolverte tipo 4B | 69 |
| Figura 33: Envolverte tipo 4C | 69 |
| Figura 34: Líneas de igual T.E.C. para el promedio ponderado del día típicamente cálido | 76 |
| Figura 35: Líneas de igual cantidad de grados días para el período frío | 77 |
| Figura 36: Clasificación medioambiental del territorio argentino | 78 |
| Figura 37: Modelo de etiqueta de eficiencia energética | 86 |
| Figura 38: Mapa de zonificación climática. Escala: gráfica..... | 90 |
| Figura 39: Concepto de grados-día..... | 99 |
| Figura 40: Mapa de zonificación térmica. Escala: gráfica. | 100 |
| Figura 41: Incompatibilidad entre la zonificación térmica de la OGUC y la zonificación climática de la NCh1079-2008..... | 106 |
| Figura 42: Ubicación del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Datum WGS84-18S. Escala: Gráfica..... | 125 |
| Figura 43: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación SSE | 127 |
| Figura 44: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación NEE..... | 127 |
| Figura 45: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación NNO..... | 128 |
| Figura 46: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación SOO | 128 |
| Figura 47: Mapa de zonas climáticas propuestas – Datum WGS84..... | 142 |
| Figura 48: Curvas características de temperatura (°C) – Costa Norte..... | 144 |
| Figura 49: Curvas características de temperatura (°C) – Costa Sur | 144 |
| Figura 50: Curvas características de temperatura (°C) – Valle | 145 |

| | |
|--|-----|
| Figura 51: Curvas características de temperatura (°C) – Puna..... | 145 |
| Figura 52: Curvas características de temperatura (°C) – Selva Alta..... | 146 |
| Figura 53: Curvas características de temperatura (°C) – Selva Baja..... | 146 |
| Figura 54: Temperatura promedio mensual para cada clima (°C) | 147 |
| Figura 55: Ángulos de incidencia solar para las 9 horas y las 15 horas en el verano e invierno en las latitudes 4°, 8°, 12° y 16° sur..... | 148 |
| Figura 56: Ángulos representativo de incidencia solar para las 9 horas y las 15 horas en el verano e invierno en las latitudes 4°, 8°, 12° y 16° sur | 149 |
| Figura 57: Características constructivas – Planta..... | 155 |
| Figura 58: Valores de transmitancia térmica calculados (W/m ² °C) vs. Variación de temperatura (°C)..... | 158 |
| Figura 59: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología - Orientación del caso de estudio | 166 |
| Figura 60: Dirección del viento – Orientación original del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología..... | 178 |
| Figura 61: Orientación propuesta del caso de estudio: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología..... | 182 |
| Figura 62: Dirección del viento – Orientación propuesta de la edificación | 187 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1: EM.110 Ubicación de provincias por zona bioclimática..... | 203 |
| Anexo 2: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Valores para el Cálculo del Flujo de Calor a Través de la Envolvente..... | 206 |
| Anexo 3: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor..... | 209 |
| Anexo 4: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana con volado con extensión lateral más allá de los límites de ésta..... | 212 |
| Anexo 5: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana con volado con extensión lateral hasta los límites de ésta | 213 |
| Anexo 6: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana remetida..... | 220 |
| Anexo 7: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana con partesoles..... | 227 |
| Anexo 8: Listado de personal del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología y su aporte calorífico..... | 228 |
| Anexo 9: Listado de luminarias y potencias del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología | 229 |
| Anexo 10: Listado de equipos y potencias del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología..... | 230 |
| Anexo 11: Información de dirección y velocidad del viento para la estación Von Humboldt (Periodo 2011-2013) - Senamhi | 237 |

RESUMEN

En la presente investigación se propuso una metodología para evaluar la eficiencia energética en edificaciones y se efectuó su posterior aplicación a un caso práctico. La determinación de los pasos a seguir se realizó mediante la revisión de bibliografía y normativas latinoamericanas relacionadas al tema. En esta etapa se compararon las similitudes y diferencias entre ellas para poder definir los aspectos a ser considerados. Se concluyó que los principales factores que influyen en la eficiencia energética y que deberían ser incluidos en una metodología que represente adecuadamente las condiciones energéticas de una edificación, son: (1) las condiciones climáticas y (2) parámetros de ganancia / pérdida de calor (calor interno, radiación, materiales y ventilación). Con ello se obtuvo un balance de ganancias y pérdidas calóricas para conocer si la edificación se encuentra con un superávit o déficit de calor. El desbalance de este estado final traerá consigo un gasto energético, con el fin de regular las condiciones actuales para alcanzar el adecuado confort para los usuarios del mismo; esta acción además supondrá un costo. La metodología definida se aplicó al caso de estudio “Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Facultad de Ciencias UNALM” buscándose obtener el balance energético con las condiciones iniciales de diseño, el cual dio como resultado la existencia de un superávit de calor en la edificación. Posteriormente se aplicó nuevamente la metodología, pero en esta oportunidad incluyendo propuestas de mejora en el diseño para reducir el exceso de calor. Al realizarse la comparación entre las condiciones iniciales y las propuestas, se observó una disminución promedio de 24.5 por ciento en el valor de calor extra existente en la edificación, representando además un ahorro de S/. 11 016 al año.

Palabras claves: eficiencia energética, propuesta metodológica, balance energético, edificaciones eficientes.

ABSTRACT

The following investigation presents a proposed methodology to evaluate energy efficiency in buildings and its application to a case study. The determination of the steps to be followed was done based on a review of literature and Latin American regulations related to the subject. During this phase, the similarities and differences between them were compared to determinate the most relevant aspects to be considered. It was concluded that the main factors that influence energy efficiency and that should be included in a methodology that adequately represents the energetic status of a building are: (1) the climate conditions and (2) gain and loss heating parameters (internal heat, radiation, materials and ventilation). With that information, a gain/loss heating balance was performed to be able to know if the building suffers from a surplus or deficit of heat. The unbalanced conditions of this final state will produce an energy expense to regulate the current conditions looking to reach an adequate comfort for the users; this action will also cause an economic expense. The defined methodology was applied to the case study: “Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Facultad de Ciencias UNALM” to obtain the heat balance under the initial design conditions. These calculations determined that the building is suffering from a heat surplus. Afterwards, the methodology was re-applied but this time including design suggestions to reduce the excess of heat. The comparison between the initial and the proposed conditions showed an average decrease of 24.5 percent in the extra heat in the building, which represents a saving of S/. 11 016 / year.

Keywords: Energy efficiency, methodology proposal, energy balance, energy-efficient buildings.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las emisiones de gases tóxicos hacia el medio ambiente se encuentran en aumento debido principalmente a causas humanas.

La organización mundial World Wildlife Fund (WWF España, 2008) indica que “el principal gas de efecto invernadero emitido por el hombre es el dióxido de carbono o CO₂, procedente en su mayor parte de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) utilizados principalmente en la producción de energía y en el transporte. Las emisiones globales de CO₂ se incrementaron en un 80 por ciento entre 1970 y 2004 y representaron un 77 por ciento de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de origen antrópico en 2004”, observándose la urgente necesidad de disminuir la ocurrencia de estos hechos. Asimismo, indica que mediante la aplicación de la eficiencia energética se puede disminuir el consumo mundial de energía en alrededor del 40 por ciento para el año 2050, viéndose esto último reflejado en un menor costo.

En el rubro de edificaciones, la utilización de sistemas de aire acondicionado para lograr niveles óptimos de confort dentro de ellas son los que representan el mayor consumo. Sin embargo, existen otros tipos de soluciones adecuadas que suponen un menor costo y una mejor solución para el medio ambiente, las cuales son llamadas “soluciones pasivas”. Ellas traen consigo un ahorro económico, una reducción del gasto de energía y consecuentemente la disminución de emisión de compuestos clorofluorocarbonados (CFC) por los equipos de climatización y reducción de emisiones de CO₂ por parte de las centrales termoeléctricas.

La “Guía del estándar *Passivhaus*” (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011) indica que el adecuado planteamiento energético de una edificación significaría un correcto aprovechamiento de la energía del entorno a través de un apropiado uso de los materiales, adecuada orientación, forma del volumen y ubicación de vanos. De esta forma

se disminuiría el gasto de los sistemas de calefacción o refrigeración. En consecuencia, se minimizaría su efecto dañino en el medio ambiente además de tener un ahorro económico.

Al haberse podido identificar este hecho, varios países del mundo ya cuentan con normativas acondicionadas para cada una de sus realidades, las cuales buscan controlar el uso de los sistemas mecánicos y eléctricos de acondicionamiento, compensándolo mediante un correcto diseño de la infraestructura.

Actualmente el Perú cuenta con una normativa relacionada a la eficiencia energética en edificaciones. Sin embargo, se considera que ésta podría ser mejorada de manera que abarque una mayor cantidad de parámetros, buscando así tener un análisis más completo de las condiciones térmicas de la edificación.

La presente tesis plantea, en una primera instancia, el estudio de normativas existentes para evaluar la eficiencia energética en los edificios e identificar los criterios de evaluación. En una segunda instancia, definir un método de evaluación energética en edificaciones que permita realizar el análisis de un caso aplicativo. Se busca plantear una propuesta de metodología para evaluación de edificaciones que sea extensiva a otras realidades aparte del caso de estudio, pero dentro del ámbito del territorio peruano.

Es deseable realizar la evaluación energética a nivel de proyecto para permitir que se efectúen los ajustes antes de la construcción, sin embargo, esto no siempre es posible. Por lo tanto, la razón de realizar este análisis en una edificación existente es investigar criterios de evaluación de eficiencia energética y poder comprobar experimentalmente el diagnóstico planteado en el estudio.

La finalidad de la presente investigación es plantear los conceptos que deben ser considerados en una evaluación energética de las edificaciones en el Perú buscando proveer de herramientas para una posterior aplicación que ayude a disminuir los efectos en los ámbitos ambiental y económico previamente mencionados.

Por lo indicado anteriormente, los objetivos de la presente investigación fueron:

Objetivo general:

- Plantear un método de evaluación para el estudio de la eficiencia energética en edificaciones y realizar el estudio de un caso aplicativo.

Objetivos específicos:

- Analizar las normativas vigentes de diferentes países latinoamericanos en relación a la eficiencia energética de edificaciones.
- Identificar los criterios de evaluación para un estudio de eficiencia energética en edificaciones.
- Identificar y definir un método de evaluación de eficiencia energética.
- Realizar un estudio de evaluación energética para un edificio específico.

Limitaciones de la investigación

La presente investigación abarca la realización de una propuesta metodológica para el análisis de la eficiencia energética en edificaciones basada en el aporte o déficit térmico que está recibiendo la edificación debido a las características de la envolvente y fenómenos tales como la radiación y la convección. También se ha visto conveniente incluir el efecto térmico de los equipos y luminarias que están al interior, el cual sumará al balance térmico total y que se verá reflejado en la carga térmica que deberían suplir los sistemas de climatización. La finalidad de la metodología es usar al mínimo estos equipos, los cuales traen consigo un costo a causa de su utilización y una afectación al medio ambiente por necesidad de generación de energía para su uso.

Dentro de los alcances del balance térmico de este estudio no se consideran los consumos eléctricos propios de equipos, motores, luminarias, etc. pero sí la energía térmica desprendida al interior de los ambientes producto del funcionamiento de estos equipos.

El estudio incluye una evaluación final de tipo económica relativa al consumo eléctrico comparativo necesario en la utilización de equipos que pudieran ser utilizados para restablecer el equilibrio térmico de la edificación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. FACTORES CLIMÁTICOS

2.1.1. CLIMA

El clima se define como “una integración en el tiempo de los estados físicos del ambiente atmosférico, característico de cierta localidad geográfica” (Koenigsberger, 1977).

2.1.2. RADIACIÓN SOLAR

“La Tierra recibe casi toda su energía del sol en forma de radiación, por eso el sol es la influencia dominante en los climas.” (Koenigsberger, 1977).

Mazria (1979) indica que las fusiones termonucleares en la superficie del sol liberan energía en forma de radiación electromagnética de alta frecuencia. De toda la radiación interceptada por la tierra (incluyendo la atmósfera), alrededor del 35 por ciento es reflejada al espacio. La radiación solar restante, al pasar a través de la atmósfera, es dispersada en todas las direcciones al interactuar con las moléculas de aire y las partículas de polvo. Como resultado, una parte de esta radiación dispersa o “difusa” llega a la tierra. El vapor de agua, dióxido de carbono y ozono en la atmósfera absorben una parte de la radiación, mientras que la cantidad restante llega directamente (Ver Figura 1).

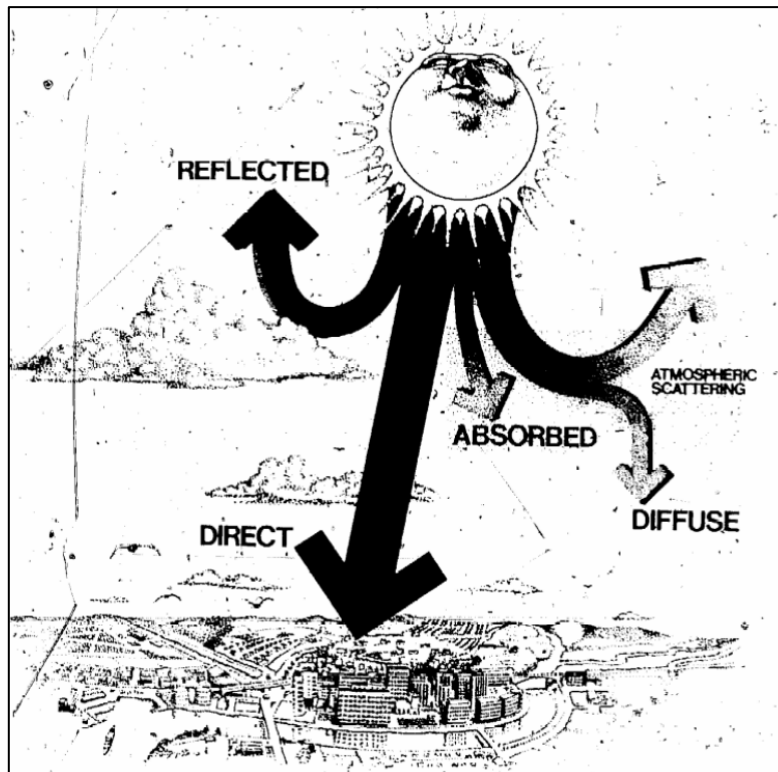


Figura 1: Diferentes caminos que puede seguir la radiación que llega a la atmósfera terrestre.

FUENTE: Mazria (1979)

El autor Mazria (1979) también indica que, aparte de la composición de la atmósfera, el factor más importante que determina la cantidad de radiación que llega a la superficie de la tierra es la longitud de atmósfera por la cual debe pasar la radiación. Durante el día, el sol se encuentra directamente en la parte superior de la tierra recorriendo la menor distancia, mientras que cuando se va moviendo hacia el horizonte, ésta aumenta. Entre más distancia de atmósfera (o masa de aire) la radiación deba recorrer, tendrá menor cantidad de energía debido al aumento de absorción y su dispersión (Ver Figura 2).

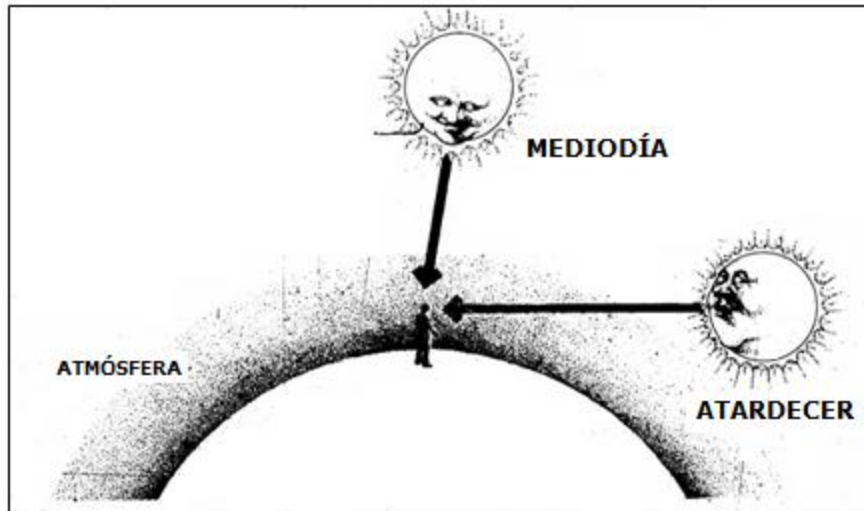


Figura 2: Distancia del sol a la tierra durante el día

FUENTE: Mazria (1979)

Linares (1976) en su obra “Clima – Confort en Arquitectura” indica que la Tierra posee una órbita casi circular alrededor del sol, generando en su recorrido el plano de la eclíptica, cuya perpendicular forma un ángulo de $23^{\circ}27'$ con el eje terrestre. A causa de esta inclinación, la rotación sobre su eje y su desplazamiento, los rayos solares inciden de manera variable sobre las distintas zonas de la Tierra, provocando las diferentes estaciones climáticas (épocas de mayor o menor calor e intermedios), como se puede observar en la Figura 3. Estas estaciones ocurren de manera opuesta en los hemisferios norte y sur, tal que cuando es verano en el hemisferio norte, en el sur es invierno.

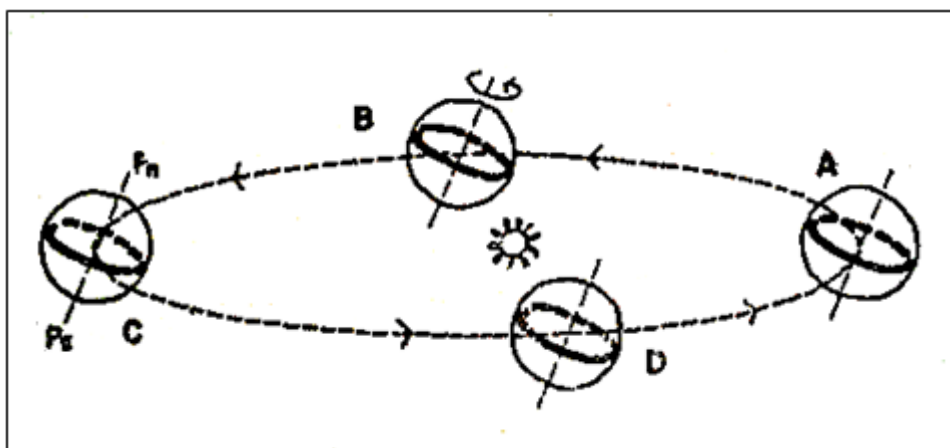


Figura 3: Movimiento terrestre alrededor del sol

FUENTE: Linares (1976)

Según Linares (1976), los inicios de las estaciones marcan posiciones críticas, las cuales son los equinoccios de primavera y otoño (donde el día y la noche tienen una duración igual a 12 horas en todo el planeta) y los solsticios de verano e invierno. Durante el verano los días son más largos que las noches, mientras que en invierno los días son de menor duración. En la Figura 4 se puede observar los ángulos con los que el sol incide sobre la superficie terrestre dependiendo de la época del año, mientras que en el Cuadro 1 se muestran las fechas de inicio de cada una de las estaciones para el hemisferio sur.

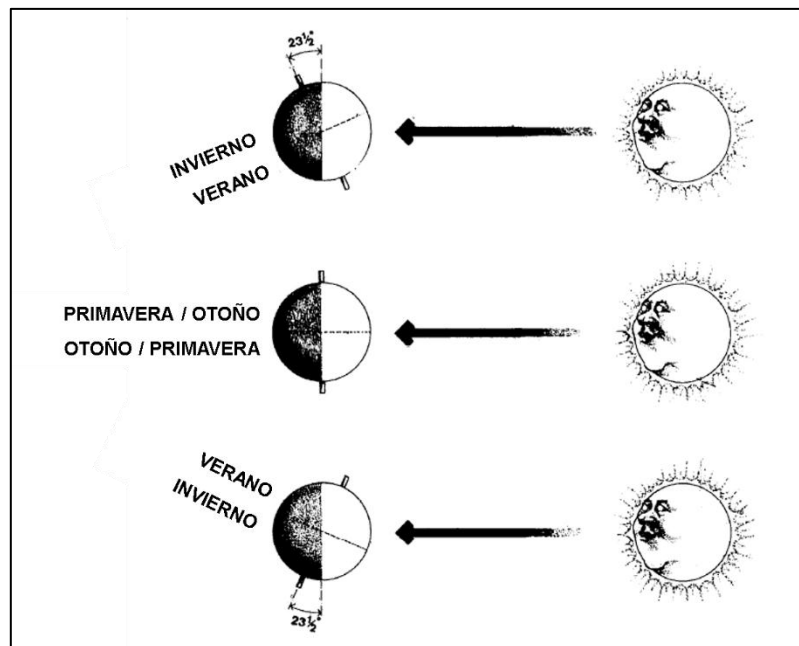


Figura 4: Ángulos de incidencia solar sobre la superficie terrestre según la estación climática.

FUENTE: Mazria (1979)

Cuadro 1: Fechas de inicio de las estaciones y ángulo de declinación para el hemisferio sur

| Posición (de acuerdo a Figura 3) | Fecha | Estación | Declinación |
|---|-----------------|-------------------------|--------------------|
| A | 22 de diciembre | Solsticio de verano | -23°27' |
| B | 21 de marzo | Equinoccio de otoño | 0° |
| C | 22 de junio | Solsticio de invierno | +23°27' |
| D | 23 de setiembre | Equinoccio de primavera | 0° |

FUENTE: Linares (1976)

a. INTENSIDAD SOLAR EN UNA SUPERFICIE

Mazria (1979) menciona que el ángulo que los rayos solares hacen con una superficie determinará la cantidad de energía recibida por ella (una superficie perpendicular a los rayos interceptará la mayor cantidad de energía). La cantidad total de radiación interceptada por una superficie consiste no solo de radiación directa, sino también difusa y reflejada. Los materiales transparentes transmiten la mayor cantidad de la radiación visible que llega a ellas con muy poca distorsión (ej. vidrio de ventana), mientras que los materiales traslúcidos pueden ser igualmente transmisivos pero desvían o dispersan la radiación que los atraviesa (ej. tela).

b. ESQUEMAS DE RECORRIDO APARENTE DEL SOL

En la obra “Sol y Viento en Diseño” (Linares, 1992) se indica que la incidencia de radiación solar sobre las soluciones de diseño se analiza por medio de métodos que permitan conocer tanto los ángulos de elevación como los azimutales. Con esto se pueden diseñar soluciones de protección y ganancia solar, adecuada orientación de las caras de la construcción proyectada y, por ende, definir las aberturas necesarias.

En la actualidad existen diversos *software* que permiten analizar el comportamiento de la incidencia solar sobre las distintas caras de una edificación. Esto se realiza a través del análisis de las sombras provocadas por el sol.

Por ejemplo, el programa *SketchUp* brinda la opción de georreferenciar un esquema de diseño y poder conocer cómo varía el comportamiento de las sombras a causa de la incidencia solar para diferentes horas del día y meses del año (Ver Figura 5). De igual manera, existen otros *software* como *Revit* el cual también provee de herramientas de análisis gráfico de la orientación solar sobre las estructuras, similar a *SketchUp*.

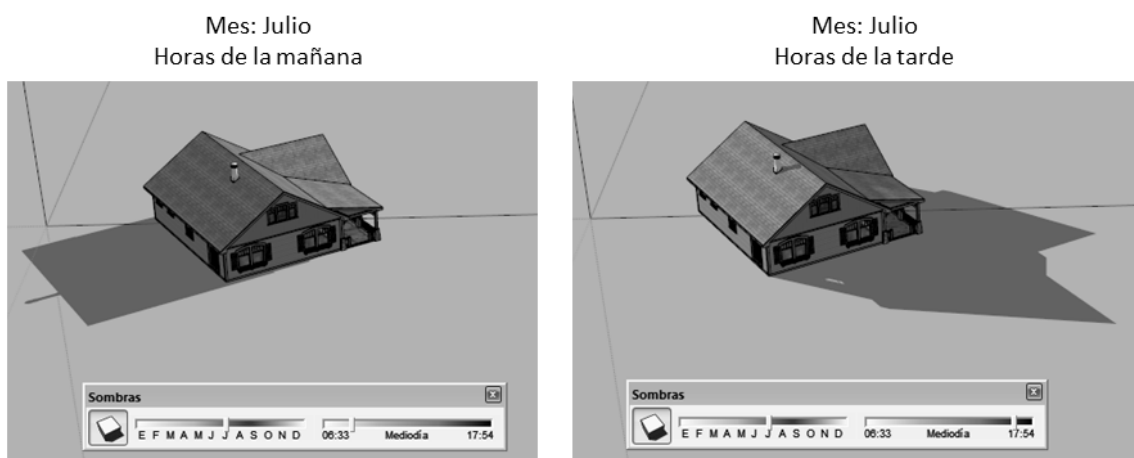


Figura 5: Análisis de sombras con *Sketchup*

FUENTE: Elaboración propia.

Es importante la ayuda de estos *software* como una manera simplificada de analizar visualmente el efecto de la incidencia solar sobre las superficies. Sin embargo, para los fines de esta investigación se necesita hacer un análisis más profundo, especialmente en el aspecto de ángulos de incidencia solar.

Con el fin de realizar un análisis detallado, Linares (1992) presenta la metodología gráfica “proyección normal al plano”. Ésta permite expresar la proyección en planta del recorrido aparente del sol por una supuesta cúpula celeste. Esta proyección es normal al plano donde se ubica la construcción a analizar (Ver Figura 6). La construcción al detalle se puede ver en la Figura 7.

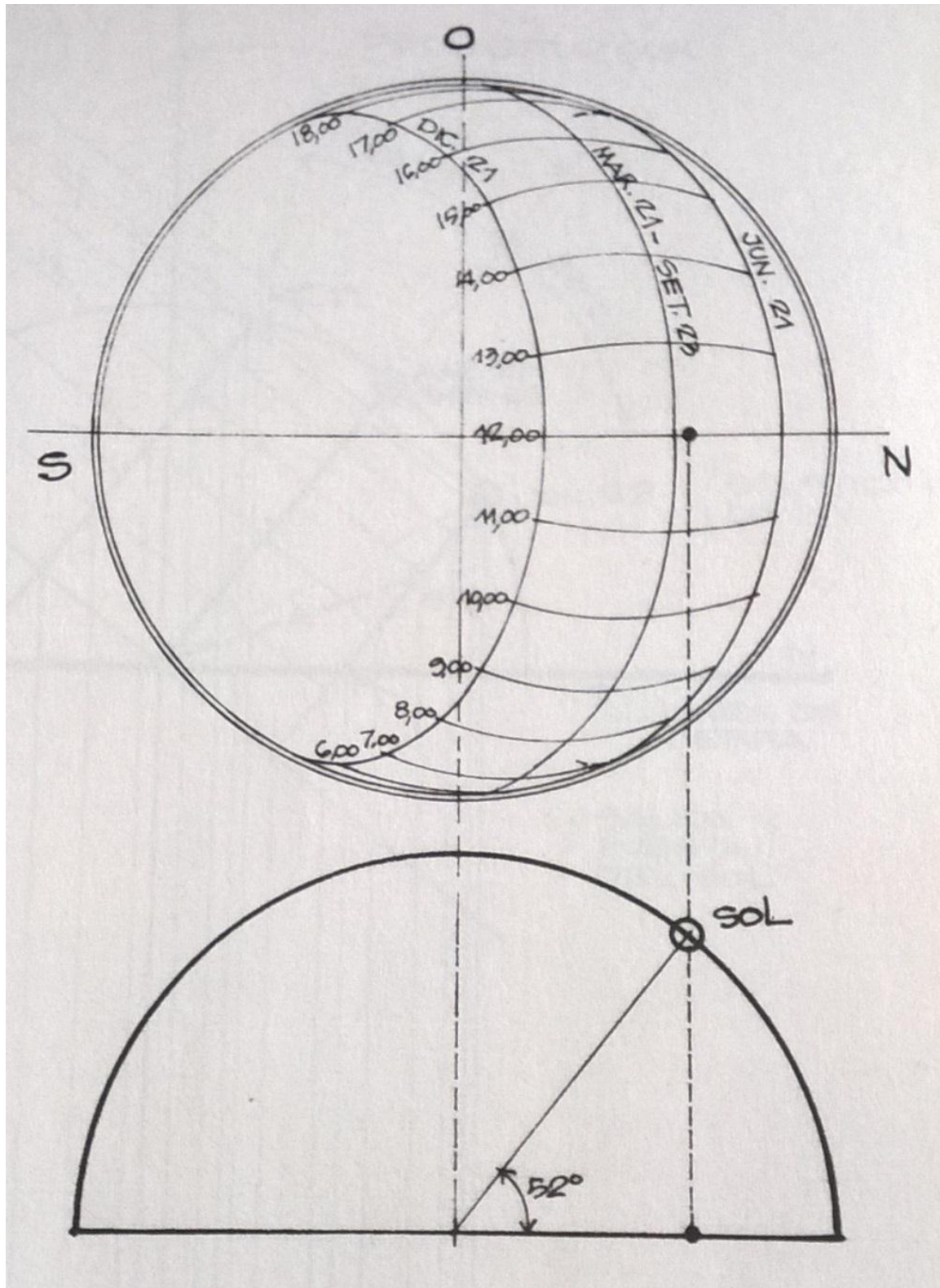


Figura 6: Proyección de recorridos aparentes del sol – Proyección normal al plano.

FUENTE: Linares (1992)

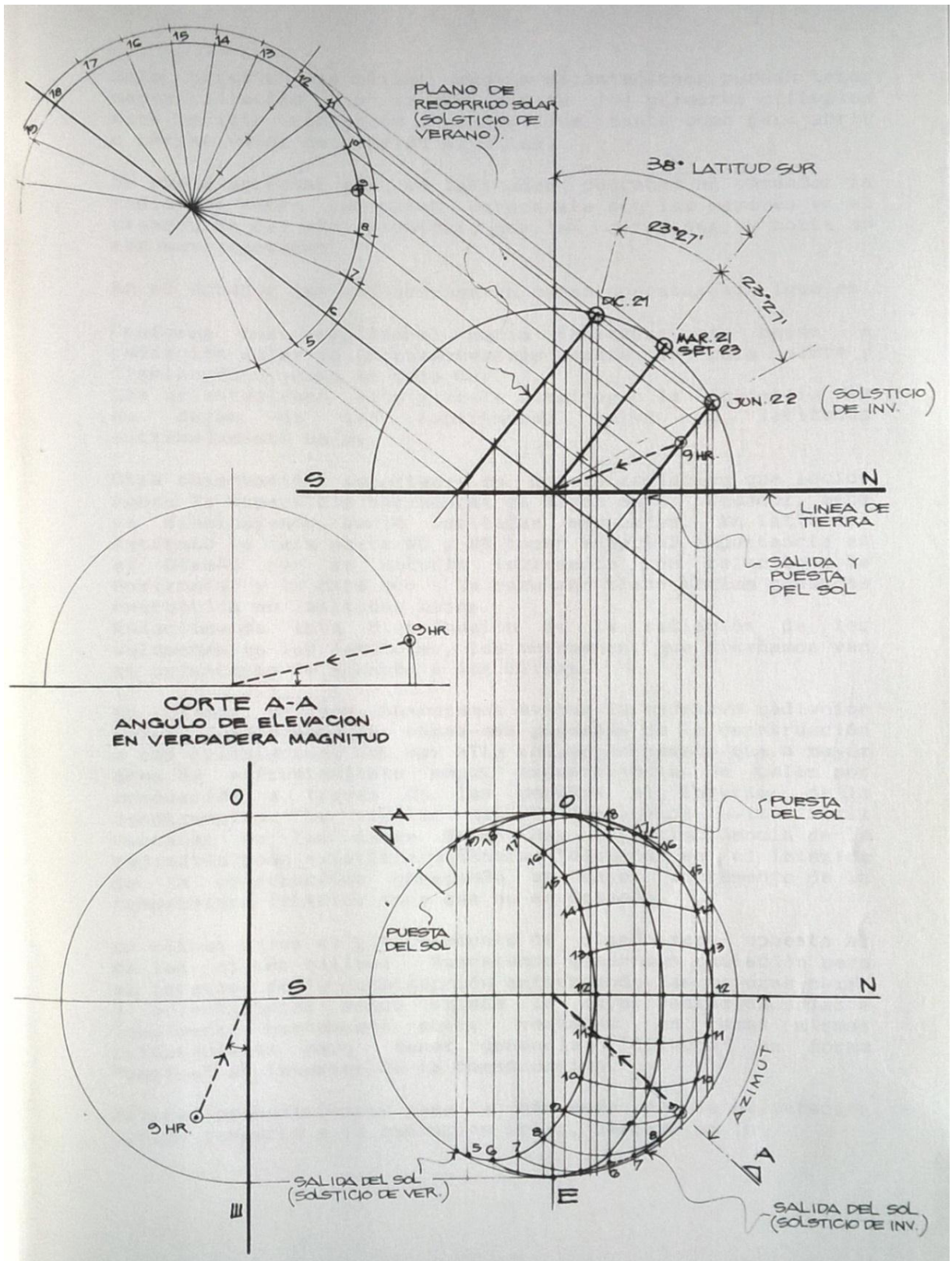


Figura 7: Recorrido aparente del sol. 38° Latitud Sur. Proyecciones del ángulo de elevación solar a 9 hrs. (Proyección normal al plano)

FUENTE: Linares (1992)

De estos gráficos, Linares (1992) menciona que ellos permiten visualizar qué orientaciones sufrirán de una mayor incidencia de radiación solar, dando un primer criterio (en función al clima de la zona) para tomar decisiones acerca de recibir o no radiación y de apertura o cierre de vanos.

El autor también menciona diferentes conclusiones obtenidas de las ilustraciones. Por ejemplo, se ve que entre más cerca al Ecuador, la radiación afecta mayormente a las caras este-oeste. Hacia las latitudes más bajas, la radiación empieza a incrementarse sobre la cara norte y disminuye en la sur. En el caso del este y oeste, disminuyen su incidencia pero siguen siendo importantes. Además se observa que la mayor radiación sobre la superficie horizontal se da en el Ecuador, disminuyendo hacia latitudes más bajas.

Aparte, el autor también menciona las siguientes consideraciones en relación a orientación de vanos y muros, la distribución de la radiación solar y los climas. En climas cálidos, se debe evitar el exceso de radiación en las caras más grandes de la edificación, debido a que fomenta una mayor transferencia de calor por conducción a través de las paredes hacia el interior. De igual manera, se evitará tener ventanas en estas caras, debido a la ganancia directa de radiación solar que provoca aumento de la temperatura interior. En climas fríos, al contrario, se buscará una mayor ganancia de radiación solar orientando las caras más grandes de la edificación hacia las orientaciones donde ocurre una mayor radiación. En el caso de vanos, también se preferirá tener ventanas en aquellas orientaciones para obtener una ganancia de temperatura.

2.1.3. VIENTOS

Koenigsberger (1977) menciona que a los vientos se les conoce como una corriente de convección en la atmósfera, los cuales tienden a igualar el calentamiento diferencial de las diversas zonas.

Por otro lado, Hertz (1981) indica que sus efectos se pueden apreciar especialmente en climas predominantemente fríos y calurosos. Además señala la existencia de una relación entre el viento y el confort, especialmente porque el primero modifica la temperatura. Esto es deseable cuando la temperatura es mayor a 25°C, mientras que a temperaturas menores estas corrientes pueden llegar a ser indeseables.

2.1.4. TEMPERATURA DEL AIRE

“La temperatura del aire que proviene de la radiación solar se ve afectada por la absorción que ejerce el factor nubosidad” (Linares, 1976). Además, “la diversa distribución de masas de agua y tierra en la superficie terrestre, tiene un comportamiento distinto frente a las radiaciones solares, influyendo en las condiciones de temperatura en la atmósfera” (Linares, 1976).

2.1.5. HUMEDAD DEL AIRE

“La humedad del aire que proviene de la evaporación de los mares, ríos, lagos y la transpiración de las hojas es causa de las precipitaciones. La condición necesaria para que se produzcan lluvias, es de que estando el aire saturado de vapor de agua a una temperatura determinada (temperatura de rocío), se produzca una baja de temperatura originándose entonces la condensación primero en forma de gotas microscópicas de niebla o nube y, si el enfriamiento continúa, en forma de lluvia.” (Linares, 1976).

2.1.6. PRECIPITACIÓN

Koenigsberger (1977) indica que el término “precipitación” engloba a la lluvia, nieve, granizo, rocío y escarcha, es decir, todo tipo de agua que se “precipita” de la atmósfera.

2.1.7. TOPOGRAFÍA

El autor Hertz (1981) detalla aspectos en relación a la topografía y su influencia en el clima. Por ejemplo, a medida que mayor sea la altura, la temperatura atmosférica será menor (aproximadamente 1.8 °C por cada 100 m. de altura en verano y 120 m. en invierno). Ésta es una de las causas de la variación climática en el Perú. Además, los cerros y lomas tienen efectos en el micro-clima: pueden influir en la cantidad de radiación que cae en la tierra, cambian la dirección y velocidad de vientos y cantidad de lluvias.

2.2. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

A lo largo del tiempo se han realizado diferentes clasificaciones climáticas del territorio peruano. Entre ellas se tienen las siguientes:

2.2.1. ACUERDO DE CARTAGENA

En la publicación “Cartilla de construcción con madera” (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980), se consideran 9 tipos de clima para el territorio de los países andinos, los cuales son listados a continuación:

1. Clima tropical árido marítimo
2. Clima tropical de llano o mixto
3. Clima tropical húmedo
4. Clima subtropical árido marítimo
5. Clima subtropical mixto de altura
6. Clima subtropical húmedo de altura
7. Clima subtropical árido de altura
8. Clima templado de altura
9. Clima frío de altura

Esta clasificación se ha realizado en función a los siguientes parámetros: suelos, radiación solar, precipitación, vegetación, temperatura, humedad relativa, estaciones, cielos, vientos.

En la Figura 8 se observa el mapa de clasificación climática indicado en el documento en mención.

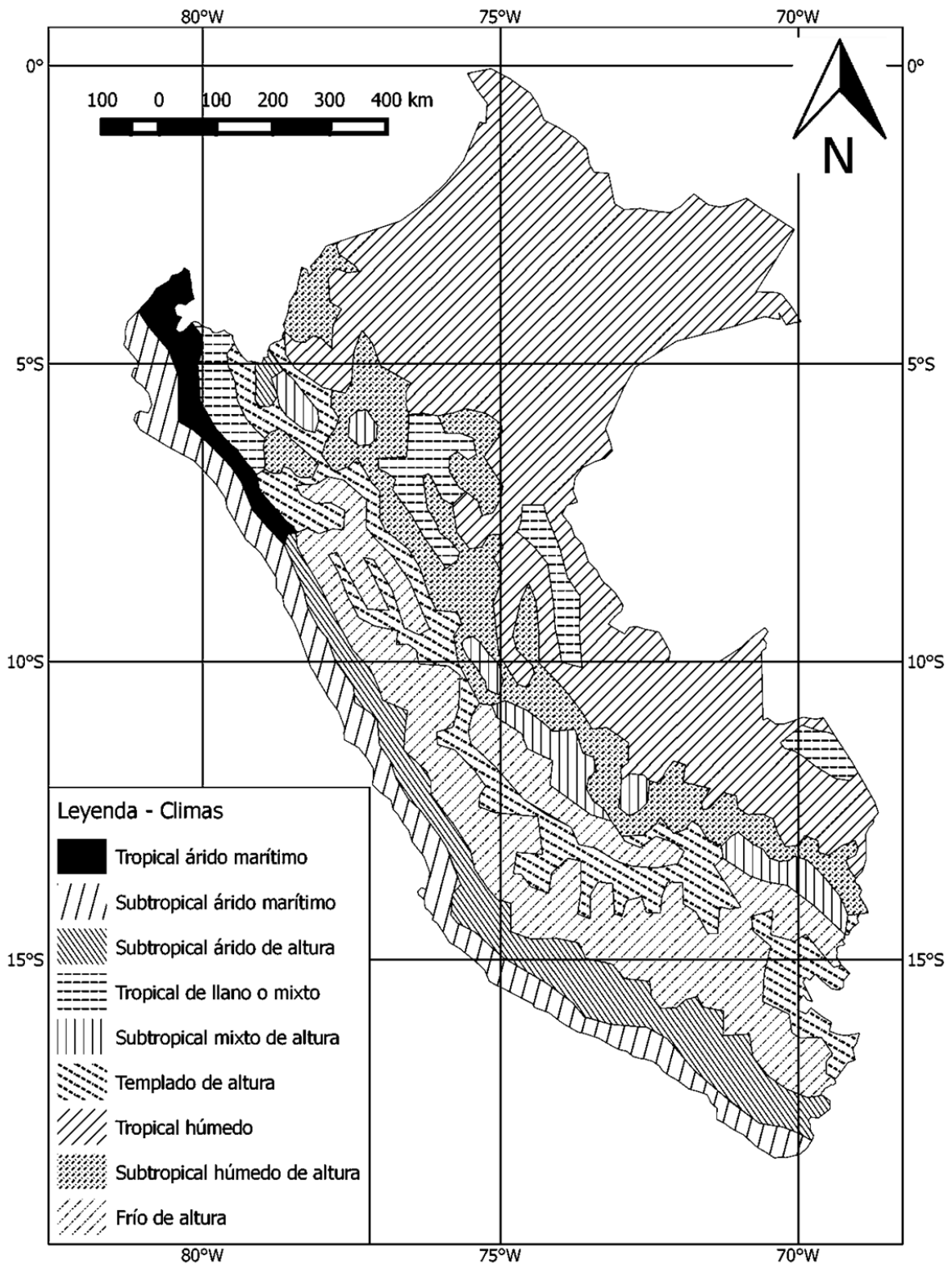


Figura 8: Regiones climáticas de los países andinos

FUENTE: Junta del Acuerdo de Cartagena (1980). Digitalización en Datum WGS84 elaborada por el autor.

2.2.2. JAVIER PULGAR VIDAL

Mediante el estudio sistemático de la información de nociones geográficas sobre el territorio peruano conforme a la sabiduría tradicional indígena, los conocimientos geográficos antes de 1939, los datos del folklore, toponimia, clima, fauna, “productos límite”, obra del hombre y paisaje, Javier Pulgar Vidal en su obra “Geografía del Perú. Las Ocho Regiones Naturales” (Pulgar, 1987) presenta la clasificación de las Regiones Naturales del Perú.

A continuación se enumeran las Ocho Regiones Naturales del Perú de acuerdo a la obra de Pulgar Vidal y un resumen de las características principales de cada una de ellas.

a. Región Chala o Costa

“Chala” en Runa-Shimi, es el nombre que se les da a las plantas de maíz. En aymara corresponde a la idea de “amontonamiento” de nubes. En cauqui significa “tierra reseca y arenosa” y “lugar poco poblado”.

Esta región se extiende desde la orilla del mar, desde los cero hasta los 500 msnm. Esta elevación superior ha sido determinada en función a que hasta esta altura ejercen influencia las nieblas procedentes del océano.

Su relieve es complejo, teniéndose sectores donde predominan cerros aislados o la Cadena Costanera, mientras que en otros aparecen colinas y llanuras.

En relación al clima, la precipitación se encuentra entre los 0 a 50 mm al año, muy diferente a lo que se esperaría de esta área por su localización en el trópico. La temperatura es menos a la que correspondería de acuerdo a la latitud donde se encuentra. La irradiación solar tiene una etapa con sol (desde fines de diciembre hasta inicios de mayo) y una época sin sol (desde principios de mayo a fines de diciembre). Durante la época sin sol se puede sentir sensación de frío a causa de la humedad atmosférica que generalmente se encuentra al 100 por ciento de saturación.

Su paisaje se caracteriza por ser un desierto longitudinal interrumpido transversalmente por ciudades, pueblos, etc. y sus cultivos y fábricas.

b. La Región Yunga

En la lengua Runa-Shimi, la palabra Yunga significa “valle cálido”.

La Yunga se encuentra tanto en el extremo occidental como en el oriental de la Cordillera de los Andes, recibiendo la primera el nombre de “Yunga marítima” y la segunda, “Yunga fluvial”. La Yunga marítima abarca desde los 500 a los 2300 msnm, mientras que la Yunga Fluvial, desde los 1000 a los 2300 msnm.

El relieve de la Yunga Marítima presenta dos fases: el valle (estrecho y de forma aproximadamente triangular, con su base en el límite con la Región Chala) y la quebrada (garganta que se forma en el lugar cercano a los Andes, posee vertientes escarpadas). En el caso de la Yunga Fluvial, también se tienen valles y quebradas, con la acotación que el valle no es triangular en este caso, sino alargado e interrumpido por cañones.

La Yunga Marítima posee condiciones solares dominantes durante casi todo el año, las cuales sólo se ven afectadas durante los aguaceros veraniegos. La humedad es relativamente baja en el día y aumenta por la noche. La temperatura se encuentra entre los 20 a 27 °C durante el día. En el caso de la Yunga Fluvial, su clima es menos caluroso que el de la Yunga Marítima y sus precipitaciones son mayores (400 a 1000 mm en verano).

Su paisaje, al contrario de la Región Chala, presenta luz, calor y visibilidad, con un cielo despejado que permite brillo solar durante todo el año.

c. Región Quechua

La palabra “Quechua” se utilizaba en el Antiguo Perú para designar a las tierras de clima templado.

La Región Quechua se encuentra en los declives oriental y occidental de la cordillera andina, con elevaciones entre los 2300 y los 3500 msnm.

A continuación de la quebrada Yunga, “hay por lo general una estrecha garganta o pongo, después del cual se abre rápidamente una nueva quebrada cuyos fondos planos son relativamente estrechos y son inmediatamente continuados por las faldas de los cerros de suave declive, interrumpidos por grupas y mamelones, expresiones orográficas que reciben el nombre de lomas. En conjunto, las Quechuas son escalonamientos de dichas lomas que constituyen inmensos anfiteatros; en la parte más honda de estos últimos se desliza el río mayor, mientras que por sus flancos descienden los riachuelos y corren horizontalmente los canales de regadío” (Pulgar, 1987).

Su clima es templado y agradable, con diferencia notable de temperatura entre el día y la noche y el sol y la sombra. La temperatura media anual se encuentra entre los 11 y 16 °C. Durante el verano se presentan abundantes neblinas, garúas y lluvias.

La aridez predominante de la Costa se mantiene en el lado occidental. Sin embargo, en esta zona se encuentran áreas dedicadas a la agricultura. Hacia el lado oriental de los Andes, ofrece diferentes tipos de árboles.

d. Región Suni o Jalca

En Runa-Shimi, “Suni” significa “alto”, “largo”. Se aplica a los lugares “altos” que tienen clima frío a causa de su altitud.

La Región Suni se encuentra a los lados oriental y occidental de los Andes. Su elevación va desde los 3500 hasta los 4000 msnm.

El relieve de esta región se caracteriza por presentar estrechas fajas onduladas e inundables, planos muy inclinados, acantilados, cumbres afiladas, entre otros.

Posee un clima frío y seco a causa de su elevación y los vientos locales. Su temperatura media anual varía entre los 7 a 10 °C, con variaciones entre el sol y la sombra y el día y la noche. La precipitación promedio anual es de 800 mm.

e. La Región Puna

“Puna” significa “soroche” o “mal de altura” en el Ande chileno-argentino. En Runa-Shimi quiere decir “altas cumbres y parámetros de los Andes que comienzan a los 3700 hasta los 4790 msnm, donde inicia la región de las nieves perpetuas”. En la región central del Perú es sinónimo de “jallca”, palabra que alude a los páramo muy fríos del Ande.

La Puna se encuentra desde los 4000 hasta los 4800 msnm. Este límite superior varía de acuerdo al límite de iniciación de los nevados, donde empieza la región inmediatamente superior (Janca).

En general se considera su relieve como una gran llanura elevada o altiplano.

Su clima es frío durante el día y la noche. La temperatura media anual es superior a 0 °C e inferior a 7 °C. Existe oscilación térmica a lo largo del día y entre la sombra y el sol. Aparecen lluvias y nieve en verano. La precipitación varía entre 200-400 a 1000 mm al año.

En su paisaje se encuentran ríos nacientes, lagunas, ojos de agua, cochas.

f. Región Janca

“Janca” corresponde a tierras frigidísimas en las cumbres andinas.

Esta se ubica en la parte más alta de los Andes. Al no haber muchas cumbres andinas peruanas con elevaciones mayores a los 4800 msnm, esta Región aparece en sectores discontinuos. Su elevación va desde los 4800 msnm hasta las cumbres más altas, siendo el mayor pico el Huascarán a 6768 msnm.

Su relieve consiste de cerros escarpados sobre las punas onduladas.

Hay reducidas observaciones meteorológicas en la zona, pero se conoce que su clima es excesivamente riguroso para el hombre. Predominan las precipitaciones sólidas, temperaturas negativas nocturnas en la zona más baja, temperaturas negativas diurnas y

nocturnas en las zonas más altas. Al mediodía se pueden llegar a temperaturas sobre cero. La atmósfera es muy seca, y hay una baja presión atmosférica.

Su paisaje se caracteriza por ser la cima blanca de los nevados.

g. Región Rupa-Rupa o Selva Alta

En Runa-shimi, “Rhúpha” significa “ardiente o lo que “está caliente”, mientras que “Rúphay” designa al astro sol.

Esta Región se encuentra en la zona oriental de la cordillera de los Andes, entre una elevación de 400 a 1000 msnm.

El relieve de Rupa-Rupa tiene una orografía compleja, con superficies montañosas, quebradas, laderas, valles, entre otros. Posee estrechos y largos valles, con un piso ligeramente inclinado. Durante las épocas de precipitación, sus suelos permeables permiten un fácil drenaje evitando peligro de inundación. Las faldas y lomas son de suelos profundos provenientes de la descomposición de las rocas madre. Se puede realizar agricultura en las zonas que tienen suave pendiente. Los cerros se encuentran cubiertos de tupida vegetación.

Su clima es cálido y húmedo, con temperaturas medias entre 22 y 25 °C. El calor es intenso durante el día y disminuye durante la noche. La precipitación es mayor a 3000 mm al año y casi no hay meses sin lluvias.

h. Región Omagua, Selva Baja o Amazonía

Entre las acepciones de la palabra “Omagua”, se tiene que es el nombre de una tribu, un gran sector de la selva, una cultura primitiva, entre otros. Etimológicamente se le conoce como “la región del pescado de agua dulce”.

Esta Región se encuentra en el oriente, más allá del Ande. Se eleva desde los 80 msnm (elevación de la boca del río Yavarí) hasta los 400 msnm aproximadamente, elevación a la que los montes andinos aparecen.

A lo largo de su extensión se encuentran dos tipos orográficos dominantes: La Cordillera de San Francisco (cerros de mediana elevación) y el Llano amazónico (plataformas con pequeñas variaciones orográficas entre sí dependiendo de la cuenca). Dentro de este último se presentan tres plataformas escalonadas llamadas filos, altos y restingas.

La temperatura promedio es de 26.3 °C, no existiendo mucha variación entre los diferentes meses. La precipitación es abundante y distribuida lo largo del año, provocando escorrentía y el aumento del caudal de los ríos. Se estima que el promedio anual de precipitación es de alrededor de los 2600 mm. La humedad relativa se encuentra entre 84-88 por ciento, teniendo los mayores valores durante los meses de abril a junio. La radiación solar es intensa. La oscilación entre el día y la noche no es tan sensible como en la Selva Alta.

En la Figura 9 se muestra la clasificación considerada por Javier Pulgar Vidal.

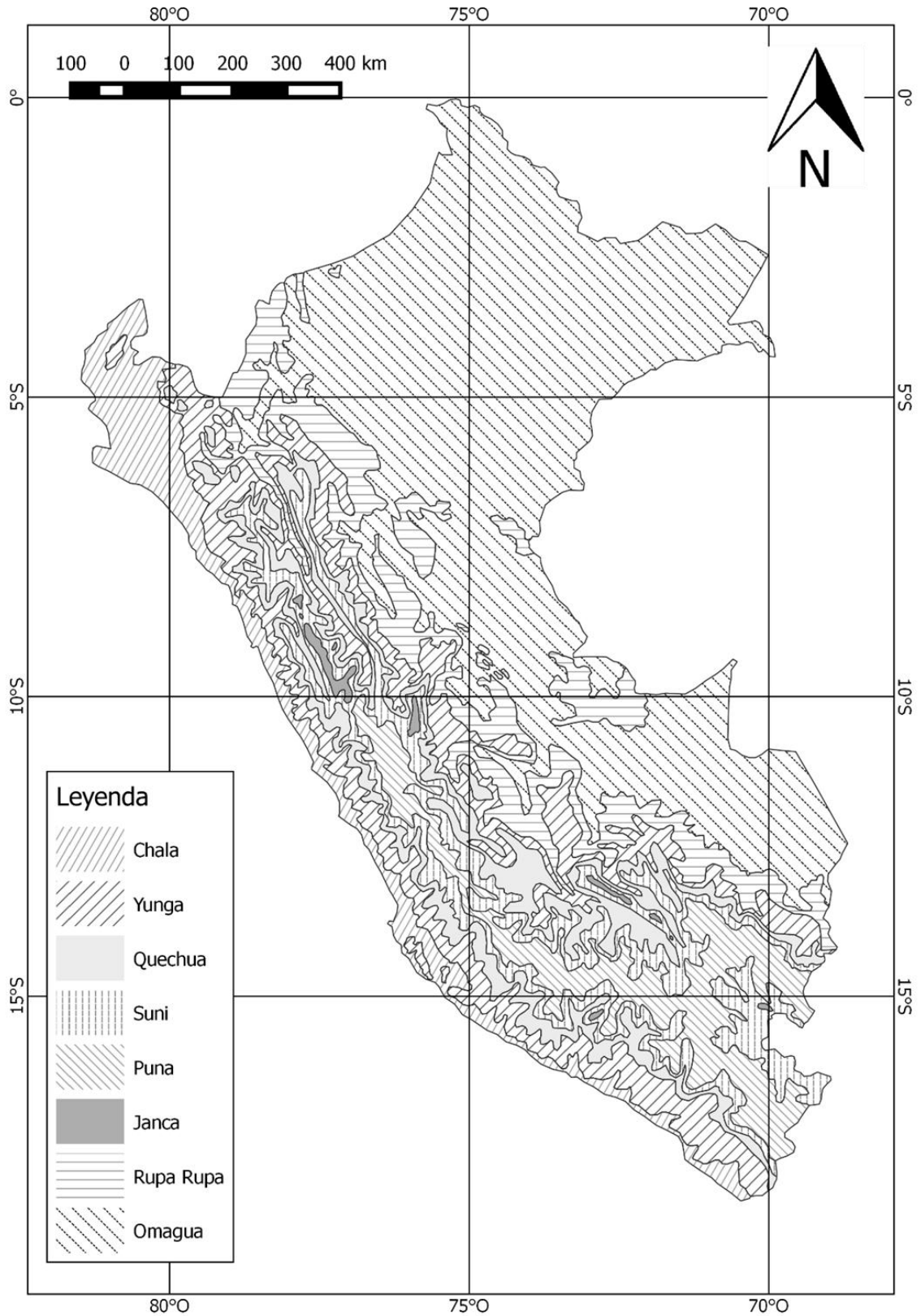


Figura 9: Ocho Regiones Naturales del Perú

FUENTE: Pulgar (1987). Digitalización en Datum WGS84 elaborada por el autor.

2.2.3. KÖPPEN

Kottek (2006) indica que Köppen, al dedicarse al estudio de la fisiología vegetal, determinó que las plantas son indicadores de varios elementos climáticos. Por ello, para la realización de su clasificación climática utilizó tres letras que permitirían caracterizar cada uno de los climas. La primera letra se basó en cinco grupos vegetales (determinados por el botánico francés De Candolle) los cuales se clasifican de la A a la E. La segunda letra está basada en la precipitación y la tercera en la temperatura del aire.

En el Cuadro 2 se muestran las consideraciones de la clasificación de climas en el Perú según Köppen y en la Figura 10 se muestra la representación gráfica.

Cuadro 2: Climas en el Perú según Köppen

| Clasificación | Características | | Fuente |
|----------------------|--|--|----------------|
| A | Climas lluviosos tropicales | El mes más frío tiene una temperatura superior a los 18°C | MINEDU (2008) |
| Af | Clima de selva tropical lluviosa | El mes más seco caen más de 60 milímetros de lluvia | MINEDU (2008) |
| Aw | Clima de sabana tropical | Por lo menos hay un mes en el que caen menos de 60 milímetros de lluvia. | MINEDU (2008) |
| B | Climas de terreno seco (sin precipitaciones) | La evaporación excede las precipitaciones. Siempre hay déficit hídrico. | MINEDU (2008) |
| BSs | Clima de estepa | Clima árido continental | MINEDU (2008) |
| | Lluvias sólo en invierno | | Ochoa (1999) |
| BSw | Clima de estepa | Clima árido continental | MINEDU (2008) |
| | La temperatura promedio multiplicada por 2 se ubica entre el 0 y 50% de la precipitación | | Sánchez (2010) |
| | Lluvias escasas en verano | | Ochoa (1999) |
| BW | Clima desértico | Clima árido con precipitaciones anuales inferiores a 400 milímetros | MINEDU (2008) |

Cuadro 2: Continuación

| Clasificación | Características | | Fuente |
|----------------------|---|---|----------------|
| C | Climas templados y húmedos | Temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y al menos un mes la temperatura media es superior a 10 °C | MINEDU (2008) |
| Cw | Clima templado húmedo con estación invernal seca | El mes más húmedo del verano es diez veces superior al mes más seco del invierno | MINEDU (2008) |
| D | Climas boreales o de nieve y bosque | La temperatura media del mes más frío es inferior a -3 °C y la del mes más cálido superior a 10 °C | MINEDU (2008) |
| Dwb | Climas boreales o de nieve y bosque con inviernos secos | Con una estación seca en invierno | MINEDU (2008) |
| | Las temperaturas medias superan los 10 °C al menos cuatro meses al año. | | Ochoa (1999) |
| E | Climas polares o de nieve | La temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C y superior a 0 °C | MINEDU (2008) |
| ETH | Clima de tundra | Temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C y superior a 0 °C | MINEDU (2008) |
| | Climas condicionados por la altura (superior a 1 500 msnm) | | Sánchez (2010) |
| EFH | Clima de los hielos polares | La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0 °C | MINEDU (2008) |
| | Climas condicionados por la altura (superior a 1 500 msnm) | | Sánchez (2010) |

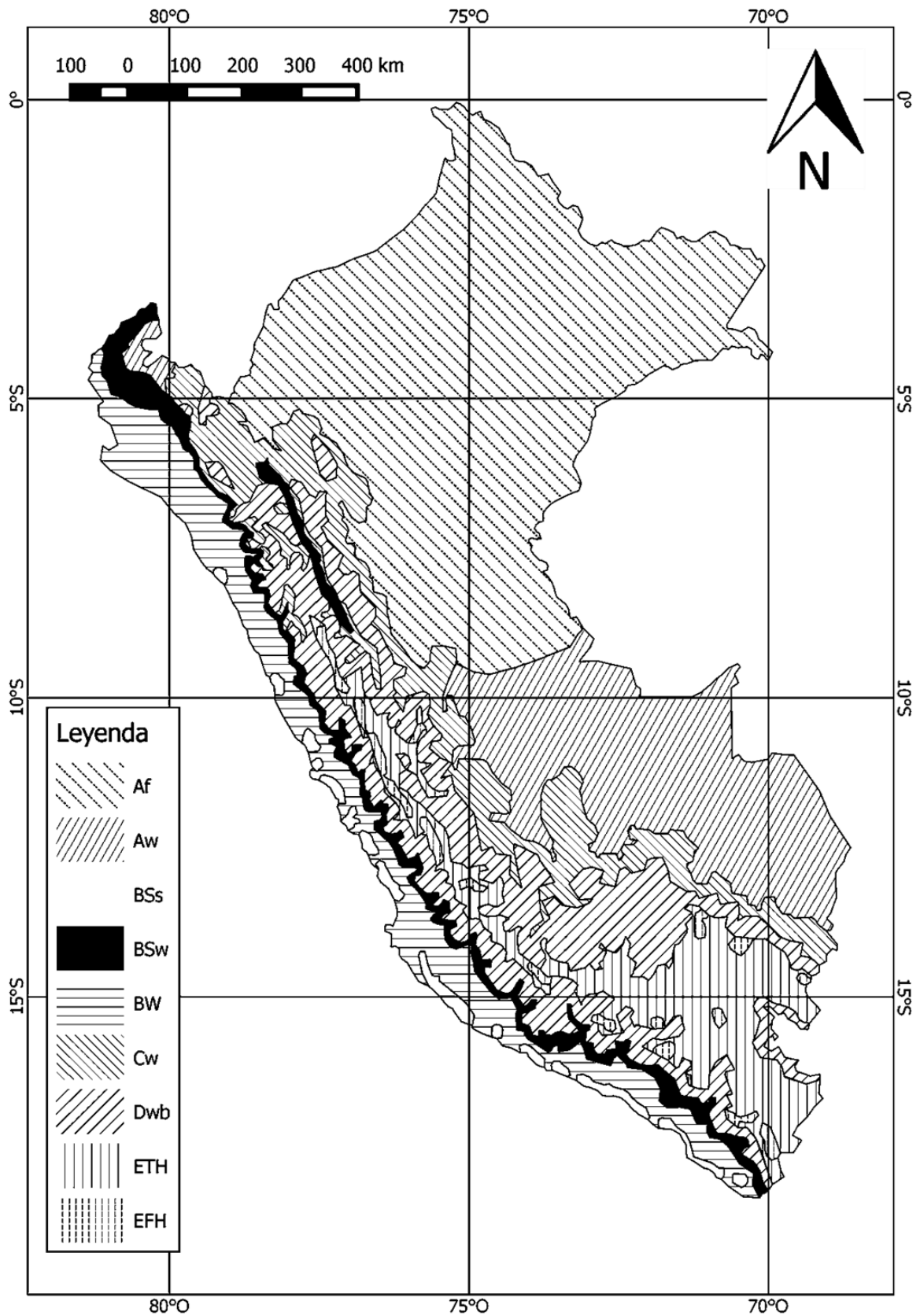


Figura 10: Clasificación Köppen

FUENTE: MINEDU (2008). Digitalización en Datum WGS84 elaborada por el autor.

2.2.4. THORNTWAITE (SENAMHI)

En el año 2011, basado en la clasificación climática realizada por Thorntwaite, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Senamhi (Senamhi, 2011) realizó una modificación de la clasificación originalmente propuesta tomando en cuenta los factores más preponderantes para el territorio peruano.

Para nombrar las zonas climáticas se utilizan cuatro índices, los cuales pueden contener letras y números. El primer índice corresponde a la precipitación efectiva, el segundo a la distribución de la precipitación a través del año, el tercero a la eficiencia de temperatura y el cuarto a la humedad atmosférica. Los índices se clasifican de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 3, Cuadro 4, Cuadro 5 y Cuadro 6.

Cuadro 3: Precipitación efectiva

| Símbolo | Carácter del clima |
|----------------|---------------------------|
| A | Muy lluvioso |
| B | Lluvioso |
| C | Semiseco |
| D | Semiarido |
| E | Árido |

FUENTE: Senamhi (2011)

Cuadro 4: Distribución de la precipitación a través del año

| Símbolo | Significado |
|----------------|---|
| r | Precipitación abundante en todas las estaciones |
| i | Invierno seco |
| p | Primavera seca |
| v | Verano seco |
| o | Otoño seco |
| d | Deficiencia de lluvias en todas las estaciones |

FUENTE: Senamhi (2011)

Cuadro 5: Eficiencia de temperatura

| Símbolo | Carácter del Clima |
|----------------|---------------------------|
| A´ | Cálido |
| B´1 | Semicalido |
| B´2 | Templado |
| B´3 | Semifrio |
| C´ | Frío |
| D´ | Semifrigido |
| E´ | Frígido |
| F´ | Polar |

FUENTE: Senamhi (2011)

Cuadro 6: Humedad atmosférica

| Símbolo | Característica Climática |
|----------------|---------------------------------|
| H1 | Muy Seco |
| H2 | Seco |
| H3 | Húmedo |
| H4 | Muy Húmedo |

FUENTE: Senamhi (2011)

En la Figura 11 se muestra el Mapa de Clasificación climática del Senamhi (Senamhi, 2011). Ver Leyenda en la Figura 12.

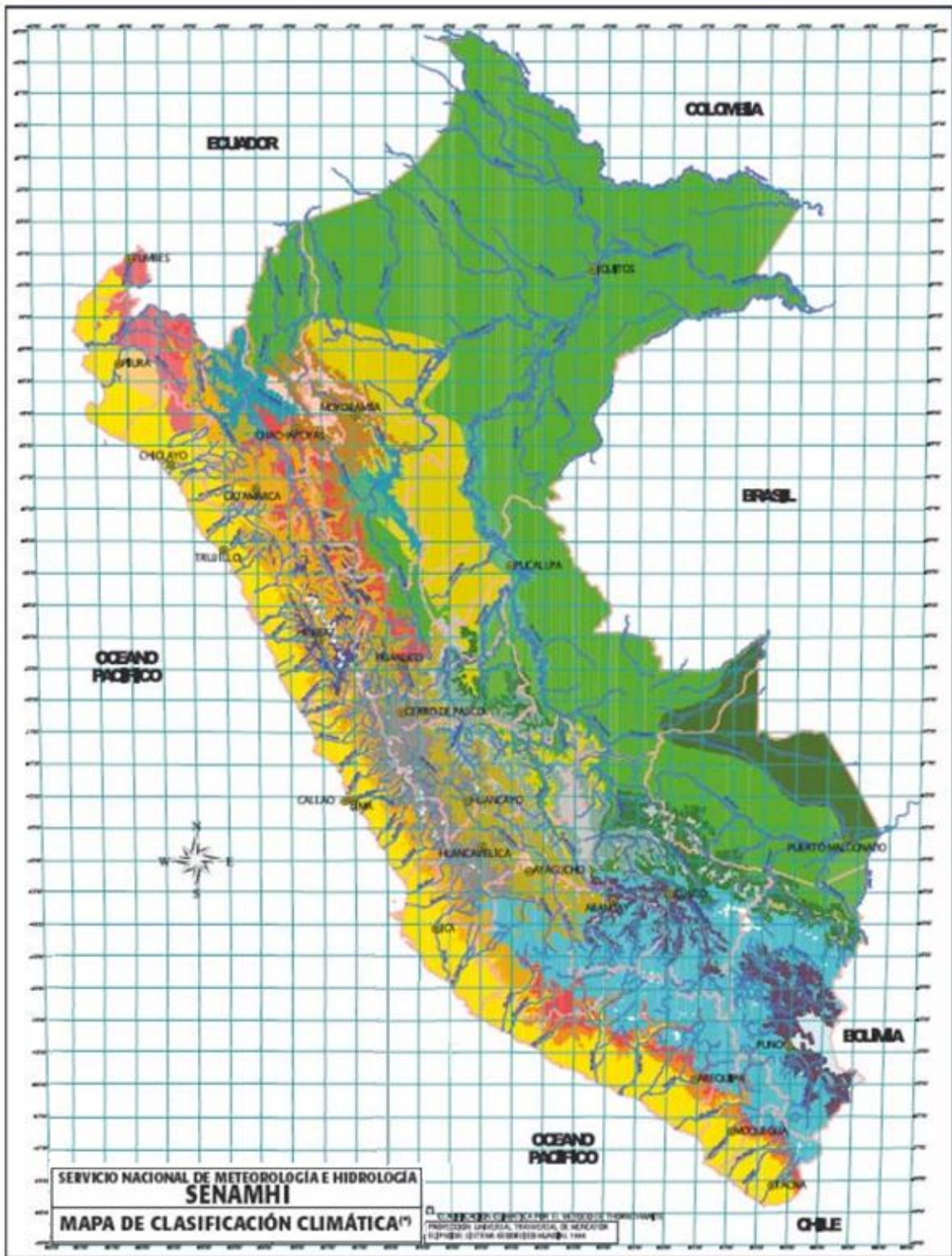


Figura 11: Mapa de Clasificación climática del Senamhi

FUENTE: Senamhi (2011)






























| LEYENDA | | |
|---|---|--|
|  A(r) A' H4 |  B(r) A' H3 |  C(o,i,p) B'3 H3 |
|  A(r) B'1 H4 |  B(r) A H4 |  C(o,i,p) C' H2 |
|  A(r) B'2 H3 |  B(r) B'1 H4 |  C(o,i,p) C' H3 |
|  B(i) A' H3 |  B(r) B'2 H3 |  D(o,i,p) B'2 H2 |
|  B(i) B'1 H3 |  B(r) C' H3 |  E(d) A' H2 |
|  B(i) B'2 H3 |  C(i) C' H3 |  E(d) A' H3 |
|  B(i) D' H3 |  C(o,i) B'2 H3 |  E(d) B'1 H3 |
|  B(o,i) B3' H3 |  C(o,i) C' H2 |  Nieve |
|  B(o,i) C' H3 |  C(o,i,p) A' H3 |  Lago |
|  B(o,i) D' H3 |  C(o,i,p) B'2 H3 | |

Figura 12: Leyenda. Mapa de Clasificación climática del Senamhi

FUENTE: Senamhi (2011)

2.2.5. RAYTER-ZÚÑIGA

En la “Guía De Aplicación De Arquitectura Bioclimática En Locales Educativos” (MINEDU, 2008) se propone la clasificación realizada por Rayter-Zúñiga, la cual se encuentra basada en la clasificación climática propuesta por Köppen y además incluye parámetros de altura, radiación, inversión térmica, arquitectura tradicional, entre otros.

En esta clasificación se consideran 9 zonas, las cuales se indican a continuación:

- Zona 1: Desértico Marino
- Zona 2: Desértico
- Zona 3: Interandino bajo
- Zona 4: Mesoandino
- Zona 5: Altoandino
- Zona 6: Nevado
- Zona 7: Ceja de Montaña
- Zona 8: Sub Tropical Húmedo
- Zona 9: Tropical Húmedo

En la Figura 13 se muestra la clasificación propuesta por Rayter-Zúñiga.

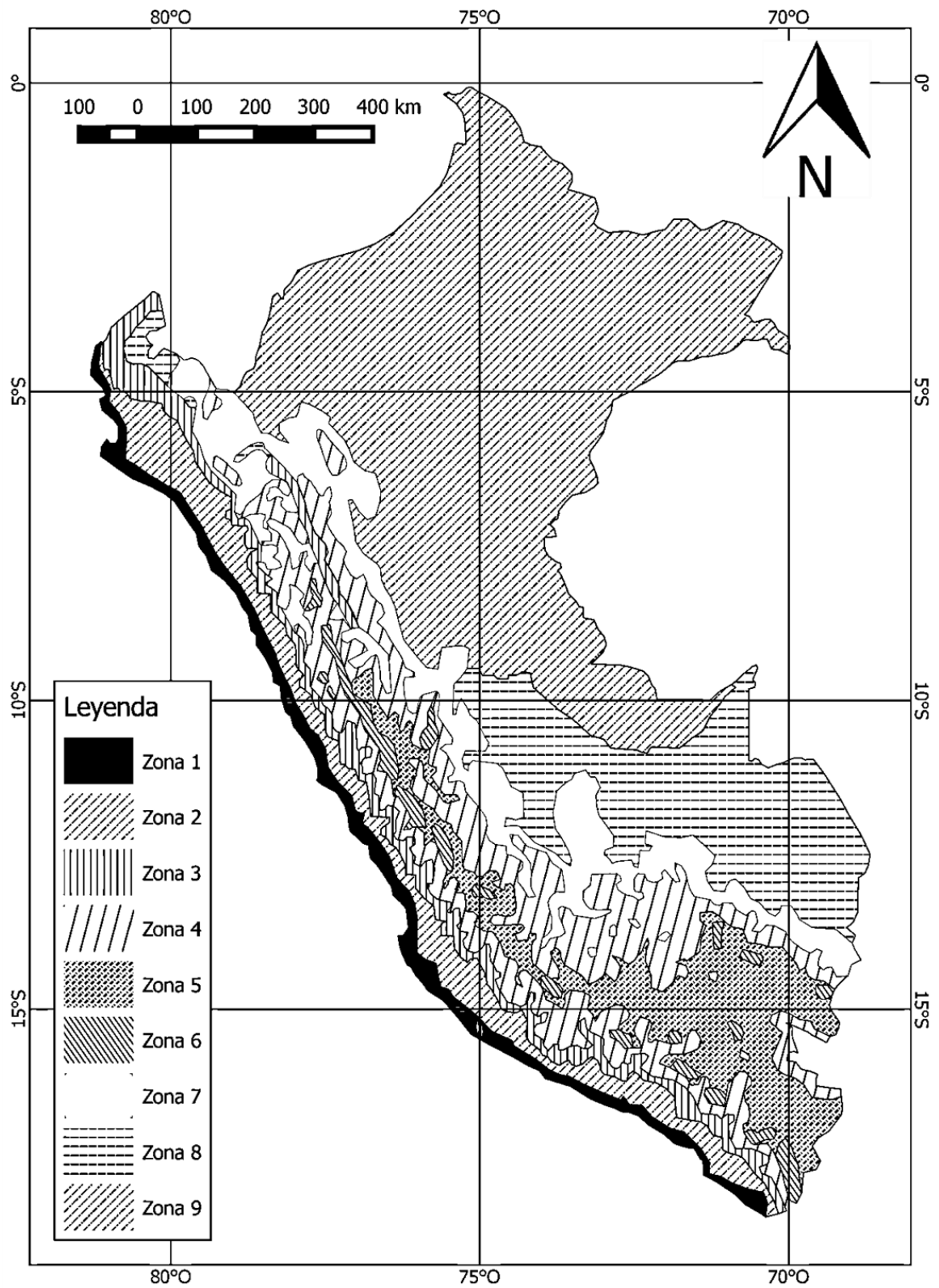


Figura 13: Mapa de clasificación climática – Rayter Zúñiga

FUENTE: MINEDU (2008). Digitalización en Datum WGS84 elaborada por el autor.

2.3. BALANCE TÉRMICO EN EDIFICACIONES

2.3.1. PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor se define como “la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura.” (Cengel, 2011). Asimismo, “la transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura.” (Cengel, 2011). El autor indica la existencia de tres modos de transferencia de calor, los cuales requieren de un gradiente de temperatura, y se indican a continuación:

a. CONDUCCIÓN

De acuerdo a la obra de Mazria “The Passive Solar Energy Book” (1979), la conducción es el proceso en el que la energía calorífica es transferida entre moléculas de una sustancia o entre dos sustancias en contacto físico por interacción molecular directa. La dirección de flujo es de caliente a frío, por lo que las moléculas con más temperatura transmiten parte de su energía vibracional a las adyacentes.

La conducción puede tener lugar en sólidos, líquidos o gases. En el caso de gases y líquidos “la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio” Cengel (2011), mientras que en los sólidos “se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.” Cengel (2011).

La configuración geométrica, el espesor, el material del que está hecho y la diferencia de temperatura, son los parámetros de los que depende la razón de conducción de calor a través de un medio. La siguiente expresión representa lo indicado anteriormente, donde “la razón de conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa” Cengel (2011); es decir (Ver Ecuación 1 y Figura 14),

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Donde:

- \dot{Q}_{cond} = Razón de transferencia de calor (W).
- k = Conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor.
- dT/dx = Gradiente de temperatura
- A = Área de transferencia de calor perpendicular a la dirección de la transferencia.

Esta expresión se denomina ley de Fourier de la conducción del calor.

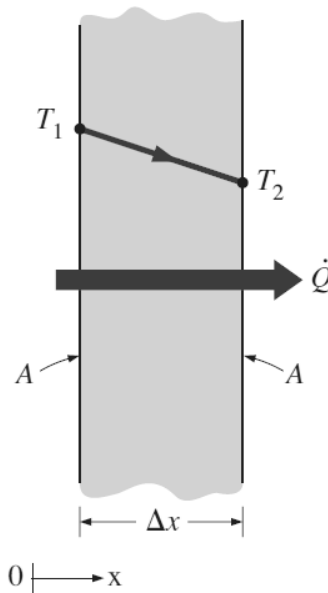


Figura 14: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A

FUENTE: Cengel (2011)

b. CONVECCIÓN

La convección, según Mazria (1979), es definida como “la transferencia de calor entre una superficie y un fluido en movimiento” o como “la transferencia de calor por el movimiento de las moléculas de un punto de un fluido a otro”. Cengel (2011) indica que a un mayor

movimiento de un fluido, aumenta la transferencia de calor por conducción. En el caso que no hubiera movimiento masivo del fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura.

Cengel (2011) también menciona que se habla de convección natural cuando el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido, mientras que convección forzada es cuando el fluido es forzado a fluir sobre una superficie mediante medios externos (ventilador, bomba, etc.) (ver Figura 15).

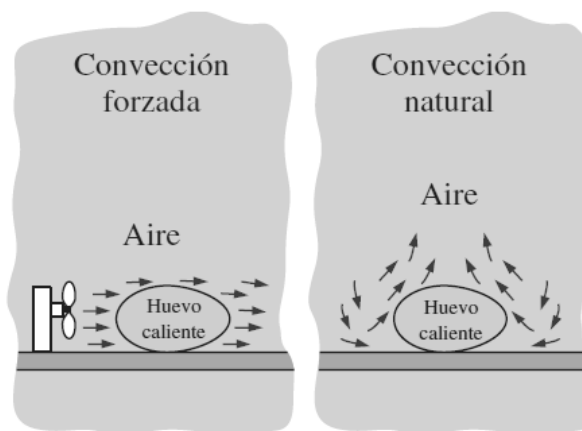


Figura 15: Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y convección natural

FUENTE: Cengel (2011)

La ley de Newton del enfriamiento representa la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura (ver Ecuación 2).

$$Q_{\text{conv}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Donde:

- h = Coeficiente de transferencia de calor por convección, en $\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ o $\text{Btu/h}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}$. Valor determinado experimentalmente que depende de las variables que influyen sobre la convección, más no es una propiedad del fluido.
- A_s = es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección.

- T_s = Temperatura de la superficie.
- T_∞ = Temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

c. RADIACIÓN

De acuerdo al texto “Transferencia de Calor y Masa” (Cengel, 2011), la radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas.

En el caso de la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor, a diferencia de la conducción y la convección.

El autor además menciona que en los estudios de transferencia de calor es de interés la “radiación térmica”, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura (todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica). Ella es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos X, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura.

Asimismo, Cengel (2011) indica que la radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. En el caso de los sólidos que son opacos a la radiación térmica, las radiaciones emitidas por las regiones interiores del material no llegan a la superficie y la radiación que incide se absorbe en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos, por esta razón se le considera un fenómeno superficial.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) se expresa por la siguiente expresión (ver Ecuación 3):

$$\dot{Q}_{\text{emitida, máx}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3)$$

Donde:

- σ = Constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, o bien, $0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot \text{R}^4$).

- T_s = Temperatura termodinámica (en K o R).
- A_s = Área superficial.

A esta expresión se le conoce como la ley de Stefan-Boltzmann.

Existe una superficie idealizada llamada “cuerpo negro”, cuya radiación emitida es mayor que la emitida por superficies reales a una misma temperatura (ver Ecuación 4).

$$\dot{Q}_{\text{emitida}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (4)$$

Donde:

- ε = Emisividad de la superficie, la cual toma valores en el intervalo $0 \leq \varepsilon \leq 1$, siendo para el cuerpo negro $\varepsilon = 1$.

También Cengel (2011) menciona que otra propiedad de la radiación sobre una superficie es la absorptividad α , referida a la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por ésta. Su valor puede estar en el rango de $0 \leq \alpha \leq 1$, siendo para un cuerpo negro $\alpha = 1$ al absorber toda la radiación que incide sobre él.

Los valores de ε y α de una superficie dependen de la temperatura y longitud de onda de la radiación. La ley de Kirchoff de la radiación indica que la emisividad y la absorptividad de una superficie a una temperatura y longitud de onda dadas son iguales (ver Ecuación 5).

$$\dot{Q}_{\text{absorbida}} = \alpha \dot{Q}_{\text{incidente}} \quad (5)$$

Donde:

- $\dot{Q}_{\text{incidente}}$ = Razón a la cual la radiación incide sobre la superficie.
- α = Absorptividad de la superficie.

En el caso de las superficies opacas, la radiación incidente no absorbida por la superficie es reflejada (ver Figura 16).

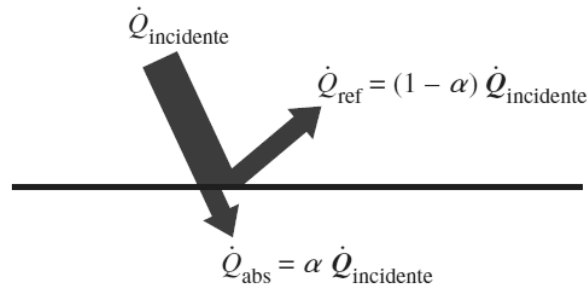


Figura 16: Absorción de la radiación incidente sobre una superficie opaca de absorptividad α

FUENTE: Cengel (2011)

Cengel (2011) menciona que la diferencia entre la radiación emitida por la superficie y la absorbida es la transferencia neta de calor por radiación. Cuando la razón de absorción es mayor que la de emisión se habla de una ganancia de energía, mientras que si se diera el caso contrario se estaría hablando de una pérdida de energía por radiación.

Determinar la razón neta de transferencia de calor por radiación entre dos superficies depende de factores como las propiedades de las mismas, la orientación entre ellas y la interacción del medio existente entre ellas con la radiación, razón por la cual es difícil de determinar.

2.3.2. INTERCAMBIO DE CALOR EN LAS EDIFICACIONES

El calor que una edificación entrega o recibe de acuerdo a su interacción con el ambiente depende de varios factores.

Con relación al intercambio de calor de las edificaciones con el medio ambiente, Linares (2011)¹ indica que una parte del calor transmitido al ambiente es producto de su propio desequilibrio interno a causa de un diseño térmico desbalanceado. Pero, aunque se considerara que el diseño térmico fuera óptimo, se debe tomar en cuenta que las condiciones del medio local pueden sobreponerse al diseño inicial, provocando que la edificación quede en desequilibrio térmico entregando o perdiendo calor. El problema a partir de este supuesto -el diseño térmico óptimo- se presenta cuando la edificación se ve

¹ Linares, E. 2011. Curso de Diseño Rural (entrevista). Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.

forzada a entregar su calor extra hacia el exterior mediante la utilización de soluciones electromecánicas necesarias para equilibrar las condiciones internas de sus ambientes.

En relación a la transferencia de calor en edificios, Neufert menciona en su obra “El Arte de Proyectar en Arquitectura” (1970) lo siguiente: “El calor pasa siempre del cuerpo de temperatura mayor al de temperatura menor, es decir, refiriéndose a las habitaciones, del interior al exterior en los días fríos y del exterior al interior en los días calurosos. Este paso de calor se verifica hasta llegar a la igualdad de temperaturas. Para impedir que se establezca esta igualdad se recurre en invierno a la calefacción y en verano, en algunos casos, a la refrigeración. El gasto de energía necesario disminuye por efecto de las superficies de cerramiento del local, que se oponen al paso del calor.”

A su vez, Mazria (1979) complementa esta información con las definiciones mencionadas a continuación. Los sistemas de calefacción o refrigeración se denominan “sistemas activos”. Los sistemas activos utilizan equipos mecánicos para transportar calor, mientras que los sistemas pasivos almacenan y transportan calor por medios no-mecánicos. En estos últimos, la energía térmica fluye en el sistema por medios naturales, como radiación, conducción y convección natural; es decir, la edificación es el “sistema” que utiliza la energía de su ambiente inmediato, mientras que los sistemas activos necesitan “importar” energía.

Linares (2011)² indica que el uso de los sistemas activos contribuye en un gran porcentaje al calentamiento global, el cual es uno de los principales problemas de la actualidad. Los equipos de aire acondicionado consumen electricidad para su funcionamiento, la cual en un alto porcentaje es generada por centrales termoeléctricas que consumen combustible fósil y generan CO₂. También es importante mencionar que el comportamiento propio de los sistemas de aire acondicionado es de extraer el calor interior de la edificación y expulsarlo, fomentando la transferencia de calor al exterior y afectando las condiciones naturales del ambiente.

En relación a la producción eléctrica peruana, ésta “se concentra en centrales hidroeléctricas (50.14 por ciento) y termoeléctricas (49.14 por ciento), además se muestra

² Linares, E. 2011. Curso de Diseño Rural (entrevista). Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.

una creciente participación de termoeléctricas (44 por ciento el 2012 y 46 por ciento el 2013) efecto de su mayor atractivo en costos consecuencia de la puesta en marcha en el 2004 del proyecto Camisea. Asimismo, con la culminación del Gasoducto del Sur Peruano (que tiene plazo de finalización hasta el 2019) se podrá transportar gas natural de Camisea a la zona sur del Perú, por lo que se espera aumenten los proyectos de centrales termoeléctricas en esta zona, de este modo se logrará descentralizar en parte la concentración de producción de electricidad de la zona centro, causado fundamentalmente por dificultades de transporte.” (PCR, 2014) (Ver Figura 17).

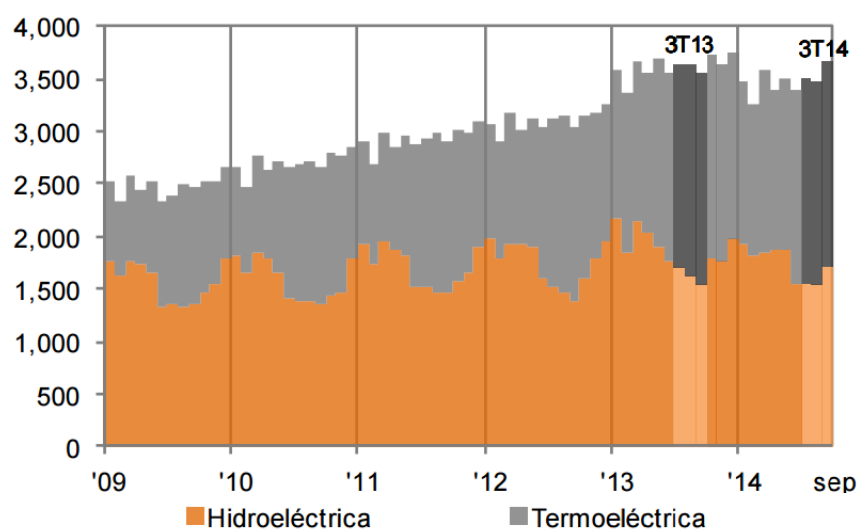


Figura 17: Producción hidroeléctrica y termoeléctrica – Perú (en GWh)

Estadísticas actualizadas a octubre 2015 indican que “las centrales hidroeléctricas registraron una producción de 1,781 GW.h (43 por ciento de participación), las centrales termoeléctricas de 2,300 GW.h (55 por ciento) y las centrales con fuentes no convencionales (solar y eólica) con 82 GW.h (dos por ciento).” (El Comercio, 2015).

De acuerdo a ambas fuentes se puede ver la gran participación que tienen las termoeléctricas en el país y su tendencia a incrementarse en el futuro, por lo cual es importante considerar los niveles de contaminación que podrían llegar a causar.

El documento “Mantenerse frescos sin calentar el planeta” (WWF/Adena, 2006) menciona que también se debe considerar el impacto que podrían causar las fugas de fluido refrigerante de los equipos de este tipo. Los gases más usados son los HFCs (compuesto

hidroclorofluorocarbonado y gas de efecto invernadero) y más específicamente el uso de R-22 un HCFC que contribuye a la destrucción de la capa de ozono. Éste último se encuentra aún vigente para cargas y revisiones de los equipos antiguos ya instalados a pesar de la prohibición de su comercialización en Europa.

Además, el documento indicado menciona que los usuarios tienden a pensar que el consumo eléctrico del aire acondicionado es bajo al tener menor potencia que otros equipos y por ser usado sólo durante algunos meses. Por ello son utilizados indiscriminadamente durante varias horas del día y la noche a bajas temperaturas que no son recomendables para la salud.

2.3.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TRANSFERENCIA DE FLUJO CALORÍFICO EN EDIFICACIONES

La transferencia de flujo calorífico en edificaciones depende de diversos factores, siendo uno de ellos las condiciones del medio ambiente. En base al documento “Soluciones energéticamente eficientes en la edificación” (2010) realizado por la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, existe la influencia de las condiciones macroclimáticas y las microclimáticas (estas últimas afectando a las macroclimáticas). Las primeras son dependientes de la latitud, longitud y región determinada; mientras que las segundas se encuentran determinadas por la geografía propia del lugar.

En el caso macroclimático, la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2010) menciona que una de las condiciones influyentes es la radiación del sol y su incidencia, que influye en las ganancias térmicas y la cual varía de acuerdo a la orientación y época del año. Asimismo, la temperatura exterior del ambiente, que depende de la zona climática donde se encuentre la edificación, puede fomentar un fuerte desequilibrio debido a que podría estar muy lejos de los valores óptimos de confort necesarios en el interior. También dependerá de qué tan ventilado se mantenga el ambiente, ello gracias a los vanos y qué cantidad de intercambio de corrientes de viento exista debido a la apertura y cierre de estos. La pluviometría y la humedad propia del lugar será el último factor dentro de esta clasificación.

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2010) indica que para el caso de las condiciones a nivel microclimático, se tienen las pendientes del terreno, las elevaciones naturales o edificios cercanos que pueden actuar como una barrera de viento o radiación, la existencia de cuerpos de agua cercanos que actúan como termorregulador e incrementan la humedad del entorno, y la presencia de masas de vegetación cercana.

Según Díaz (2005), otro factor que influye en la ganancia de calor son las condiciones de uso propias del edificio. Dependiendo de qué actividad se realice dentro de éste, los ocupantes (incluso animales) que se encuentran en el interior realizarán un trabajo con mayor o menor desprendimiento de energía. Además, Linares (2011)³ menciona que la demanda de iluminación (por ejemplo, un salón de clases no demandará la misma cantidad de iluminación que un almacén) puede reflejarse en un mayor gasto en el consumo por luminarias. De igual manera, la existencia de equipos eléctricos, electromecánicos y de acondicionamiento sumará a esta cuota de consumo.

Finalmente, el acondicionamiento del edificio es otro de los factores de los que depende la transferencia energética. La forma que tenga la infraestructura le permitirá aprovechar o no las condiciones del ambiente. Además, si los vanos son colocados de manera correcta (de acuerdo a su tamaño y orientación) también cumplirán esta función. A su vez, la autora Vale (2005) indica que “las ventanas son una causa fundamental de que se produzcan pérdidas de calor hacia el exterior cuando la casa está caliente, en vez de ser una forma de aportar calor al interior de la vivienda”. Por otro lado, los materiales de los cerramientos (llámense muros, techos, puertas y ventanas) según sus condiciones propias tendrán diferentes comportamientos de transmisión de energía de acuerdo a los gradientes de temperatura a los que se vean expuestos. Finalmente, todo esto se ve influenciado por la forma y orientación en la que se encuentre cada uno de estos elementos por lo que se buscará que esta sea la más adecuada para las distintas épocas del año.

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2010) menciona que “la orientación del edificio determina la captación solar a través de las ventanas. En general, la vivienda se interesa por captar cuanta más energía, mejor, ya que ayuda a reducir los consumos de calefacción en invierno. Durante el verano, es necesario limitar dicha

³ Linares, E. 2011. Curso de Diseño Rural (entrevista). Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.

radiación mediante elementos de sombreado u otras técnicas para que no se dispare la demanda de refrigeración”.

La información detallada anteriormente se expresa gráficamente en la Figura 18 y Figura 19.

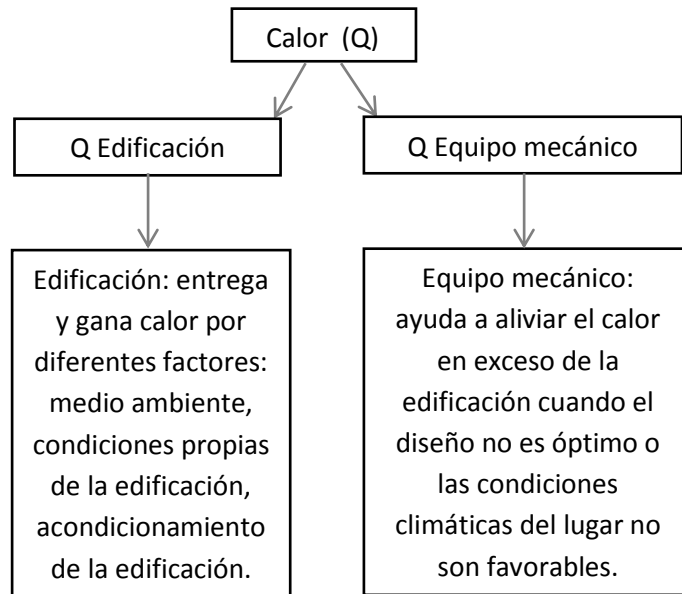


Figura 18: Diferenciación de intercambio térmico propio del edificio y por equipo mecánico

Fuente: Elaboración propia.

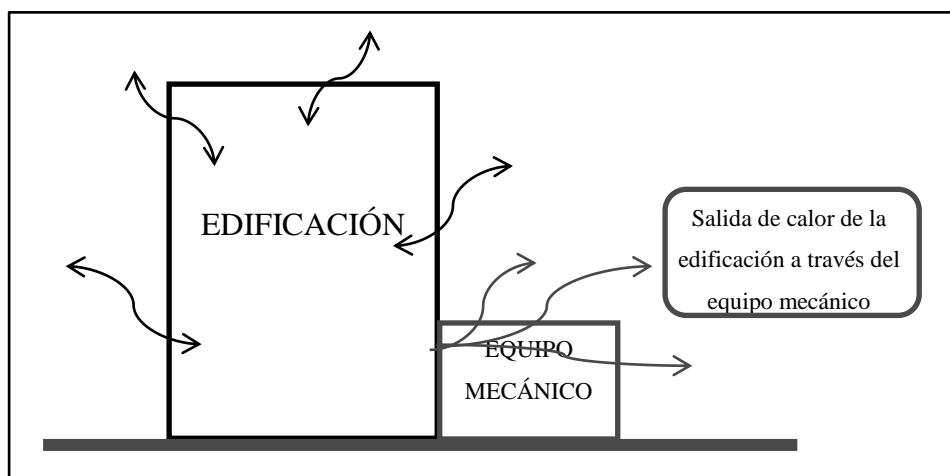


Figura 19: Representación de intercambio térmico mediante uso de equipo mecánico

Fuente: Elaboración propia.

2.3.4. PROCESOS TÉRMICOS EN UNA EDIFICACIÓN

Un edificio, tal como el cuerpo humano, se encuentra en constante intercambio de calor con el exterior y viceversa. El autor Koenigsberger (1977) define los siguientes procesos térmicos que se dan en una edificación.

a. CONDUCCIÓN

Koenigsberger (1977) presenta la Ecuación 6 para el cálculo del flujo calorífico por conducción a través de una superficie de área conocida.

$$Q_c = A \cdot U \cdot (T_{\text{externa}} - T_{\text{interna}}) \quad (6)$$

Donde:

- Q_c = medida del flujo calorífico por conducción, en Watts.
- A = área de los materiales, en m^2 .
- U = Transmitancia, en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$.
- T = Temperaturas externa e interna, en $^\circ C$.

La pérdida de calor unitaria de una parte del edificio se define por la transmitancia (U). Éste parámetro indica la cantidad de calor por metro cuadrado que ganará o perderá el material por cada grado de diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.

En el caso que se necesite un valor de U para un material determinado que no aparece en tablas, Vale (2005) indica el uso de una serie de ecuaciones para definir su valor. Primero, se utiliza la Ecuación 7.

$$U = \frac{1}{R} \quad (7)$$

Donde:

- R = Resistencia total, que es la suma de las resistencias de cada parte de las que se compone el elemento constructivo, en $m^2 \text{ } ^\circ C/W$. Esta resistencia total (R), se define de acuerdo a la Ecuación 8.

$$R = R_{si} + R_{se} + R_{ca} + R_1 + R_2 \dots + R_n \quad (8)$$

Donde:

- R_{si} = Resistencia de la superficie interior, en $m^2\text{°C/W}$. Ésta se refiere a “la propiedad aislante de la delgada capa de aire en reposo que se encuentra inmediatamente detrás del material. Esta capa se encuentra en reposo debido a la aspereza (a veces microscópica) de la superficie, y al estar en reposo no transmite el calor por convección” (Vale, 2005).
- R_{se} = Resistencia de la capa de aire en reposo que hay en la superficie exterior, en $m^2\text{°C/W}$.
- R_{ca} = Resistencia de las cámaras de aire que haya dentro del elemento, en $m^2\text{°C/W}$.
- R_1, R_2, \dots, R_n = Resistencias de los materiales utilizados en el cerramiento. Estos se hallan dividiendo el espesor del material por su conductividad térmica, en $m^2\text{°C/W}$.

Tomando la Ecuación 7 y la Ecuación 8, de acuerdo a Koenigsberger (1977), esta puede ser escrita como se indica en la Ecuación 9.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{b_1}{k_1} + \dots + \frac{1}{R_c} + \frac{b_2}{k_2} + \dots + \frac{1}{f_e}} \quad (9)$$

Donde:

- f_i = conductancia superficial interna en $W/m^2\text{°C}$.
- f_e = conductancia superficial externa en $W/m^2\text{°C}$.
- R_c = conductancia de cámara en $W/m^2\text{°C}$.
- b_1, b_2, \dots = espesor de los materiales en m.
- k_1, k_2, \dots = conductividad de los materiales en $W/m\text{°C}$.

Valores de f_i , f_e y R_c se pueden obtener del Cuadro 7.

Cuadro 7: Conductancia de cámaras de aire

| Material | Conductancia (W/m²-C°) |
|--|--|
| Cámaras horizontales (de más de 20 mm) (R _c) | 5.10 |
| Cámaras horizontales (de más de 20 mm) (R _c) | 5.96 |
| Capa interior horizontal (f _i) | 9.09 |
| Capa interior vertical (f _i) | 8.30 |
| Capa exterior – viento 3 m/s (f _e) | 22.73 |
| Capa exterior – viento 6 m/s (f _e) | 33.41 |

FUENTE: Hertz (1981)

b. CONVECCIÓN

Koenigsberger (1977), indica el uso de la Ecuación 10 para el cálculo del flujo calorífico por convección entre el interior de un edificio y el aire libre, el cual es dependiente de la ventilación o del intercambio de aire.

$$Q_v = 1300 \cdot V \cdot \Delta T \quad (10)$$

Donde:

- Q_v = Medida del flujo calorífico de ventilación, en Watts.
- 1300 = Calor específico volumétrico del aire, J/m³.°C.
- V = Ventilación, en m³/s.
- ΔT = Diferencia de temperatura (diferencia entre la temperatura externa y la temperatura interna de la edificación), en °C.

• Ventilación por infiltración

En caso se tuviera el número de renovaciones de aire por hora (N), la Ventilación por infiltración (Vi) puede ser reemplazada en función a este factor, teniéndose la Ecuación 11.

$$V_i = \frac{N \times Vol}{3600} \quad (11)$$

Donde:

- V_i = Ventilación por infiltración, en m^3/s .
- N = Número de cambios por hora.
- Vol = Volumen del ambiente en m^3 .
- 3600 = cambio de unidades: número de segundos en 1 hora.

Los valores de cambios por hora se definen en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Número de cambios por hora (N)

| Tipo de cuarto | Cantidad de cambios al aire cada hora |
|--|--|
| Cuartos sin ventanas o puertas exteriores | 0.5 |
| Cuartos con ventanas o puertas en solo una pared | 1.0 |
| Cuartos con ventanas o puertas en dos paredes | 1.5 |
| Cuartos con ventanas o puertas en tres paredes | 2.0 |
| Cuartos de entrada principal | 2.0 |

FUENTE: Hertz (1981)

Para este caso, se obtiene finalmente la Ecuación 12.

$$Q_{vi} = 1300 \cdot \frac{N \cdot Vol}{3600} \cdot (T_{externa} - T_{interna}) \quad (12)$$

Donde:

- Q_{vi} = Medida del flujo calorífico de ventilación por infiltración, en Watts.
- 1300 = Calor específico volumétrico del aire, $J/m^3 \cdot ^\circ C$.
- N = Número de cambios por hora.
- Vol = Volumen del ambiente en m^3 .
- 3600 = cambio de unidades: número de segundos en 1 hora.
- ΔT = Diferencia de temperatura (diferencia entre la temperatura externa y la temperatura interna de la edificación), en $^\circ C$.

- **Ventilación por medio de la fuerza de los vientos**

De acuerdo a Olgyay (1968), estos movimientos de aire se deben utilizar durante los periodos cálidos como enfriamiento y para aligerar la presión del vapor de agua en tiempo de alta humedad absoluta, pero ser evitados durante periodos fríos.

El flujo de aire al encontrarse con un obstáculo presentará el siguiente comportamiento: “Una vivienda colocada en una corriente de aire disminuye la velocidad de ésta, pero al mismo tiempo aumenta la cantidad de aire sobre el costado desde el cual éste viene, originando así una zona de alta presión. El flujo, alrededor del edificio, crea áreas de baja presión en los costados adyacentes, mientras que del otro lado se crea un área de baja presión y una ‘sombra de vientos’ o protegida, la que gradualmente se vuelve a llenar del aire que la rodea hasta que a una distancia de dos veces la altura del edificio, el aire está en calma y de allí en adelante una parte del volumen de aire se devuelve hacia el edificio, mientras que la otra se mueve en la dirección original hasta tener la velocidad inicial de la corriente a una distancia de más o menos siete veces la altura del edificio.” (Olgyay, 1968). En la Figura 20 se puede observar este fenómeno.

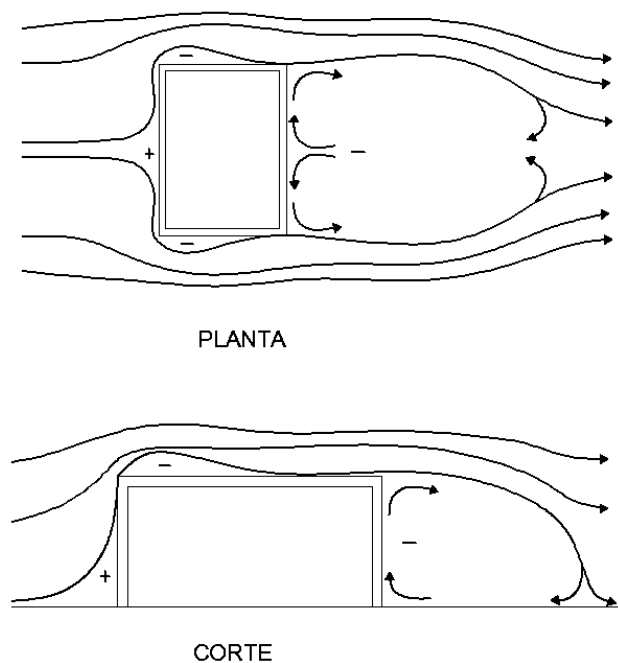


Figura 20: Flujo de aire alrededor de un edificio. Vista de planta y de corte

FUENTE: Olgyay (1968). Digitalizado por el autor.

Estas diferencias de presión pueden contribuir al flujo interior de aire, sobre todo si se colocan aperturas de entrada en la zona de alta presión y de salida en la zona de baja presión. El flujo de cambios de aire depende de las diferencias de presión y de la efectividad de las aperturas. La Ecuación 13 indica cómo calcular este flujo considerando la dirección del viento perpendicular al edificio y áreas de entrada y salida iguales.

$$V_v = 3150 \cdot A \cdot Vel \quad (13)$$

Donde:

- V_v = Ventilación por efecto de los vientos, en pies³/hora.
- 3150 = Variable que representa la relación entre el área de salida y el área de entrada de las ventanas de la edificación. En este caso se considera una relación 1:1 a la que le corresponde el valor de 3150, debido a que al usar la Ecuación 14 (área efectiva) se estará corrigiendo los valores de diferencia entre entradas y salidas.
- A = Área de entradas, en pies².
- Vel = Velocidad del viento, en mph. Olgyay indica que si la cara del edificio se encuentra perpendicular a la dirección del viento, ésta recibirá el 100 por ciento de la velocidad. Análogamente, si estuviera en un ángulo de 45° sólo recibiría el 50 por ciento (usualmente se considera un valor de 66 por ciento).

Esta expresión debe ajustarse cuando las áreas de entradas y salidas son apreciablemente diferentes, como indica el Cuadro 9.

Cuadro 9: Relación del área de salida y área de entrada de ventanas y el valor con que la unidad 3150 debe reemplazarse en la Ecuación 13

| Área de salida : Área de entrada | Valor con que la unidad 3150 debe reemplazarse |
|----------------------------------|--|
| 1:1 | 3150 |
| 2:1 | 4000 |
| 3:1 | 4250 |
| 4:1 | 4350 |
| 5:1 | 4400 |
| 3:4 | 2700 |
| 1:2 | 2000 |
| 1:4 | 1100 |

Fuente: Olgyay (1968)

Cuando el aire tiene que pasar a través de aberturas en paralelo, Thorton (1984) indica el uso de la Ecuación 14 para el cálculo del área efectiva de paso. La corriente de aire es reducida considerablemente al encontrarse con una pequeña abertura en su camino. Esta área efectiva es siempre menor que la abertura más pequeña en un circuito.

$$A_{EF} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \dots + \frac{1}{A_n^2}}} \quad (14)$$

Donde:

- A_{EF} = Abertura efectiva, en pie².
- A_n^2 = Área de aberturas para cada eje de la edificación, en pie².

La Ecuación 13, luego de realizar el cambio de unidades correspondiente, puede ser reemplazada en la Ecuación 10, obteniéndose la Ecuación 15.

$$Q_{vv} = 1300 \cdot V \cdot \frac{0.3048^3}{3600} \cdot \Delta T \quad (15)$$

Donde:

- Q_{vv} = Medida del flujo calorífico de ventilación por acción de los vientos, en Watts.
- 1300 = Calor específico volumétrico del aire, $J/m^3 \cdot ^\circ C$.
- V = Ventilación, en pie^3/hr (Ecuación 13).
- 0.3048^3 = cambio de unidades: pie^3 a m^3 .
- 3600 = cambio de unidades: número de segundos en 1 hora.
- ΔT = Diferencia de temperatura (diferencia entre la temperatura externa y la temperatura interna de la edificación), en $^\circ C$.

c. RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE LAS VENTANAS

Según el autor Díaz (2005), el sol produce el calentamiento de las superficies al incidir sobre ellas. Del total de este calor, una parte se refleja y el resto se transmite al interior. La cantidad que será transmitida dependerá del grado de opacidad, color y rugosidad del material, así como del ángulo de incidencia del sol. Si estos rayos inciden perpendicularmente son menos propensos a ser reflejados, provocando el aumento de la temperatura superficial y la transmisión del calor al interior. Este ángulo de incidencia depende de la latitud, época del año y hora del día.

El mismo autor también menciona que en el caso de los cristales, estos sólo absorben alrededor del 5 a 6 por ciento de radiación solar, mientras que el resto es reflejado o transmitido. En el caso de ángulos de incidencia pequeños se transmite de 86 a 87 por ciento y se refleja un 8 a 9 por ciento. Para ángulos mayores aumenta el calor reflejado y disminuye el transmitido, teniéndose que la ganancia será la del calor transmitido más aproximadamente 40 por ciento del calor absorbido (Ver Figura 21).

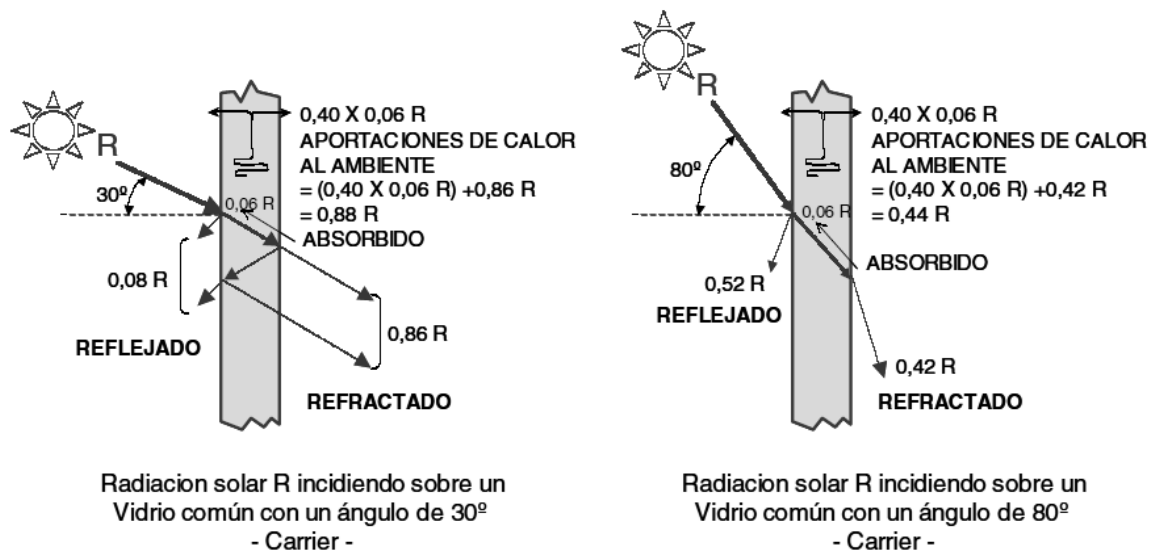


Figura 21: Influencia de los ángulos de incidencia solar

FUENTE: Díaz (2005)

Además, Díaz (2005) menciona que el vidrio tiene la propiedad de provocar un “efecto invernadero”, en el cual permite el paso de las ondas de longitud corta (de alta frecuencia de radiación solar) e impide que las ondas de longitud grande (de baja frecuencia) puedan ir hacia el exterior de la edificación. Este efecto es conveniente durante el invierno, pero perjudicial en verano (Ver Figura 22).

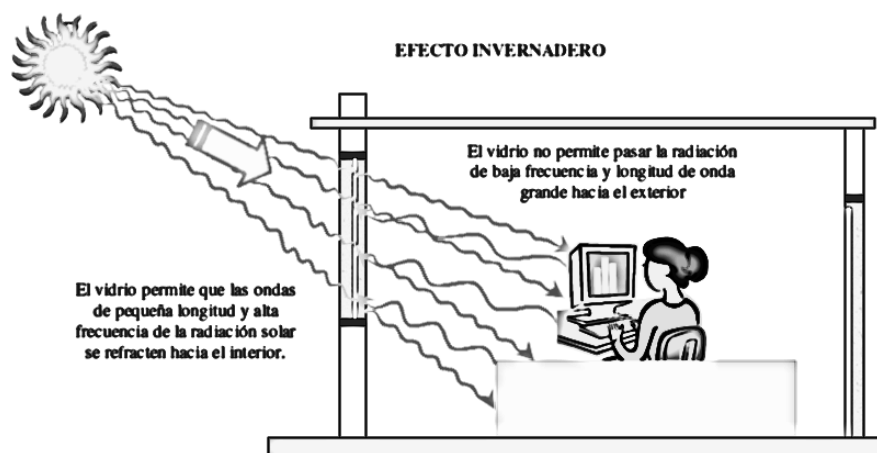


Figura 22: El vidrio y el efecto invernadero

FUENTE: Díaz (2005)

De acuerdo a Koenigsberger (1977), la cantidad de calor ganada a causa de la radiación solar a través de ventanas se cuantifica de acuerdo a la Ecuación 16:

$$Q_s = A \cdot I \cdot K \quad (16)$$

Donde:

- Q_s = Medida del flujo calorífico por radiación a través de ventanas.
- A = área de la ventana en m^2 .
- I = densidad de flujo calorífico en W/m^2 .
- K = factor de ganancia solar del cristal de la ventana, en porcentaje Este factor dependerá del espesor del vidrio. En el Cuadro 10 se muestran valores a considerar.

Cuadro 10: Factores de transmisión del vidrio

| Material | Transmisión Solar |
|----------------------|-------------------|
| Vidrio (2-6 mm) | 87-80% |
| Vidrio (6-13 mm) | 80-71% |
| Vidrio gris (2-6 mm) | 59-45% |

FUENTE: Hertz (1981)

Al contrario de los casos anteriores, no es necesario que los materiales estén en contacto para intercambiar calor. Las variables que intervienen son la densidad de flujo calorífico y el área de la ventana que es por donde ingresará éste. Sin embargo, en función del tipo de cristal del que esté hecha la ventana, la radiación que entre a través de ella no será la misma en todos los casos. En esta parte se observa la importancia de la correcta orientación y tamaño de estos vanos para poder obtener una adecuada ganancia de calor durante las temporadas frías y un menor ingreso durante el verano.

d. PRODUCCIÓN DE CALOR INTERNO

- **Ganancias de calor por los ocupantes**

Víctor Olgyay (1968) menciona en su obra “Clima y Arquitectura en Colombia” que la energía del hombre se verá influenciada por las condiciones atmosféricas. Especialmente cuando estas son extremas, se gasta la energía en buscar la adaptación disminuyendo la productividad para realizar actividades.

Koenigsberger (1977) indica que el cuerpo humano se encuentra continuamente produciendo calor debido a que la mayoría de los procesos bioquímicos que intervienen en la formación de tejido, conversión de energía y trabajo muscular son exotérmicos. Ya que los requerimientos del cuerpo se compensan mediante el consumo y digestión de alimentos, el proceso que se encarga de convertir estos en una forma útil de energía es el metabolismo. El calor producido metabólicamente puede darse por metabolismo basal (producción de calor de procesos vegetativos y automáticos) y el metabolismo muscular (producción de calor de los músculos mientras llevan a cabo un trabajo de manera consciente). Del total de la energía producida, se utiliza un 20 por ciento teniendo que disipar 80 por ciento.

Diaz (2005) menciona que los ocupantes del local disipan calor a través de la epidermis, cuya intensidad es variable según el individuo y la actividad que desarrolla. En el Cuadro 11 se muestran las tasas de desprendimiento calorífico en exceso del cuerpo humano para diversas actividades.

Cuadro 11: Tasa de desprendimiento calorífico en exceso del cuerpo humano para diversas actividades.

| Actividad | Watts |
|--|--------------|
| Dormir | 70 mín. |
| Sentado, movimiento moderado, ejem. Mecanografía | 130-160 |
| De pie, trabajo ligero en máquina o banco de trabajo | 160-190 |
| Sentado, con brazos y piernas en movimiento | 190-230 |
| De pie, trabajo moderado, algún paseo | 220-290 |
| Andando, levantamiento o empujes moderados | 290-410 |
| Levantamientos y excavaciones pesadas pero intermitentes | 440-580 |
| Trabajo duro sostenido | 580-700 |
| Trabajo pesado máximo de 30 minutos de duración | 1100 máx. |

FUENTE: Koenigsberger (1977)

- **Ganancias de calor por luminarias**

La cantidad total de energía emitida por lámparas eléctricas constituye un aporte de calor. Según Koenigsberger (1977), la mayor parte de esta energía se emite como calor, siendo el 95 por ciento para las lámparas incandescentes y el 79 por ciento para las fluorescentes. La parte emitida como luz también se convertirá en calor al incidir en las superficies. Por ello, se debe considerar la potencia total en Watts de todas las lámparas, de acuerdo a la Ecuación 17.

$$Q_{\text{lámparas}} = N^{\circ} \text{ de watts (W)} \times \text{número de lámparas} \quad (17)$$

- **Ganancias de calor por motores**

Díaz (2005) indica que los motores eléctricos transforman gran parte de la energía absorbida en calor, por lo que constituyen fuentes de ganancias sensibles. En caso sólo se encuentre un motor en el espacio estudiado, Koenigsberger (1977) presenta la Ecuación 18 que indica la forma de calcular el calor disipado en la carcasa.

$$Q_M = \text{Potencia absorbida} \times (1 - \text{rendimiento del motor}) \quad (18)$$

- **Ganancias de calor por otras fuentes**

De acuerdo a Koenigsberger (1977), en caso se encuentre una máquina y su motor en un mismo espacio, se debe considerar la potencia total en Watts. En caso no se cuente con este dato, a continuación se presenta la forma de cálculo de este valor.

Para desarrollar un trabajo en un circuito eléctrico, Enríquez (1994) indica que se debe producir una circulación de corriente, requiriendo que la energía eléctrica se ponga en uso. De esta manera es que la energía eléctrica se transforma a otras formas de energía como calor.

En el caso de los circuitos eléctricos, la capacidad de desarrollar un trabajo en términos de potencia en Watts (W) es el producto de la corriente (I) y el voltaje (V), como se indica en la Ecuación 19.

$$P = V.I \quad (19)$$

Donde:

- P = Potencia, en Watts.
- V = Voltaje, en Voltios.
- I = Intensidad de corriente, en Amperios.

Enríquez (1994) indica que esta potencia se denomina “potencia aparente” la cual se define como “la que resulta de considerar la tensión aplicada al consumo de la corriente que éste demanda. Es también la resultante de la suma de los vectores de la potencia activa y la potencia reactiva. Esta potencia es expresada en volts-amperes (VA)” (Metas & Metrólogos Asociados, 2010).

En casos reales, siempre está presente un cierto valor de resistencia en los circuitos, por lo que la potencia aparente del circuito siempre es mayor que la potencia real (o también llamada “potencia activa”) (Enríquez, 1994). Esta última se define como “la energía útil o potencia activa o simplemente potencia, similar a la consumida por una resistencia. Expresada en watts (W)” (Metas & Metrólogos Asociados, 2010) y es la energía eléctrica que los dispositivos eléctricos convierten en otras formas de energía como: mecánica, lumínica, térmica, química, entre otras.

La potencia activa se calcula de acuerdo a la Ecuación 20.

$$P_{\text{activa}} = V.I.\cos\varphi \quad (20)$$

Donde:

- P_{activa} = Potencia activa, en Watts.
- V = Voltaje, en Voltios.
- I = Intensidad de corriente, en Amperios.
- φ = Ángulo de fase de la corriente con respecto al voltaje.

Además existe la potencia reactiva, la cual es “utilizada para la generación del campo magnético, almacenaje de campo eléctrico que en sí, no produce ningún trabajo. Esta

potencia es expresada en volts-amperes reactivos. (VAR)” (Metas & Metrologos Asociados, 2010).

La relación entre las potencias aparente, activa, la reactiva inductiva y el ángulo ϕ , se puede observar en la Figura 23.

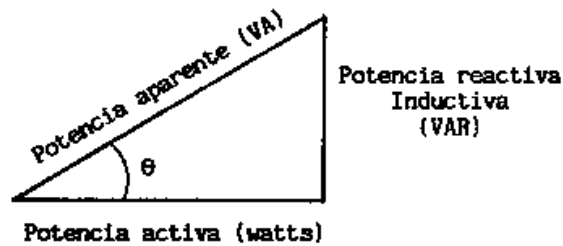


Figura 23: La relación entre las potencias aparente, activa, la reactiva inductiva y el ángulo ϕ

Fuente: Enríquez (1994)

Existe un parámetro llamado factor de potencia, el cual “es la relación entre las potencias activa y aparente si las corrientes y tensiones son señales sinusoidales. Si éstas son señales perfectamente sinusoidales el factor de potencia será igual al $\cos\phi$, o bien el coseno del ángulo que forman los fasores de la corriente y la tensión, designándose en este caso como $\cos\phi$ el valor de dicho ángulo.” (Metas & Metrologos Asociados, 2010).

El factor $\cos\phi$ tendrá diferentes valores en función a la potencia de salida, al tamaño y al número de polos del motor. De acuerdo a la bibliografía revisada [Wildi (2007) y Enríquez (2004)] se ha observado que el valor que toma $\cos\phi$ en promedio es de 0.8.

2.3.5. LA ZONA DE CONFORT

De acuerdo a Olgyay (1968), el hombre busca alcanzar un equilibrio mediante diferentes reacciones físicas y psicológicas usando la menor cantidad de energía en lograr la adaptación. Al conseguirlo se habrá llegado a una “zona de confort”, en la cual la mayoría de la energía se utiliza con fines productivos.

Asimismo, indica que la denominada “zona de confort”, se entiende como el momento cuando el hombre no siente sensación de incomodidad. Esta zona dependerá de distintos factores como, por ejemplo, el individuo en sí, su vestimenta, la naturaleza de la actividad, el sexo, la edad y la climatización de acuerdo a distintas regiones geográficas.

Olgyay (1968) también menciona que la vivienda cumple un importante fin para lograr alcanzar este confort debido a que modifica el medio natural y la sensación del equilibrio térmico. Los factores del medio climático que influyen en el confort humano son: temperatura del aire, radiación, movimiento del aire y humedad. De éstos, se desprenden cuatro procesos por los cuales se dan los intercambios de calor entre el cuerpo humano y el medio: radiación, conducción, convección y evaporación.

Para el hombre, el no encontrarse dentro de la zona de confort puede traerle serias consecuencias. Por ejemplo, Dárdano (1975) indica que si la temperatura es menor que el umbral inferior de confort se ven afectadas las extremidades provocando el aumento de accidentes y reducción de rendimiento en el trabajo a causa de la disminución en la maniobrabilidad y rapidez de respuesta de estas a las órdenes del cerebro. En el caso de que la temperatura se encuentre por encima, se reduce la capacidad de concentración, el nivel de atención y las reacciones se vuelven lentas.

2.3.6. PUENTES TÉRMICOS

Una de las consideraciones relacionadas a la eficiencia energética en edificaciones son los puentes térmicos. Estos son importantes debido a que se trata de “lugares de geometría lineal o bien puntual del cerramiento exterior, donde el flujo de energía es más grande respecto a la superficie general del cerramiento.” (Matic, 2010). En estos puntos, “la envolvente de un edificio se debilita debido a un cambio de su composición o al encuentro de distintos planos o elementos constructivos” (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011) perjudicando la eficiencia térmica del edificio.

Los puentes térmicos se producen en las zonas de la envolvente de la edificación donde “se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento, de los materiales empleados, por penetración de elementos constructivos con diferente conductividad, etc., lo que conlleva necesariamente una

minoración de la resistencia térmica respecto al resto de los cerramientos.” (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011).

Además, la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2011) menciona que, aparte de las pérdidas de calor que pueden provocarse, existe la posibilidad de que se produzca condensación. A causa del aumento de flujo calorífico en un punto específico, la temperatura superficial en esa área será menor que la del resto del cerramiento, existiendo la posibilidad de que se llegue a condensar el vapor de agua del aire en el interior del edificio. Estos puntos fríos podrían llegar a producir moho, así no haya condensación, si se dan condiciones de alta humedad relativa.

2.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

2.4.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA

En términos generales, la eficiencia energética trata de “reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que utilizamos, pero conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios.” (AChEE, s.f.). Esto se puede lograr mediante “la creación de nuevas tecnologías que incrementen el rendimiento de los artefactos o por nuevos diseños de máquinas y espacios habitables, los que pueden disminuir la pérdida de energía por calor.” (AChEE, s.f.).

De igual manera, la Eficiencia Energética “es un análisis de todo el sistema, que podrá presentar como medidas de reducción de consumo de energía, el uso de energías renovables” (AChEE, s.f.).

Este término no debería confundirse con un “ahorro energético”, el cual significaría “reducir o dejar de realizar determinadas actividades, para evitar el consumo de energía” (AChEE, s.f.), mientras que la eficiencia energética “proporcionará una disminución en el consumo de energía, sin perjuicio del desarrollo de nuestras actividades.” (AChEE, s.f.).

2.4.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

Nuestro día a día se lleva a cabo en edificaciones, por lo que es necesario utilizar energía “para mantener la calidad de vida y realizar las operaciones y el mantenimiento del edificio” (ENFORCE, 2010). Entre los fines para los que utilizamos la energía se encuentran “la calefacción, climatización, iluminación y en numerosas actividades como los electrodomésticos, equipos de sonido, etc.” (ENFORCE, 2010).

Aplicando la definición de eficiencia energética específicamente a los edificios, ella “no consiste en reducir el nivel de confort de las viviendas sino en mantenerlo, o incluso aumentarlo, con una reducción en los consumos de energía.” (Galindo, 2013). Además, también abarca “la reducción de emisiones que afectan al medio ambiente.” (Schneider Electric, s.f.).

La publicación “Soluciones energéticamente eficientes en la edificación” (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2010) indica que en la Comunidad Económica Europea el sector vivienda y servicios absorben más del 40 por ciento del consumo final de energía. Estos sectores se encuentran en fase de expansión y, por ende, representan un futuro aumento del consumo de energía. Este hecho reafirma que es necesario disminuir el consumo del sector edificación para reducir la dependencia energética y cumplir los compromisos medioambientales (como el Protocolo de Kioto). Por ello, es necesario lograr un uso racional de la energía, reduciendo a límites sostenibles su consumo y lograr que una parte de ésta provenga de fuentes renovables.

En base a este problema, la publicación indicada en el párrafo anterior hace mención a la arquitectura bioclimática, la cual busca hacer un uso eficiente de la energía y los recursos para garantizar condiciones de confort para los usuarios y la sostenibilidad del medio ambiente. Ésta se encuentra relacionada con ciertos factores que determinan las demandas energéticas de las edificaciones, tales como localización, clima, orientación, materiales, entre otros, aprovechándose así los recursos naturales.

Entre las razones más importantes para considerar la utilización la arquitectura bioclimática, se encuentran (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2010):

- Reduce la demanda de energía y, por tanto, colabora de forma importante en la reducción de los problemas medioambientales que se derivan de ello.
- Permite reducir el consumo energético y así ahorrar dinero en la factura de la electricidad o del gas.
- Permite reducir el gasto en agua e iluminación.
- Logra unas condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire interior.
- Permite integrar al edificio con su entorno y favorece la sostenibilidad ambiental.

Además, el texto “Soluciones energéticamente eficientes en la edificación” (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2010) considera que la arquitectura bioclimática cuenta con dos tipos de sistemas, usualmente usados en conjunto para controlar el consumo energético del edificio:

- **Sistemas pasivos:** Se trata de medidas sencillas basadas en el control de las variables (temperatura, humedad, etc.) del interior de un edificio mediante el uso del diseño adecuado y de los materiales. En este caso se busca que la envolvente actúe como un filtro térmico, acústico y lumínico, capaz de integrar los recursos externos para reducir la demanda energética y optimizar el confort. Los sistemas pasivos inciden especialmente en la radiación solar, el aislamiento y la inercia térmica.
- **Sistemas activos:** Son sistemas que aplican las nuevas tecnologías de aprovechamiento de las energías renovables. Los más destacados son la energía solar, eólica, geotérmica o la biomasa.

La “Guía del estándar *Passivhaus*” (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011) indica que el costo de un edificio no sólo se refiere al que proviene de su construcción, sino también incluye su mantenimiento y la demanda de energía que necesite. Es en este contexto que aparece el término “casa pasiva” la cual busca reducir al máximo la demanda de energía de los edificios. Una casa pasiva contribuye a equilibrar este consumo mediante un buen planteamiento de su diseño con un óptimo aprovechamiento de la energía solar, la cual es inagotable a escala humana.

La “Guía del estándar *Passivhaus*” además menciona que estos edificios combinan un elevado confort interior con un bajo consumo de energía para climatización. Esto es alcanzado con una alta eficiencia energética en función a una adecuada orientación, envolvente del edificio y con el aprovechamiento de la energía solar.

Galindo (2013) también indica que durante las diversas fases de un proyecto constructivo se pueden tomar medidas para maximizar la eficiencia energética. Por ejemplo, durante la fase de pre-proyecto y diseño se pueden implantar sistemas constructivos y equipos que maximicen la eficiencia energética. Durante la construcción se deberá velar por la correcta ejecución y uso de materiales según las especificaciones. Al terminar el edificio, será tarea del usuario hacer un uso correcto del mismo para lograr los niveles de eficiencia energética proyectados. Finalmente, en el caso de edificios existentes, se debe dar a conocer a los usuarios las repercusiones de sus consumos y las posibilidades de mejora.

2.4.3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES EN PERÚ

En el caso de Perú, el país cuenta con la norma EM. 110 “Confort Térmico y lumínico con Eficiencia Energética” (2014), la cual se aplica optativamente en el territorio nacional a toda edificación nueva, así como en la ampliación, remodelación, refacción y/o acondicionamiento de edificaciones existentes, siempre que estén incluidas en las Modalidades B, C y D de la Ley de Regulación de Habilitaciones Urbanas y de edificaciones (Ley 29090) y sus modificatorias.

De la comparación de esta normativa con otras normativas latinoamericanas, se ha podido concluir que ésta podría ser ampliada y mejorada buscando lograr una mejor aplicación a los distintos escenarios que se pueden dar en el territorio. Por ejemplo, las otras normativas extranjeras aplican otros factores dentro de su análisis haciéndolas más precisas y eficientes. Además, por ejemplo, la norma argentina IRAM 11900 propone un etiquetado de eficiencia energética para las edificaciones, representando una forma adecuada y sencilla de informar a los usuarios acerca de las condiciones de la edificación. También, ésta provee un aplicativo web para poder realizar los cálculos de manera simplificada. Estos son sólo algunos ejemplos que indican la necesidad de actualizar y mejorar los contenidos y aplicación de la norma peruana tomando el ejemplo de los países vecinos.

2.5. LEGISLACIÓN RELACIONADA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

Varios países latinoamericanos poseen legislaciones relacionadas a la eficiencia energética de edificaciones. A continuación se presentan algunas normativas seleccionadas para analizar y comparar las metodologías propias de cada una de ellas.

2.5.1. PERÚ

a. NORMA EM.110

El 13 de mayo del año 2014 fue publicada la Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014) en el diario “El Peruano”.

En esta normativa se indica que las edificaciones deberán cumplir con ciertos requisitos de transmitancia térmica máxima, los cuales están en función a la zona bioclimática donde se ubiquen, para poder contar con eficiencia energética.

Las zonas bioclimáticas consideradas son las siguientes:

- Desértico costero
- Desértico
- Interandino bajo
- Mesoandino
- Altoandino
- Nevado
- Ceja de montaña
- Subtropical húmedo
- Tropical húmedo

En el Cuadro 12 se muestran las características climáticas consideradas para definir cada una de ellas.

En esta norma se incluye el anexo “Ubicación de provincias por zona bioclimática”, donde se indica a qué zona bioclimática pertenecen cada una de las provincias del país, siendo así más sencilla la clasificación (Ver Anexo 1).

Cuadro 12: Características climáticas de cada zona bioclimática

| Características climáticas | | 1 Desértico Costero | 2 Desértico | 3 Interandino bajo | 4 Mesoandino | 5 Altoandino | 6 Nevado | 7 Ceja de montaña | 8 Subtropical húmedo | 9 Tropical húmedo |
|--|-----------------------------------|---|--|---|---|--|---|--|--|-------------------------------------|
| 1 | Temperatura media anual | 18 a 19°C | 24°C | 20°C | 12°C | 6°C | < 0°C | 25 a 28°C | 22°C | 22 a 30°C |
| 2 | Humedad relativa media | > 70% | 50 a 70% | 30 a 50% | 30 a 50% | 30 a 50% | 30 a 50% | 70 a 100% | 70 a 100% | 70 a 100% |
| 3 | Velocidad del viento | Norte: 5-11 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s | Norte: 5-11 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s | Norte: 4 m/s Centro: 6 m/s Sur: 5-7 m/s | Norte: 10 m/s Centro: 7,5 m/s Sur: 4 m/s Sur - Este: 7 m/s | Centro: 6 m/s Sur: 7 m/s Sur Este: 9 m/s | Centro: 7 m/s Sur: 7 m/s | Norte: 4-6 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s | Norte: 5-7 m/s Este: 5-7 m/s Centro: 5 m/s | Este: 5-6 m/s Centro: 5 m/s |
| 4 | Dirección predominante del viento | S - SO - SE | S - SO - SE | S | S - SO - SE | S - SO | S - SO | S - SO - SE | S - SO - SE | S - SO |
| 5 | Radiación solar | 5 a 5,5 kWh/m ² | 5 a 7 kWh/m ² | 2 a 7,5 kWh/m ² | 2 a 7,5 kWh/m ² | S kWh/m ² | s kWh/m ² | 3 a 5 kWh/m ² | 3 a 5 kWh/m ² | 3 a 5 kWh/m ² |
| 6 | Horas de sol | Norte: 5 horas Centro: 4,5 horas Sur: 6 horas | Norte: 6 horas Centro: 5 horas Sur: 7 horas | Norte: 5-6 horas Centro: 7-8 horas Sur: 6 horas | Norte: 6 horas Centro: 8-10 horas Sur: 7-8 horas | Centro: 8 a 10 horas Sur: 8 a 10 horas | Centro: 8 a 10 horas Sur: 8 a 11 horas | Norte: 6-7 horas Centro: 8-11 horas Sur: 6 horas | Norte: 4-5 horas Sur-Este: 4-5 horas | Norte: 4-5 horas Este: 4-5 horas |
| 7 | Precipitación anual | < 150 mm | < 150 a 500 mm | < 150 a 1,500 mm | 150 a 2,500 mm | < 150 a 2,500 mm | 250 a 750 mm | 150 a 6000 mm | 150 a 3000 mm | 150 a 4000 mm |
| 8 | Altitud | 0 a 2000 msnm | 400 a 2000 msnm | 2000 a 3000 msnm | 3000 a 4000 msnm | 4000 a 4800 msnm | > 4800 msnm | 1000 a 3000 msnm | 400 a 2000 msnm | 80 a 1000 msnm |
| Equivalente en la clasificación Köppen | | BSs-BW, BW | Bw | BSw | Dwb | ETH | EFH | Cw | Aw | Af |

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

Metodología de cálculo para obtener confort térmico

Para el análisis de eficiencia energética, la normativa se centra en la comparación de los valores de transmitancia térmica de la envolvente con valores máximos definidos en el documento para cada zona bioclimática.

La metodología de cálculo se presenta a continuación.

- **Paso 1: Identificación de zona bioclimática**

En esta etapa se identificará la zona bioclimática donde se ubica el proyecto. Con este fin, la normativa provee el Anexo “Ubicación de provincias por zona bioclimática” (Ver Anexo 1).

- **Paso 2: Identificación de transmitancias térmicas máximas**

Se deberán identificar las transmitancias térmicas máximas para los diferentes elementos de la envolvente de acuerdo al Cuadro 13 en función a la zona bioclimática donde se encuentra el proyecto.

Cuadro 13: Valores límites máximos de transmitancia térmica (U) en W/m^2K

| Zona bioclimática | Transmitancia térmica máxima del muro (U muro en W/m^2K) | Transmitancia térmica máxima del techo (U techo en W/m^2K) | Transmitancia térmica máxima del piso (U piso en W/m^2K) |
|--------------------------|--|--|--|
| Desértico costero | 2.36 | 2.21 | 2.63 |
| Desértico | 3.20 | 2.20 | 2.63 |
| Interandino bajo | 2.36 | 2.21 | 2.63 |
| Mesoandino | 2.36 | 2.21 | 2.63 |
| Altoandino | 1.00 | 0.83 | 3.26 |
| Nevado | 0.99 | 0.80 | 3.26 |

Cuadro 13: Continuación

| Zona bioclimática | Transmitancia térmica máxima del muro (U muro en W/m²K) | Transmitancia térmica máxima del techo (U techo en W/m²K) | Transmitancia térmica máxima del piso (U piso en W/m²K) |
|--------------------------|---|---|---|
| Ceja de montaña | 2.36 | 2.20 | 2.63 |
| Subtropical húmedo | 3.60 | 2.20 | 2.63 |
| Tropical húmedo | 3.60 | 2.20 | 2.63 |

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- **Paso 3: Verificación del tipo de envolvente del proyecto**

En la norma se distinguen cuatro tipos de envolventes:

- **Tipo 1: Envolvente en contacto con el ambiente exterior**

- Tipo 1A: Muro vertical o muro inclinado igual o mayor a 60° con la horizontal de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior. (Ver Figura 24)

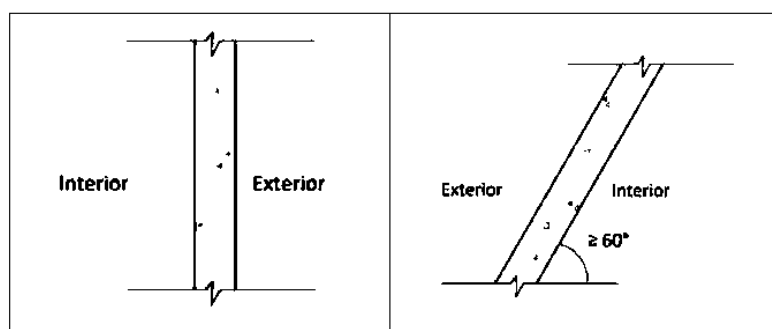


Figura 24: Envolvente tipo 1A

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- Tipo 1B: Losa horizontal o ligeramente inclinada de separación entre el interior de la edificación con un espacio exterior. (Ver Figura 25)

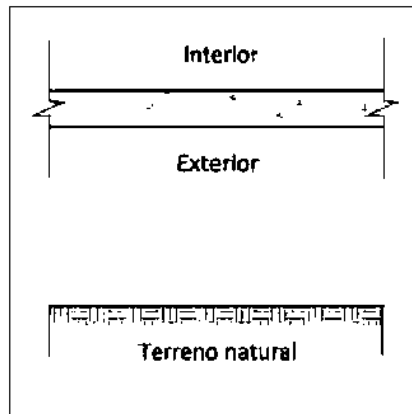


Figura 25: Envoltorio tipo 1B

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- **Tipo 2: Envoltorio de separación con otros edificios o con ambientes no habitables**
 - o Tipo 2A: Muro vertical de separación entre el interior de la edificación con ambientes no habitables cerrados o muro vertical de separación entre el interior de la edificación con otra edificación, cuando el espacio de separación es igual o menor a dos metros. (Ver Figura 26)

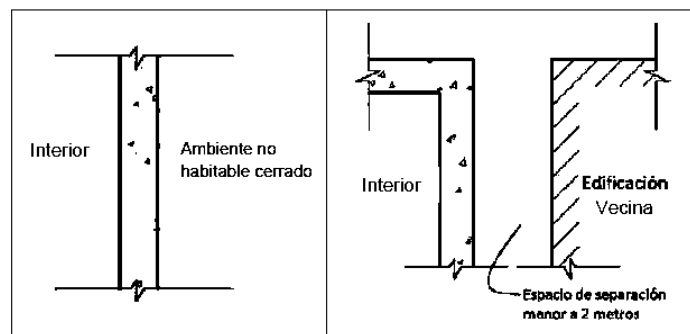


Figura 26: Envoltorio tipo 2A

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- o Tipo 2B: Losa horizontal de separación entre el interior de la edificación con ambientes no habitables cerrados (garajes, depósitos, etc.) igual o mayor a un metro de altura. (Ver Figura 27)

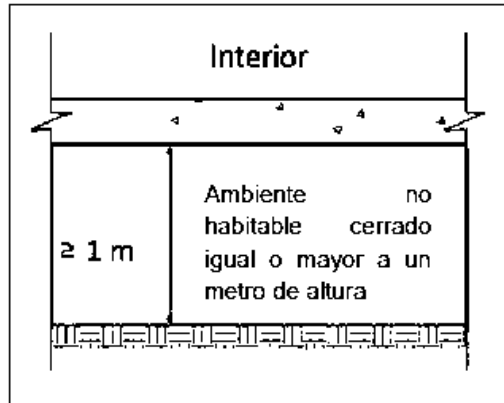


Figura 27: Envoltorio tipo 2B

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- **Tipo 3: Envoltorios de techo o cubierta**

- Tipo 3A: Techo inclinado de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior (inclinación igual o menor a 60° con la horizontal) (Ver Figura 28).

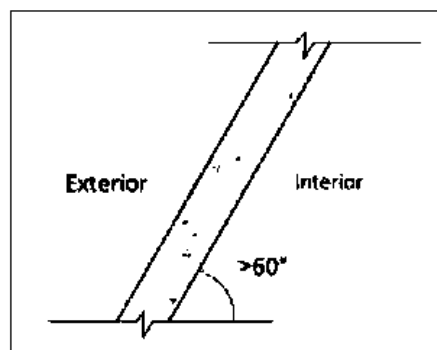


Figura 28: Envoltorio tipo 3A

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- Tipo 3B: Techo horizontal o curvo de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior. (Ver Figura 29)

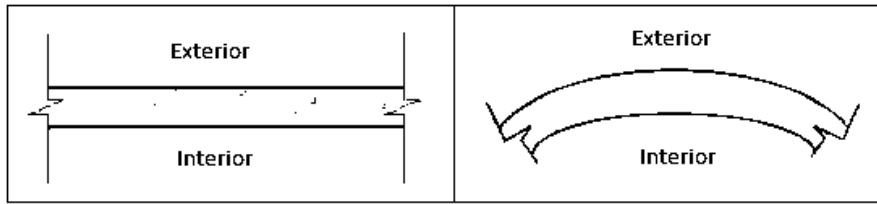


Figura 29: Envolvente tipo 3B

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- Tipo 3C: Techo horizontal, curvo o inclinado de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior, cuya cubierta final se encuentra debajo del nivel del terreno natural y donde toda la superficie de los muros está en contacto con el terreno natural. (Ver Figura 30)



Figura 30: Envolvente tipo 3C

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- **Tipo 4: Envoltentes de separación con el terreno**

- Tipo 4A: Losa o piso horizontal o ligeramente inclinado de separación entre el interior de la edificación con el terreno natural. (Ver Figura 31)

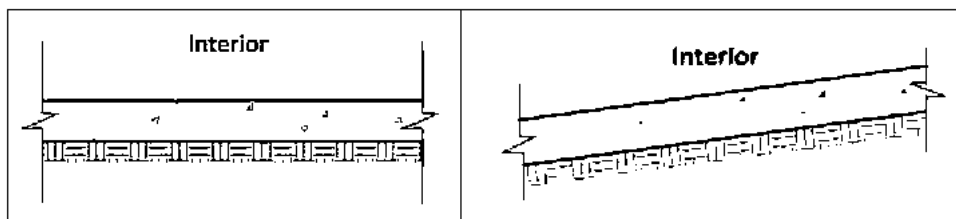


Figura 31: Envolvente tipo 4A

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- Tipo 4B: Losa o piso horizontal de separación entre el interior de la edificación con un ambiente no habitable exterior, menor a un metro. (Ver Figura 32)

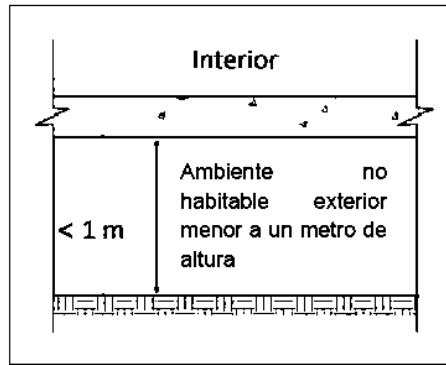


Figura 32: Envoltente tipo 4B

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- Tipo 4C: Muro vertical o inclinado de separación entre el interior de la edificación con el terreno natural. El techo puede encontrarse sobre o debajo del nivel del terreno natural. (Ver Figura 33)

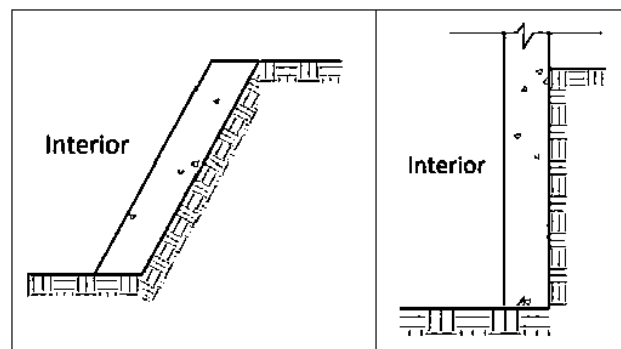


Figura 33: Envoltente tipo 4C

FUENTE: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2014)

- **Paso 4: Cálculo de transmitancias térmicas**

La determinación de los valores de transmitancia térmica se puede obtener de tablas provistas por el fabricante. En caso el material constara de capas de diferentes materiales, se debe realizar el cálculo manual que se indica a continuación.

En la norma EM. 110 se presentan diferentes procesos de cálculo para cada uno de los tipos de envolvente. Sin embargo, estos en general se rigen por la Ecuación 21, que es la ecuación general para el cálculo de la transmitancia térmica.

$$U = \frac{1}{\left(\frac{e_{\text{material 1}}}{k_{\text{material 1}}} + \frac{e_{\text{material 2}}}{k_{\text{material 2}}} + \frac{e_{\text{material 2}}}{k_{\text{material 2}}} + \dots + R_{\text{si}} + R_{\text{se}} + R_{\text{ca}} \right)} \quad (21)$$

Donde:

- U = Transmitancia térmica, en $W/m^2.K$.
- e = espesor del material, en metros.
- k = coeficiente de transmisión térmica, en $W/m.K$
- R_{se} = Resistencia superficial exterior, en m^2-K/W (éste factor varía de acuerdo al tipo de envolvente).
- R_{si} = Resistencia superficial interior, en m^2-K/W (éste factor varía de acuerdo al tipo de envolvente).
- R_{ca} = Resistencia de la cámara de aire, en m^2-K/W (éste factor varía de acuerdo al tipo de envolvente).

Luego, con la Ecuación 22 se realiza el cálculo de la transmitancia térmica final para la envolvente determinada.

$$U_{\text{final}} = a \cdot \frac{\sum S_i \times U_i}{\sum S_i} = a \cdot \frac{S_1 \times U_1 + S_2 \times U_2 + S_3 \times U_3 + \dots}{S_1 + S_2 + S_3} \quad (22)$$

Donde:

- U_{final} = Transmitancia térmica final de la envolvente, en W/m^2K .
- a = coeficiente que varía de acuerdo al tipo de envolvente.
- S_i = Superficie de cada tipo de elemento de la envolvente, en metros.
- U_i = Transmitancia térmica de cada tipo de elemento de la envolvente, en W/m^2K .

- **Paso 5: Comparación de transmitancias térmicas de la norma con las calculadas**

En esta etapa, las transmitancias térmicas obtenidas de tablas o calculadas serán comparadas con las indicadas en la norma EM.110 (Ver Cuadro 13). Para cumplir con la norma, las transmitancias térmicas calculadas deberán ser menores a las del Cuadro mencionado líneas arriba.

2.5.2. ARGENTINA

a. NORMA IRAM 11603

La Norma IRAM 11603: “Aislamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina”, que corresponde a la revisión de diciembre de 1996, tiene como objetivo realizar una zonificación medioambiental del territorio, tomando en cuenta las características climáticas de cada zona que lo integra. Además, se dan recomendaciones para el diseño, evaluación de orientaciones y asoleamiento para las edificaciones que se encuentren en ellas (IRAM, 1996a)

La clasificación para las zonas cálidas del territorio se ha desarrollado en función a los índices de confort de la temperatura efectiva corregida (TEC), correlacionada con el voto medio predecible (VMP) y el índice de Belding y Hatch (IBH). Para las zonas frías se usaron los grados días para las necesidades de calefacción en lugar de los índices de confort. Las definiciones de estos términos se encuentran en la norma IRAM 11549: Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. (IRAM, 2002) y se muestran a continuación:

- Temperatura efectiva corregida (Corrected effective temperature): Índice empírico de confort que tiene en cuenta el efecto combinado de la temperatura de bulbo seco, la temperatura radiante media y la velocidad del aire.
- Voto medio predecible de confort térmico (Predicted mean vote): Índice que indica la votación media de un grupo representativo de personas en una escala de sensación térmica de 7 categorías: +3 = caluroso, +2 = cálido, +1 = levemente cálido, 0 = neutral, -1 = levemente fresco, -2 = fresco, -3 = frío.

- Índice de Belding-Hatch (Belding-Hatch index): Relación existente entre la pérdida de calor total por evaporación requerida para mantener el equilibrio térmico del cuerpo humano (suma del calor metabólico más radiación y convección), y el valor máximo posible de perder al ambiente por evaporación; dicho límite es de 698 W.
- Grados días de calefacción (Heating degree days): Suma de las diferencias de temperaturas, entre una temperatura base y la media diaria, para los días en que la media diaria es menor que la temperatura base en un período establecido.

Las zonas bioambientales determinadas luego del análisis son las siguientes:

- Zona I: Muy cálida
- Zona II: Cálida
- Zona III: Templada cálida
- Zona IV: Templada fría
- Zona V: Fría
- Zona VI: Muy fría

En el Cuadro 14 se pueden ver las Características de las zonas bioambientales de la República Argentina.

A causa de que la clasificación bioambiental del territorio argentino se encuentra en función a diferentes parámetros para las zonas cálidas como para las zonas frías, en la Figura 34 se muestran las líneas de igual T.E.C. para el promedio ponderado del día típicamente cálido, mientras que en la Figura 35 se muestran las líneas de igual cantidad de grados días para el período frío. En la Figura 36 se muestra la Clasificación medioambiental del territorio argentino (uso de T.E.C. para zonas cálidas y de grados día para zonas frías).

Cuadro 14: Características de las zonas bioambientales de la República Argentina

| Zona | | Temperatura efectiva corregida para el promedio ponderado del día típicamente cálido / Grados día para el período frío | Extensión | Condiciones de verano | Condiciones de invierno | Presión de vapor | Subdivisiones | |
|------|------------|--|---|---|--|--|--|---|
| I | Muy Cálida | Mayor a 26.3°C | Se extiende en la región Centro-Este del extremo Norte del país con una entrada al Sudoeste en las zonas bajas de Catamarca y La Rioja. | Durante la época caliente todas las zonas presentan valores de temperatura máxima mayores que 34 °C y valores medios mayores que 26 °C, con amplitudes térmicas siempre inferiores a los 15 °C. | El período invernal es poco significativo, con temperaturas medias durante el mes más frío superiores a los 12 °C. | Tensión de vapor mínima de 1 870 Pa (14 mm Hg) que aumenta según el eje Sudoeste-Nordeste. | Esta zona se subdivide en 2 subzonas: - Subzona Ia: amplitudes térmicas mayores que 14 °C. - Subzona Ib: amplitudes térmicas menores que 14 °C | |
| | | Cálida | Limitada entre las isolíneas de TEC 26,3 °C y 24,6 °C | Comprende el conjunto de dos angostas fajas del territorio, una de extensión Este-Oeste centrada alrededor del paralelo 30° y otro, de extensión Norte-Sur recortada sobre la falda oriental de la Cordillera de los Andes. | En esta zona el verano es la estación crítica, con valores de temperatura media superiores a los 24°C y máxima superiores a 30°C. Las mayores amplitudes térmicas se dan en esta época del año, con valores que no superan los 16°C. | El invierno es más seco, con bajas amplitudes térmicas y temperaturas medias que oscilan entre 8 °C y 12 °C. | Las presiones parciales de vapor de agua más altas se dan en el período de verano, con valores medios inferiores a los 2 135 Pa (16 mm Hg), en la subzona b. | Esta zona se subdivide en 2 subzonas: - Subzona IIa: amplitudes térmicas mayores que 14 °C. - Subzona IIb: amplitudes térmicas menores que 14 °C. |
| | | | Templada Cálida | Limitada por las isolíneas de TEC 24.6°C y 22.9 °C | Esta zona comprende la faja de extensión Este-Oeste centrada alrededor del paralelo 35° y la faja de extensión Norte-Sur, ubicada en las primeras estribaciones montañosas al Noroeste del país, sobre la Cordillera de los Andes. | Los veranos son relativamente calurosos y presentan temperaturas medias que oscilan entre 20°C y 26°C, con máximas medias que superan los 30°C, sólo en la faja de extensión Este-Oeste. | El invierno no es muy frío y presenta valores medios de temperatura entre 8°C y 12°C, y valores mínimos que rara vez son menores que 0°C. | Las presiones parciales de valor de agua son bajas durante todo el año, con valores máximos en verano que no superan, en promedio, los 1870 Pa (14mm Hg). |

Cuadro 14: Continuación

| Zona | | Temperatura efectiva corregida para el promedio ponderado del día típicamente cálido / Grados día para el período frío | Extensión | Condiciones de verano | Condiciones de invierno | Presión de vapor | Subdivisiones |
|------|------------------------------|--|--|--|--|---|---|
| IV | Zonas Frías Templada Fría | Esta zona tiene como límite superior la isolínea de 1170 grados días (coincidente con la isolínea de 22.9°C de TEC), y como límite inferior la isolínea de 1950 grados días. | Presenta una faja meridional paralela a la correspondiente en la Zona III, ubicada a mayor altura de la Cordillera de los Andes y la región llana del centro y sur del territorio, que alcanza la costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires y Río Negro. | Los veranos no son rigurosos y presentan máximas promedio que rara vez superan los 30°C. | Los inviernos son fríos, con valores medios entre 4°C y 8°C, y las mínimas medias alcanzan muchas veces valores menores que 0°C. | Las presiones parciales de vapor de agua son bajas durante todo el año, alcanzando en verano sus valores máximos, no superando los valores medios los 1333 Pa (10 mm Hg). | Esta zona se subdivide en 4 subzonas mediante las líneas de amplitud térmica de 14°C y 18°C: - Subzona IVa: de montaña - Subzona IVb: de máxima irradiancia. - Subzona IVc: de transición. - Subzona IVd: marítima. |
| V | Fría | Limitada entre las isolíneas de 1950 grados días y 2730 grados días. | Comprende una extensa faja de extensión nort-sur a lo largo de la Cordillera y la región central de la Patagonia | Los veranos son frescos, con temperaturas medias inferiores a los 16°C. | Los inviernos son rigurosos, con temperaturas medias del orden de 4°C y mínimas menores que 0°C | Las presiones parciales de vapor de agua son muy bajas, con valores máximos medios inferiores a los 1300 Pa (10 mmHg). | - |

Cuadro 14: Continuación

| Zona | | | Temperatura efectiva corregida para el promedio ponderado del día típicamente cálido / Grados día para el período frío | Extensión | Condiciones de verano | Condiciones de invierno | Presión de vapor | Subdivisiones |
|------|-------------|----------|--|---|---|---|--|---------------|
| VI | Zonas Frías | Muy Fría | Ubicada en la región donde los valores en grados días son mayores que 2730. | Comprende toda la extensión de las altas cumbres de la Cordillera de los Andes y el extremo Sur de la Patagonia, Tierra del Fuego, Islas Malvinas y Antártida. La faja que se extiende al norte del paralelo 37° presenta la rigurosidad propia de la altura, y como característica importante, una alta intensidad de radiación solar. | En verano las temperaturas medias son menores que los 12°C. | En invierno las temperaturas medias no superan los 4°C. | Las presiones parciales de vapor de agua son, durante todo el año, inferiores a los 1070 Pa (8 mm Hg). | - |

FUENTE: IRAM (1996a). Compilación de información en el cuadro realizada por el autor.

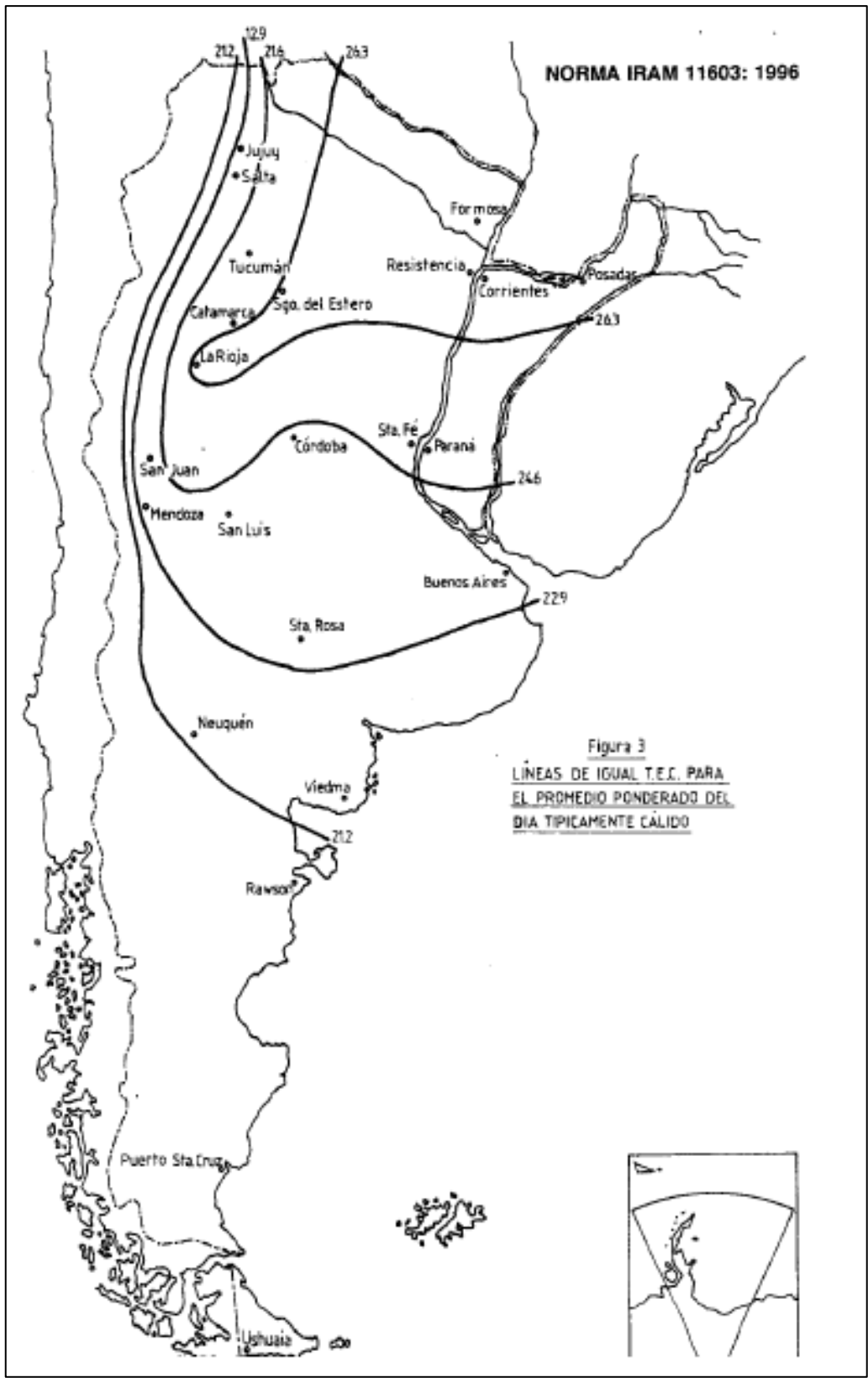


Figura 34: Líneas de igual T.E.C. para el promedio ponderado del día típicamente cálido

FUENTE: IRAM (1996a)

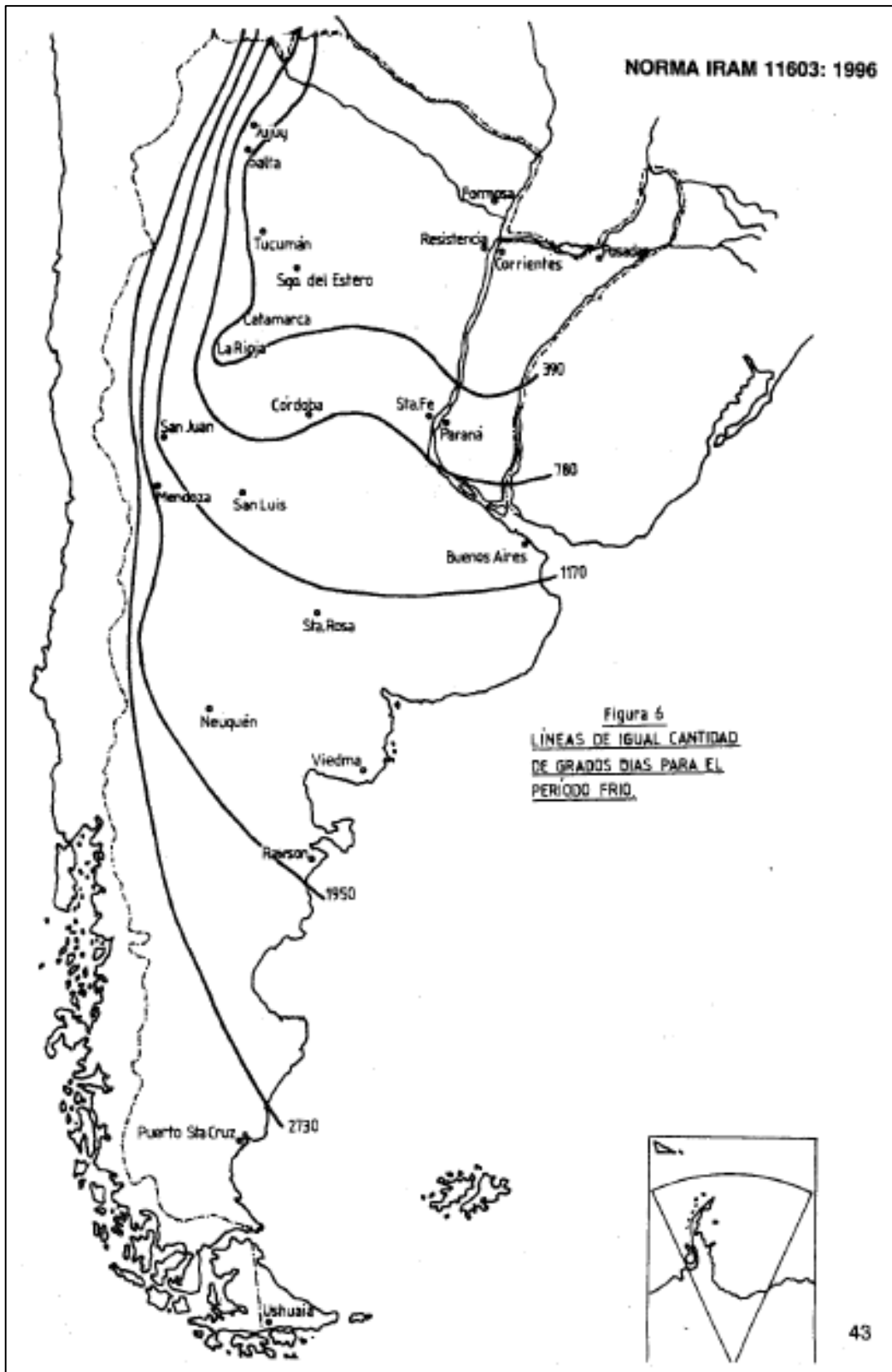


Figura 35: Líneas de igual cantidad de grados días para el período frío

FUENTE: IRAM (1996a)

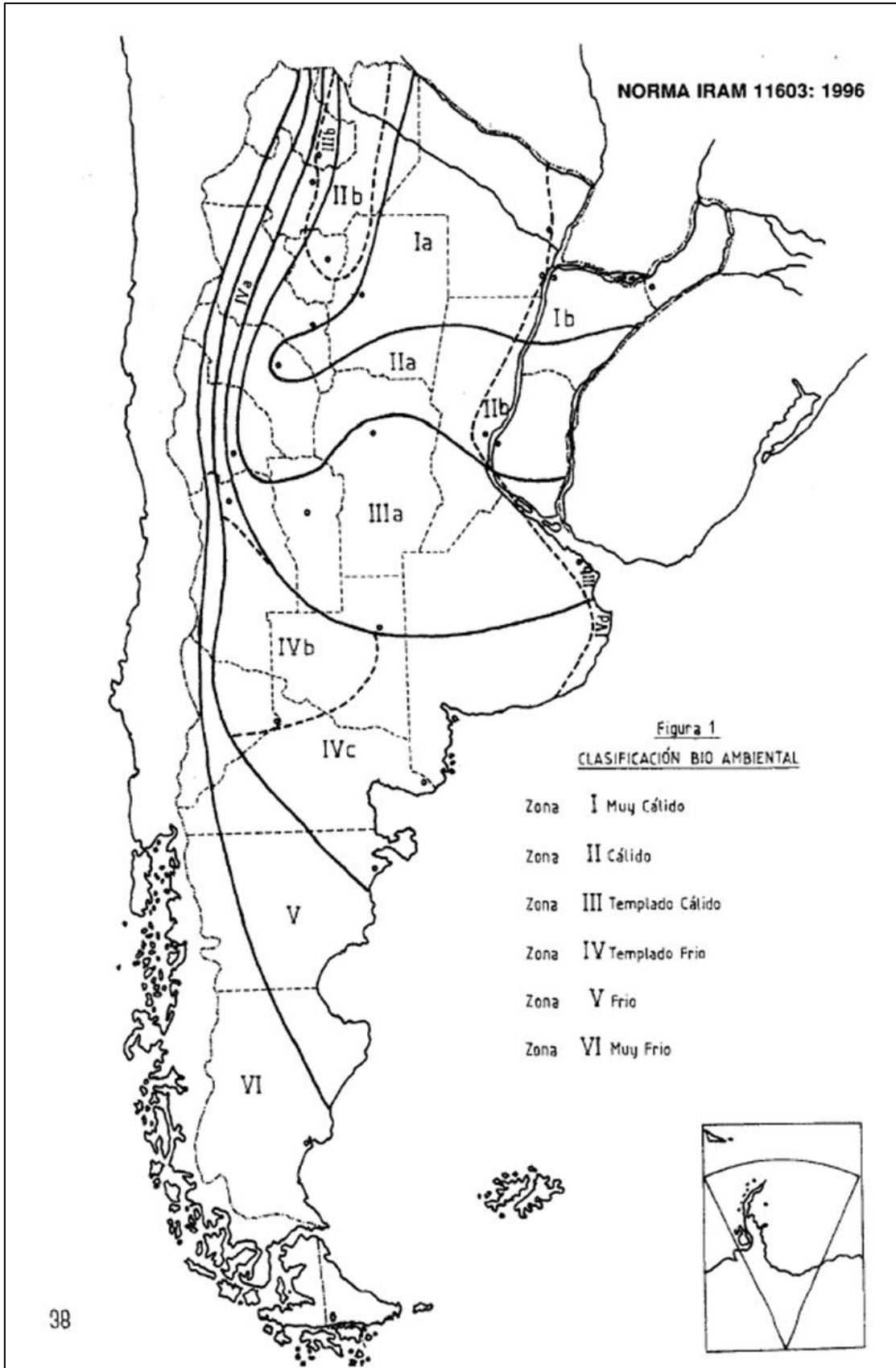


Figura 36: Clasificación medioambiental del territorio argentino

FUENTE: IRAM (1996a)

b. NORMA IRAM 11605

La Norma IRAM 11605: “Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Viviendas. Valores Máximos de Transmitancia Térmica en Cerramientos Opacos” establece los valores máximos de transmitancia térmica para los elementos de cerramiento de las viviendas. Lo que se busca es asegurar condiciones mínimas de habitabilidad (IRAM, 1996b). En ella se establecen tres niveles de condiciones de confort higrotérmico:

- Nivel A: Recomendado
- Nivel B: Medio
- Nivel C: Mínimo

Estos niveles fueron definidos de la siguiente forma:

- **Condición de invierno**

a) Verificación de la no existencia de condensación superficial, de acuerdo con la norma IRAM 11625, considerando las siguientes temperaturas interiores de diseño:

Nivel A = 22°C

Nivel B = 20°C

Nivel C = 18°C

b) Verificaciones de confort, definidas a través de la diferencia entre la temperatura interior de diseño y la temperatura superficial de un cerramiento, que toma los siguientes valores:

Nivel A = 1°C

Nivel B = 2.5°C

Nivel C = 4°C

c) Para la confección del Cuadro 15: Valores de $K_{\text{máx adm}}$ para condición de invierno se adoptó, para cada temperatura exterior de diseño, el valor menor de K ($\text{W}/\text{m}^2\text{k}$), que verifica simultáneamente las condiciones indicadas en a) y b).

- **Condición de verano**

Se define en forma análoga al punto b)

Para estos niveles de confort higrotérmico se establecen valores máximos de transmitancia térmica para verano e invierno. Es necesaria realizar la verificación para ambas condiciones, excepto para las zonas bioambientales V (Fría) y VI (Muy fría), que sólo se les exige verificación en condiciones de invierno.

- **Condición de invierno**

Para las condiciones de invierno en el Cuadro 15 se muestran los valores máximos admisibles de transmitancia térmica K (W/m^2K). Estos son desglosados de acuerdo al nivel de confort térmico y la temperatura exterior de diseño.

- **Condición de verano**

Para el caso de la época de verano, se toman en cuenta los valores de máximos de transmitancia térmica para muros y techos indicados en el Cuadro 16 y Cuadro 17 respectivamente. Estos valores son válidos cuando la superficie exterior de los cerramientos presente un coeficiente de absorción de la radiación solar de 0.7 ± 0.1 .

En el caso que el coeficiente de absorción de radiación solar sea menor a 0.6 se deben incrementar los valores del Cuadro 16 en 20 por ciento y los del Cuadro 17 en 30 por ciento.

Si el coeficiente de absorción de radiación solar fuera mayor a 0.8 se deben disminuir los valores del Cuadro 16 en 15 por ciento y del Cuadro 17 en 20 por ciento.

Valores orientativos del coeficiente de absorción solar para superficies exteriores se pueden encontrar en el Cuadro 18.

Cuadro 15: Valores de $K_{\text{máx adm}}$ para condición de invierno, en $\text{W/m}^2.\text{K}$

| Temperatura exterior de diseño (t_{ed}) [°C] | Nivel A | | Nivel B | | Nivel C | |
|---|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | Muros | Techos | Muros | Techos | Muros | Techos |
| -15 | 0.23 | 0.20 | 0.60 | 0.52 | 1.01 | 1.00 |
| -14 | 0.23 | 0.20 | 0.61 | 0.53 | 1.04 | 1.00 |
| -13 | 0.24 | 0.21 | 0.63 | 0.55 | 1.08 | 1.00 |
| -12 | 0.25 | 0.21 | 0.65 | 0.56 | 1.11 | 1.00 |
| -11 | 0.25 | 0.22 | 0.67 | 0.58 | 1.15 | 1.00 |
| -10 | 0.26 | 0.23 | 0.69 | 0.60 | 1.19 | 1.00 |
| -9 | 0.27 | 0.23 | 0.72 | 0.61 | 1.23 | 1.00 |
| -8 | 0.28 | 0.24 | 0.74 | 0.63 | 1.28 | 1.00 |
| -7 | 0.29 | 0.25 | 0.77 | 0.65 | 1.33 | 1.00 |
| -6 | 0.30 | 0.26 | 0.80 | 0.67 | 1.39 | 1.00 |
| -5 | 0.31 | 0.27 | 0.83 | 0.69 | 1.45 | 1.00 |
| -4 | 0.32 | 0.28 | 0.87 | 0.72 | 1.52 | 1.00 |
| -3 | 0.33 | 0.29 | 0.91 | 0.74 | 1.59 | 1.00 |
| -2 | 0.35 | 0.30 | 0.95 | 0.77 | 1.67 | 1.00 |
| -1 | 0.36 | 0.31 | 0.99 | 0.80 | 1.75 | 1.00 |
| ≥ 0 | 0.38 | 0.32 | 1.00 | 0.83 | 1.85 | 1.00 |

FUENTE: IRAM (1996b)

Cuadro 16: Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para muros, en $\text{W/m}^2.\text{K}$

| Zona Bioambiental | Nivel A | Nivel B | Nivel C |
|-------------------|---------|---------|---------|
| I y II | 0.45 | 1.10 | 1.80 |
| III y IV | 0.50 | 1.25 | 2.00 |

FUENTE: IRAM (1996b)

Cuadro 17: Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano en techos, en $\text{W/m}^2.\text{K}$

| Zona Bioambiental | Nivel A | Nivel B | Nivel C |
|-------------------|---------|---------|---------|
| I y II | 0.18 | 0.45 | 0.72 |
| III y IV | 0.19 | 0.48 | 0.76 |

FUENTE: IRAM (1996b)

Cuadro 18: Valores orientativos del coeficiente de absorción para superficies exteriores

| Materiales | Coeficiente de absorción | | |
|--|---------------------------------|----------------|---------------|
| Ladrillo común | 0.70 | | |
| Ladrillos negros oscuros | 0.75 a 0.85 | | |
| Ladrillos rojos calores | 0.50 a 0.60 | | |
| Hormigón a la vista | 0.70 | | |
| Hormigón a la vista (texturado) | 0.80 | | |
| Hormigón con agregado y cemento blanco | 0.50 | | |
| Revoque | 0.55 | | |
| Revoque claro | 0.40 | | |
| Marfil blanco | 0.40 a 0.50 | | |
| Baldosas rojas | 0.85 | | |
| Fibrocemento | 0.60 | | |
| Aluminio anodizado (natural) | 0.45 | | |
| Aluminio envejecido | 0.80 | | |
| Chapa galvanizada | 0.50 | | |
| Pintura | Claro | Mediano | Oscuro |
| Amarillo | 0.30 | 0.5 | 0.7 |
| Castaño claro (beige) | 0.35 | 0.55 | 0.9 |
| Castaño | 0.45 | 0.75 | 0.98 |
| Rojo | 0.65 | 0.8 | 0.9 |
| Verde | 0.40 | 0.7 | 0.85 |
| Azul | 0.40 | 0.75 | 0.9 |
| Gris | 0.45 | 0.65 | 0.75 |
| Anaranjado | 0.40 | 0.6 | 0.75 |
| Rosa | 0.45 | 0.55 | 0.7 |
| Púrpura | 0.60 | 0.8 | 0.9 |
| Aluminio | - | 0.45 | - |
| Negro | - | - | 0.95 |

FUENTE: IRAM (1996b)

- **Puentes térmicos**

En esta normativa se indica que la transmitancia térmica de un puente térmico no debe ser mayor al 50 por ciento del valor de la transmitancia del muro opaco.

En el caso que los puentes térmicos lineales se encuentren a una distancia entre sí menor o igual que 1.7 m., la transmitancia térmica del puente térmico no debe ser mayor al 35 por ciento del valor de la transmitancia del muro opaco.

Se podrán tener transmitancia térmicas mayores que las indicadas en los dos puntos anteriores cuando:

- La transmitancia térmica del puente térmico sea menor que la transmitancia térmica máxima admisible de acuerdo a la ubicación de la vivienda.
 - Por medio de un software se pruebe que la diferencia entre la temperatura del aire interior y la temperatura mínima de la superficie del puente térmico no es mayor al 50 por ciento de la diferencia entre la temperatura del aire interior y la temperatura de la superficie interior del muro opaco.
- **Valores máximos recomendados de transmitancia térmica para evitar condensación en condiciones críticas**

De acuerdo a la Norma IRAM 11625:1991 existen un aumento en el riesgo de condensación en las aristas y rincones de los muros. Para evitar esto, en el Cuadro 19 se indican los valores máximos permitidos de transmitancia térmica.

Cuadro 19: Valores máximos de transmitancia térmica para evitar condensación en condiciones críticas (W/m².K)

| Lugar | Nivel de confort | | |
|---|------------------|------|------|
| | A | B | C |
| Aristas superiores y rincones Aristas verticales a altura media | 1.15 | 1.20 | 1.30 |
| Aristas y rincones inferiores | 0.80 | 0.85 | 0.90 |
| Rincones y aristas "protegidas" (interiores de placares sobre muros exteriores) Detrás de muebles en muros externos | 0.55 | 0.60 | 0.65 |

FUENTE: IRAM (1996b)

c. NORMA IRAM 11900

En junio del 2009, la Secretaría de Energía solicitó al Instituto Argentino de Normalización y Certificación la elaboración de una norma de certificación energética de viviendas. Esto se dio de acuerdo al Decreto 140/2007 el cual declara de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía. En mayo de 2010 se aprobó la norma IRAM 11900 "Etiqueta de Eficiencia Energética de Calefacción para Edificios" (Bourges, 2014).

En setiembre del mismo año se puso a disposición un aplicativo en la página web de la Secretaría de Energía, el cual tenía como fin calcular y generar la etiqueta de eficiencia energética facilitando el trabajo de los profesionales inmersos en el tema (Bourges, 2014).

Esta norma tiene como objetivo establecer una metodología simplificada para el cálculo del nivel de eficiencia energética de las envolventes de los edificios para habitación humana y las características de la etiqueta de eficiencia energética.

En el caso de la normativa argentina, para la obtención de la eficiencia energética se toma en cuenta la conducción a través de los materiales que forman parte de los cerramientos del edificio que no estén en contacto con el suelo (techos, paredes, puertas, ventanas, etc.). Llámese a este conjunto de elementos "envolvente de la edificación". No se están considerando en el cálculo otros factores como la variación de calor en el ambiente a causa de los equipos, animales o personas que ocuparán el lugar; la radiación solar o la ventilación.

Luego de efectuar el cálculo se obtiene un factor τ_m (expresado en °C), el cual se usa para ubicar al edificio dentro de la escala de eficiencia correspondiente, la cual está dividida en ocho niveles (Ver Cuadro 20).

Cuadro 20: Clases de eficiencia energética

| Clases de Eficiencia Energética | Condición |
|--|---|
| A | $\tau_m \leq 1^\circ\text{C}$ |
| B | $1^\circ\text{C} < \tau_m \leq 1.5^\circ\text{C}$ |
| C | $1.5^\circ\text{C} < \tau_m \leq 2^\circ\text{C}$ |
| D | $2^\circ\text{C} < \tau_m \leq 2.5^\circ\text{C}$ |
| E | $2.5^\circ\text{C} < \tau_m \leq 3^\circ\text{C}$ |
| F | $3^\circ\text{C} < \tau_m \leq 3.5^\circ\text{C}$ |
| G | $3.5^\circ\text{C} < \tau_m \leq 4^\circ\text{C}$ |
| H | $\tau_m > 4^\circ\text{C}$ |

FUENTE: Bourges (2014)

En la Figura 37 se presenta el formato de la etiqueta que se rellenaría luego de efectuar el análisis correspondiente. La finalidad de esta etiqueta es informar al consumidor el nivel de eficiencia térmica de la envolvente de los edificios para habitación humana, de acuerdo con parámetros y valores especificados en la norma.

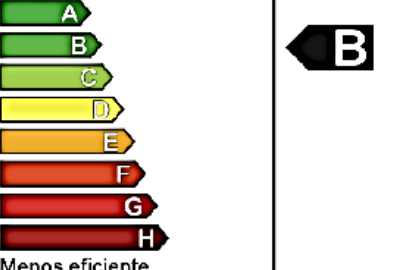
| Energía de calefacción | |
|---|--|
| Dirección postal Identificación catastral | Envolvente edilicia |
| Más eficiente |  |
| A | |
| B | |
| C | |
| D | |
| E | |
| F | |
| G | |
| H | Menos eficiente |
| τ_m | °C |
| $K'm$ | °C |
| Temperatura de diseño mínima exterior, según IRAM 11603 | °C |
| Temperatura de diseño interior | 20 °C |
| Superficie cubierta | m ² |
| Profesional responsable | |
| Certificado N° | |
| Fecha evaluación | |
| Fecha emisión certificado | |
| IRAM 11900 | |

Figura 37: Modelo de etiqueta de eficiencia energética

FUENTE: Bourges (2014)

El factor τ_m , el cual es la variación entre la temperatura media ponderada en la superficie interior de la envolvente y la temperatura interior de diseño, se calcula en base a las superficies de los elementos de la envolvente y el factor τ_i , como se muestra en la Ecuación 23.

$$\tau_m = \frac{\sum(\tau_i \cdot S_i)}{\sum S_i} \quad (23)$$

Donde:

- τ_m : Indicador ponderado para el cálculo de la eficiencia energética del edificio, en °C.

- τ_i : Indicador para el cálculo de la eficiencia energética del edificio de cada uno de los elementos que componen la envolvente, en °C.
- S_i : Superficie interior de cada componente de la envolvente, en m².

El indicador τ_i se encuentra establecido de acuerdo a la Ecuación 24.

$$\tau_i = R_{si} \cdot K_i \cdot \Delta t \quad (24)$$

Donde:

- R_{si} : Resistencia térmica superficial interior, en m²K/W.
- K_i : Transmitancia térmica, en W/m²K.
- Δt : Diferencia entre la temperatura interior de la edificación y la temperatura exterior, en °C. La temperatura interior se establece en 20 °C, mientras que la temperatura exterior se obtiene de la norma IRAM 11603.

La transmitancia térmica K_i se denota como la inversa de la Resistencia térmica superficial total R_t la cual está dada por la Ecuación 25 y la Ecuación 26.

$$R_t = R_{se} + \sum \frac{e_j}{\lambda_j} + R_{si} + R_{cj} \quad (25)$$

$$K_i = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{e_j}{\lambda_j} + R_{si} + R_{cj}} \quad (26)$$

Donde:

- R_t : Resistencia térmica superficial total, en m²K/W.
- K_i : Transmitancia térmica, en W/m²K.
- R_{se} : Resistencia térmica superficial exterior, en m²K/W.
- R_{si} : Resistencia térmica superficial interior, en m²K/W.
- e_j : Espesor de la capa de material componente de la envolvente para cada uno de sus elementos, en m.
- λ_j : Conductividad térmica de la capa en consideración, en W/mK.
- R_{cj} : Resistencia térmica de las cámaras de aire, en caso existan, en m²K/W.

Los datos de R_{si} , R_{se} , λ_j y R_{cj} se obtienen de la norma IRAM 11601: Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.

2.5.3. CHILE

a. NORMA NCH1079.OF2008

La norma NCH1079.OF2008: “Arquitectura y Construcción - Zonificación Climático Habitacional para Chile y Recomendaciones para el Diseño Arquitectónico” establece una zonificación climático habitacional para Chile, con el objeto de facilitar un adecuado diseño arquitectónico” (INN, 2008).

Para cada una de estas zonas se recomiendan valores de transmitancia térmica de los elementos de la envolvente.

Las zonas consideradas en esta clasificación son las siguientes:

- NL: Norte Litoral
- ND: Norte Desértica
- NVT: Norte Valle Transversal
- CL: Central Litoral
- CI: Central Interior
- SL: Sur Litoral
- SI: Sur Interior
- SE: Sur Extremo
- An: Andina

En la Figura 38 se muestra el Mapa de Zonificación Climática propuesto, de acuerdo a las zonas mencionadas anteriormente.

En el Cuadro 21 se muestra la localización y descripción del clima por cada zona climática. En el Cuadro 22 se muestran las características climáticas consideradas para realizar esta clasificación las cuales son: temperatura media, oscilación diaria de temperatura,

insolación, soleamiento, humedad relativa, nubosidad, precipitación, vientos predominantes, heladas, días de nieve, salinidad atmosférica y del suelo y altura topográfica.

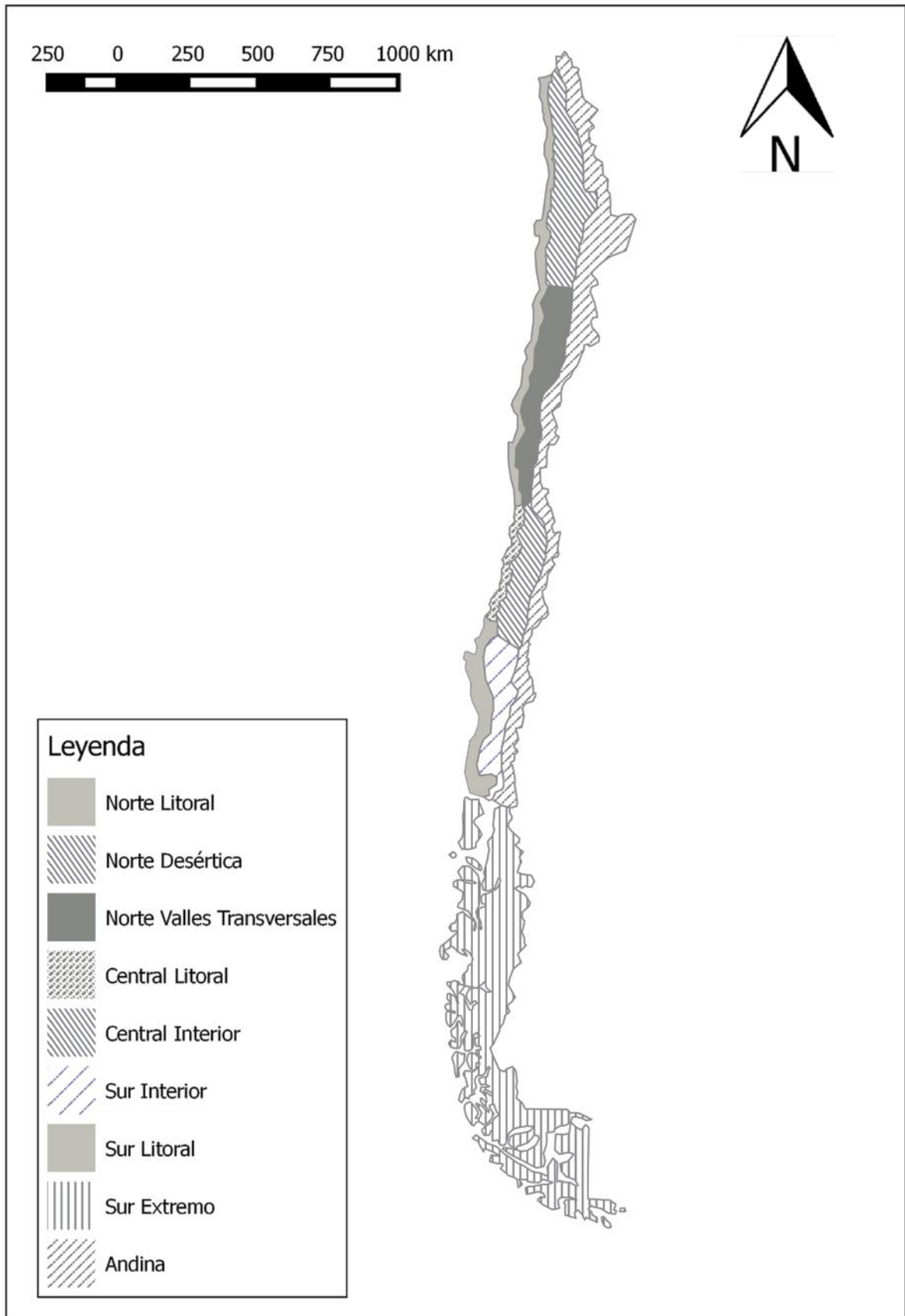


Figura 38: Mapa de zonificación climática. Escala: gráfica.

Fuente: MINVU (2009). Digitalización elaborada por el autor.

Cuadro 21: Localización y descripción del clima por zonas

| Zona | Localización | Características generales |
|-------------|---|--|
| NL | Norte litoral: Se extiende desde el límite con el Perú hasta el límite norte de la comuna de La Ligua, ocupando la faja costera al lado occidental de la Cordillera de la Costa, hasta donde se deja sentir directamente la influencia del mar. En los valles que rematan los ríos y quebradas se producen penetraciones de esta zona hacia el interior. Ancho variable llegando hasta 50 km aproximadamente. | Zona desértica con clima dominante marítimo. Poca oscilación diaria de temperatura. Nubosidad y humedad que disipa al medio día. Soleamiento fuerte en las tardes. Precipitaciones nulas en el norte y débiles en el S. Vientos dominantes S y SW, con alguna interferencia de brisa de mar y tierra. Atmósfera y suelo salinos. Vegetación nula o escasa. |
| ND | Norte desértica: ocupa la planicie comprendida entre ambas cordilleras (de la Costa y de los Andes). Desde el límite con el Perú hasta el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro. Como límite oriental se puede considerar la línea de nivel 3 000 m aproximadamente. | Zona desértica, sin precipitaciones, calurosa. Atmósfera limpia con fuerte radiación solar. Noches frías. Fuerte oscilación diaria de temperaturas. Ambiente seco. Vegetación nula. La cruza el río Loa, formando una angosta subzona de microclima particular. Vientos fuertes de componente W. |
| NVT | Norte valles transversales: ocupa la región de los cordones y valles transversales al oriente de la zona NL excluida la Cordillera de los Andes por sobre 400 m y desde el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro hasta el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca. | Zona semidesértica. Veranos largos y calurosos. Microclimas en los valles. Precipitaciones bajas aumentando hacia el sur. Fuerte radiación solar y oscilación diaria de temperaturas. Baja nubosidad. Vegetación en aumento. Vientos irregulares principalmente de componente W. Atmósfera relativamente seca. |
| CL | Central litoral: cordón costero continuación zona NL desde el límite norte de la comuna de La Ligua hasta el límite norte de la comuna de Cobquecura. Penetra en los valles de los ríos. | Zona con clima marítimo. Inviernos cortos de cuatro a seis meses. Temperatura templada. Nubosidad en verano disipa a mediodía. Precipitaciones altas y medianas en aumento hacia el S. Vientos predominantes de componente SW. Suelo y ambiente salinos y relativamente húmedos. Vegetación normal. |

Cuadro 21: Continuación

| Zona | Localización | Características generales |
|---|---|---|
| CI | Central interior: valle central comprendido entre la zona NL y la precordillera de los Andes por bajo los 1 000 m. Por el N desde el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca hasta el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen. | Zona de clima mediterráneo. Temperaturas templadas. Inviernos de cuatro a cinco meses. Vegetación normal. Precipitaciones y heladas en aumento hacia el S. Insolación intensa en verano especialmente hacia el NE. Oscilación diaria de temperatura moderada, aumentando hacia el E. Vientos principalmente de componente SW. |
| SL | Sur litoral: continuación de zona CL desde el límite norte de la comuna de Cobquecura hasta el límite sur de las comunas de Maullin, Calbuco y Puerto Montt. Variable en anchura, penetrando por los valles de los numerosos ríos que la cruzan | Zona de clima marítimo, lluvioso. Inviernos largos. Suelo y ambiente salinos y húmedos. Vientos irregulares de componentes SW y N. Vegetación robusta. Temperatura templada a fría |
| SI | Sur interior: continuación de zona CI desde el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen, hasta el límite norte de las comunas de Maullin y Puerto Montt. Hacia el E, hasta la Cordillera de los Andes por debajo de los 600 m aproximadamente. | Zona lluviosa y fría con heladas frecuentemente. Veranos cortos de cuatro a cinco meses con insolación moderada. Lagos y ríos numerosos, con microclimas. Vegetación robusta. Ambiente y suelo húmedo. Vientos S y calma. |
| SE | Sur extremo^{*)}: la constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el E. | Zona fría muy lluviosa, con precipitaciones a lo largo de todo el año disminuyendo su intensidad hacia el sur y desde W a E. Estas precipitaciones son muy altas hacia el norte de la zona (Chiloé, Puerto Aysén y Coyhaique), en especial en invierno y tienden a disminuir hacia el sur donde las precipitaciones se distribuyen en forma homogénea a lo largo del año (Punta Arenas). Nubosidad casi permanente, veranos cortos. Suelo y/o ambiente muy húmedo. Heladas y nieve en altura y hacia el sur de la zona, en la que además se observan altos vientos. Radiación solar moderada en verano. Microclimas importantes en el interior. |
| An | Andina^{*)}: comprende la faja cordillerana y precordillerana mayor que 3 000 m de altitud en el Norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el Sur se pierde al Sur de Puerto Montt. > 900 m de altitud. | Zona de atmósfera seca, grandes oscilaciones de temperatura entre día y noche. Tormentas de verano en el altiplano (norte). Ventiscas y nieve en invierno. Vegetación de altura. Gran contenido de ultravioleta en la radiación solar. Dado que presenta grandes diferencias en latitud y altura, presenta características muy particulares a lo largo de ella, siendo en general de condiciones muy severas. |
| *) La componen varias subzonas actualmente poco estudiadas debido a su baja densidad poblacional. | | |

FUENTE: INN (2008)

Cuadro 22: Pendientes de cubierta, protección contra el sol y características climáticas de las zonas (Valores medios período 1961-2005)

| Zona | Pendiente de cubierta, valores mínimos en % | | Orientación de muros que requieren protección contra el sol | Localidades más importantes | Temperatura °C | | | | Insolación Wh/m ² x día | | Soleamiento horas sol/día | | Humedad relativa % | | Nubosidad décimas | | Precipitación mm | | Vientos predominantes | Heladas (a 1,5 m sobre el suelo) | | | | | |
|-----------------------------------|---|----|---|-----------------------------|----------------|------|--------------------------|------|------------------------------------|-------|---------------------------|--------|--------------------|-----|-------------------|-----|------------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|---------|--------|-----|-----|-----|
| | SR | SL | | | Media | | Oscilación media mensual | | E | J | 21 dic | 21 jul | E | J | E | J | Anual | máx. 24 h | | Total anual | Primera | Última | | | |
| | | | | | E | J | E | J | | | | | | | | | | | | | | | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | | | |
| NL Norte Litoral | 10 | 5 | W | Arica | 22,0 | 15,6 | 7,4 | 4,9 | 7 071 | 3 443 | | | 71 | 78 | 4,8 | 7,6 | 0,5 | 12,0 | SSO 4,8 | | | | | | |
| | | | | Iquique | 21,1 | 15,2 | 7,3 | 4,9 | 7 164 | 3 570 | 13,3 | 10,9 | 71 | 77 | 2,8 | 6,9 | 0,6 | 12,8 | SSO 5,3 | | | | | | |
| | | | | Antofagasta | 20,0 | 13,4 | 7,2 | 6,3 | 6 815 | 3 372 | | | | | 75 | 79 | 4,0 | 6,3 | 1,7 | 38,0 | S 4,5 | | | | |
| | | | | Chañaral | | | 6,4 | 6,8 | 6 617 | 2 605 | | | | | | | 4,4 | 5,0 | 11,5 | 41,6 | O 5,4 | | | | |
| | | | | La Serena | 17,1 | 10,7 | 8,0 | 7,9 | 6 396 | 2 535 | 13,9 | 10,1 | 80 | 84 | 4,1 | 5,4 | 78,5 | 104,7 | O 3,8 | | | | | | |
| ND Norte Desértica | 10 | 5 | E - W | Quillagua | | | 24,0 | 21,4 | | | | | | | | | 0,7 | 7,0 | | | | | | | |
| | | | | Calama | 15,1 | 8,6 | 19,0 | 21,8 | 7 873 | 4 512 | 13,5 | 10,5 | 42 | 33 | 2,6 | 1,1 | 6,4 | 25,4 | OSO 8,2 | 103 | Ene | Dic | | | |
| NVT Norte Valles Transversales | 15 | 8 | E - W | Copiapó | 19,6 | 11,3 | 14,8 | 14,2 | 7 350 | 3 395 | 13,8 | 10,3 | 70 | 76 | 2,8 | 3,5 | 12,0 | 58,6 | O 3,8 | 1 | Jun | Oct | | | |
| | | | | Vallenar | 18,6 | 11,4 | 13,5 | 12,0 | 7 303 | 3 163 | | | | | 68 | 69 | 1,9 | 3,3 | 31,6 | 69,5 | NO 3,3 | | | | |
| | | | | Vicuña | 18,5 | 10,5 | 17,4 | 16,6 | | | | | | | | 68 | 69 | 1,3 | 3,8 | 92,0 | 80,0 | | 10 | Jun | Sep |
| | | | | Ovalle | 18,6 | 10,5 | 14,6 | 15,2 | 7 047 | 2 267 | 14,0 | 10,1 | 73 | 83 | 2,5 | 5,0 | 125,7 | 89,3 | OSO 2,9 | 1 | Jul | Ago | | | |
| | | | | Combarbalá | 21,7 | 12,2 | 18,0 | 14,5 | | | | | | | | 48 | 54 | 1,3 | 3,8 | 214,6 | 108,7 | | 1 | Jul | Jul |
| | | | | Illapel | | | 17,6 | 13,4 | | | | | | | | | | | | 219,8 | | | | | |
| CL Central Litoral | 20 | 10 | W | Quintero | 16,0 | 10,0 | 9,0 | 7,9 | | | | | | 82 | 89 | 3,6 | 6,5 | 341,0 | 127,8 | SO 6,5 | 3 | Abr | Ago | | |
| | | | | Viña del Mar | 17,5 | 8,5 | 14,2 | 10,4 | | | | | | | | 74 | 90 | 2,5 | 6,3 | 508,4 | 205,0 | | 8 | Abr | Ago |
| | | | | Valparaíso | 17,0 | 11,4 | 6,9 | 5,1 | | | | | 14,2 | 9,9 | 78 | 84 | 3,6 | 5,9 | 372,5 | 190,6 | N 2,2 | | | | |
| | | | | San Antonio | | | 5,6 | 5,6 | | | | | | | | | | | | 388,0 | | | | | |
| | | | | Chanco | 15,6 | 8,5 | 12,7 | 10,0 | | | | | | | | | 77 | 90 | 2,5 | 6,3 | 781,9 | 137,2 | | 6 | Abr |

(continúa)

Cuadro 22: Continuación

| Zona | Pendiente de cubierta, valores mínimos en % | | Orientación de muros que requieren protección contra el sol | Localidades más importantes | Temperatura °C | | | | Insolación Wh/(m ² x día) | | Soleamiento horas sol/día | | Humedad relativa % | | Nubosidad décimas | | Precipitación mm | | Vientos predominantes | Heladas (a 1,5 m sobre el suelo) | | |
|------|---|----|---|-----------------------------|----------------|-----|--------------------------|------|--------------------------------------|-------|---------------------------|--------|--------------------|----|-------------------|-----|------------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|---------|--------|
| | SR | SL | | | Media | | Oscilación media mensual | | E | J | 21 dic | 21 jul | E | J | E | J | Anual | máx. 24 h | | Total anual | Primera | Última |
| | | | | | E | J | E | J | | | | | | | | | | | | | | |
| CI | 15 | 8 | E - W | San Felipe | 21.4 | 9.9 | 20.3 | 14.9 | | | | | 63 | 78 | 1.3 | 5.0 | 234.2 | 92.8 | | 26 | Abr | Oct |
| | | | | Los Andes | 20.9 | 8.3 | 21.0 | 15.8 | | | | | 66 | 73 | 1.3 | 5.0 | 275.5 | 117.1 | | 20 | Abr | Sep |
| | | | | Santiago | 20.9 | 8.1 | 16.7 | 11.0 | 6 908 | 1 918 | 14.3 | 9.8 | 57 | 84 | 1.3 | 5.9 | 312.5 | 111.1 | SSE 3.0 | 8 | Abr | Oct |
| | | | | Rancagua | 19.9 | 7.1 | 15.3 | 11.0 | | | | | 61 | 82 | 2.5 | 6.3 | 436.2 | 137.4 | SO 3.2 | 26 | Abr | Oct |
| | | | | Curicó | 19.9 | 7.2 | 18.7 | 8.9 | 7 047 | 1 825 | | | 65 | 90 | 1.6 | 7.3 | 701.9 | 128.2 | SSO 2.6 | 21 | Abr | Oct |
| | | | | Talca | 20.3 | 7.6 | 18.9 | 11.4 | | | | | 62 | 88 | 1.3 | 7.5 | 721.2 | 97.2 | | 18 | Abr | Sep |
| | | | | Linares | 19.6 | 6.4 | 17.8 | 10.2 | | | | | 68 | 90 | 2.5 | 6.3 | 966.9 | 178.3 | | 21 | Abr | Oct |
| | | | | Cauquenes | 21.0 | 8.9 | 17.1 | 9.0 | 7 164 | 1 907 | | | 56 | 88 | 1.3 | 6.3 | 696.8 | 168.5 | | 11 | Abr | Sep |
| | | | | Chillan | 19.1 | 7.3 | 17.8 | 8.4 | | | 14.6 | 9.6 | 64 | 87 | 1.9 | 6.8 | 1 107.0 | 153.7 | SO 2.1 | 24 | Mar | Oct |
| SL | 30 | 15 | W - N | Talcahuano | | | 7.7 | 6.8 | | | | | | | | | 1 107.5 | | | | | |
| | | | | Concepción | 16.3 | 8.8 | 12.3 | 7.3 | 6 919 | 1 860 | 14.5 | 9.5 | 75 | 87 | 2.5 | 6.2 | 1 110.1 | 162.4 | SO 4.9 | 5 | Abr | Oct |
| | | | | Valdivia | 15.8 | 7.0 | 14.1 | 6.6 | | | 14.9 | 9.2 | 75 | 90 | 4.6 | 8.0 | 1 871.0 | 175.4 | NE 1.5 | 34 | Mar | Dic |
| | | | | Puerto Montt | 14.3 | 6.6 | 10.2 | 6.4 | 6 384 | 1 197 | | | 80 | 90 | 5.9 | 7.3 | 1 802.7 | 133.0 | N 4.2 | 28 | Mar | Nov |
| SI | 30 | 20 | E - N | Los Angeles | | | 16.9 | 8.8 | 7 001 | 1 709 | | | | | 2.0 | 5.6 | 1 072.0 | 176.3 | S 2.8 | 28 | Feb | Nov |
| | | | | Traiguén | | | 16.8 | 9.3 | | | 14.7 | 9.3 | | | | | 944.9 | | | | | |
| | | | | Temuco | 15.8 | 7.2 | 14.8 | 7.4 | 6 873 | 1 430 | | | 74 | 88 | 4.2 | 7.1 | 1 157.4 | 131.8 | O 2.7 | 31 | Mar | Nov |
| | | | | Loncoche | | | 19.1 | 9.2 | | | | | | | | | 2 068.3 | 148.0 | Calma | | | |
| | | | | Osorno | 15.2 | 6.5 | 14.5 | 7.2 | | | 15.0 | 9.1 | 75 | 90 | 5.8 | 8.0 | 1 331.8 | 96.4 | N 2.1 | 41 | Ene | Dic |
| SE | 30 | 25 | - | Ancud | | | 8.8 | 5.2 | | | 15.1 | 9.0 | | | 6.4 | 7.9 | 2 704.7 | 132.0 | NO 6.2 | 11 | Abr | Sep |
| | | | | Castro | | | 9.3 | 6.1 | | | | | | | 6.4 | 7.7 | 1 871.2 | 110.4 | N 2.4 | | | |
| | | | | Aysén | 13.6 | 3.9 | 7.9 | 5.1 | | | 15.5 | 8.5 | 83 | 91 | 7.7 | 8.0 | 2 647.2 | 171.0 | SO 3.9 | 28 | Mar | Nov |
| | | | | Punta Arenas | 10.5 | 1.1 | 8.2 | 4.8 | 5 582 | 732 | 16.8 | 7.4 | 69 | 84 | 7.1 | 6.0 | 375.7 | 98.0 | O 7.9 | 83 | Ene | Dic |

(continúa)

Cuadro 22: Continuación

Tabla 3 - Pendientes de cubierta, protección contra el sol y características climáticas de las zonas (valores medios - periodo 1961 - 2005) (conclusión)

| Zona | Pendiente de cubierta, valores mínimos en % | | Orientación de muros que requieren protección contra el sol | Localidades más importantes | Temperatura °C | | | | Insolación Wh/(m ² x día) | | Soleamiento horas sol/día | | Humedad relativa % | | Nubosidad décimas | | Precipitación mm | | Vientos predominantes | Heladas (a 1,5 m sobre el suelo) | | | |
|--------------|---|----|---|-----------------------------|----------------|------|--------------------------|-----|--------------------------------------|-------|---------------------------|--------|--------------------|----|-------------------|-----|------------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|---------|--------|--|
| | | | | | Media | | Oscilación media mensual | | | | | | | | | | | | | Total anual | Primera | Última | |
| | SR | SL | | | E | J | E | J | E | J | 21 dic | 21 jul | E | J | E | J | Anual | máx. 24 h | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | |
| AN Andina | 40 | 30 | W | Potrerosillos | | | 8,5 | 9,1 | | | 13,7 | 10,4 | | | | | 12,9 | 114,0 | Calma | | | | |
| | | | | El Teniente | | | 10,5 | 7,9 | | | 14,4 | 9,8 | 53 | 68 | | | 785,1 | 148,3 | | | | | |
| Otros | 30 | 25 | - | Isla de Pascua | 23,3 | 18,2 | 7,2 | 5,6 | 6 280 | 2 744 | | | 77 | 80 | 5,2 | 6,4 | 1 147,2 | 144,6 | E 4,8 | | | | |
| | | | | Juan Fernández | 18,5 | 12,7 | 5,7 | 4,7 | | | | | 73 | 78 | 5,8 | 7,4 | 1 041,5 | 290,3 | S 4,6 | | | | |
| | | | | Antártica | 0,5 | -5,6 | 3,2 | 5,2 | | | | | 83 | 86 | 9,0 | 8,0 | 797,2 | 48,9 | O 8,0 | 306 | Ene | Dic | |

SR = Superficie rugosa
SL = Superficie lisa

FUENTE: INN (2008)

Para estas zonas se indican los siguientes valores máximos de transmitancia térmica de la envolvente como se muestra en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Transmitancia térmica de la envolvente, valores máximos en W/m^2K

| Zona | | Elementos opacos verticales (muros) | Techumbre opaca | Piso ventilado | Elementos vidriados verticales |
|------|-----|-------------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| 1 | NL | 2.0 | 0.8 | 3.0 | 5.8 |
| 2 | ND | 0.5 | 0.4 | 0.7 | 3.0 |
| 3 | NVT | 0.8 | 0.6 | 1.2 | 3.0 |
| 4 | CL | 0.8 | 0.6 | 1.2 | 3.0 |
| 5 | CI | 0.6 | 0.5 | 0.8 | 3.0 |
| 6 | SL | 0.6 | 0.4 | 0.8 | 3.0 |
| 7 | SI | 0.5 | 0.3 | 0.7 | 3.0 |
| 8 | SE | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 2.4 |
| 9 | An | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 2.4 |

FUENTE: INN (2008)

El criterio utilizado para la elaboración del Cuadro 23 es el de conseguir confort con eficiencia energética en los edificios.

Esta norma indica que con la aplicación de estas consideraciones en las diferentes zonas del país se podría llegar a los niveles de disminución de calefacción, indicados en el Cuadro 24.

Cuadro 24: Disminución de demanda de energía para calefacción esperada

| Zona | Disminución de demanda de energía para calefacción |
|-------------|---|
| Norte | Disminución a niveles mayores del 50% y que podrán llegar a niveles nulos de calefacción. |
| Central | Disminución en más de un 50% respecto de la situación actual. |
| Sur | Disminución a niveles equivalentes a un tercio de la demanda actual. |

FUENTE: INN (2008). Cuadro compilado por el autor.

Se puede observar que en las zonas del sur, donde se tienen los climas más fríos, será más difícil poder disminuir los niveles de calefacción; mientras que en las zonas del norte donde las temperaturas en invierno no son tan bajas, es probable llegar hasta a una demanda de calefacción nula.

El criterio de confort hace referencia a que en Chile durante los meses de invierno es necesario calefaccionar las viviendas para poder alcanzar temperaturas adecuadas que provean de un ambiente confortable a los habitantes. Sin embargo, debido al costo que tiene utilizar estos equipos, no pueden ser utilizados durante el tiempo que sería adecuado. (INN, 2008).

Considerando los valores máximos de transmitancia térmica propuestos, la temperatura interior aumentará significativamente sin necesidad de usar permanentemente los equipos de calefacción. Estudios realizados indican que con soluciones como las propuestas, la temperatura interior en diferentes recintos de una vivienda se puede elevar en promedio 3°C a 4°C (INN, 2008).

La evaluación consideró confort de 20°C en el día y 17°C en la noche para las viviendas.

b. MODIFICACIÓN AL DECRETO SUPREMO N°47 DE VIVIENDA Y URBANISMO DE 1992

La Reglamentación Térmica está vigente en Chile desde el año 2000 cuando fue incorporada a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC Artículo 4.1.10) (MINVU, 2009).

Esta Reglamentación se realizó en dos etapas:

Primera Etapa: Entró en aplicación en marzo de ese año. En ella “se definieron exigencias de transmitancia térmica máxima (o resistencia térmica total mínima) para el complejo de techumbre de viviendas, haciendo disminuir en forma significativa las pérdidas de calor a través de este elemento de la envolvente. Con ello se mejoró notoriamente el comportamiento térmico de las viviendas, en especial en períodos de invierno” (MINVU, 2009).

Segunda Etapa: Esta etapa es “complementaria con la anterior y vigente desde inicios de 2007. En ella se establecen exigencias para limitar las pérdidas de calor a través de muros, pisos ventilados y a través de ventanas. En el caso de estas, se restringe su tamaño en función de su transmitancia térmica” (MINVU, 2009).

Estas exigencias para los componentes de la envolvente se realizan de acuerdo a la zona térmica donde se ubique la edificación.

- **Zonificación térmica para el territorio chileno**

El territorio chileno fue dividido en siete zonas térmicas, las cuales fueron delimitadas en función a los Grados Día de Calefacción anuales.

Los Grados Día de Calefacción están relacionados con la demanda de energía requerida por una vivienda para alcanzar la temperatura interior base de confort tomando en cuenta la temperatura media de la zona (MINVU, 2009). Esta definición se esquematiza en la Figura 39, donde el área achurada representa los grados día de calefacción.

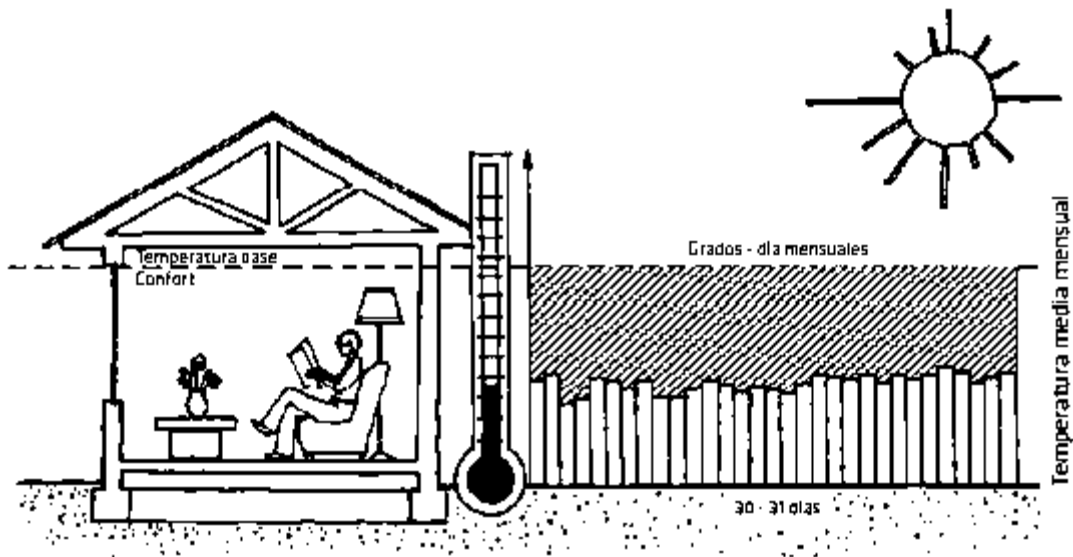


Figura 39: Concepto de grados-día

FUENTE: MINVU (2009)

Los grados-día fueron estimados con una temperatura interior base de 15°C, y considerando que el confort (18 a 20°C) es aportado por las ganancias internas (personas, electrodomésticos, iluminación artificial y otros) y las ganancias solares (MINVU, 2009).

En el Cuadro 25 se muestran las zonas térmicas con su respectivo rango de grados día de calefacción en base a 15°C.

Cuadro 25: Grados días anuales por zona térmica

| Zona térmica | Grado día (anual base 15°) |
|--------------|----------------------------|
| 1 | ≤ 500 |
| 2 | > 500 - ≤ 750 |
| 3 | >750 - ≤ 1000 |
| 4 | >1000 - ≤1250 |
| 5 | > 1250 - ≤ 1500 |
| 6 | >1500 - ≤ 2000 |
| 7 | > 2000 |

FUENTE: MINVU (2009)

En la Figura 40 se puede observar la zonificación térmica para el territorio chileno.

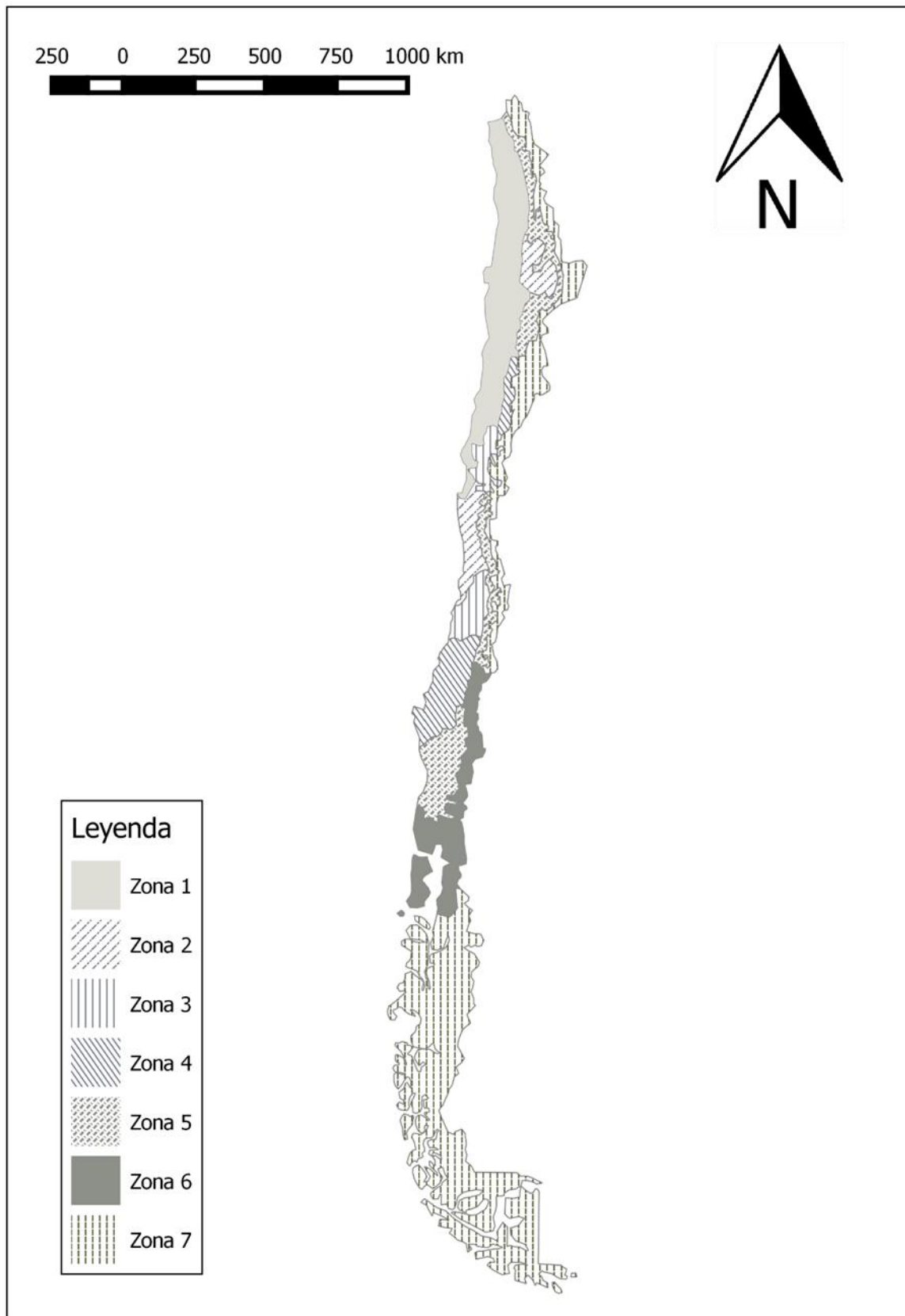


Figura 40: Mapa de zonificación térmica. Escala: gráfica.
FUENTE: MINVU (2009). Digitalización elaborada por el autor.

- **Consideraciones de la Reglamentación Térmica**

En la Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social (MINVU, 2009) se señalan las siguientes consideraciones acerca de la Reglamentación Térmica y su Zonificación Térmica.

1. “La Reglamentación Térmica es un instrumento de importancia y que ha implicado una primera definición de estándares de calidad térmica de viviendas. Es un hito importante para futuros incrementos en el comportamiento térmico de éstos y otro tipo de edificios. Ella es una referencia en que se establecen exigencias mínimas para los elementos de la envolvente de edificios residenciales.”

2. “No necesariamente estas exigencias son las recomendadas para la eficiencia energética de la vivienda. Esta eficiencia requiere elevar los estándares de comportamiento térmico de algunos de los elementos de la envolvente. Una excepción a ello (salvo en ciertas localidades) es lo que ocurre en el complejo de techumbre, donde se exigen estándares que ofrecen un comportamiento de acuerdo al clima. A ello se agrega que en muros de Zona 7 se exige una transmitancia térmica máxima de mejor estándar que el resto del país, en concordancia con sus bajas temperaturas durante gran parte del año. Sin embargo esta transmitancia térmica debiera disminuir muy significativamente en el futuro.”

3. “La Reglamentación Térmica está asociada a comportamiento de invierno. El confort para las restantes estaciones del año se consigue con estrategias complementarias a las de invierno.”

4. “No se considera la limitación de infiltraciones de aire a través de la envolvente, las que si no son controladas pueden anular o aminorar significativamente el esfuerzo que se haga al mejorar la transmitancia térmica exigida por la propia Reglamentación Térmica.”

5. “No se establecen estándares de ventilación ligada a mejoramiento de la calidad de aire interior y a la limitación de vapor de agua.”

6. “No considera protección térmica de puentes térmicos.”

7. “No considera estándares de protección térmica en pisos no ventilados.”

8. “Para el diseño con criterios basados en la arquitectura climática se recomienda consultar la Zonificación climático habitacional de la Norma Oficial NCh 1079-2008.”

- **Exigencias de acondicionamiento térmico**

En base al Decreto N°192 que modifica al Decreto N°47 de 1992, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en el Artículo 4.1.10 se precisa que todas las viviendas deberán cumplir con ciertas exigencias de acondicionamiento.

En este Decreto se indica que para techumbres, muros y pisos ventilados se deben considerar restricciones determinadas de acuerdo a la zonificación térmica de Chile, las cuales se presentan en el Cuadro 26. Para cada zona se dan valores de transmitancia térmica “U” los cuales deben compararse con los calculados. Estos últimos han de ser iguales o menores a los indicados en la tabla. Asimismo, en el caso de la resistencia térmica “R_t”, el valor calculado debe ser igual o mayor de lo indicado en el Cuadro 26 (MINVU, 2006).

Cuadro 26: Valores de transmitancia térmica máxima – “U” (W/m²K) y valores mínimos de resistencia térmica – “R_t” (m²K/W) para cada zona térmica

| Zona | Techumbre | | Muros | | Pisos ventilados | |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | U | R _t | U | R _t | U | R _t |
| | W/m ² K | m ² K/W | W/m ² K | m ² K/W | W/m ² K | m ² K/W |
| 1 | 0.84 | 1.19 | 4.00 | 0.25 | 3.60 | 0.28 |
| 2 | 0.60 | 1.67 | 3.00 | 0.33 | 0.87 | 1.15 |
| 3 | 0.47 | 2.13 | 1.90 | 0.53 | 0.70 | 1.43 |
| 4 | 0.38 | 2.63 | 1.70 | 0.59 | 0.60 | 1.67 |
| 5 | 0.33 | 3.03 | 1.60 | 0.63 | 0.50 | 2.00 |
| 6 | 0.28 | 3.57 | 1.10 | 0.91 | 0.39 | 2.56 |
| 7 | 0.25 | 4.00 | 0.60 | 1.67 | 0.32 | 3.13 |

FUENTE: MINVU (2006)

De igual manera, se mencionan que para las tres clasificaciones especificadas (techumbre, muros y pisos ventilados) en caso se utilizaran materiales aislantes térmicos, estos no deberían ser interrumpidos en su extensión a menos que no haya otra opción por cruzarse

con elementos estructurales. Esta consideración es para evitar que ocurran puentes térmicos.

Para el caso de las ventanas, se indica en el Cuadro 27 las exigencias requeridas para el porcentaje máximo de superficie que deben tener en relación al área de paramentos verticales de la envolvente.

Cuadro 27: Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente

| Zona | Vidrio monolítico | DVH Doble Vidriado Hermético | |
|------|-------------------|--|------------------------------------|
| | | $3.6 \text{ W/m}^2\text{K} \geq U > 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U \leq 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 1 | 50% | 60% | 80% |
| 2 | 40% | 60% | 80% |
| 3 | 25% | 60% | 80% |
| 4 | 21% | 60% | 75% |
| 5 | 18% | 51% | 70% |
| 6 | 14% | 37% | 55% |
| 7 | 12% | 28% | 37% |

FUENTE: MINVU (2006)

Las definiciones de “vidrio monolítico” y doble vidriado hermético” se especifican a continuación:

- Vidrio monolítico: “...aquél producto inorgánico de fusión, que ha sido enfriado hasta un estado rígido sin cristalización, formado por una sola lámina de vidrio.” (MINVU, 2006).
- Doble vidriado hermético (DVH): “...conjunto formado por dos o más vidrios paralelos, unidos entre sí, por un espaciador perimetral, que encierran en su interior una cámara con aire deshidratado o gas inerte.” (MINVU, 2006).

De igual manera, en el caso de las zonas térmicas 3, 4, 5, 6 y 7 se podrá aumentar el área de vidrios (solo en caso de vidrios monolíticos) si se aumenta el U ponderado de muros, de acuerdo al Cuadro 28:

Cuadro 28: Transmitancia térmica (“U”) ponderada de muros admisible para zonas térmicas 3, 4, 5, 6 y 7

| Zona | U ponderado (W/m²K) |
|-------------|---|
| 3 | 2.88 |
| 4 | 2.56 |
| 5 | 2.36 |
| 6 | 1.76 |
| 7 | 1.22 |

FUENTE: MINVU (2006)

Como una acotación se indica que el valor del área de vidrio monolítico no podrá aumentar más del 40 por ciento respecto a lo indicado en el Cuadro 27.

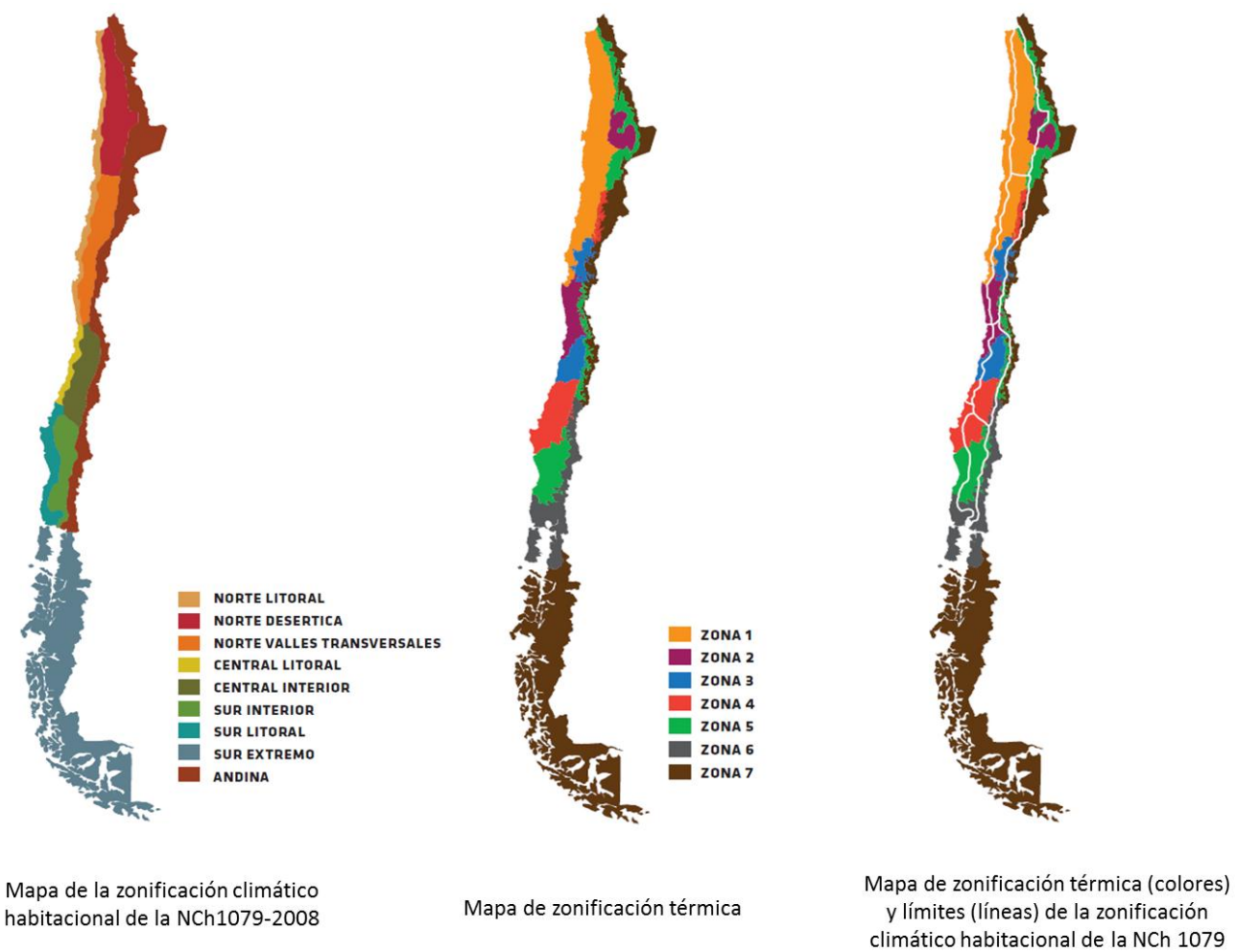
Comparación entre la Zonificación Térmica indicada en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y la zonificación climático habitacional de la Norma NCh1079-2008

Como se ha podido observar de acuerdo a la Figura 38 y la Figura 40, la Zonificación Climática de la Norma NCh1079-2008 no corresponde a las zonas indicadas en la Zonificación Térmica de la OGUC. En la Figura 41 se muestra la superposición de ambas clasificaciones, notándose que en una zona climático habitacional se pueden encontrar hasta cuatro zonas térmicas diferentes.

Estas diferencias se dan debido a que “... las Zonas Térmicas prácticamente se definen en base a una sola variable meteorológica (grados día de calefacción), asociado a condiciones climáticas de invierno y en que, por sólo mencionar la variable de temperatura en períodos fríos del año, no se considera la oscilación térmica entre día y noche de la localidad.” (MINVU, 2009), mientras que la Zonificación Climático Habitacional de la Norma NCh1079-2008 “...se basa en el conjunto de variables meteorológicas que definen un clima, entre las cuales se cuenta la oscilación térmica diaria que se da en diferentes períodos del año en una localidad. Otras variables que definen un clima son la nubosidad, la radiación solar, horas de sol diarias, intensidad y dirección de viento, precipitaciones, vegetación y humedad.” (MINVU, 2009).

Los valores de U recomendados en la norma NCh 1079.Of2008 son menores en magnitud que los indicados en la reglamentación térmica vigente, así que al adoptar los valores de la primera se asegura el cumplimiento de la segunda (INN, 2008).

Figura 41: Incompatibilidad entre la zonificación térmica de la OGUC y la zonificación climática de la NCh1079-2008



FUENTE: MINVU (2009)

En el Cuadro 29 se incluye la síntesis de las exigencias térmicas y valores de transmitancia térmica recomendados por la OGUC y por la Norma NCh1079-2008.

Cuadro 29: Exigencias térmicas y valores de transmitancia térmica recomendados

| ZONA CLIMÁTICA | | | NL | ND | NVT | CL | CI | CL | SI | SE | A | |
|---|---|--------------------------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|------|
| Zonas térmicas presentes en zona climática | | | 1 y 2 | | 1 a 5 | 2 a 4 | 2 a 6 | | 4 a 6 | 6 y 7 | 5 a 7 | |
| EXIGENCIAS TÉRMICAS (ARTÍCULO 4.1.10 O.G.U.C) | Transmitancia térmica máxima permitida (W/m ² °c) | TECHUMBRE | 0,84 y 0,60 | | 0,84 a 0,33 | 0,60 a 0,38 | 0,60 a 0,28 | | 0,38 a 0,28 | 0,28 y 0,25 | 0,33 a 0,25 | |
| | | MURO | 4,0 y 3,0 | | 4,0 a 1,6 | 3,0 a 1,7 | 3,0 a 1,1 | | 1,7 a 1,1 | 1,1 y 0,6 | 1,6 a 0,6 | |
| | | PISO VENTILADO | 3,60 y 0,87 | | 3,60 a 0,50 | 0,87 a 0,60 | 0,87 a 0,39 | | 0,60 a 0,39 | 0,39 y 0,32 | 0,50 a 0,32 | |
| | Superficie vidriada (%) | VENTANA (VIDRIO MONOLÍTICO) | 50 y 40% | | 50 a 18% | 40 a 21% | 40 a 14% | | 21 a 14% | 14 y 12% | 18 a 12% | |
| Valores recomendados de transmitancia térmica (w/m ² °c) para confort con eficiencia energética en vivienda | | | TECHUMBRE | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,25 | 0,25 |
| | | | MURO | 2 | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| | | | PISO VENTILADO | 3 | 0,7 | 1,2 | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 |
| | | | VENTANA | 5,8 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,4 | 2,4 |

FUENTE: MINVU (2009)

2.5.4. MÉXICO

a. NORMA NMX-C-460-ONNCCE-2009

La Norma NMX-C-460-ONNCCE-2009: “Industria de la Construcción - Aislamiento Térmico - Valor “R” para las Envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana - Especificaciones y Verificación” tiene como objetivo “establecer las especificaciones de resistencia térmica total (Valor “R”) que deben cumplir las viviendas a través de su envolvente para mejorar las condiciones de habitabilidad y para disminuir la demanda de energía utilizada para acondicionar térmicamente su interior, de acuerdo a la zona térmica del país en que se ubique” (ONNCCE, 2009).

Definiciones consideradas en la normativa NMX-C-460-ONNCCE-2009

La normativa en mención incluye las siguientes definiciones de términos:

- Resistencia térmica total de un elemento de la envolvente; Valor “R”: Es la suma de las resistencias superficiales, interna y externa, y de las resistencias térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente, esta suma también es conocida como valor “R”. Es el inverso del coeficiente total de transmisión de calor “K”, sus unidades son m^2K/W .
- Grados-Día (GD): Es la diferencia de temperaturas acumuladas como una forma relativamente simple de agrupar datos climáticos, como un índice o clasificación útil de distintos climas para utilizarse en códigos o normas de la construcción. El cálculo o estimación de las diferencias de temperaturas acumuladas están basadas sobre el concepto de una temperatura de referencia, la cual refleja el punto en el cual la vivienda comienza a necesitar calentamiento o enfriamiento para mantener las condiciones hidrotérmicas requeridas.
- Grado-Día de Refrigeración (GDR): Ocurre cuando la diferencia de Grados-Día es positiva. Se refiere a los días en que la vivienda requiere refrigeración para obtener confort térmico.
- Grado-Día de Calefacción (GDC): Ocurre cuando la diferencia de Grados-Día es negativa. Se refiere a los días en que la vivienda requiere calefacción para obtener confort térmico.
- Resistencia térmica total mínima; Valor “R” mínimo: Es aquel cuando la vivienda cumple al límite los códigos o estándares de construcción, o en su defecto los requerimientos técnicos del constructor, sin considerar equipos de climatización, análisis y demanda energética, considerándose una vivienda pasiva, se utiliza únicamente la envolvente para protegerse del medio ambiente (sol, calor y temperatura).
- Resistencia térmica total para la habitabilidad; Valor “R” para habitabilidad: Es aquél que busca proporcionar un bienestar hidrotérmico a sus ocupantes, mediante el empleo de aislamiento térmico principalmente, observando la mejor orientación para evitar los asoleamientos prolongados y el empleo mínimo de equipos de climatización para calentar, enfriar o ambos, cuyo fin no es el ahorro o eficiencia energética.
- Resistencia térmica total para el ahorro de energía; Valor “R” para ahorro de energía: Es el resultado de combinar el aislamiento térmico junto a una cuidadosa elección del sitio y el emplazamiento, empleando equipos de climatización de

menor consumo energético para calentar, enfriar o ambos para mejorar la habitabilidad y para ahorrar y hacer un uso racional de la energía.

- Zona térmica: Zona geográfica con temperatura ambiente y humedad relativa determinadas.

Clasificación por zonas térmicas

El territorio mexicano ha sido dividido en zonas térmicas en función al concepto de grados-día con base 10°C y 18°C. En el Cuadro 30 se muestra los niveles de grados día considerados para la clasificación, así como el comparativo con la clasificación climática internacional común (clasificación Köppen). En el Cuadro 31 se muestran las localidades mexicanas y la zona térmica que le corresponde a cada una de ellas.

Cuadro 30: Clasificación por zonas térmicas

| Zona Térmica No. | Clasificación con base en Grados Día | Clasificación Climática Internacional (clasificación Köppen) |
|-------------------------|---|---|
| 1 | $5000 < \text{GDR } 10^{\circ}\text{C}$ | Aw, BWh |
| 2 | $3500 < \text{GDR } 10^{\circ}\text{C} \leq 5000$ | Cfa, BWh |
| 3A y 3B | $2500 < \text{GDR } 10^{\circ}\text{C} \leq 3500$ y $\text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 3000$ | Cfa, BSk/BWh/H |
| 3C | $\text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 2000$ | Cs |
| 4A y 4B | $\text{GDR } 10^{\circ}\text{C} \leq 2500$ y $\text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 3000$ | Cfa/Dfa, BSk/BWh/H |
| 4C | $2000 \leq \text{GDC } 18^{\circ}\text{C} \leq 3000$ | Cfb |

FUENTE: ONNCCE (2009)

Cuadro 31: Zonas Térmicas de la República Mexicana

| Estado | Localidad | Zona Térmica |
|---------------------|--------------------|--------------|
| Aguascalientes | Aguascalientes | 3B |
| Baja California | Ensenada | 3C |
| | Mexicali | 2 |
| | Tijuana | 3B |
| Baja California Sur | La Paz | 2 |
| | Los Cabos | 2 |
| Campeche | Campeche | 1 |
| | Cd. del Carmen | 1 |
| Coahuila | Matamoros | 2 |
| | Monclova | 2 |
| | Piedras Negras | 2 |
| | Saltillo | 3B |
| | Torreón | 2 |
| Colima | Colima | 1 |
| | Manzanillo | 1 |
| Chiapas | Comitán | 2 |
| | San Cristóbal | 1 |
| | Ocosingo | 2 |
| | Tapachula | 1 |
| | Tonalá | 1 |
| | Tuxtla Gutiérrez | 1 |
| Chihuahua | Chihuahua | 3B |
| | Cuauhtémoc | 4B |
| | Hidalgo del Parral | 3B |
| | Juárez | 3B |
| | Nuevas Casas | 3B |

| Estado | Localidad | Zona Térmica |
|------------------|---|--------------|
| Distrito Federal | Azcapotzalco, B Juárez, Cuauhtémoc, G.A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, M. Hidalgo, Tláhuac, V. Carranza Xochimilco | 3A |
| | Coyoacán | 3B |
| | M. Contreras | 3C |
| | A. Obregón, | 4A |
| | Milpa Alta | 4A |
| | Tlalpan | 4A |
| | Cuajimalpa | 4C |
| Durango | Durango | 3B |
| | Lerdo | 2 |
| Guanajuato | Acámbaro | 3A |
| | Celaya | 2 |
| | Dolores Hidalgo | 3A |
| | Guanajuato | 3A |
| | Irapuato | 2 |
| | León | 3A |
| | Pénjamo | 2 |
| | Salamanca | 2 |
| | San Felipe | 3A |
| | San Miguel de Allende | 2 |
| | Silao | 3A |
| | Valle de Santiago | 3B |

Cuadro 31: Continuación

| Estado | Localidad | Zona Térmica |
|-----------------|------------------------|--------------|
| Guerrero | Acapulco | 1 |
| | Chilapa | 3A |
| | Chilpancingo | 2 |
| | Iguala | 1 |
| | Taxco | 2 |
| | Zihuatanejo | 1 |
| Hidalgo | Pachuca de Soto | 4B |
| | Tula de Allende | 3A |
| | Tulancingo | 4A |
| Jalisco | Guadalajara | 2 |
| | Lagos de Moreno | 3A |
| | Puerto Vallarta | 1 |
| | Ocotlán | 2 |
| | Tepatitlán de Morelos | 2 |
| | Tlaquepaque | 2 |
| | Zapopan | 2 |
| México | Chapingo | 4A |
| | Ecatepec | 4A |
| | Ixtlahuaca | 4A |
| | Naucalpan | 4A |
| | Texcoco | 4A |
| | Toluca | 4A |
| | Michoacán | Apatzingán |
| Cd. Hidalgo | | 3A |
| Lázaro Cárdenas | | 1 |
| Morelia | | 3A |
| Uruapan | | 3A |
| Zamora | | 2 |
| Morelos | Zitácuaro | 3A |
| | Cuautla | 2 |
| | Cuernavaca | 2 |
| Nayarit | Temixco | 2 |
| | Santiago Ixcuintla | 1 |
| Nuevo León | Tepic | 2 |
| | Cadereyta | 2 |
| | Linares | 2 |
| | Montemorelos | 2 |
| | Monterrey | 2 |
| | Santa Catarina | 2 |
| Oaxaca | Oaxaca de Juárez | 2 |
| | Salinas Cruz | 1 |
| Puebla | Atlixco | 3A |
| | Puebla | 3A |
| | Tehuacán | 3B |
| Querétaro | Querétaro | 3A |
| | San Juan del Río | 4A |
| Quintana Roo | Benito Juárez (Cancún) | 1 |
| | Cozumel | 1 |
| | Chetumal | 1 |
| | Playa del Carmen | 1 |
| | Felipe Carrillo Puerto | 1 |

| Estado | Localidad | Zona Térmica |
|-----------------|-----------------------|--------------|
| San Luis Potosí | Cd. Valles | 3C |
| | Río Verde | 2 |
| | Matehuala | 3B |
| | San Luis Potosí | 3B |
| Sinaloa | Culiacán | 1 |
| | Guasave | 1 |
| | Los Mochis | 1 |
| Sonora | Mazatlán | 1 |
| | Cd. Obregón | 1 |
| | Hermosillo | 2 |
| | Guaymas | 1 |
| | Navjoa | 1 |
| | Nogales | 1 |
| Tabasco | San Luis Río Colorado | 2 |
| | Cárdenas | 1 |
| | Comalcalco | 1 |
| | Cunduacán | 1 |
| | Huimanguillo | 1 |
| | Macuspana | 1 |
| Tamaulipas | Villahermosa | 1 |
| | Cd. Victoria | 2 |
| | Tampico – Madero | 1 |
| | Matamoros | 2 |
| Tlaxcala | Reynosa | 2 |
| | Nuevo Laredo | 2 |
| | Apizaco | 4A |
| Veracruz | Huamantla | 4C |
| | Tlaxcala | 4A |
| | Coatzacoalcos | 1 |
| | Córdoba | 2 |
| | Jalapa | 3A |
| | Martínez de la Torre | 1 |
| | Minatitlán | 1 |
| | Orizaba | 3C |
| | Papantla | 1 |
| | Poza Rica | 1 |
| | San Andrés Tuxtla | 1 |
| Tuxpan | 1 | |
| Veracruz | 1 | |
| Yucatán | Mérida | 1 |
| | Progreso | 1 |
| Zacatecas | Valladolid | 1 |
| | Fresnillo | 4C |
| | Guadalupe | 4C |
| | Zacatecas | 4C |

FUENTE: ONNCCE (2009)

Notas

Nota 1:

La clasificación climática de Köppen consiste en una clasificación climática mundial basada en las temperaturas y precipitaciones otorgando letras a los diferentes valores que toman estas dos variables. La clasificación en base a Grados-Día (GD) está basada en el

cálculo o estimación de las diferencias de temperaturas acumuladas. Considera el concepto de una temperatura de referencia, la cual refleja el punto en el cual la vivienda comienza a necesitar calentamiento o enfriamiento para mantener las condiciones hidrotérmicas requeridas.

Nota 2:

Las subclasificaciones A, B y C en la primera columna, son identificadas como:

- Húmeda (A): Son localidades que cumplen con la siguiente consideración:
 $P_{cm} \geq 2,0 (T_C + 7)$.
- Seca (B): Son localidades que cumplen con los criterios siguientes:
 $P_{cm} < 2,0 (T_C + 7)$.
- Marina (C): Son lugares que cumplen con los cuatro criterios siguientes:
 - La temperatura media mensual de los meses más fríos es entre -3 °C y 18 °C .
 - El promedio de temperatura del mes más caluroso $< 22\text{ °C}$.
 - Al menos los cuatro primeros meses con temperaturas promedio arriba de los 10 °C .
 - Estaciones secas en verano. El mes con la precipitación más alta en la temporada fría tiene al menos tres veces más precipitación que el mes con la precipitación más baja en el resto del año. La estación fría comprende de octubre hasta marzo en el Hemisferio Norte.

Donde: P_{cm} = Precipitación anual en centímetros; T_C = Temperatura anual promedio en $^{\circ}\text{C}$

Especificaciones

En el Cuadro 32 se dan los valores mínimos de Resistencia Térmica Total (Valor “R”) que deben tener los techos, muros y entrepisos ventilados que conforman la envolvente. Se clasifican de acuerdo a la zona térmica donde se encuentre la edificación y el propósito del aislamiento (mínimo, para habitabilidad o habitabilidad y ahorro de energía).

Cuadro 32: Resistencia Térmica Total (Valor “R”) de un elemento de la envolvente

| Zona Térmica No. | Techos m ² K/W (ft ² h°F/BTU) | | | Muros m ² K/W (ft ² h°F/BTU) | | | Entrepisos ventilados m ² K/W (ft ² h°F/BTU) | | |
|------------------------|---|-----------------|-------------------------|--|-----------------|-------------------------|--|-----------------|-------------------------|
| | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de Energía | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de Energía | Mínima | Habitabilidad | Ahorro de Energía |
| 1 | 1.40 (8.00) | 2.10 (12.00) | 2.65 (15.00) | 1.00 (5.70) | 1.10 (6.00) | 1.40 (8.00) | NA | NA | NA |
| 2 | 1.40 (8.00) | 2.10 (12.00) | 2.65 (15.00) | 1.00 (5.70) | 1.10 (6.00) | 1.40 (8.00) | 0.70 (4.00) | 1.10 (6.00) | 1.20 (7.00) |
| 3A, 3B y 3C | 1.40 (8.00) | 2.30 (13.00) | 2.80 (16.00) | 1.00 (5.70) | 1.23 (7.00) | 1.80 (10.00) | 0.90 (5.00) | 1.40 (8.00) | 1.60 (9.00) |
| 4A, 4B y 4C | 1.40 (8.00) | 2.65 (15.00) | 3.20 (18.00) | 1.00 (5.70) | 1.80 (10.00) | 2.10 (12.00) | 1.10 (6.00) | 1.80 (10.00) | 1.90 (11.00) |

FUENTE: ONNCCE (2009)

b. NORMA NOM-020-ENER-2011

La Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011: “Eficiencia Energética en Edificaciones - Envolverte de Edificios para Uso Habitacional” se aplica a todos los edificios para uso habitacional nuevos o ampliaciones de edificios para uso habitacional nuevos.

El fin de esta normativa es optimizar el diseño térmico de los edificios, a la vez que se logre el confort térmico de los usuarios de la edificación con el menor gasto de energía. Esto es factible mediante la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento.

Para el caso específico de esta normativa la metodología usada se basa en la comparación entre el edificio en estudio y uno de referencia calculado de acuerdo a ciertos parámetros teóricos.

Las fuentes de ganancia de calor consideradas son la ganancia de calor por conducción y la obtenida por radiación solar.

Metodología de cálculo

Para poder realizar la comparación se debe realizar un cálculo de ganancia de calor para ambos edificios (el proyectado y el de referencia). Lo que se desea lograr es que la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado sea menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia. Esto se observa en la Ecuación 27.

$$\varphi_p \leq \varphi_r \quad (27)$$

Donde:

- φ_p : Ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.
- φ_r : Ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, en Watts.

La Ecuación 28 representa la ecuación general de cálculo a utilizar.

$$\varphi_e = \varphi_c + \varphi_r \quad (28)$$

Donde:

- φ_e : Ganancia de calor a través de la envolvente del edificio (para el edificio proyectado o el de referencia), en Watts.
- φ_c : Ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y no opacas de la envolvente (para el edificio proyectado o el de referencia), en Watts.
- φ_r : Ganancia de calor por radiación solar a través de las partes no opacas de la envolvente (para el edificio proyectado o el de referencia), en Watts.

a. Cálculo de ganancia de calor del edificio proyectado

- **Ganancia de calor por conducción (φ_c)**

Se calcula como la sumatoria de las ganancias de calor por conducción de todas las componentes de la envolvente, de acuerdo a la Ecuación 29 y la Ecuación 30.

$$\varphi_c = \sum_{i=1}^n \varphi_{ci} \quad (29)$$

Donde:

- φ_c : Ganancia de calor por conducción, en Watts.
- φ_{ci} : Ganancia de calor por conducción para cada una de las orientaciones, en Watts. Las orientaciones a tomar en cuenta son norte, este, sur, oeste y superficie inferior en caso haya una ganancia de calor a través de la parte de la envolvente en contacto con el piso.

$$\varphi_{ci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (t_{ei} - t)] \quad (30)$$

Donde:

- φ_{ci} : Ganancia de calor por conducción a través de la envolvente para cada una de las orientaciones, en Watts.

- K_j : Coeficiente global de transferencia de calor, en W/m^2K . Para el edificio proyectado utilizar la metodología indicada en el Anexo 3.
 - A_{ij} : Área de la porción j con orientación i , en m^2 .
 - t_{ei} : Valor de la temperatura equivalente promedio para la orientación i , en $^{\circ}C$. (Ver Anexo 2)
- **Ganancia de calor por radiación**

Esta ganancia considera las ganancias a través de las partes no opacas (en muros: ventanas y acrílico, en techos: domo y tragaluz), de acuerdo a la Ecuación 31.

$$\varphi_r = \sum_{i=1}^5 \varphi_{ri} \quad (31)$$

Donde:

- φ_r : Ganancia de calor por radiación a través de las partes no opacas de la envolvente, en W .
- φ_{ri} : Ganancia de calor por radiación a través de las partes no opacas de la envolvente, en W . Las orientaciones a tomar en cuenta son techo, norte, este, sur y oeste.

La ganancia de calor por radiación solar a través de la componente con orientación i para el edificio proyectado, se calcula utilizando la Ecuación 32.

$$\varphi_{ri} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_i \times SE_{ij}] \quad (32)$$

Donde:

- φ_{ri} : Ganancia de calor por radiación solar a través de las partes no opacas de la envolvente, para cada una de las orientaciones, en W .
- Subíndice j : corresponde a las diferentes porciones transparentes (tales como una pared de vidrio) que conforman la envolvente.
- A_{ij} : Área de la porción transparente j con orientación i , en m^2 .

- CS_j : Coeficiente de sombreado del vidrio para cada una de las orientaciones, valor adimensional. La norma lo define como “la razón entre el calor por radiación solar que se gana a través de un vidrio específico y el calor por radiación solar que se gana a través de un vidrio claro de 3 mm de espesor, bajo idénticas condiciones.” Esta razón puede variar de cero a uno. Cada vidrio ganará un valor diferente de calor dependiendo de sus características por lo que se compara con uno de referencia. Este valor lo da el fabricante.
- FG_i : Ganancia de calor solar por orientación, W/m^2 . Su valor varía de acuerdo a la ciudad donde se encuentre, orientación de la ventana o si se trata de un tragaluz o domo (Ver Anexo 2).
- SE_{ij} : Factor de corrección por sombreado exterior, valor adimensional. Esto se considera en si es que hubieran elementos que afectarían el valor original del coeficiente de sombreado. Los casos a tomar en cuenta son ventanas con volado, ventanas remetidas, uso de parasoles. Se toma en cuenta las dimensiones de la ventana, así como la orientación y latitud donde se encuentren (Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6, Anexo 7).

b. Cálculo de ganancia de calor del edificio de referencia

Para el edificio de referencia, el cual será la base para la comparación, se consideran para los componentes de la envolvente los parámetros contenidos en el Cuadro 33. Éstas serán las únicas variables tomadas en cuenta siendo la orientación, dimensiones en planta, elevación y condiciones de colindancia similares al edificio original o proyectado.

Cuadro 33: Características del edificio para uso habitacional de referencia

| Techo | | | |
|----------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Parte | Porcentaje del área total (%) | Coefficiente global de transferencia de calor - K (W/m²K) | |
| Opaca | 100 | Ver Anexo 2 | |
| Transparente | 0 | - | |
| Pared | | | |
| Parte | Porcentaje del área total (%) | Coefficiente global de transferencia de calor - K (W/m²K) | Coefficiente de sombreado (CS) |
| Fachada opaca | 90 | Ver Anexo 2 | - |
| Fachada transparente | 10 | 5.319 | 1 |
| Colindancia opaca | 100 | Ver Anexo 2 | - |

FUENTE: CCNNPURRE (2011)

- **Ganancia de calor por conducción (φ_c)**

El cálculo de ganancia de calor por conducción para el edificio de referencia se realiza análogamente al del edificio proyectado, como se indica en la Ecuación 29.

Para el caso de la Ecuación 30, por tratarse del edificio de referencia varían los datos a considerar como se indica a continuación:

- A_{ij} : Ver Cuadro 33.
- K_j : Para paredes opacas ver Anexo 2. Para las partes transparentes de techos considerar el valor de 5.952 W/m² K, mientras que para partes transparentes de las paredes considerar 5.319 en W/m² K.

- **Ganancia de calor por radiación**

Para la ganancia de calor por radiación del edificio de referencia se considera también la Ecuación 31 como en el caso del edificio proyectado.

Para el edificio de referencia se utiliza la Ecuación 32, prescindiendo del factor de corrección por sombreado exterior, quedando de esta manera (Ecuación 33):

$$\varphi_{ri} = \sum_{i=1}^5 [Ar_i \times CSr_i \times FG_i] \quad (33)$$

Donde:

- φ_{ri} : Ganancia de calor por radiación solar a través de las partes no opacas de la envolvente, para cada una de las orientaciones, en W.
- Subíndice j: corresponde a las diferentes porciones transparentes (tales como una pared de vidrio) que conforman la envolvente.
- A_{ij} : Área de la porción transparente j con orientación i, en m². Ver Cuadro 33.
- CS_j : Coeficiente de sombreado del vidrio. Ver Cuadro 33.
- **FG_j** : Ganancia de calor solar por orientación, W/m². Su valor varía de acuerdo a la ciudad donde se encuentre, orientación de la ventana o si se trata de un tragaluz o domo (Ver Anexo 2).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

A continuación se citan los materiales que fueron utilizados para la realización de la presente investigación:

- Software: Microsoft Word 2010, Microsoft Excel 2010, QGIS Desktop 2.12.2, Sketchup Make 2015.
- Hardware: Laptop HP dv4, Impresora Canon MP495
- Bibliografía relacionada al tema de investigación.
- Indicadores: Dirección y velocidad del viento obtenida del Senamhi, temperatura promedio mensual, temperatura promedio mensual mínima y temperatura promedio mensual máxima (Hijmans *et al.*, s.f.) y radiación solar (Hertz, 1891).

3.2. MÉTODOS

3.2.1. ANÁLISIS DE NORMATIVAS SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES

En esta etapa se realizará la búsqueda de información bibliográfica de los países Argentina, Chile y México las cuales abarquen temas de clasificación climática y eficiencia energética. De estas normativas se analizarán las diferentes variables y criterios que consideran cada una de ellas y el tipo de cálculo que realizan, así como el resultado final obtenido y su forma de presentación.

Para la realización de la síntesis se utilizará una matriz comparativa de normativas que incluirá tres variables: Objetivos, Parámetros y Resultados.

3.2.2. IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EL PLANTEAMIENTO DE ESTUDIOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

En base a la matriz comparativa de normativas y la recopilación bibliográfica se plantearán cuatro criterios a ser incluidos dentro de la propuesta metodológica. Además se realizará el análisis a profundidad de algunos de estos parámetros para poder incluirlos de manera más precisa en la metodología a proponer, en base a su influencia y las condiciones del país.

a. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Es necesario que cada país posea una clasificación climática acorde a su territorio sobre la cual se pueda apoyar cualquier evaluación de eficiencia energética debido a que el factor climático, especialmente la temperatura, tiene influencia en el comportamiento de transferencia calorífica de la edificación.

Para esta investigación se propondrá una clasificación climática para el Perú con el fin de simplificar el número de zonas climáticas en las que otros autores han dividido el territorio. Una gran cantidad de divisiones puede llegar a complicar el análisis en lugar de hacerlo de sencilla aplicación para los usuarios.

Para esta propuesta de clasificación climática se considerará principalmente el factor de temperatura y elevación (ambos de naturaleza complementaria) porque, de acuerdo a la metodología propuesta para la evaluación del balance térmico, la temperatura es un valor que representa el aspecto climático dentro de la evaluación. Además se realizará la comparación con las otras las diferentes clasificaciones climáticas que distintos autores han realizado para el territorio peruano (indicadas en los capítulos anteriores) para ver el grado de similitud entre ellas y la clasificación propuesta.

Primeramente se necesitará obtener fuentes de información relacionada a temperatura y a la topografía del Perú para tomarla como punto de partida para definir la clasificación climática propuesta. Con este fin se utilizarán imágenes satelitales descargadas de la página web WorldClim – Global Climate Data (Hijmans *et al.*, s.f.), la cual ha sido desarrollada por un equipo de la Universidad de California, Berkeley. Esta página provee imágenes satelitales con información de temperatura promedio mensual, temperatura

promedio mensual mínima y temperatura promedio mensual máxima correspondientes al periodo 1950-2000; además provee imágenes satelitales de elevación. La resolución de la grilla de las imágenes es de 1 km².

La información provista por WorldClim ha sido interpolada, de acuerdo a lo indicado en la página web, de las siguientes fuentes:

- *Database* climáticas compiladas por Global Historical Climatology Network (GHCN), la FAO, WMO, el Centro Internacional para Agricultura Tropical (CIAT), R-Hydronet, y otras databases menores de Australia, Nueva Zelanda, países nórdicos europeos, Ecuador, Perú, Bolivia, entre otros.
- *Database* de elevación del satélite SRTM.
- El *software* ANUSPLIN, el cual interpola información utilizando *splines*.

Para la realización de la clasificación climática propuesta se utilizarán las imágenes de temperatura promedio mensual para cada uno de los meses del año. Debido a que se trata de una clasificación general a nivel macro, se promediarán las imágenes de los doce meses para obtener la información de temperatura promedio anual. Además, se utilizará la imagen satelital de elevación sobre el nivel del mar.

Luego de determinar las zonas climáticas de acuerdo a la clasificación propuesta, será necesario representar de una manera sencilla las características del aspecto principal que se utilizará como representación de las condiciones climáticas dentro de la metodología propuesta: la temperatura. Con este fin se procederá a definir curvas de temperatura anuales comparadas con la temperatura de confort.

b. ORIENTACIÓN - RADIACION

• DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA SOLAR

El ángulo de incidencia solar dependerá de la latitud donde se encuentre la edificación. En el caso de Perú, a causa de su cercanía al Ecuador, la radiación solar incide principalmente sobre los techos. Sin embargo, el efecto de la radiación solar se manifiesta a través de la radiación que entra por los vanos transparentes (ventanas). Por esta razón se realizará el

análisis de incidencia solar enfocado sobre los muros para determinar la adecuada orientación del volumen, no considerando la existencia de elementos transparentes en el techo.

El análisis de incidencia de radiación solar para muros se realizará en función a la clasificación de climas propuesta para esta investigación, obteniéndose así las orientaciones más adecuadas para aberturas y cerramientos por cada zona.

Con esta información se podrá conocer la orientación por la que incidirá la radiación dependiendo de la época del año y si se trata de horas de la mañana o de la tarde. De esta manera se podrá realizar un análisis comparativo entre la incidencia de radiación solar hallada y las gráficas de temperatura para cada zona climática propuesta en el Capítulo 3.2.2.a.

Para poder realizar este análisis, primero se comparará el valor de la temperatura de confort con cada una de las temperaturas que corresponderían a las condiciones de mañana de verano, tarde de verano, mañana de invierno y tarde de invierno para determinar si es necesaria o no la radiación solar para compensar las variaciones. Para este análisis se utilizarán las gráficas de temperatura del Capítulo 3.2.2.a. Al no contar con información horaria para el análisis, se considerará que las temperaturas para las horas de la mañana son representadas por la curva de temperatura promedio mensual mínima, mientras que las temperaturas de las horas de tarde son representadas por la curva de temperatura promedio mensual máxima. De igual manera, se considerarán los meses de verano de diciembre a marzo y los de invierno de junio a setiembre. Este proceso se repetirá para cada una de las zonas climáticas.

- **DETERMINACIÓN DE VALORES DE RADIACIÓN SOLAR**

La cantidad de radiación incidente (W/m^2-h) dependerá de la latitud donde se encuentra la edificación, la orientación y la época del año.

De acuerdo a valores conocidos de radiación solar, se interpolarán los valores para obtener la radiación solar en las orientaciones intermedias.

c. BALANCE TÉRMICO - AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS MATERIALES

En las normativas latinoamericanas estudiadas se ha podido observar la importancia que se le da al parámetro de transmitancia térmica (es decir, a los materiales de los que está compuesta la envolvente) dentro de sus metodologías para la determinación de la eficiencia energética. Por esta razón será necesario estudiar el comportamiento térmico de los materiales en función de las condiciones que podrían causar variaciones e influir en su valor.

Esto se logrará mediante la realización de un modelo de características constructivas constantes que permitirá investigar el comportamiento del valor de transmitancia térmica (U) (considerado de igual valor para techos y muros en este caso), buscando obtener un balance térmico final de pérdidas y ganancias de calor que tienda a cero bajo diferentes condiciones de temperatura ambiental de un lugar específico.

3.2.3. DEFINICIÓN DE PROPUESTA METODOLÓGICA

Una vez identificadas las variables y los criterios de evaluación de acuerdo al análisis de las normativas y bibliografía estudiada, se buscará realizar una propuesta metodológica que incluya los siguientes aspectos:

- Técnicos: Entre ellos se tiene a la orientación, ganancia de calor interno, uso de materiales, entre otros.
- Económicos: Análisis de costos incurridos a causa de las pérdidas y ganancias de calor.
- Planteamiento de propuesta de solución.

3.2.4. ESTUDIO DE CASO

El estudio de caso considerado para aplicar la metodología ha sido el “Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología”. Éste se encuentra en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el distrito de La Molina, ciudad de Lima. Su ubicación se puede apreciar en la Figura 42.

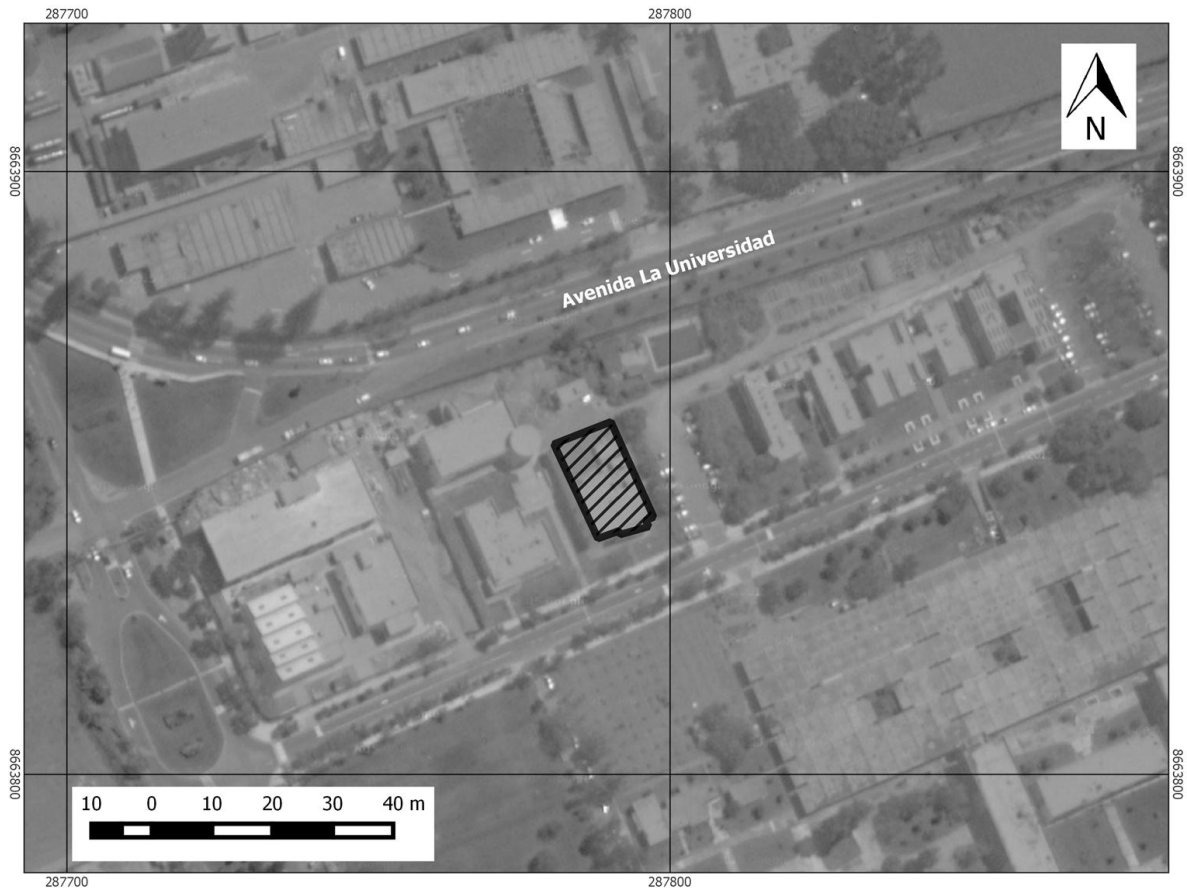


Figura 42: Ubicación del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Datum WGS84-18S. Escala: Gráfica.

FUENTE: Elaboración propia con imagen de Google Earth.

Las áreas de ocupación consideradas en el proyecto se muestran en el Cuadro 34.

Cuadro 34: Áreas de ocupación de la edificación

| Ambiente | Área (m²) |
|-----------------|-----------------------------|
| Primer piso | 738.43 |
| Segundo piso | 540.75 |
| Escalera | 18.38 |
| Total | 1297.56 |

FUENTE: (D + M ARQUITECTOS S.A.C., 2011)

El proyecto se plantea en dos niveles, los cuales se especifican a continuación, de acuerdo a la información del Expediente Técnico de la obra (D + M ARQUITECTOS S.A.C., 2011).

- Primer Nivel: Este nivel dispone de 4 accesos. En el ingreso principal se encuentra la zona de recepción donde se encuentra una escalera hacia el segundo nivel. También se ubica el laboratorio de enseñanza, la jefatura y la biblioteca, así como la zona propiamente del laboratorio donde se encuentran la sala de trabajo, los cubiles de siembra, la sala de preparación, almacenes, salas de equipo de bioquímica, sala de refrigeración, procesamiento de muestras, entre otros ambientes. Así mismo se dispone de una escalera complementaria de emergencia.

- Segundo Nivel: En este nivel se encuentra la sala de foto documentación y videoconferencias. Además, está la zona de biología molecular con su respectiva sala de trabajo, sala de equipos, almacenes, sala de cómputo, cuarto de crecimiento de plantas, entre otros ambientes.

En la Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46 se muestran los diferentes frentes del Laboratorio.



Figura 43: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación SSE

FUENTE: Fotografía tomada por el autor.



Figura 44: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación NEE

FUENTE: Fotografía tomada por el autor.



Figura 45: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación NNO

FUENTE: Fotografía tomada por el autor.



Figura 46: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología – Orientación SOO

FUENTE: Fotografía tomada por el autor.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MATRIZ COMPARATIVA DE NORMATIVAS

Como se ha podido observar en la información presentada en la sección anterior, existen diferentes normativas en relación a la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones. Cada una presenta el uso de distintas metodologías y parámetros para poder lograr dar un veredicto final. A continuación se presenta el comparativo realizado entre las normativas desarrolladas previamente.

En la normativa peruana EM.110: “Confort térmico y lumínico con eficiencia energética”, se han establecido 9 zonas bioclimáticas de acuerdo a las características meteorológicas de cada zona del territorio. Para cada una de ellas se han determinado diferentes valores de transmitancia térmica máxima para muros, techos y pisos los cuales deben ser comparados con la transmitancia térmica propia del material componente de la envolvente, según corresponda. Para el cálculo de la transmitancia térmica de cada uno de los elementos se está considerando el tipo de envolvente del que se trata, así como los materiales que la componen.

En la norma IRAM 11603: “Aislamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina”, se divide al territorio argentino en zonas cálidas (hacia el norte) y zonas frías (hacia el sur). Cada una de estas zonas han sido subdivididas de acuerdo a diferentes criterios: las primeras en función a la temperatura efectiva corregida, mientras que para las segundas se consideran los grados días de calefacción.

En el caso de la normativa argentina IRAM 11605: “Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de Habitabilidad en Viviendas. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos”, se dan valores máximos de transmitancia térmica independientes para condiciones de invierno y verano y, a su vez, se subdividen en función a las condiciones de confort higrotérmico que se desee tener: Nivel A (Recomendado),

Nivel B (Medio) o Nivel C (Mínimo). Para la condición de verano se considera, además, la ubicación de la edificación en las diferentes zonas bioambientales (IRAM 11603), mientras que para la condición de invierno se toma la temperatura exterior de diseño. Se menciona también que para las zonas V (Fría) y VI (Muy fría) no será necesario realizar la verificación en periodo de verano. Otro aspecto mencionado es la necesidad del análisis de puentes térmicos y evitar condensación.

En Argentina también existe la norma IRAM 11900: “Etiqueta de Eficiencia Energética de Calefacción para Edificios”. Ella ayuda a determinar en cuál de los 8 niveles de eficiencia energética se encontraría la envolvente de la edificación en estudio en función a los parámetros: resistencia térmica superficial interior, transmitancia térmica, variación de temperatura y área superficial de los materiales que la componen.

Para el caso de Chile, la norma NCh1079.Of2008: “Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico” establece una zonificación climático habitacional en función a las características climáticas del territorio. Para cada una de las zonas se dan valores máximos recomendados de transmitancia térmica de la envolvente para muros, techumbre opaca, piso ventilado y elementos vidriados verticales con los cuales se busca conseguir confort con eficiencia energética.

En el caso de la “Modificación al Decreto Supremo N°47 de Vivienda y Urbanismo de 1992” (Chile), se han delimitado 7 zonas térmicas en función a los grados día de calefacción anuales. Para estas zonas se dan valores máximos de transmitancia térmica para techumbre, muros y pisos ventilados.

En ambas normativas chilenas se definen valores máximos de transmitancia térmica. Sin embargo, en la “Modificación al Decreto Supremo N°47 de Vivienda y Urbanismo de 1992” el único parámetro con el que se han definido esos valores es en función a los grados-día de calefacción, lo cual corresponde a condiciones de invierno. La norma NCh1079.Of2008 sí considera para la determinación de sus valores máximos recomendados de transmitancia térmica en función a la zonificación climática del territorio, la cual abarca en su totalidad los efectos de los parámetros climáticos, los cuales varían a lo largo del territorio.

En el caso de México, en la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009: “Industria de la Construcción – Aislamiento Térmico – Valor ‘R’ para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana – Especificaciones y verificación”, donde se han determinado zonas térmicas en función a los grados-día. Para cada una de ellas se dan valores mínimos de resistencia térmica total (inverso a la transmitancia térmica máxima) para techos, muros y entrepisos ventilados.

En México también existe la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011: “Eficiencia energética en edificaciones. Envoltente de edificios para uso habitacional” la cual hace el comparativo de la ganancia de calor entre el edificio proyectado y un edificio de referencia. Esta normativa, además de incluir la ganancia de calor por conducción de los materiales, incluye el factor de ganancia de energía por radiación solar a través de las partes no opacas de la envoltente, la cual no se ha visto considerada en las demás normativas.

Una característica de éste método radica en que el cálculo de ganancia por conducción de materiales se realiza independientemente para cada una de diferentes las orientaciones del edificio. Es decir, que para cada cara se considera su área y los materiales que la conforman así como la temperatura equivalente promedio. La norma provee una tabla donde se dan los valores de la temperatura equivalente promedio para cada orientación y de acuerdo al material de la envoltente y la ciudad donde está ubicado el edificio. Para el caso de la temperatura interior del edificio, la norma también provee el dato a considerar de acuerdo a la ciudad.

En el Cuadro 35 se muestra un comparativo de todas las normativas consideradas en el presente estudio.

Cuadro 35: Comparativo de normas latinoamericanas

| País | Norma | Objetivos | Parámetros | Resultado |
|------------------|--|--|--|---|
| Perú | Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer zonas del territorio de la República del Perú de acuerdo a criterios bioclimáticos para la construcción, indicando las características de cada zona. - Establecer lineamientos o parámetros técnicos de diseño para el confort térmico con eficiencia energética para cada zona bioclimática definida. | <ul style="list-style-type: none"> - Características climáticas con las que se han definido las zonas bioclimáticas (temperatura media anual, humedad relativa media, velocidad de viento, dirección predominantes de viento, radiación solar, horas de sol, precipitación anual, altitud). - Área de superficies de los elementos de la envolvente - Transmitancia térmica de los materiales de la envolvente - Resistencia térmica superficial exterior de los materiales - Resistencia térmica superficial interior de los materiales - Espesor del material - Coeficiente de transmisión térmica del material | Valores calculados de transmitancia térmica máximos para cada tipo de envolvente, los cuales deben ser comparados con los valores máximos de transmitancia térmica dados por la norma para muros, techos y pisos para cada zona bioclimática. |
| Argentina | Norma IRAM 11603: Aislamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer la zonificación de la República Argentina de acuerdo con un criterio bioambiental, indicando las características climáticas de cada zona. - Proveer pautas generales para el diseño, evaluación de orientaciones favorables y cumplimiento del asoleamiento mínimo de edificios destinados a viviendas. Se establece la caracterización de los microclimas y su evaluación desde el punto de vista del acondicionamiento térmico de edificios. | <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura efectiva corregida (para climas cálidos) - Voto medio predecible de confort térmico - índice de Belding-Hatch - Grados días de calefacción (para climas fríos) | Determinación de 6 zonas bioambientales para el territorio argentino. |

Cuadro 35: Continuación

| País | Norma | Objetivos | Parámetros | Resultado |
|-----------|--|---|--|--|
| Argentina | Norma IRAM 11605: Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de Habitabilidad en Viviendas. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer los valores máximos de transmitancia térmica aplicables a muros y techos de edificios destinados a viviendas, de manera de asegurar condiciones mínimas de habitabilidad. - Establecer criterios de evaluación de los puentes térmicos | <p>Definición de tres niveles de confort higrotérmico (recomendado, medio y mínimo) definidos por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Condición de invierno: <ul style="list-style-type: none"> a) Verificación de no existencia de condensación superficial, considerando temperaturas interiores de diseño dadas. b) Verificaciones de confort, definidas a través de la diferencia entre la temperatura interior de diseño y la temperatura superficial de un cerramiento c) Determinación de valores máximos de transmitancia térmica admisible para cada temperatura exterior de diseño que verifique simultáneamente las condiciones en a) y b). - Condición de verano: Análogamente al punto b) | Valores máximos de transmitancia térmica para verano e invierno para muros y techos según niveles de confort higrotérmico. Para la condición de invierno se considera la temperatura exterior de diseño, mientras que para la condición de verano se toma en cuenta la zona bioambiental del proyecto (IRAM 11603). |
| | Norma IRAM 11900: Etiqueta de Eficiencia Energética de calefacción para edificios | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer una metodología simplificada para el cálculo del nivel de eficiencia energética de las envolventes de los edificios para habitación humana y las características de la etiqueta de eficiencia energética. | <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia térmica superficial interior - Transmitancia térmica - Variación entre la temperatura externa e interna de la edificación - Área superficial de materiales | Niveles de eficiencia energética (de la A a la H) que indicarán qué tan eficientemente energética es la envolvente del edificio. |
| Chile | NCh1079.Of2008: Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico | <ul style="list-style-type: none"> - Establecer una zonificación climático habitacional para Chile, con el objeto de facilitar un adecuado diseño arquitectónico. El criterio utilizado para la determinación de los valores de transmitancia térmica máximos es el de conseguir confort con eficiencia energética (disminución del uso de calefacción). | <ul style="list-style-type: none"> - Parámetros climáticos del territorio chileno (temperatura, insolación, soleamiento, humedad relativa, nubosidad, precipitación, vientos predominantes). | <ul style="list-style-type: none"> - Determinación de 9 zonas climáticas en función a sus características climáticas - Se da tabla de transmitancias térmicas de la envolvente máximas para elementos opacos verticales (muros), techumbre opaca, pisos ventilados y elementos vidriados verticales. |

Cuadro 35: Continuación

| País | Norma | Objetivos | Parámetros | Resultado |
|---------------|--|---|-------------------------------------|--|
| Chile | Modificación a Decreto Supremo N° 47 de Vivienda y Urbanismo de 1992 | <ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la calidad de vida de la población mediante un mejor confort térmico y los beneficios que ello reporta: mayor habitabilidad, mejor salud, menor contaminación y mayor durabilidad de la vivienda. - Optimizar y/o reducir el consumo de combustibles destinados a calefaccionar y refrigerar las viviendas. - Promover y estimular la actividad productiva, industrial, académica, gremial y de investigación aplicada. | - Grados día de calefacción anuales | <ul style="list-style-type: none"> - Determinación de 7 zonas térmicas en función a los Grados día de calefacción anuales. - Tabla de valores máximos de transmitancia térmica y valores mínimos de resistencia térmica para techumbre, muros y pisos ventilados para cada zona térmica - Porcentajes máximos de superficie vidriada respecto a parámetros verticales de la envolvente. |
| México | NMX-C-460-ONNCCE-2009 "Industria de la Construcción - Aislamiento Térmico - Valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana - Especificaciones y verificación" | - Establecer las especificaciones de resistencia térmica total que deben cumplir las viviendas a través de su envolvente para mejorar las condiciones de habitabilidad y para disminuir la demanda de energía utilizada para condicionar térmicamente su interior, de acuerdo a la zona térmica del país en que se ubique. | - Grados día | <ul style="list-style-type: none"> - Determinación de 8 zonas térmicas en función a los grados día. - Determinación de valores mínimos de Resistencia Térmica Total para techos, muros y entresijos ventilados, de acuerdo al propósito del aislamiento (aislamiento mínimo, para habitabilidad, para ahorro de energía) y de acuerdo a la zona térmica donde se encuentre. |

Cuadro 35: Continuación

| País | Norma | Objetivos | Parámetros | Resultado |
|--------|--|---|---|--|
| México | Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011. Eficiencia energética en edificaciones.- Envolverte de edificios para uso habitacional | - 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. | <p>Uso de los siguientes parámetros para el edificio proyectado y el de referencia</p> <p>- Ganancia de calor por conducción: Coeficiente global de transferencia de calor, Área de la porción de acuerdo a la orientación, Temperatura equivalente promedio para la orientación, Temperatura interior del edificio.</p> <p>- Ganancia de calor por radiación: Área de la porción transparente por orientación, Coeficiente de sombreado del vidrio para cada orientación, Ganancia de calor solar por orientación, Factor de corrección por sombreado exterior (no aplica para el edificio de referencia)</p> <p>Para el edificio de referencia, uso de tablas con valores definidos de porcentajes de área total de partes opacas y transparentes, así como de coeficiente global de transferencia de calor para techos. Para paredes también se dan por porcentajes del área total de fachada opaca, transparente y colindancia opaca, como coeficiente global de transferencia de calor y coeficiente de sombreado.</p> | - Comparación entre la ganancia de calor del edificio proyectado y la ganancia del calor del edificio de referencia. La ganancia de calor del edificio proyectado debería ser menor o igual al del edificio de referencia. |

FUENTE: Elaboración propia.

En función al análisis de las metodologías utilizadas en las diferentes normativas, se ha realizado la siguiente crítica comparativa entre ellas.

En el caso de la normativa peruana, se observa que es restrictiva en su análisis al considerar sólo el aspecto de la ganancia por transmitancia térmica, y aún más específicamente, sólo el parámetro de transmitancia térmica como índice comparativo para determinar si la edificación es eficientemente energética. Aislar el problema en función a un único parámetro no se considera recomendable. Por otro lado, es adecuado que los valores máximos de transmitancia térmica dados sean variables de acuerdo a los diferentes climas del territorio ya que el país posee una alta variabilidad climática.

En relación a la normativa argentina, se puede observar que ésta se ha desarrollado a lo largo de los años.

Inicialmente, de la norma IRAM 11603 destaca la clasificación climática realizada en función a la utilización de parámetros según las condiciones medioambientales del territorio argentino, principalmente dependiendo de si la zona en estudio se encuentra en un área cálida o fría. Para el caso de las zonas cálidas, es adecuado el uso de la temperatura efectiva corregida al no necesitarse mayores restricciones de análisis; mientras que para las zonas frías, por encontrarse cerca al polo sur, es correcto el uso de los grados días de calefacción ya que estas zonas se enfocan principalmente en el uso de sistemas de calefacción a causa de sus bajas temperaturas. Para el territorio peruano sería adecuado un tipo de análisis similar debido a las grandes variaciones climáticas existentes.

La norma IRAM 11605 se enfoca en proveer condiciones de habitabilidad restringiendo los valores máximos de transmitancia térmica para invierno y verano, considerando la clasificación bioclimática presentada en la IRAM 11603. Aquí se vuelve a hacer evidente la priorización del uso de la transmitancia térmica como un factor determinante para poder determinar cómo serán las condiciones de la vivienda, centrando nuevamente el análisis en función a los materiales.

La norma IRAM 11900 da un paso más adelante al proveer un rango de valores para cuantificar la eficiencia energética en edificaciones. Para este caso se utiliza el parámetro τ_m , el cual se encuentra en función a la resistencia térmica, transmitancia térmica y la

variación de temperatura. Aquí se evidencia que nuevamente se toma en cuenta el efecto de la capacidad de transmitancia de calor por parte de la envolvente como un factor importante para el análisis. En esta norma ya no se menciona el uso de las zonas bioclimáticas, sino que el aspecto climático se incluye al considerar en el cálculo a la temperatura exterior. Lo innovador de esta normativa es la existencia de niveles de eficiencia energética, lo cual es un aspecto que se debería incorporar para permitir que los usuarios determinen de una manera más sencilla si una edificación tiene una buena o mala calificación.

En el caso de la normativa chilena NCh1079.Of2008, se ha delimitado el territorio en zonas en función a los parámetros climáticos característicos de cada una de ellas, además de proveer valores máximos de transmitancia térmica para cada uno de los elementos de la envolvente (muros, techos, pisos ventilados y elementos vidriados verticales) asemejándose a la norma peruana EM.110 y a la argentina IRAM 11605.

Mientras tanto, en la Modificación al Decreto Supremo N°47 de Vivienda y Urbanismo de 1992, se promueve una zonificación de todo el territorio chileno en función a los grados-día de calefacción anuales. Debido al uso de este parámetro para caracterizar al país, se entiende que este tipo de análisis está centrado para condiciones de invierno. Aquí se sigue la conocida metodología de proveer valores de transmitancia térmica máxima para cada tipo de envolvente y por la zona térmica de la que se trate. Para que no haya discrepancias entre los valores máximos de la NCh1079.Of2008 y los de esta reglamentación térmica, se asegura que los indicados en la primera son menores que los presentes en la segunda.

En relación a México, la norma NMX-C-460-ONNCCE-2009 también tiene la metodología de proveer valores mínimos de resistencia térmica total (inverso a la transmitancia térmica). Por el contrario, la norma NOM-020-ENER-2011, la cual utiliza una metodología diferente a las vistas anteriormente, al considerar la ganancia de calor por conducción y también la ganancia por radiación, lo cual no se había visto utilizado hasta ahora. Otro aspecto a mencionar es que su forma de evaluación considera el comparativo entre la ganancia de calor del edificio en condiciones normales, la cual debe ser menor a la ganancia de calor de un edificio de referencia. El cálculo para este edificio de referencia se realiza considerando parámetros específicos de porcentajes de áreas opacas y

transparentes, coeficiente global de transferencia de calor para las partes transparentes y coeficiente de sombreado, los cuales son provistos por la norma.

Luego de haber analizado todas estas normativas, se puede llegar a la conclusión que el efecto de la ganancia por materiales (representado a través de la transmitancia térmica) es el principal parámetro considerado para cuantificar las condiciones térmicas de las edificaciones. Sin embargo, al haber revisado otras bibliografías se observa que hay otras fuentes de ganancia de calor que deberían ser consideradas en el análisis para poder tener un acercamiento más preciso a las condiciones reales de la edificación. Por esta razón, se destaca la normativa mexicana NOM-020-ENER-2011 al considerar el efecto de la radiación en su análisis.

Además se ha visto la importancia de las clasificaciones realizadas para cada uno de los distintos países, y cómo de acuerdo a la ubicación espacial de la edificación en estudio, variarán los parámetros a cumplirse. En el caso del Perú, debido a su fuerte variación climática a lo largo del territorio, es necesario contar con una clasificación que considere en conjunto varios aspectos climáticos, y no sólo se centre en condiciones de invierno, como los grados-día de la clasificación climática chilena o la argentina.

De acuerdo a toda la información estudiada y comparada, la normativa peruana actual (EM.110) debería incluir un análisis térmico con una perspectiva más amplia. En esta investigación se presentará una propuesta metodológica para poder alcanzar este fin.

4.2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

En función a la bibliografía revisada se ha observado que los países latinoamericanos estudiados han seguido la tendencia de agrupar su territorio en zonas de acuerdo a características en común para posteriormente aplicarles diferentes exigencias a la envolvente de sus edificaciones. Principalmente la clasificación se realiza en función a (1) los grados-día y (2) las características climáticas.

Dado que el Perú se caracteriza por tener una gran variación climática lo largo de su territorio, el uso de los grados-día no sería adecuado al limitar otros factores climáticos que

se podrían tener en cuenta. Además que este parámetro se utiliza principalmente para condiciones frías, las cuales no se dan en todas las zonas del país.

A pesar que actualmente existen diferentes clasificaciones climáticas del Perú, se ha visto conveniente proponer una clasificación propia que sea más simple que las existentes actualmente.

En relación al análisis de eficiencia energética, lo que se ha podido apreciar en las normativas estudiadas es que principalmente centran su análisis en un cálculo de la transmitancia térmica de la envolvente, la cual ha de ser comparada con valores de tablas. El hecho que esta metodología sea bastante usada indica la importancia de los materiales utilizados en la envolvente en la transmisión de calor. Actualmente el Perú ya cuenta con una normativa en relación a eficiencia energética la cual se basa en estos estándares de análisis. Sin embargo, para esta investigación se ha considerado realizar un estudio más profundo de las variables que inciden en este proceso térmico.

Dependiendo del tipo de uso que tenga la edificación, el calor aportado por parte de los equipos y personas que estarían dentro del ambiente no debería ser despreciado, especialmente porque en ciertos casos estas ganancias pueden llegar a ser altas por la cantidad de equipos presente.

El aporte de la radiación solar debe ser considerado, tal como se indica en la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011. Este valor varía de acuerdo a la latitud, estación del año y orientación. Además que ante ventanas mal orientadas puede representar una ganancia de calor de gran magnitud.

El aporte o pérdida de calor a causa de la convección también debe ser considerado. Este cálculo será variable de acuerdo a la diferencia entre la temperatura externa y la temperatura interna. Debido a las variaciones de temperaturas externas que tiene el territorio peruano, se ha visto conveniente la utilización de este parámetro.

En función al análisis conjunto de todas las variables previamente mencionadas, se realizará un balance térmico final, para determinar qué tan eficientemente energética es la edificación en estudio.

A continuación se presenta el análisis más a profundidad de algunos de los parámetros considerados en la metodología, lo cual permitirá su aplicación más precisa dentro del estudio.

4.2.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

En función a estos datos de imágenes satelitales y a la comparación con las clasificaciones climáticas propuestas por los autores mencionados en el Capítulo 2.2, se definieron las siguientes 6 zonas climáticas:

- Costa Sur: definida de acuerdo a la clasificación de Javier Pulgar Vidal, considerándose una altura máxima de 500 msnm.
- Costa Norte: definida con el mismo criterio que la zona Costa Sur. Esta fue independizada de la costa Sur por tener mayor temperatura promedio anual de acuerdo al análisis de la imagen de temperatura promedio anual. También se comparó con la clasificación dada por Köppen, donde se observa que también se hace la diferenciación entre el clima de la costa norte y la sur.
- Valle: La zona de valle, en el lado Oeste de la cordillera de los Andes, varía en el rango de 500-3500 msnm, mientras que en el lado Este abarca desde los 2000 msnm hasta los 3500 msnm, en función a la zonificación de Pulgar Vidal, la comparación con la clasificación Thorntwaite y el análisis de la imagen satelital de temperatura promedio anual.
- Puna: Como simplificación, se han agrupado las zonas Suni, Puna y Janca de la clasificación de Pulgar Vidal, las cuales corresponden a alturas mayores a 3500 msnm. El área obtenida ha sido comparada con la clasificación de Thorntwaite, Köppen y la de Rayter-Zúñiga, observándose que representan áreas semejantes.
- Selva Alta: La Selva Alta, se ha definido en función a rangos de elevación referencialmente similares a la clasificación de Pulgar Vidal y comparando con la clasificación de Köppen.
- Selva baja: La Selva Baja ha sido determinada mediante la comparación con la clasificación de Thorntwaite, y a su vez con la clasificación de Pulgar Vidal que considera zonas ubicadas al lado este de la cordillera de los Andes, con elevaciones

hasta 400 msnm, sin embargo, para un mejor ajuste se ha considerado la elevación máxima igual a 500 msnm.

En la Figura 47 se muestra el mapa del Perú sectorizado de acuerdo a las zonas climáticas propuestas.

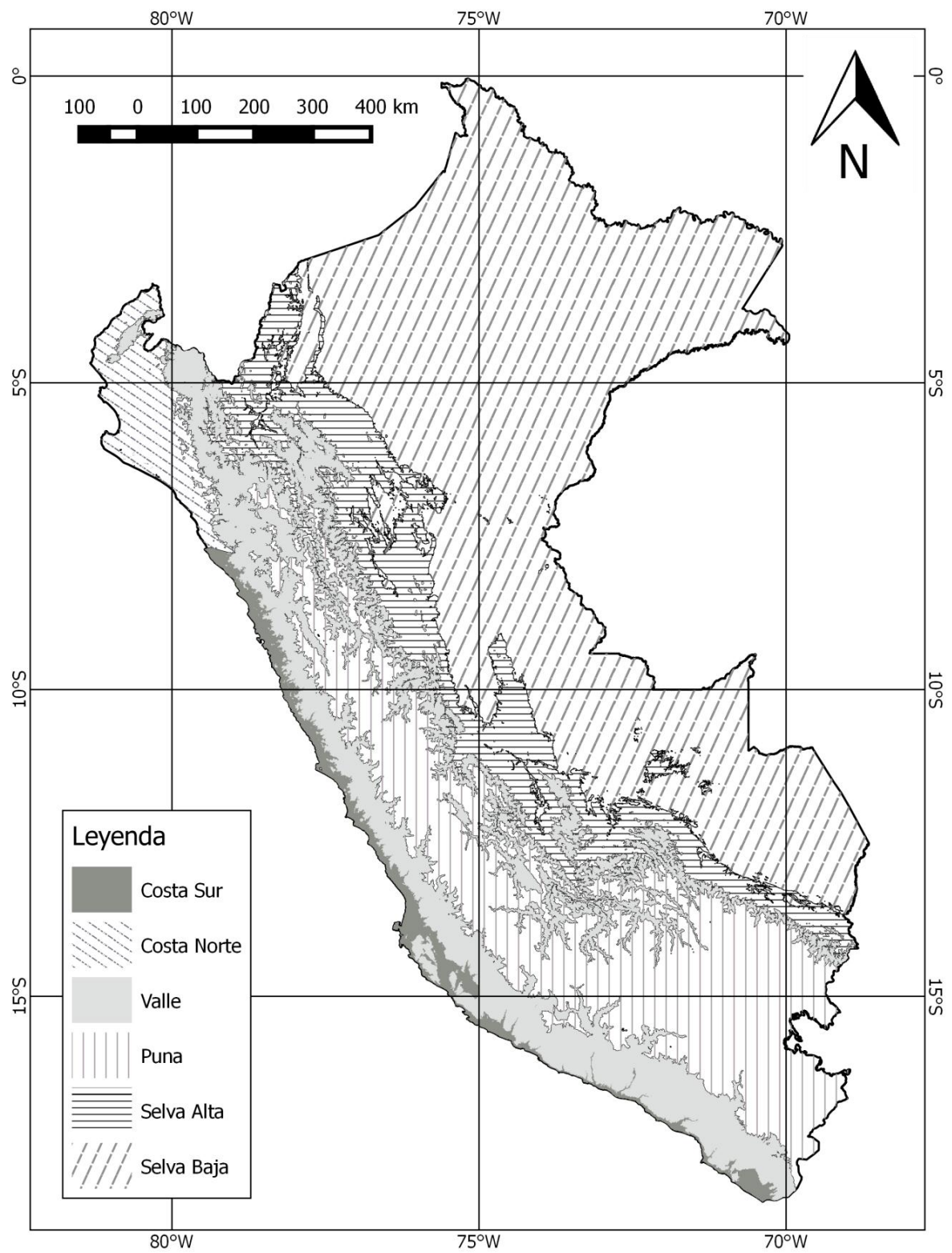


Figura 47: Mapa de zonas climáticas propuestas – Datum WGS84

FUENTE: Elaboración propia.

Para cada una de las áreas que comprenden las zonas climáticas, y utilizando las imágenes satelitales de temperatura promedio mensual, temperatura promedio mensual mínima y temperatura promedio mensual máxima se definieron las siguientes gráficas características para cada clima y su comparación con la temperatura de confort (Ver Figura 48, Figura 49, Figura 50, Figura 51, Figura 52, Figura 53 y Figura 54).

La temperatura de confort se ha definido de acuerdo a Tricomi (1992), quien indica que la zona de confort del ser humano se encuentra algunos grados por encima y por debajo de los 21°C, mientras que en el Anexo III: “Condiciones ambientales de los lugares de trabajo” del Real Decreto 486/1997 (INSHT, 1997), se indica que: “la temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27° C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25° C”. En función a estos datos se ha determinado que para este caso se utilizará una temperatura de confort promedio igual a 21°C.

Superponiendo las curvas de temperatura de confort con la temperatura promedio mensual en las figuras indicadas, se ha tomado como consideración que los meses cuyas temperaturas medias promedio se encuentren por encima de la temperatura de confort serán denominados “periodo cálido”; análogamente, los meses cuyas temperaturas media promedio se encuentren por debajo de la temperatura de confort serán denominados “periodo frío”.

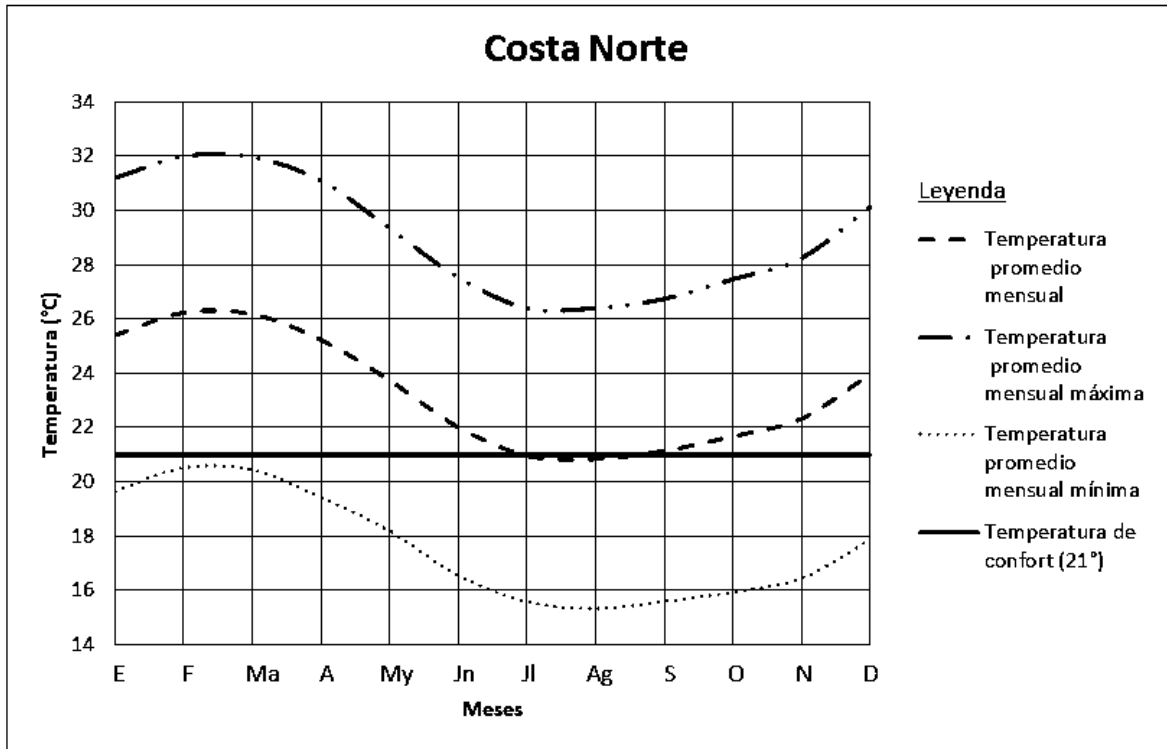


Figura 48: Curvas características de temperatura (°C) – Costa Norte

FUENTE: Elaboración propia.

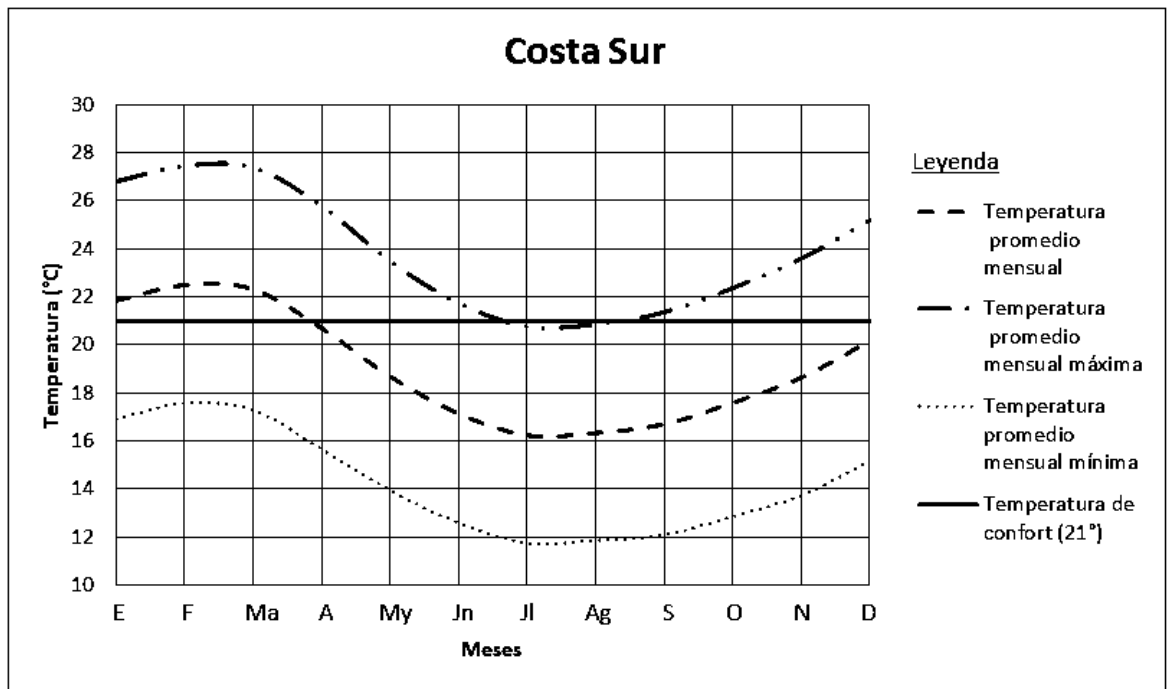


Figura 49: Curvas características de temperatura (°C) – Costa Sur

FUENTE: Elaboración propia.

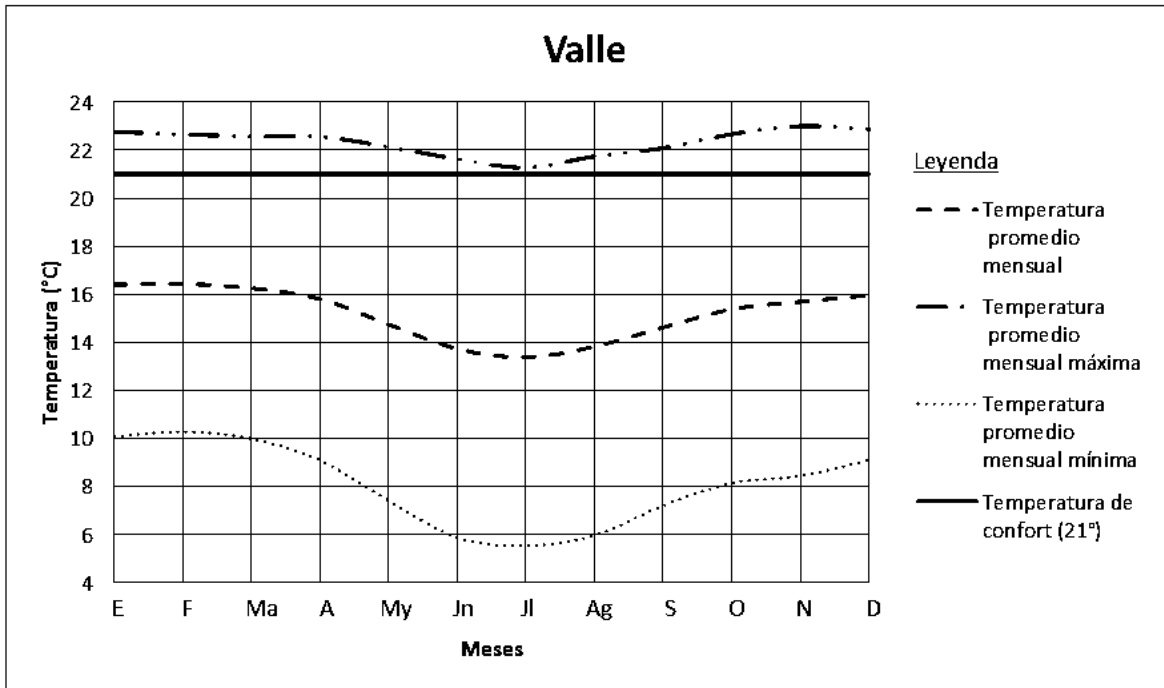


Figura 50: Curvas características de temperatura (°C) – Valle

FUENTE: Elaboración propia.

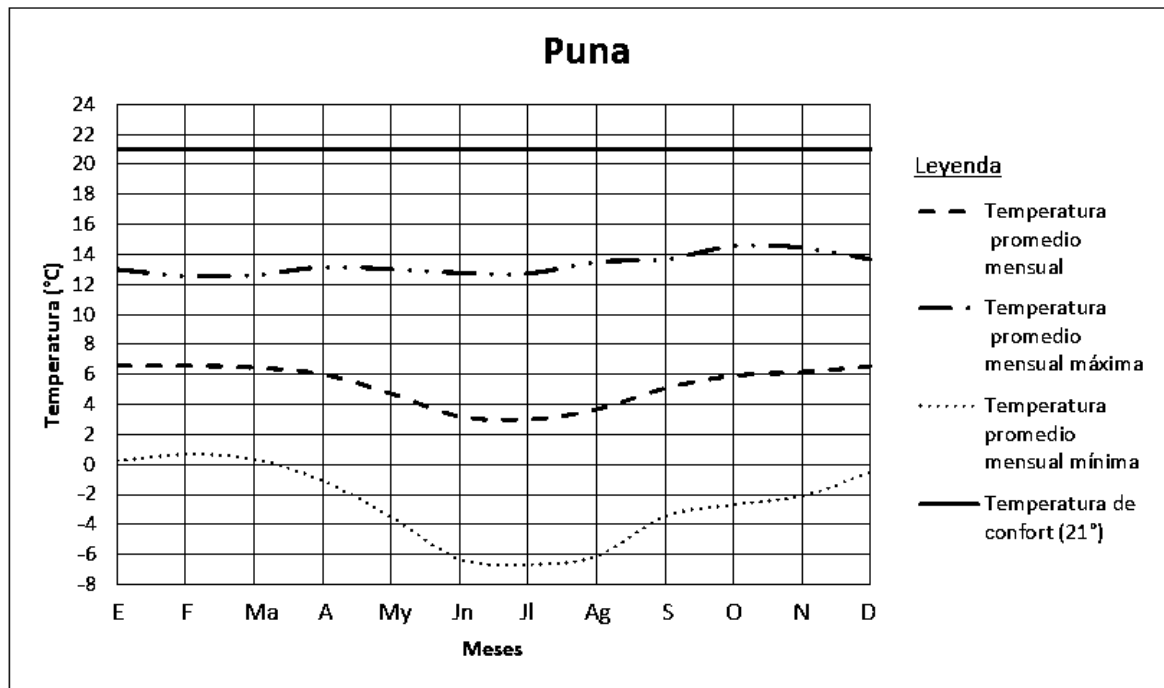


Figura 51: Curvas características de temperatura (°C) – Puna

FUENTE: Elaboración propia.

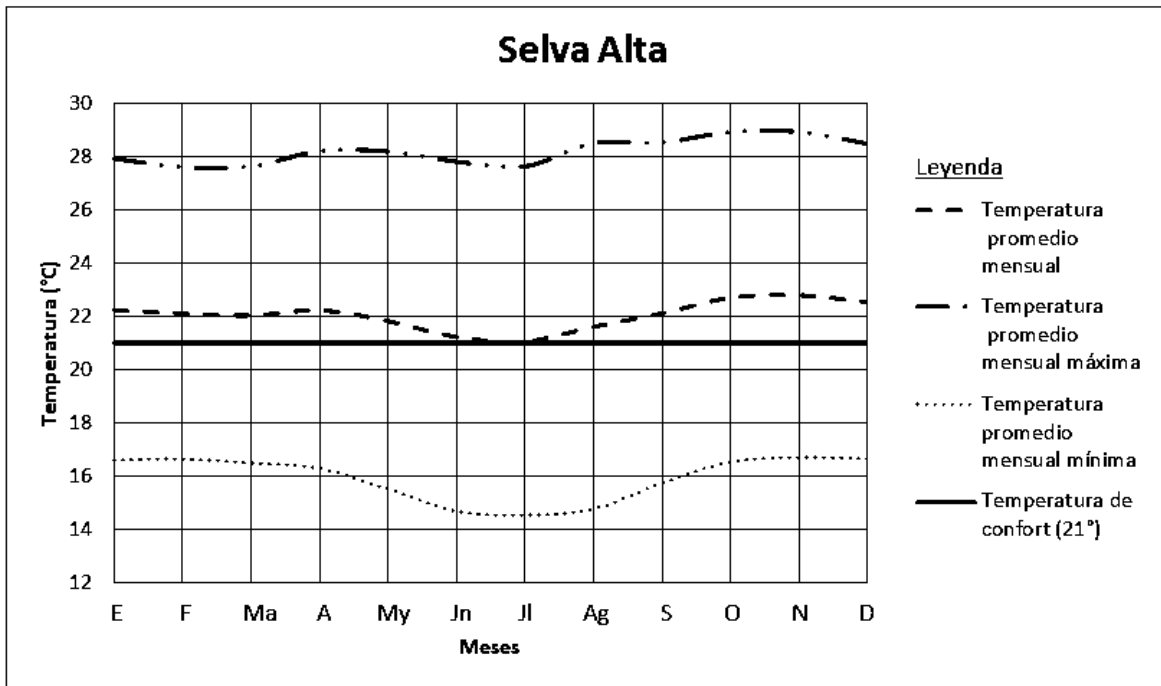


Figura 52: Curvas características de temperatura (°C) – Selva Alta

FUENTE: Elaboración propia.

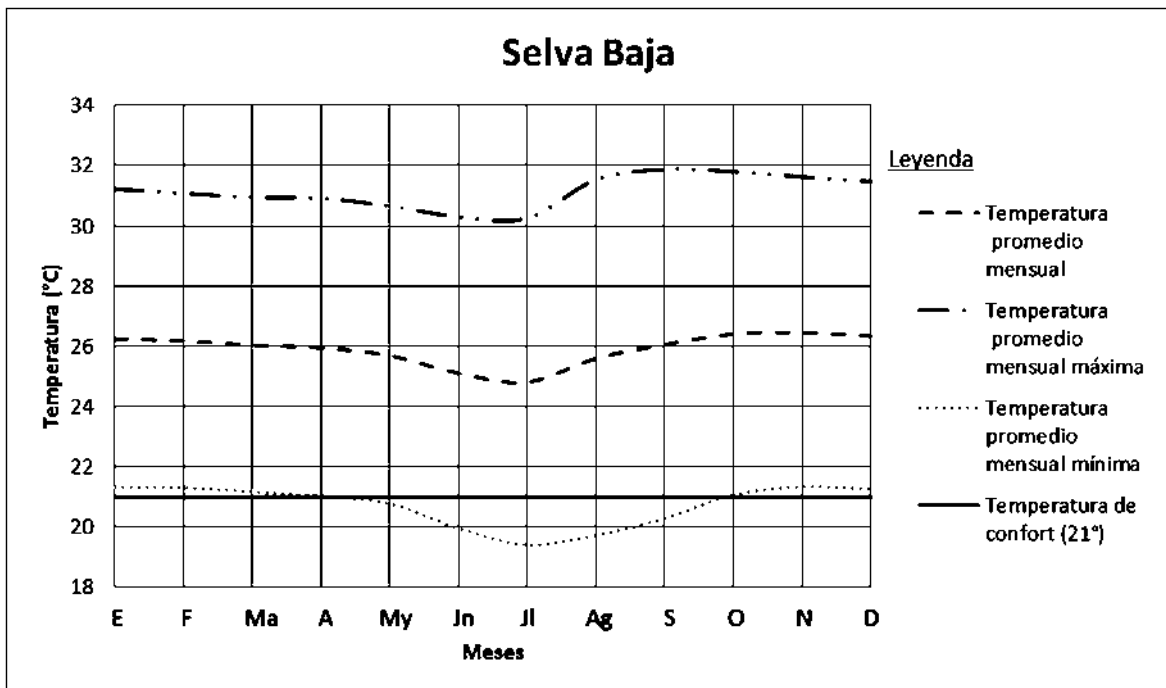


Figura 53: Curvas características de temperatura (°C) – Selva Baja

FUENTE: Elaboración propia.

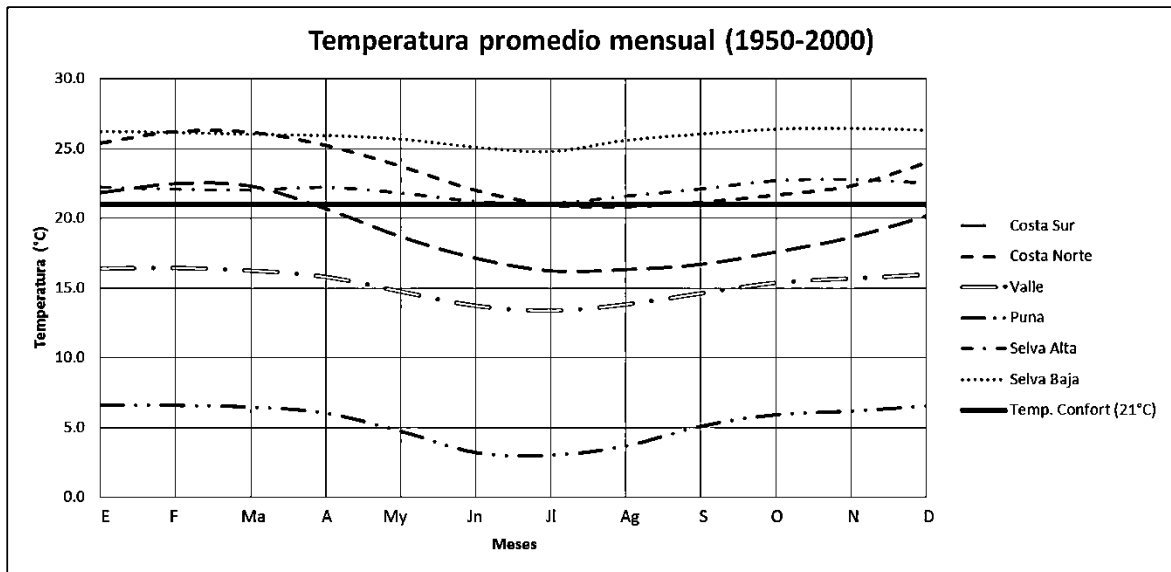


Figura 54: Temperatura promedio mensual para cada clima (°C)

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.2. ORIENTACIÓN – RADIACIÓN

a. DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA SOLAR

Inicialmente se efectuó el análisis de asoleamiento para las latitudes más representativas que abarca el territorio peruano, las cuales son 4°, 8°, 12° y 16° latitud sur.

Según la metodología indicada por Linares (1992) en su obra “Sol y Viento en Diseño”, se procedió a hallar los ángulos de incidencia solar para las 9 horas (hora representativa de la mañana) y las 15 horas (hora representativa de la tarde) para las estaciones de verano e invierno y para cada una de las latitudes consideradas con el fin de estudiar el rango de incidencia solar (Ver Figura 55).

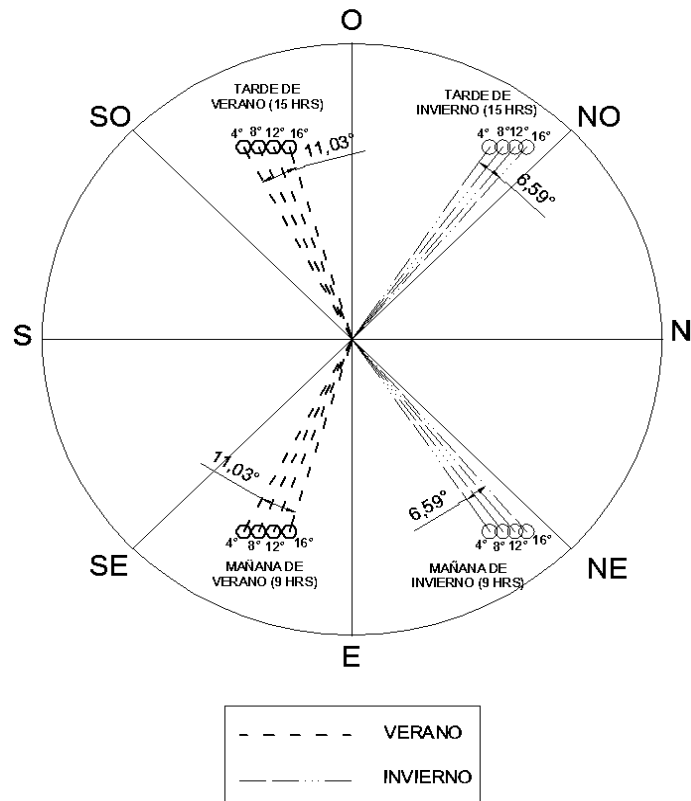


Figura 55: Ángulos de incidencia solar para las 9 horas y las 15 horas en el verano e invierno en las latitudes 4°, 8°, 12° y 16° sur

FUENTE: Elaboración propia.

En este análisis se observó que entre los 4° y los 16° de latitud, el ángulo de incidencia solar para elementos verticales (muros y aberturas) varía en 11.03° para el verano y 6.59° para el invierno. Con esta información se puede decir que, para las latitudes que abarca Perú, el ángulo de radiación solar para muros no tendrá una variación significativa. Por esta razón se ha considerado utilizar el promedio de los ángulos mencionados para tener la información de radiación promedio de las mañanas y las tardes e invierno y verano, como se observa en la Figura 56.

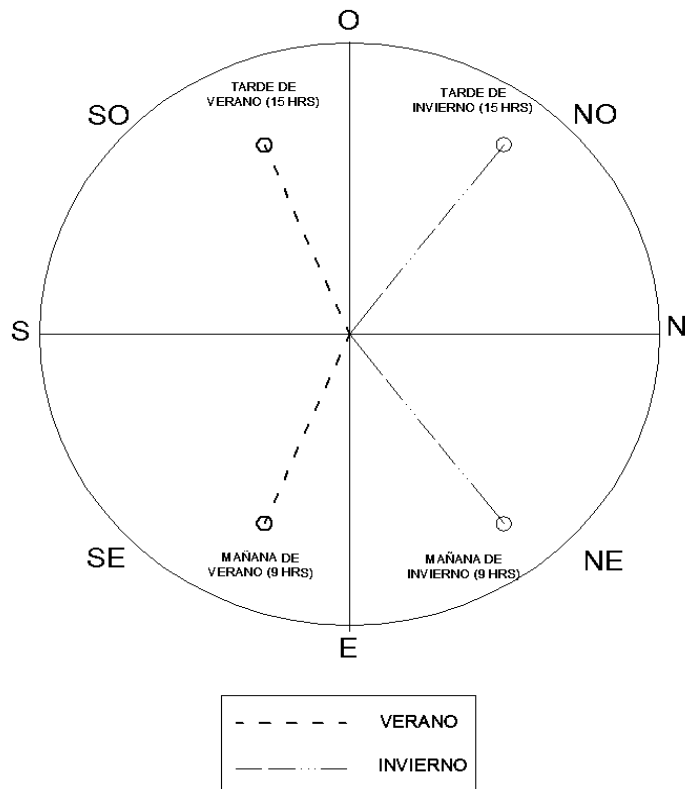


Figura 56: Ángulos representativo de incidencia solar para las 9 horas y las 15 horas en el verano e invierno en las latitudes 4°, 8°, 12° y 16° sur

FUENTE: Elaboración propia.

Se estableció un análisis comparativo entre la incidencia de radiación solar hallada y las gráficas de temperatura para cada zona climática propuesta en el Capítulo 4.2.1, obteniéndose el Cuadro 36: Recomendaciones de orientación en función al análisis de asoleamiento.

Cuadro 36: Recomendaciones de orientación en función al análisis de asoleamiento

| Zona Climática | Estación climática y hora del día | Temp. Ambiental en relación a la Temp. de Confort | Necesidad de Radiación Solar | Principal orientación de aberturas | Principal orientación de cerramientos |
|-----------------------|--|--|-------------------------------------|---|--|
| Costa Norte | Verano AM | Neutro | Neutro | NE | SOO-NO |
| | Verano PM | Superior | Protección en SOO | | |
| | Invierno AM | Inferior | Ganancia NE | | |
| | Invierno PM | Superior | Protección en NO | | |
| Costa Sur | Verano AM | Inferior | Ganancia SEE | SEE-NE | SOO |
| | Verano PM | Superior | Protección SOO | | |
| | Invierno AM | Inferior | Ganancia NE | | |
| | Invierno PM | Neutro | Neutro | | |
| Valle | Verano AM | Inferior | Ganancia SEE | SEE-NE | SOO |
| | Verano PM | Superior | Protección SOO | | |
| | Invierno AM | Inferior | Ganancia NE | | |
| | Invierno PM | Neutro | Neutro | | |

Cuadro 36: Continuación

| Zona Climática | Estación climática y hora del día | Temp. Ambiental en relación a la Temp. de Confort | Necesidad de Radiación Solar | Principal orientación de aberturas | Principal orientación de cerramientos |
|-----------------------|--|--|-------------------------------------|---|--|
| Puna | Verano AM | Inferior | Ganancia SEE | SEE-SOO-NO-NE | No es necesario desde el punto de vista de radiación solar |
| | Verano PM | Inferior | Ganancia SOO | | |
| | Invierno AM | Inferior | Ganancia NO | | |
| | Invierno PM | Inferior | Ganancia NE | | |
| Selva Alta | Verano AM | Inferior | Ganancia SEE | SEE-NE | SOO-NO |
| | Verano PM | Superior | Protección SOO | | |
| | Invierno AM | Inferior | Ganancia NE | | |
| | Invierno PM | Superior | Protección NO | | |
| Selva Baja | Verano AM | Neutro | Neutro | NE | SOO-NO |
| | Verano PM | Superior | Protección SOO | | |
| | Invierno AM | Inferior | Ganancia NE | | |
| | Invierno PM | Superior | Protección NO | | |

FUENTE: Elaboración propia.

b. DETERMINACIÓN DE VALORES DE RADIACIÓN

Linares (2011)⁴, presenta los valores de radiación solar por orientaciones y fechas para las diferentes latitudes en función a la información de Puppo y Kadono, los cuales se muestran en el Cuadro 37.

Cuadro 37: Radiación solar por orientaciones y fechas

| RADIACIÓN SOLAR (W/m²-h) | | | |
|---|---------------------|----------------|----------------|
| | 21 Mar./Set. | 21 Jun. | 21 Dic. |
| LATITUD 0° (Fuente: Hertz, 1981) | | | |
| S | 116 | 38 | 315 |
| SE/SW | 233 | 112 | 298 |
| E/O | 300 | 252 | 252 |
| NE/NW | 233 | 298 | 112 |
| N | 116 | 315 | 38 |
| HORIZONTAL | 562 | 465 | 465 |
| LATITUD 6° (Fuente: Hertz, 1981 procesada por Linares, 2011) | | | |
| S | 66.67 | 55.83 | 319.17 |
| SE/SW | 195 | 93.33 | 313.33 |
| E/O | 275.83 | 236.67 | 268.33 |
| NE/NW | 238.33 | 333.33 | 128.33 |
| N | 125.83 | 391.67 | 65.83 |
| HORIZONTAL | 631.67 | 519.17 | 627.5 |

⁴ Linares, E. 2011. Curso de Diseño Rural (entrevista). Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cuadro 37: Continuación

| RADIACIÓN SOLAR (W/m²-h) | | | |
|--|---------------------|----------------|----------------|
| | 21 Mar./Set. | 21 Jun. | 21 Dic. |
| LATITUD 8° (Fuente: Hertz, 1981) | | | |
| S | 87 | 29 | 251 |
| SE/SW | 204 | 87 | 271 |
| E/O | 291 | 233 | 262 |
| NE/NW | 262 | 315 | 126 |
| N | 141 | 369 | 54 |
| HORIZONTAL | 552 | 427 | 519 |
| LATITUD 12° (Fuente: Hertz, 1981 procesada por Linares, 2011) | | | |
| S | 81.5 | 29 | 218.5 |
| SE/SW | 188 | 90 | 263.5 |
| E/O | 292 | 238.5 | 268 |
| NE/NW | 277.5 | 355 | 137.5 |
| N | 161 | 434.5 | 59.5 |
| HORIZONTAL | 564.5 | 440.5 | 524.5 |
| LATITUD 16° (Fuente: Hertz, 1981) | | | |
| S | 76 | 29 | 186 |
| SE/SW | 172 | 93 | 256 |
| E/O | 293 | 244 | 274 |
| NE/NW | 293 | 395 | 149 |
| N | 181 | 500 | 65 |
| HORIZONTAL | 577 | 454 | 530 |

Para obtener la radiación solar en las orientaciones intermedias se ha realizado una interpolación en función a los valores del Cuadro 37 para las orientaciones SEE, SSO, SEE, SOO, NEE, NOO, NNE y NNO para la latitud 12°. En el Cuadro 38 se muestran los valores obtenidos.

Cuadro 38: Valores de radiación solar (W/m²-h) interpolados para latitud 12°

| RADIACIÓN SOLAR (W/m²-h) | | |
|--|----------------|----------------|
| | 21 Jun. | 21 Dic. |
| LATITUD 12° (Puppo interpolada) | | |
| SSE-SSO | 38.19 | 247.37 |
| SEE-SOO | 162.79 | 277.81 |
| NEE-NOO | 304.42 | 198.29 |
| NNE-NNO | 393.65 | 87.10 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.3. BALANCE TÉRMICO – AISLAMIENTO TÉRMICO DE LOS MATERIALES

Para el presente análisis se consideró una edificación con dimensiones de envolvente y aberturas definidas como se indica en el Cuadro 39 y en la vista en planta mostrada en la Figura 57

Cuadro 39: Cuadro de datos de la geometría de la edificación modelo

| CUADRO DE DATOS | | | | |
|--|--------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
| Elemento | Orientación | Altura (m) | Ancho (m) | Área (m²) |
| Puerta | Este | 2.1 | 1.0 | 2.1 |
| Ventanas | Sur | 1.2 | 2.0 | 2.4 |
| | Norte | 0.6 | 2.0 | 1.2 |
| | Oeste | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Muros (excluyendo área de ventanas) | Este | 2.4 | 6.0 | 12.3 |
| | Sur | 2.4 | 6.0 | 12.0 |
| | Norte | 2.4 | 6.0 | 13.2 |
| | Oeste | 2.4 | 6.0 | 14.4 |
| Techo | - | - | - | 36.0 |
| Volumen | 86.4 | m ³ | | |

FUENTE: Elaboración propia.

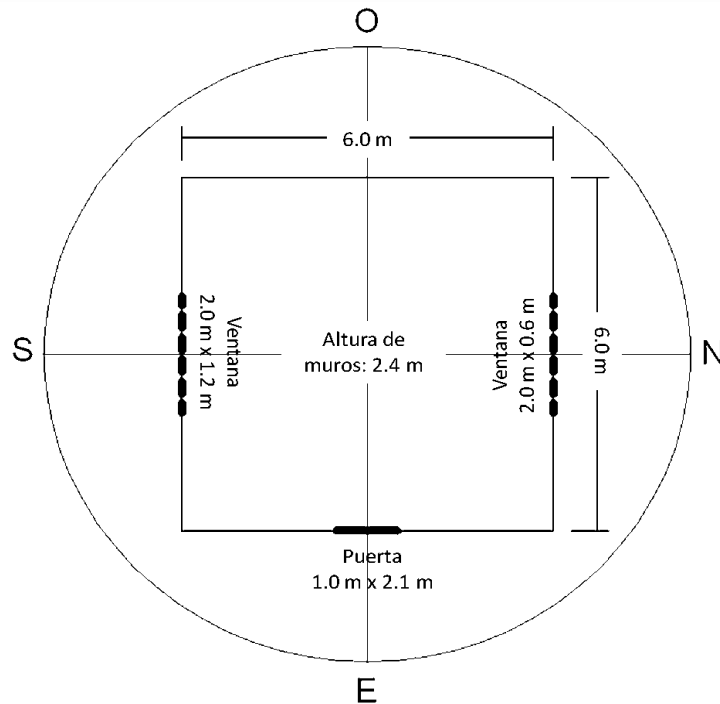


Figura 57: Características constructivas – Planta

FUENTE: Elaboración propia.

Para el balance térmico, la temperatura interna de la edificación que garantice el confort térmico de los usuarios se consideró igual a 21°C. La justificación del uso de este valor se encuentra en el Capítulo 4.2.1.

Para esta evaluación el aspecto climático se encontrará determinado por la temperatura externa, por lo cual ha sido tomada como variable. De esta manera, con los valores aleatorios considerados se han obtenido distintas variaciones de temperatura, lo cual permitirá conocer su influencia en el valor de la transmitancia térmica que logre obtener un balance térmico final igual a cero.

Consideraciones

- La edificación se encuentra en la latitud 12 °S.
- El análisis se ha realizado para los equinoccios (otoño y primavera) debido a que estas no son condiciones extremas (como se da en el caso de los solsticios de verano e invierno), sino que se trata de valores intermedios, adecuados para los fines referenciales de este cálculo preliminar.

- Los valores de radiación considerados se muestran en el Cuadro 40.

Cuadro 40: Valores de radiación (W/m²-h)

| Equinoccios (Otoño/Primavera) Mar/Sept 21 | |
|--|--------------------------------------|
| Latitud 12° | Radiación (W/m²-h) |
| S | 81.5 |
| E/O | 292 |
| N | 161 |

FUENTE: Linares (2011)⁵

- No se ha considerado la existencia de fuentes de ganancia de calor interno.
- El vidrio de las ventanas tiene un factor de ganancia solar del cristal igual a 0.85.
- Se ha considerado un valor de transmitancia térmica para ventanas igual a 6.25 W/m²°C y para puertas igual a 3.64 W/m²°C.
- Se ha considerado que el valor de transmitancia térmica (valor a ser determinado) es igual para techos y muros.
- La velocidad del viento en la zona se ha considerado igual a 2 m/s, valor promedio en función a información obtenida del Senamhi y del Atlas Eólico del Perú (MINEM, 2008).

Los resultados del análisis se pueden observar en el Cuadro 41.

⁵ Linares, E. 2011. Curso de Diseño Rural (entrevista). Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cuadro 41: Resultados del análisis

| Condición | Temperatura externa (°C) | Temperatura interna (°C) | Diferencia entre temperatura externa e interna (°C) | Transmitancia térmica calculada (W/m²-°C) |
|------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 1 | 0 | 21 | -21 | -0.91 |
| 2 | 6 | 21 | -15 | -0.88 |
| 3 | 12 | 21 | -9 | -0.79 |
| 4 | 18 | 21 | -3 | -0.37 |
| 5 | 20 | 21 | -1 | 0.88 |
| 6 | 20.5 | 21 | -0.5 | 2.76 |
| 7 | 20.9 | 21 | -0.1 | 17.80 |
| 8 | 21.1 | 21 | 0.1 | -22.88 |
| 9 | 21.5 | 21 | 0.5 | -7.84 |
| 10 | 22 | 21 | 1 | -5.96 |
| 11 | 24 | 21 | 3 | -4.71 |
| 12 | 26 | 21 | 5 | -4.46 |
| 13 | 30 | 21 | 9 | -4.29 |
| 14 | 33 | 21 | 12 | -4.24 |

FUENTE: Elaboración propia.

Con los resultados de los análisis de balance térmico se ha realizado el ploteo de variación de temperatura (diferencia entre la temperatura externa y la temperatura interna del local) versus transmitancia térmica calculada, como se puede ver en la Figura 58.

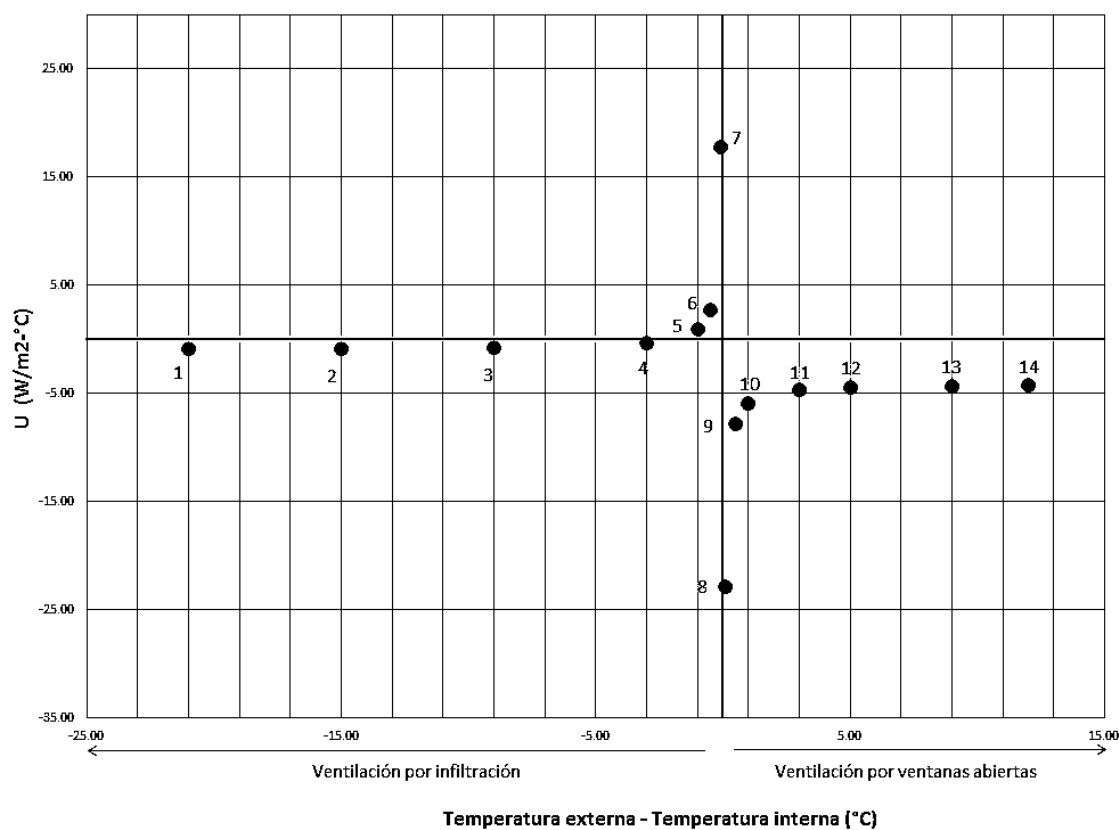


Figura 58: Valores de transmitancia térmica calculados ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) vs. Variación de temperatura ($^\circ C$)

FUENTE: Elaboración propia.

En la gráfica se observa el comportamiento de los valores de transmitancia térmica hallados para cada uno de los rangos de variación de temperatura. Los rangos negativos indican que la temperatura interna es mayor que la externa (climas fríos), mientras que los rangos positivos indican que la temperatura externa es mayor que la interna (climas cálidos).

Para una mayor variación de temperatura, el valor de la transmitancia tiende a ser menor, mientras que cuando las variaciones de temperatura son menores, la transmitancia es propensa a incrementarse.

De aquí se entiende que para los climas extremos, la transmitancia va a tener un valor más pequeño lo cual indica una mayor resistencia al paso del calor, es decir, se trata de un material más aislante. En cambio para los climas donde la temperatura externa y la interna

tienden a ser semejantes, la transmitancia va aumentando su valor a medida que el diferencial se vuelve menor, pues no necesita aislamiento con el medio externo que lo rodea.

Lo anterior explica que en el caso de los climas extremos (por ejemplo, en los muy calurosos o muy fríos) se necesita un material aislante que evite la ocurrencia de un desbalance interno a causa de estas importantes gradientes de temperatura. Mientras tanto, en los climas donde los niveles de temperatura son más estables, se necesita un material que deje ingresar el calor para mantener los niveles adecuados estables.

De igual manera, se observa que cuando la temperatura externa es mayor que la interna, los valores de transmitancia son negativos. Esto ocurre debido a que el sentido del calor es desde el exterior hacia el interior de la edificación. En cambio, cuando la temperatura interna es mayor que la externa, la transmitancia toma valores positivos indicando el movimiento contrario del flujo de calor (del interior al exterior).

4.3. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

A continuación se procederá a plantear los pasos de forma genérica para luego explicarlos detalladamente.

- 1) Pre-análisis de asoleamiento: Orientación de vanos y muros.
- 2) Análisis de ganancia de calor interno.
- 3) Análisis de ganancia de calor por radiación.
- 4) Análisis de materiales de la envolvente: Cálculo de ganancia o pérdida de calor.
- 5) Análisis de ventilación: Cálculo de ganancia o pérdida de calor.
- 6) Análisis de resultados.
- 7) Evaluación económica.
- 8) Propuestas de mejora.

4.3.1. PRE-ANÁLISIS DE ASOLEAMIENTO: ORIENTACIÓN DE VANOS Y MUROS

Como se mencionó anteriormente, debido a la cercanía del Perú al Ecuador, las edificaciones ubicadas en esta zona reciben constantemente la radiación sobre sus techos durante el año. En cambio, para el caso de la radiación que llega sobre los elementos verticales de la envolvente (muros y ventanas), ésta variará dependiendo de la orientación donde se encuentren, razón por la cual se ha visto relevante enfocar el análisis de asoleamiento sobre estos elementos.

En esta primera etapa se tendrá una primera aproximación de evaluación de la orientación del edificio con respecto al sol. Esto se realizará de acuerdo a la clasificación climática propuesta, aspecto que se ha visto que es considerado en las normativas estudiadas.

A continuación se presentan los pasos a tomar en consideración:

1. Ubicación de la zona bioclimática donde se encuentra la edificación.
De acuerdo a la Figura 47: Mapa de zonas climáticas propuestas – Datum WGS84, ubicar la zona bioclimática donde se encuentra la edificación.
2. Ubicación de la edificación en el plano cartesiano.
Ubicando la edificación en el plano cartesiano, determinar en qué orientación están dispuestos los muros y ventanas.
3. Orientación en función al análisis de asoleamiento.
Revisar el Cuadro 36: Recomendaciones de orientación en función al análisis de asoleamiento, de acuerdo a la zona climática definida en el Paso 1 y comparar las orientaciones actuales de muros y ventanas del edificio con las recomendadas en el Cuadro indicado.

4.3.2. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR INTERNO

El aspecto de ganancia de calor interno no se ha visto considerado en las normativas estudiadas. Ello es probable que sea a causa que es un parámetro muy variable

dependiendo de la actividad que se esté dando en la edificación. Para el caso de esta metodología se ha visto la necesidad de incluirlo debido a que puede llegar a significar un gran aporte de calor para la edificación.

Los puntos a seguir dentro de esta sección de la metodología son:

1. Determinación de agentes que suministran calor.

Por medio del análisis de las condiciones de uso de la edificación, determinar los agentes que intervienen suministrando calor. Entre ellos se encuentran equipos, personas, animales, productos.

2. Determinación del aporte calorífico: equipos, personas y/o animales, luminarias.

De la información del paso anterior, obtener información del aporte calorífico, expresado en watts, de acuerdo al número de horas de uso de cada uno de ellos.

4.3.3. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

Como se menciona en la norma mexicana NOM-020-ENER-2011, se debe incluir el efecto de la radiación solar en la ganancia de calor a través de vanos. Esto se considera debido a que se trata de un aporte de calor que será variable dependiendo de la época del año y de la orientación de vanos.

En función a las tablas de radiación incorporadas en el Capítulo 4.2.2.b., se procederá al cálculo del aporte calorífico por efecto de la radiación solar en cada una de las ventanas ubicadas en las diferentes orientaciones de la edificación, de acuerdo a los pasos indicados a continuación:

1. Identificación y cuantificación de las áreas de las ventanas de la edificación.

Calcular las áreas de todas las ventanas de la edificación y agruparlas por cada una de las orientaciones que les corresponda (norte, sur, etc.).

2. Determinación de la cantidad de radiación.

Determinar la cantidad de radiación incidente de acuerdo al Cuadro 37 y Cuadro 38, por cada orientación y la estación del año en la que se está realizando el análisis.

3. Determinación del factor de ganancia solar del cristal de la ventana.

Para determinar este factor, que depende del tipo de vidrio utilizado en las ventanas, utilizar los valores indicados en el Cuadro 10.

4. Cálculo de ganancia por radiación.

Aplicar la Ecuación 16.

4.3.4. ANÁLISIS DE MATERIALES DE LA ENVOLVENTE: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR

Como se ha comentado anteriormente, el análisis de la ganancia o pérdida de calor a través de los materiales de la envolvente es uno de los parámetros más comúnmente utilizados en las metodologías latinoamericanas.

A continuación se presentan los pasos a seguir en el análisis:

1. Identificación y cuantificación de las áreas de los elementos verticales y horizontales de la edificación.

Luego de definir los diferentes elementos verticales y horizontales de la edificación (muros, ventanas, techos, puertas, etc.), calcular las áreas en contacto con el exterior de cada uno de ellos.

2. Determinación del coeficiente de transmitancia térmica ($W/m^2\text{°C}$).

Para cada uno de los elementos determinados en el paso anterior, definir el material que lo compone y, a su vez, el correspondiente valor de transmitancia térmica ($W/m^2\text{°C}$). En caso se tratara de un material compuesto por varias capas de diferentes elementos, utilizar la Ecuación 9 para hallar el valor de transmitancia térmica específico para ese tipo de material.

3. Determinación de la diferencia entre la temperatura externa e interna.

Conociendo la diferencia entre la temperatura externa y la interna se podrá determinar el sentido del flujo calorífico. Si la temperatura externa es mayor que la interna, el flujo tendrá tendencia a ingresar a la edificación; en el caso contrario que la temperatura externa sea menor a la interna, la tendencia del flujo será a “escapar” hacia el exterior.

Para este análisis, se está considerando la temperatura interna como la temperatura óptima para la realización de una actividad específica, o también conocida como “temperatura de confort”.

En el caso de la temperatura externa, ésta dependerá de las condiciones climáticas características propias de cada lugar.

4. Cálculo de la ganancia o pérdida de calor por conducción a través de materiales.

Utilizar la Ecuación 6 para el cálculo de la ganancia de calor por conducción a través de materiales.

4.3.5. ANÁLISIS DE VENTILACIÓN: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR

Dentro del análisis de ventilación se evaluará independientemente la ventilación externa y la interna.

a. VENTILACIÓN EXTERNA

Inicialmente es importante conocer las condiciones de los vientos de la zona (velocidad y dirección) debido a que influenciarán el nivel de ventilación de la edificación. Esto se realizará independientemente de la época del año en la que se realice el análisis. Este paso permitirá tener una orientación de las ventanas de entrada y salida de aire para la edificación.

b. VENTILACIÓN INTERNA

En este paso, primero se debe determinar la época del año en la cual se va a realizar el análisis. Durante el periodo cálido la ventilación se dará por el flujo de viento que atraviese

las ventanas, las cuales se encontrarán abiertas. Por el contrario, en el caso de los periodos fríos, la ventilación se dará por infiltración al encontrarse las ventanas cerradas. A continuación se indican las metodologías a seguir para cada caso.

- **PERIODO CÁLIDO: VENTILACIÓN POR ÁREAS EFECTIVAS**

En el caso de los periodos cálidos del año, como se mencionó previamente, la ventilación de los ambientes de la edificación se dará por el flujo de aire que ingresará por las aberturas de las ventanas, recorriendo las áreas de paso interiores, hasta salir a través de las ventanas opuestas de acuerdo a lo indicado por Thorton (1984).

1. Determinación del área efectiva de ventilación según la Ecuación 14.
Según la metodología indicada, realizar el cálculo del área efectiva de ventilación.
2. Aplicación de la Ecuación 15.
Por medio de esta ecuación, determinar el valor del flujo de ventilación por áreas efectivas.

- **PERIODO FRÍO: VENTILACIÓN POR INFILTRACIÓN**

Durante los periodos fríos, el flujo de viento saldrá de la edificación por medio de la infiltración involuntaria a través de las rendijas de las ventanas, como lo menciona Koenigsberger (1977).

Para poder cuantificar esta ganancia, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Determinación de los volúmenes de ambientes que posean elementos verticales de la envolvente comunicados con el exterior.
Analizar qué ambientes de la edificación cumplen con esta condición y calcular sus volúmenes.

2. Determinación de los cambios por hora de cada uno de los ambientes.

Con el fin de determinar los cambios por hora de cada uno de los ambientes, utilizar el Cuadro 8.

3. Determinación de la diferencia entre la temperatura interna y externa

Ver Capítulo 4.3.4 ANÁLISIS DE MATERIALES DE LA ENVOLVENTE:
CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR

4. Aplicación de la Ecuación 12

Por medio de esta ecuación, determinar el flujo calorífico por infiltración.

4.3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder analizar el resultado final del análisis, será necesario realizar la sumatoria de las pérdidas y ganancias calculadas en los pasos anteriores para determinar el balance final y conocer el flujo neto de calor en la edificación. Una sumatoria positiva significaría que ésta se encuentra con un superávit de calor, mientras que un valor negativo significa un déficit de calor.

4.3.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se evaluará el factor económico para cuantificar cuál es el gasto en energía para calentar o enfriar el edificio de acuerdo a las condiciones iniciales de diseño de la edificación.

4.3.8. PROPUESTAS DE MEJORA

Se planteará propuestas en base a los resultados del cálculo precedente con las condiciones iniciales de diseño de la edificación. Luego, se realizará un nuevo cálculo de balance energético de la edificación incorporando las propuestas para la mejora de la eficiencia energética. También se incluirá un nuevo balance económico para conocer la mejora lograda en este aspecto.

4.4. CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL LABORATORIO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA

4.4.1. PRE-ANÁLISIS DE ASOLEAMIENTO: ORIENTACIÓN DE VANOS Y MUROS

a. UBICACIÓN DE LA ZONA BIOCLIMÁTICA DONDE SE ENCUENTRA LA EDIFICACIÓN

De acuerdo a la clasificación climática propuesta en la Figura 47: Mapa de zonas climáticas propuestas – Datum WGS84, el caso de estudio se encuentra ubicado en la zona Costa Sur.

b. UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN EN EL PLANO CARTESIANO

El esquema en planta del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología fue ubicado en el plano coordenado para determinar la orientación de cada una de sus caras, como se puede ver en la Figura 59.

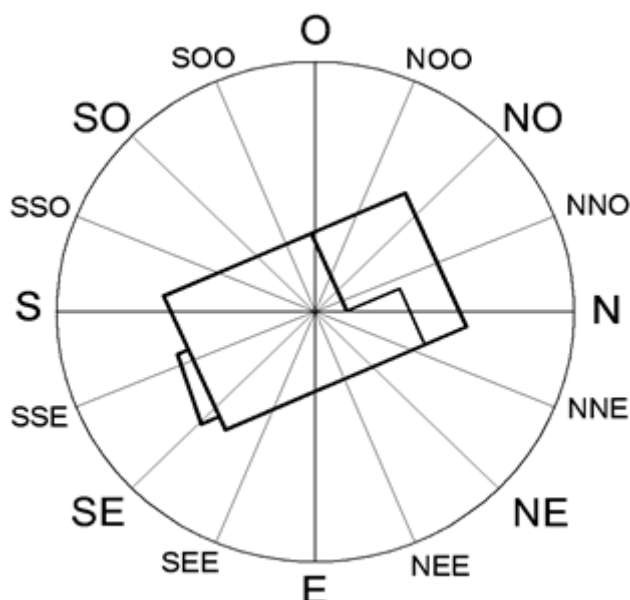


Figura 59: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología - Orientación del caso de estudio

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 59 se observa que las cuatro orientaciones de las caras de la edificación corresponden a SSE, NEE, NNO y SOO, existiendo ventanas en todas las caras como se muestra en el Cuadro 42.

Cuadro 42: Área de ventanas por orientación – Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología

| Orientación | Área de ventanas (m ²) |
|-------------|------------------------------------|
| SSE | 86.82 |
| NEE | 40.48 |
| NNO | 9.99 |
| SOO | 38.99 |

FUENTE: Elaboración propia.

c. ORIENTACIÓN EN FUNCIÓN AL ANÁLISIS DE ASOLEAMIENTO

De acuerdo a lo indicado en el Cuadro 36, las principales aberturas se deberían encontrar en la orientación SEE y NE, mientras que en la cara SOO se deberían encontrar los cerramientos o tener el mínimo de aberturas. Para este caso se observa que la cara SOO posee un área de aberturas bastante grande, lo cual no sería adecuado en función a lo indicado previamente. Las caras con más área de ventanas son la SSE y NEE, las cuales son cercanas a las orientaciones SEE y NE. Estas últimas son orientaciones que deberían tener mayor cantidad de aberturas según lo indicado en el Cuadro 36, por lo que se encontrarían adecuadamente ubicadas.

4.4.2. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR INTERNO

a. DETERMINACIÓN DE AGENTES QUE SUMINISTRAN CALOR

- Aforo de personas en la edificación

De acuerdo a la información proporcionada durante las visitas al Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología, éste cuenta con 19 personas trabajando tiempo completo (de 9 a.m. a 6 p.m.). De este total, 10 personas cumplen funciones de Laboratorio durante toda su jornada laboral, mientras que el resto cumple estas funciones a

medio tiempo y el restante lo dedica a actividades administrativas. Además, existen 8 personas que asisten eventualmente con un horario de 2 veces por semana durante 2 horas cada día.

- **Luminarias, equipos y artefactos eléctricos**

La lista de estos parámetros de ingreso ha sido determinada de acuerdo a las siguientes fuentes:

- a) Listado de luminarias y equipos indicados en el Expediente Técnico del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología (D + M ARQUITECTOS S.A.C., 2011).
- b) “Lista de Detallada de equipos y artefactos del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología” (Vásquez, 2011)⁶.
- c) Visitas al Laboratorio de Microbiología y Biotecnología en las fechas 20, 25, 27 y 30 de noviembre del 2015. Se verificó de la lista de equipos mencionados en los puntos a) y b), así como las potencias y las horas de uso de cada uno de ellos.

b. DETERMINACIÓN DEL APORTE CALORÍFICO: EQUIPOS, PERSONAS Y/O ANIMALES, LUMINARIAS

El aforo de personal así como su emisión calorífica se encuentra en el Anexo 8.

La información relacionada a luminarias se encuentra en el Anexo 9.

El listado de equipos y su potencia considerados para este estudio se puede encontrar en el Anexo 10.

Los resultados consolidados obtenidos de los anexos indicados anteriormente se presentan en el Cuadro 43.

⁶ Vásquez, J. 2011. Lista de Detallada de equipos y artefactos del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología [2011-01062/OSG] (carta). Lima, Oficina de Servicios Generales - UNALM.

Cuadro 43: Calor interno (Watts/día) – Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología

| Fuente | Calor interno (Watts/día) |
|---------------|----------------------------------|
| Personal | 32 936.16 |
| Luminarias | 40 712.00 |
| Equipos | 969 911.13 |
| Total | 1 043 559.29 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.4.3. ANÁLISIS DE GANANCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

a. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE LAS VENTANAS DE LA EDIFICACIÓN

En el Cuadro 42 se muestran las áreas de ventanas para cada una de las orientaciones. El segundo piso de la cara NNO se encuentra actualmente cubierto por una malla que cerca el invernadero, sin embargo, en este análisis aquel elemento ha sido obviado.

b. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE RADIACIÓN

En base a la Figura 49: Curvas características de temperatura (°C) – Costa Sur, se observa que la curva de temperatura promedio mensual se encuentra por encima de la temperatura de confort durante los meses de enero a marzo (periodo cálido), mientras que el resto del año se encuentra por debajo (periodo frío). Se conoce que la radiación varía de acuerdo a la época del año, por lo que será necesario realizar el análisis de radiación para ambos periodos.

En función al Cuadro 38, se determinaron los valores de radiación para las orientaciones SSE, NEE, NNO y SOO. Como simplificación se ha considerado que los valores de radiación para el solsticio de verano corresponden a los periodos cálidos y que los valores durante el solsticio de invierno corresponden a los periodos fríos.

c. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE GANANCIA SOLAR DEL CRISTAL DE LA VENTANA

Los vidrios utilizados en la mampara y ventanas de la edificación oscilan entre 10mm y 6mm de espesor, respectivamente. Para determinar el valor del factor de ganancia solar (“K”) en función al espesor del vidrio, se utilizaron estos valores y se contrastaron con los indicados en el Cuadro 10, definiéndose un valor igual a 0.755.

d. CÁLCULO DE GANANCIA POR RADIACIÓN

Aplicando la Ecuación 16, se determinaron los valores de ganancia de calor a causa de la radiación solar indicados en el Cuadro 44 y Cuadro 45. Se puede observar que para ambos casos, la edificación se encuentra con un superávit de calor, siendo éste mayor durante el periodo cálido.

Cuadro 44: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo cálido

| Orientación | Ganancia de calor por radiación solar (Watts) |
|--------------------|--|
| SSE | 16 216.90 |
| NEE | 6 059.78 |
| NNO | 657.19 |
| SOO | 8 176.80 |
| Total (Watts) | 31 110.67 |
| Total (Watts/día)* | 373 328.04 |

*Se consideran 12 horas de radiación solar al día.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 45: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo frío

| Orientación | Ganancia de calor por radiación solar (Watts) |
|-----------------------|--|
| SSE | 2 503.40 |
| NEE | 9 302.51 |
| NNO | 2 970.21 |
| SOO | 4 791.69 |
| Total (Watts) | 19 567.81 |
| Total (Watts/día)* | 234 813.75 |

*Se consideran 12 horas de radiación solar al día.

FUENTE: Elaboración propia.

4.4.4. ANÁLISIS DE MATERIALES DE LA ENVOLVENTE: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR

a. IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE LOS ELEMENTOS VERTICALES Y HORIZONTALES DE LA EDIFICACIÓN

En el Cuadro 46 se tienen los valores de las áreas de los diferentes elementos verticales y horizontales.

Cuadro 46: Área de elementos verticales y horizontales en contacto con el exterior

| Elementos | Área (m²) |
|-------------------|-----------------------------|
| Muros mampostería | 405.61 |
| Placas | 138.52 |
| Vigas | 82.97 |
| Ventanas | 60.57 |
| Mampara | 115.70 |
| Puertas | 9.08 |
| Techo | 683.04 |

FUENTE: Elaboración propia.

**b. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSMITANCIA U
(W/M²°C)**

En el Cuadro 47 se indican las referencias bibliográficas de donde se consideraron los valores de conductividad y conductancia de los diferentes elementos de la envolvente de la edificación, así como el espesor de cada capa.

Cuadro 47: Conductividad ($W/m^{\circ}C$), conductancia ($W/m^2^{\circ}C$), y/o espesor de materiales de la envolvente

| Material | Conductividad ($W/m^{\circ}C$) | Conductancia ($W/m^2^{\circ}C$) | Fuente | Espesor (mm) |
|-------------------------------|--|---|----------------------|-------------------------|
| Muros mampostería | | | | |
| Enfoscado arena cemento | 0.532 | - | Koenigsberger (1977) | 10 |
| Ladrillo prensado | 1.150 | - | Koenigsberger (1977) | 140 |
| Enfoscado arena cemento | 0.532 | - | Koenigsberger (1977) | 10 |
| Placas | | | | |
| Enfoscado arena cemento | 0.532 | - | Koenigsberger (1977) | 10 |
| Hormigón ordinario denso | 1.440 | - | Koenigsberger (1977) | 300 |
| Enfoscado arena cemento | 0.532 | - | Koenigsberger (1977) | 10 |
| Vigas | | | | |
| Enfoscado arena cemento | 0.532 | - | Koenigsberger (1977) | 10 |
| Hormigón ordinario denso | 1.440 | - | Koenigsberger (1977) | 300 |
| Ventanas | | | | |
| Vidrio templado | 0.950 | - | Blasco Laffón (2008) | 6 |
| Mampara | | | | |
| Cristal laminado | 0.950 | - | Blasco Laffón (2008) | 10 |
| Puertas contraplacadas | | | | |
| Triplay 4mm | 0.138 | - | Koenigsberger (1977) | 4 |
| Cámara de aire | - | 5.960 | Hertz (1981) | - |
| Triplay 4mm | 0.138 | - | Koenigsberger (1977) | 4 |

Cuadro 47: Continuación

| Material | Conductividad (W/m·°C) | Conductancia (W/m²·°C) | Fuente | Espesor (mm) |
|---------------------------|-----------------------------------|--|----------------------|-------------------------|
| Techo | | | | |
| Ladrillo prensado | 1.150 | - | Koenigsberger (1977) | 25 |
| Torta de barro | 0.640 | - | Koenigsberger (1977) | 25 |
| Hormigón ordinario denso | 1.440 | - | Koenigsberger (1977) | 50 |
| Cámara de aire (ladrillo) | - | 5.100 | Hertz (1981) | - |

FUENTE: Elaboración propia.

Con estos valores y utilizando la Ecuación 9 se ha determinado la transmitancia térmica para cada uno de los elementos. Los valores obtenidos se encuentran en el Cuadro 48.

Cuadro 48: Transmitancia térmica (W/m²·°C) calculada para los elementos de la envolvente

| Elementos | Transmitancia térmica (W/m²·°C) |
|-------------------|---|
| Muros mampostería | 3.088 |
| Placas | 2.437 |
| Vigas | 2.554 |
| Ventanas | 5.855 |
| Mampara | 5.714 |
| Puertas | 2.563 |
| Techo | 2.244 |

FUENTE: Elaboración propia.

c. DETERMINACIÓN DE LA DIFERENCIA ENTRE LA TEMPERATURA EXTERNA E INTERNA

Para la temperatura interna se ha considerado el valor de la temperatura de confort, cuya determinación se realizó previamente en el Capítulo 4.2.1.

Para la determinación de la temperatura externa para el periodo cálido y frío se ha considerado la información obtenida de la Figura 49: Curvas características de temperatura (°C) – Costa Sur. De ella se observa que los meses cálidos serían enero, febrero y marzo (meses con temperatura por encima de la temperatura de confort) y los meses fríos serían de abril a diciembre (meses con temperatura por debajo de la temperatura de confort). Con lo determinado anteriormente se calcularon las temperaturas promedio para cada periodo, las cuales se utilizaron en el análisis (Ver Cuadro 49).

Cuadro 49: Temperaturas promedio para periodo cálido y frío – Zona climática: Costa Sur

| Periodo | Temperatura promedio (°C) |
|----------------|----------------------------------|
| Periodo cálido | 22.2 |
| Periodo frío | 18.0 |

FUENTE: Elaboración propia.

d. CÁLCULO DE LA GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR POR CONDUCCIÓN A TRAVÉS DE MATERIALES

La Ecuación 6 se encuentra en función a la variación de temperatura entre el interior y el exterior. Este último valor dependerá de la época del año, razón por la cual se realiza este análisis para el periodo cálido y el periodo frío como se muestra en el Cuadro 50 y Cuadro 51, respectivamente.

En el caso del periodo cálido, se observa que el balance final tiene signo positivo, lo que indica que la edificación se encuentra ganando calor. Por el contrario, durante el periodo frío, el signo negativo indica que el flujo calorífico se encuentra saliendo de ella.

Cuadro 50: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo cálido

| Elementos | Ganancia de calor por conducción a través de materiales (Watts) |
|--------------------|--|
| Muros mampostería | 1 503.14 |
| Placas | 405.03 |
| Vigas | 254.25 |
| Ventanas | 425.57 |
| Mampara | 793.39 |
| Puertas | 27.93 |
| Techo | 1 839.38 |
| Total (Watts) | 5 248.70 |
| Total (Watts/día)* | 125 968.81 |

*Considerando 24 horas.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 51: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo frío

| Elementos | Ganancia de calor por conducción a través de materiales (Watts)** |
|--------------------|--|
| Muros mampostería | -3 757.86 |
| Placas | -1 012.59 |
| Vigas | -635.63 |
| Ventanas | -1 063.93 |
| Mampara | -1 983.46 |
| Puertas | -69.82 |
| Techo | -4 598.45 |
| Total (Watts) | -13 121.75 |
| Total (Watts/día)* | -314 922.02 |

*Considerando 24 horas.

** El signo negativo indica pérdida de calor.

FUENTE: Elaboración propia.

4.4.5. ANÁLISIS DE VENTILACIÓN: CÁLCULO DE GANANCIA O PÉRDIDA DE CALOR

De acuerdo al análisis de la Figura 49: Curvas características de temperatura (°C) – Costa Sur, se observa que la temperatura promedio se encuentra sobre la temperatura de confort durante los meses de enero, febrero y marzo, mientras que durante el resto de meses del año se encuentra por debajo. Por esta razón es necesario realizar el análisis para ambos periodos (cálido y frío).

a. VENTILACIÓN EXTERNA

La edificación en estudio se encuentra en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde está ubicada la estación meteorológica Von Humboldt. Para esta estación se ha revisado información de vientos, proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi), en un período mensual de enero del 2011 a diciembre 2013 (ver Anexo 11). En función a estos datos se ha determinado que la velocidad del viento en la zona de estudio tiene un valor promedio de 1.5 m/s y que principalmente viene desde la orientación SOO (WSW).

b. VENTILACIÓN INTERNA

- **PERIODO CÁLIDO: VENTILACIÓN POR ÁREAS EFECTIVAS**

- **Determinación del área efectiva de ventilación según la Ecuación 14.**

De acuerdo al análisis de ventilación externa, en la Figura 60 se puede apreciar la cara hacia la cual está incidiendo el viento. Sobre esta superficie se encontrarían las aberturas de entrada, mientras que en la cara opuesta se encontrarían las aberturas de salida.

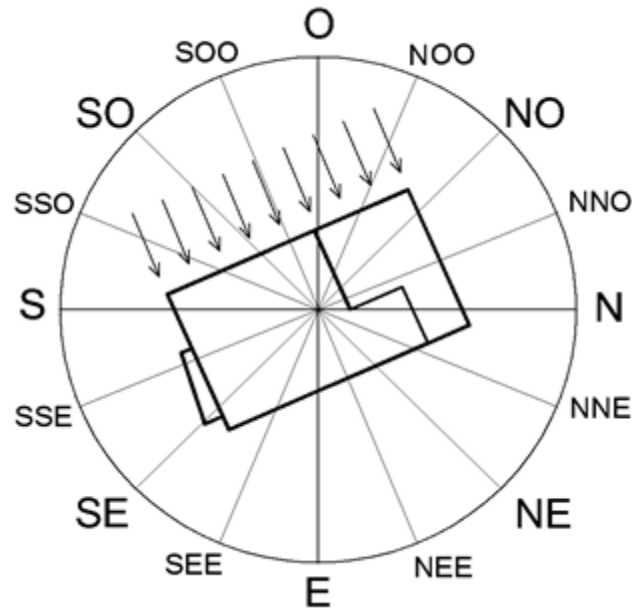


Figura 60: Dirección del viento – Orientación original del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología

FUENTE: Elaboración propia.

Para hallar el área efectiva, se han analizado las aberturas intermedias que atravesaría el aire al interior de la edificación (puertas) hasta salir por el extremo opuesto. Por medio de la Ecuación 14 se determinó que el área efectiva es de 4.38 m².

- Aplicación de la Ecuación 15.

Con la información del área efectiva (paso anterior) y la velocidad del viento se procede a aplicar la Ecuación 15 para el cálculo de ventilación por ventanas abiertas. Los resultados de este cálculo se observan en el Cuadro 52.

Cuadro 52: Ganancia de calor por ventanas abiertas – Periodo cálido

| Ganancia | Valor |
|---|--------------|
| Ganancia de calor por ventanas abiertas (Watts) | 6 116.43 |
| Ganancia de calor por ventanas abiertas (Watts/día) | 146 794.39 |

FUENTE: Elaboración propia.

- **PERIODO FRÍO: VENTILACIÓN POR INFILTRACIÓN**

- **Determinación de los volúmenes de ambientes que posean elementos verticales de la envolvente comunicados con el exterior.**

Se realizó el cálculo de los volúmenes de ambientes que posean vanos (puertas o ventanas) en contacto con el exterior.

- **Determinación de los cambios por hora de cada uno de los ambientes.**

Para cada uno de estos ambientes, en función al Cuadro 8: Número de cambios por hora (N), se han determinado los cambios por hora correspondientes.

- **Determinación de la diferencia entre la temperatura externa e interna.**

Ver Paso c) del Capítulo 4.4.4.

- **Aplicación de la Ecuación 12**

Luego de la aplicación de la Ecuación 12, en el Cuadro 53 se muestran los valores obtenidos de ganancia de calor a causa de la infiltración a través de ventanas. En este caso se observa que el resultado presenta signo negativo, por lo que en lugar de referirse a una “ganancia” se estaría hablando de una “pérdida”.

Cuadro 53: Pérdida de calor por infiltración – Periodo frío

| Pérdida | Valor |
|---|--------------|
| Pérdida de calor por infiltración (Watts) | -5 671.67 |
| Pérdida de calor por infiltración (Watts/día) | -136 119.97 |

FUENTE: Elaboración propia.

4.4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación en el Cuadro 54 se presenta el consolidado de ganancias y pérdidas de calor para el Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología.

Cuadro 54: Consolidado de ganancias/pérdidas de calor (Watts/día)

| Fuente | Periodo cálido | Periodo frío |
|--|---------------------------|-------------------------|
| Producción de calor interno (Q_i) | 1 043 559 | 1 043 559 |
| Radiación solar a través de ventanas (Q_s) | 373 328 | 234 814 |
| Conducción a través de materiales (Q_c) | 125 969 | -314 922 |
| Ventilación (Q_v) | 146 794 | -136 120 |
| Sumatoria (Watts/día) | 1 689 650 | 827 331 |

FUENTE: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos se observa que para ambos periodos (cálido y frío) el balance final tiene signo positivo, lo que indica que hay un exceso de calor en el interior del edificio. Esto es de mayor importancia durante el periodo cálido, donde se observa un superávit de 1 689 650 Watts/día, valor que debería ser evacuado por un sistema de aire acondicionado. Lo ideal es que el balance final sea cercano a cero, indicando que la edificación se encuentra en un estado estable de ganancias y pérdidas, no afectando a los usuarios ni incurriéndose en gastos por refrigeración o calefacción.

4.4.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En la página web del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), se encuentra información de los pliegos tarifarios máximos del servicio público de electricidad. Para el caso en estudio se ha considerado el abastecimiento en media tensión por parte de la Empresa Luz del Sur. Debido a que el Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología trabaja de 9 a.m. a 6 p.m., se tiene como información referencial que el costo por kWh es de S/. 0.1779 para la energía activa fuera de horas punta para la tarifa MT3 (TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE

ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P) durante el mes de enero del 2016.

En el Cuadro 55 se muestra el balance económico para las condiciones originales de la edificación. En el cálculo se está considerando que cada mes tiene 20 días útiles de trabajo durante los cuales estará funcionando el Laboratorio.

Los resultados indican que se estaría incurriendo en un gasto energético de S/. 44 528.12 al año si se utilizara un equipo de aire acondicionado que se encargue de, según sea el caso, eliminar el exceso o compensar el déficit de calor provocado por las cuatro fuentes consideradas, para alcanzar la temperatura de confort de 21 °C.

Cuadro 55: Balance económico

| Balance económico | Periodo cálido | Periodo frío |
|--|-----------------------|---------------------|
| Balance económico diario (S./día) | 300.59 | 147.18 |
| Balance económico anual (S./año) | 18 035.33 | 26 492.79 |
| Balance económico total anual (S./año) | 44 528.12 | |

FUENTE: Elaboración propia.

4.4.8. PROPUESTAS DE MEJORA

a. ORIENTACIÓN Y ASOLEAMIENTO

En base al Cuadro 36: Recomendaciones de orientación en función al análisis de asoleamiento, se ha determinado la orientación adecuada que debería tener la edificación en función al asoleamiento de acuerdo a la zona climática donde se encuentra (Costa Sur) (ver Figura 61).

Para determinar esta orientación propuesta se ha considerado que, según el Cuadro 36, la cara SOO debería estar protegida. Por esta razón se ha asegurado que la cara con la menor cantidad de ventanas se encuentre en esa orientación. El Cuadro 36 además recomienda

que las caras SEE y NE tengan aberturas. Para este caso no se ha podido ajustar la edificación en esas orientaciones, sino en las orientaciones NEE y SSE que se encuentran cercanas a las recomendadas.

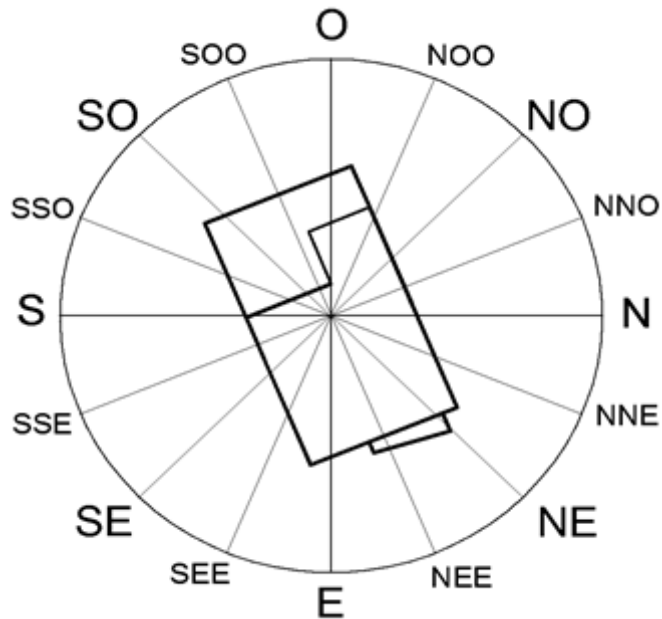


Figura 61: Orientación propuesta del caso de estudio: Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 56: Área de ventanas por orientación – Propuesta

| Orientación | Área de ventanas (m ²) |
|-------------|------------------------------------|
| NEE | 86.82 |
| NNO | 40.48 |
| SOO | 9.99 |
| SSE | 38.99 |

FUENTE: Elaboración propia.

b. PROPUESTA DE GANANCIA DE CALOR INTERNO

En el caso del análisis de ganancia interna, no se ha podido efectuar una disminución en el calor provocado por los trabajadores y equipos utilizados debido a que todos ellos son necesarios para el correcto desarrollo de las actividades del Laboratorio.

c. PROPUESTA DE RADIACIÓN SOLAR

Debido al exceso de radiación obtenido a través de las ventanas, se ha optado como solución el utilizar parasoles en los vanos de la edificación afectados por la radiación. Considerando la nueva orientación propuesta y que la solución de los parasoles no puede ser aplicada en la puerta de la mampara (ubicada en la orientación NEE), en el Cuadro 57 y Cuadro 58 se muestran las ganancias por radiación para el periodo cálido y para el periodo frío, respectivamente.

Cuadro 57: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo cálido

| Orientación | Ganancia de calor por radiación solar (Watts) |
|--------------------|--|
| NEE | 748.58 |
| NNO | 0 |
| SOO | 0 |
| SSE | 0 |
| Total (Watts) | 748.58 |
| Total (Watts/día)* | 8 982.99 |

*Se consideran 12 horas de radiación solar al día.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 58: Ganancia de calor por radiación solar – Periodo frío

| Orientación | Ganancia de calor por radiación solar (Watts) |
|--------------------|--|
| NEE | 1 149.17 |
| NNO | 0 |
| SOO | 0 |
| SSE | 0 |
| Total (Watts) | 1 149.17 |
| Total (Watts/día)* | 13 790.01 |

*Se consideran 12 horas de radiación solar al día.

FUENTE: Elaboración propia.

d. PROPUESTA DE MATERIALES DE LA ENVOLVENTE

Para poder disminuir el valor de la ganancia de calor por conducción a través de los elementos de la envolvente, se ha visto factible proponer como solución el aumento del ancho de ladrillo utilizado en los muros de mampostería de 15 cm. a 25 cm. Con esta medida se logra tener una menor transmitancia térmica para este material (de 3.088 a 2.434 W/m²°C) disminuyendo así el paso del flujo calorífico.

Existe la posibilidad de plantear soluciones más complejas a la indicada anteriormente, sin embargo, estas serán más costosas y provocarán el aumento del valor del gasto en materiales del proyecto.

En el Cuadro 59 y Cuadro 60 se muestran los nuevos valores de ganancia de calor por conducción a través de materiales de la envolvente para meses cálidos y fríos, respectivamente.

Cuadro 59: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo cálido

| Elementos | Ganancia de calor por conducción a través de materiales (Watts) |
|--------------------|--|
| Muros mampostería | 1 184.94 |
| Placas | 405.03 |
| Vigas | 254.25 |
| Ventanas | 425.57 |
| Mampara | 793.39 |
| Puertas | 27.93 |
| Techo | 1 839.38 |
| Total (Watts) | 4 930.49 |
| Total (Watts/día)* | 118 331.87 |

*Considerando 24 horas.

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 60: Ganancia de calor por conducción a través de materiales – Periodo frío

| Elementos | Ganancia de calor por conducción a través de materiales (Watts)** |
|--------------------|--|
| Muros mampostería | -2 962.35 |
| Placas | -1 012.59 |
| Vigas | -635.63 |
| Ventanas | -1 063.93 |
| Mampara | -1 983.46 |
| Puertas | -69.82 |
| Techo | -4 598.45 |
| Total (Watts) | -12 326.24 |
| Total (Watts/día)* | -295 829.67 |

*Considerando 24 horas.

** El signo negativo indica pérdida de calor.

FUENTE: Elaboración propia.

e. PROPUESTA DE VENTILACIÓN

• VENTILACIÓN EXTERNA

En el caso de la ventilación externa, no se pueden realizar cambios debido a que la velocidad del viento y su dirección dependen de condiciones ambientales no modificables por el ser humano.

• VENTILACIÓN INTERNA

A continuación se presentan las condiciones consideradas en la propuesta de solución dentro del ámbito de la ventilación interna.

- PERIODO CÁLIDO: VENTILACIÓN POR ÁREAS EFECTIVAS

Con la variación de la orientación propuesta de la edificación (Ver Figura 62), el viento se encontrará ahora incidiendo sobre la cara posterior más corta y el camino que recorrerá hasta su salida por la cara contraria (frente del edificio) será diferente en comparación del caso original. Por esta razón se ha recalculado el área efectiva, obteniéndose un valor de 2.76 m^2 . Esta cifra es menor a la calculada originalmente, por lo que ayudará a disminuir el la cantidad de calor ganado por ventilación. En el Cuadro 61 se pueden ver los resultados del nuevo cálculo.

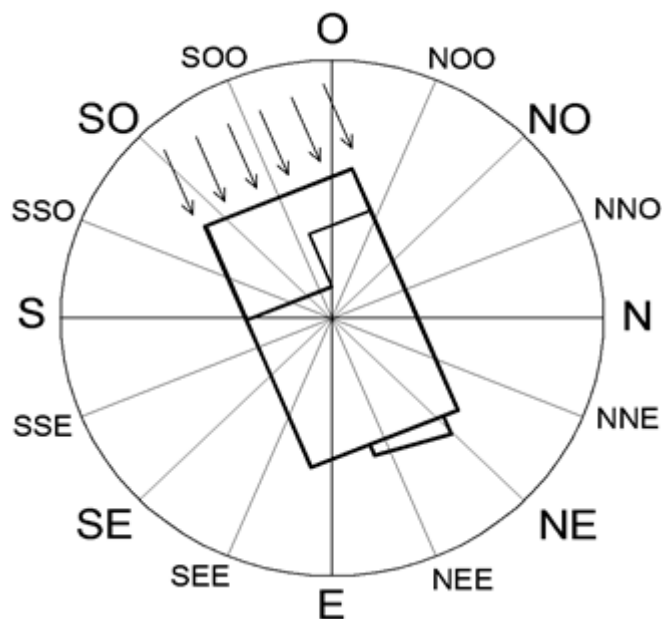


Figura 62: Dirección del viento – Orientación propuesta de la edificación

FUENTE: Elaboración propia.

Cuadro 61: Ganancia de calor por ventanas abiertas – Periodo cálido

| Ganancia | Valor |
|---|-----------|
| Ganancia de calor por ventanas abiertas (Watts) | 3 854.47 |
| Ganancia de calor por ventanas abiertas (Watts/día) | 92 507.34 |

FUENTE: Elaboración propia.

- PERIODO FRÍO: VENTILACIÓN POR INFILTRACIÓN

En el caso del cálculo de ganancia de calor por ventilación por infiltración, no se han realizado modificaciones en relación al original.

f. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el Cuadro 62 se muestra el consolidado de ganancias y pérdidas de calor para la propuesta de solución.

Cuadro 62: Consolidado de ganancias/pérdidas de calor (Watts/día) – Propuesta

| Fuente | Periodo cálido | Periodo frío |
|--|---------------------------|-------------------------|
| Producción de calor interno (Q_i) | 1 043 559 | 1 043 559 |
| Radiación solar a través de ventanas (Q_s) | 8 983 | 13 790 |
| Conducción a través de materiales (Q_c) | 118 332 | -295 830 |
| Ventilación (Q_v) | 92 507 | -136 120 |
| Sumatoria (Watts/día) | 1 263 381 | 625 399 |

FUENTE: Elaboración propia.

Se puede observar que en comparación con el Cuadro 54, hay variación entre las ganancias y pérdidas de calor del edificio original y el propuesto. En el Cuadro 63 se presentan estas variaciones como porcentaje.

Cuadro 63: Eficiencia energética calorífica entre el edificio original y el propuesto

| Fuente | Periodo cálido | Periodo frío |
|--|---------------------------|-------------------------|
| Producción de calor interno (Q_i) | 0% | 0% |
| Radiación solar a través de ventanas (Q_s) | 98% | 94% |
| Conducción a través de materiales (Q_c) | 6% | 6% |
| Ventilación (Q_v) | 37% | 0% |
| Total | 25% | 24% |

FUENTE: Elaboración propia.

En relación a la producción de calor interno, no ha ocurrido variación entre los valores originales y los propuestos debido a que no se ha podido realizar mejoras en este aspecto. Esto es debido a que se tendría que realizar una disminución en las horas de uso de los equipos, lo cual afectaría el desarrollo normal de las actividades del Laboratorio.

Se puede observar que con la nueva orientación de la edificación y el uso de parasoles, se ha podido disminuir la ganancia de calor por radiación solar en un 98 por ciento durante el periodo cálido y en un 94 por ciento en el periodo frío. Esto es sumamente beneficioso debido a que inicialmente representaba la segunda fuente con mayor magnitud de ganancia.

En el caso de la transmisión de calor a través de materiales se ha aumentado el grosor del ladrillo que conforma los muros. Con este cambio se ha logrado que durante el periodo cálido haya una disminución de 6 por ciento en la ganancia de calor debido a la disminución de la transmitancia de muros en consecuencia de la variación estructural mencionada. En el caso del periodo frío, las pérdidas de calor disminuirán también en un 6 por ciento.

La ganancia por convección durante el periodo cálido se da por la abertura de ventanas. En este caso, al variar la orientación de la edificación se ha logrado que haya una menor área de vanos que se encuentren en la dirección del viento, disminuyendo las ganancias por convección en un 37 por ciento.

En relación a las pérdidas por convección durante el periodo frío, estas dependen del volumen de los ambientes y de los cambios por hora de los vanos. Para este caso las condiciones se han mantenido constantes durante el periodo frío, por no ser tan crítico para el análisis del equilibrio térmico.

Cabe mencionar que para el edificio original y el propuesto, durante el periodo frío se tienen valores negativos en el balance en los ítems relacionados a conducción por materiales y convección. Este signo negativo indica que se trata de pérdida de calor. A pesar que son meses con temperaturas por debajo de la temperatura de confort, estas pérdidas no son significativas porque se tiene como contraparte una ganancia de calor de mayor magnitud.

g. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En el Cuadro 64 se muestra el balance económico para el edificio propuesto, en el cual se observa el costo que se requeriría para poder lograr un equilibrio térmico. Se estima que,

con a las mejoras consideradas, durante un año se desembolsarían S/33 511.88. Este monto es menor al estimado para las condiciones originales.

Realizando el análisis entre las condiciones iniciales y las propuestas, en el periodo cálido ocurre en total una disminución de 426 269 Watts/día (426 kWh), mientras que durante el periodo frío es igual a 201 932 Watts/día (202 kWh). Con estos datos se ha podido calcular que durante la época cálida existirá un ahorro de S/. 76/día y de S/. 36/día durante la época fría, lo cual representa un ahorro total de S/. 11 016 por año.

Cabe mencionar que en casos reales de uso de sistemas de aire acondicionado no se llega a exactamente a la temperatura de confort debido al mal manejo de los equipos. Por esta razón, puede existir cierta variación entre los costos calculados en esta investigación con los que se podría encontrar en un recibo de luz bajo condiciones normales.

Cuadro 64: Evaluación económica – Propuesta

| Balance económico | Periodo cálido | Periodo frío |
|--|-----------------------|---------------------|
| Balance económico diario (S./día) | 224.76 | 111.26 |
| Balance económico anual (S./año) | 13 485.33 | 20 026.55 |
| Balance económico total anual (S./año) | 33 511.88 | |

FUENTE: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

Del análisis de las normativas incluidas en este estudio, se ha podido determinar la similitud entre ciertos aspectos de cada una de ellas:

- Se ve que es necesaria la definición de zonas climáticas de acuerdo a las condiciones propias de cada país para que el análisis se pueda enfocar en considerar diferentes factores individuales, según corresponda.
- En el aspecto de las ganancias térmicas, se ha observado que la mayoría de normativas basan su metodología en la ganancia térmica a través de materiales y proveen valores máximos de transmitancia térmica los cuales no deberían ser superados. Al revisar la actual normativa peruana se ha observado que, al centrar su análisis en el mismo factor anteriormente mencionado, ésta podría ser mejorada y actualizada para poder tener un análisis a nivel macro y más preciso de la situación térmica de las edificaciones.

Del análisis realizado en la revisión bibliográfica, se ha podido determinar la importancia de considerar ciertos parámetros específicos para el análisis de la eficiencia energética en edificaciones del territorio peruano.

Primeramente, debido a la variación climática a lo largo del país, es necesario que el análisis se realice en función a distintas zonas climáticas para poder evaluar de acuerdo a las condiciones correspondientes para cada una de ellas.

Además, hay ciertas consideraciones a incluir en relación a las ganancias y pérdidas de calor.

- Un primer factor a considerar es la ganancia o pérdida de calor a través de los materiales, el cual se ha visto utilizado en varias normativas.

- Otro parámetro mencionado solamente en la normativa mexicana es la ganancia por radiación solar, la que también debería ser incluida.
- De la revisión de la obra de Koenigsberger, se ha determinado que sería adecuado tomar en cuenta la ganancia o pérdida a través de la ventilación y la ganancia de calor interno. El primero se ha incluido por la importancia que el flujo de viento puede tener sobre una edificación si esta se encuentra orientada adecuadamente en función a las condiciones propias de la zona. En el caso de la ganancia de calor interno, en función a la naturaleza de la actividad que se realice en la edificación pueden existir diferentes equipos o la realización de actividades que provoquen una mayor emisión calorífica en ciertos casos.

La metodología propuesta para realizar el estudio de eficiencia energética acorde a las condiciones del territorio peruano consistió en:

- Realizar un análisis preliminar de asoleamiento, en el cual se presentó una zonificación climática para el territorio peruano, así como un cuadro de orientaciones preferenciales de vanos y muros para cada uno de los climas determinados.
- El siguiente paso de la propuesta metodológica consistió en realizar el balance de ganancias y pérdidas caloríficas de la edificación considerando los cuatro parámetros a evaluar: calor interno, radiación, materiales y ventilación.
- Con la información final del balance se pudo determinar si la edificación en estudio se encontraba con un superávit o déficit de calor, y la magnitud de éste. Este exceso o deficiencia puede llegar a ser compensado a través de equipos de refrigeración o calefacción, suponiendo un costo y una afectación del medio ambiente.

Al realizar el cálculo para el edificio original, se ha determinado que la principal fuente de ganancia de calor son los equipos utilizados en el Laboratorio, mientras que la radiación a través de ventanas se encontraba en segundo lugar. Bajo estas condiciones se estaría incurriendo en un gasto energético de S/. 44 528.12 al año para lograr la temperatura de confort mediante el uso de equipos de aire acondicionado.

Mediante la propuesta de mejora aplicada a la edificación se ha logrado disminuir la ganancia de calor, lo cual trae consigo unos menores costos por energía.

Se debe destacar que la mayor reducción en la ganancia de calor ha sido gracias al uso de parasoles, lo cual ha logrado disminuir el aporte por la radiación solar en un 96 por ciento en promedio a lo largo del año. Seguidamente, el cambio en la orientación del edificio ha significado una reducción de ganancia calorífica por convección de un 37 por ciento durante el período cálido, mientras que el cambio en el espesor del muro ha disminuido en un 6 por ciento la transmisión de calor por le envolvente.

Estos cambios de orientación, materiales y uso de parasoles, han logrado que el superávit de energía se reduzca en un 24.5 por ciento (promedio entre la disminución durante el periodo cálido y el periodo frío), significando además una reducción económica de S/. 11 016 al año. Esta disminución representa un ahorro de S/. 76/día durante la época cálida y de S/. 36/día durante la época fría.

Luego de la realización de la evaluación energética para el edificio en estudio se ha podido determinar que:

- Mediante un adecuado diseño y el uso de soluciones pasivas es posible reducir los costos energéticos futuros en una edificación.
- En la edificación estudiada no se consideran efectos económicos y ambientales a largo plazo.
- Sería adecuado que este tipo de análisis se realice durante la fase de pre-diseño de las edificaciones.

VI. RECOMENDACIONES

- Considerar dentro del análisis de eficiencia energética las condiciones climáticas de la zona donde se realice el estudio debido a que estas determinan las necesidades de acondicionamiento propias del lugar.
- Realizar el análisis de eficiencia energética considerando la mayor cantidad de factores de ganancia de calor posibles para poder tener un alcance más preciso de lo que está sucediendo en la edificación. Por ejemplo, incluir en el caso de climas fríos la pérdida de calor por pisos en contacto con el terreno y, en el caso de zonas lluviosas las pérdidas caloríficas por evaporación.
- Dado que la transmitancia térmica es un parámetro ampliamente usado para los análisis de eficiencia, afinar la determinación de sus valores máximos en relación a la orientación y la temperatura sol-aire, siendo esta última una temperatura ficticia exterior que considera el aporte de calor por convección y radiación solar sobre la superficie exterior (Pinazo, s.f.).
- La actual normativa peruana (EM. 110) podría ser mejorada considerando, en una primera instancia, el efecto de la radiación solar sobre los elementos transparentes. Más adelante, sería apropiado incorporar las variables de ventilación, calor interno y otras más que también puedan afectar las condiciones de la edificación para poder tener un análisis más preciso. Aparte, sería ideal poder tener una clasificación energética de las edificaciones basada en rangos de eficiencia que permitan poder etiquetarlas de acuerdo a su consumo de energía; y además proveer de *software* que permita una sencilla aplicación de la norma.
- Incluir en los anteproyectos de construcción el apartado de eficiencia energética para poder considerar las mejores opciones para el diseño de la edificación. Ello

traerá consigo beneficios económicos futuros y una mejora en la preservación del medio ambiente.

- En base al análisis del caso de estudio, es recomendable evitar la utilización de muros cortina de vidrio en edificaciones debido a su alta influencia en la ganancia de radiación solar.
- Para la edificación, bajo las condiciones actuales, la principal recomendación para reducir el consumo energético sería la utilización de parasoles. Esta medida es importante debido a que su implementación puede significar la disminución de aproximadamente 96 por ciento de la ganancia de calor. Asimismo, sería necesaria la programación regulada de equipos para evitar la saturación de emisiones caloríficas durante ciertos momentos del día. Esto último va a la par con una optimización en el uso de los ambientes, buscando la no concentración de equipos y personas en una sola zona de la edificación y, por ende, reducir la existencia de focos de calor.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AChEE (Agencia Chilena de Eficiencia Energética). s.f. Eficiencia Energética (en línea). Santiago de Chile. Consultado 12 ene. 2016. Disponible en <http://www.acee.cl/eficiencia-energetica/que-es-ee/>
2. Arquitectura + acero. s.f. Diseño activo – sistemas de climatización (en línea). s.l. Consultado 8 feb. 2016. Disponible en <http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/disenio-activo-sistemas-de-climatizacion>
3. Bionet Engineering. (s.f.). BIORREACTORES F1/1-10 (en línea). Murcia. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en http://www.bionet.com/documentos/archivos/F1_1-10_CAT_4P_ES_A4.pdf
4. Blasco Laffón, B. 2008. Fundamentos físicos de la edificación II. Madrid. Delta. 334 p.
5. Bourges, C. 2014. Norma IRAM 11900: Etiqueta de Eficiencia Energética de calefacción para edificios (diapositivas). Buenos Aires. Consultado 20 dic. 2015. Disponible en http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/2014/jornadas_ef_en/presentaciones/bourges%20-norma_iram11900.pdf
6. CCNNPURRE (Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, MX). 2011. Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones - Envolverte de edificios para uso habitacional. México D.F. 47 p.
7. Cengel, Y. 2011. Transferencia de calor y masa. 4 ed. México D.F. 920 p.
8. D + M ARQUITECTOS S.A.C. 2011. Expediente Técnico: Construcción, Implementación y Equipamiento del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología - Facultad de Ciencias UNALM". Lima.
9. Dárdano, C. 1975. Nuestro clima y la arquitectura. 3 ed. Resistencia, AR. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 58 p.

10. Díaz, V. 2005. Acondicionamiento térmico de edificios. Buenos Aires. Nobuko. 445 p.
11. El Comercio. 2015. Producción de energía eléctrica aumentó 6,8% en octubre (en línea). Lima. Consultado 02 mar. 2016. Disponible en: <http://elcomercio.pe/economia/peru/produccion-energia-electrica-aumento-68-octubre-noticia-1858499>
12. ENFORCE (Energy Auditors Network). 2010. Guía Práctica sobre Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios (en línea). Madrid. Consultado 25 feb. 2016. Disponible en <http://cecu.es/publicaciones/guia%20enforce.pdf>
13. Enríquez, G. 1994. Fundamentos de electricidad. Circuitos de corriente alterna. México D.F.: Limusa. v.3, 295 p.
14. Enríquez, G. 2004. El ABC de las máquinas eléctricas. Motores de corriente alterna. México D.F. Limusa. v.2, 416 p.
15. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. 2010. Soluciones energéticamente eficientes en la edificación (en línea). Madrid: Gráficas Arias Montano S.A. Consultado 30 may. 2015. Disponible en <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Soluciones-energeticamente-eficientes-en-la-edificacion-fenercom-2010.pdf>
16. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. 2011. Guía del estándar Passivhaus: Edificios de consumo energético casi nulo (en línea). Madrid. Gráficas Arias Montano S.A. Consultado 19 may. 2015. Disponible en <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Estandar-Passivhaus-fenercom-2011.pdf>
17. Galindo, M. 2013. Guía para la Eficiencia Energética de Edificios Residenciales (en línea). Cantabria, ES. Consultado 15 feb. 2016. Disponible en: <http://www.coatcan.com/certificacionenergetica/pdf/GUIA.pdf>
18. General Electric. 2013. Catálogo de Lámparas LED (en línea). s.l. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en http://www.gelighting.com/LightingWeb/la/north/images/Catalogo-Lamparas-LED_tcm402-49262.pdf
19. Hertz, J. 1981. Diseño Bioclimático en Arquitectura. Lima. Itintec. v. 7, 110 p.
20. Hijmans, R.; Cameron, S.; & Parra, J. (s.f.). WorldClim - Global Climate Data (en línea). California. Consultado 26 de oct. 2015. Disponible en: <http://www.worldclim.org/>

21. INN (Instituto Nacional de Normalización, CL). 2008. Norma Chilena Oficial NCh1079.Of2008 Arquitectura y Construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico. Santiago de Chile. 44 p.
22. INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, ES) 1997. Real Decreto 486/1997: Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo. Madrid. 12 p.
23. IRAM (Instituto Argentino de Normalización). 1996a. Norma IRAM 11603: Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires. 47 p.
24. IRAM (Instituto Argentino de Normalización). 1996b. Norma IRAM 11605: Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Buenos Aires. 27 p.
25. IRAM (Instituto Argentino de Normalización). 2002. Norma IRAM 11549: Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. 3 ed. Buenos Aires. 26 p.
26. Junta del Acuerdo de Cartagena. 1980. Cartilla de construcción con madera. Lima. Proyectos Andinos de desarrollo Tecnológico en áreas de los Recursos Forestales Tropicales. Junta del Acuerdo de Cartagena. s.p.
27. Koenigsberger, O. H. 1977. Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Madrid. Paraninfo. 328 p.
28. Kotték, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3):259-263.
29. Life Technologies. 2011. E-Gel® Imager Gel Documentation (en línea). California. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/egel_imager_man.pdf
30. Linares, E. 1976. Clima - Confort en Arquitectura. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería - Departamento de Publicaciones. 117 p.
31. Linares, E. 1986. Consideraciones térmicas para el modelo de vivienda rural UNA-Panel, en Puno. Lima. Departamento de Construcciones Rurales - FIA - UNA. s.p.
32. Linares, E. 1992. Sol y viento en diseño. Lima. Departamento de Construcciones Rurales - U.N.A. s.p.

33. Lippel. s.f. Peletizadora de Matriz Plana para Laboratorios – PLB (en línea). Santa Catarina, BR. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en <http://www.lippel.com.br/es/briquetaje-y-peletizacion/peletizacion/peletizadora-de-matriz-plana-para-laboratorios.html#.VoqoBPnhCUI>
34. Matic, D. 2010. Estrategias de diseño solar pasivo. Tesina Mag.Sc. Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. 181 p.
35. Mazria, E. 1979. The Passive Solar Energy Book. Pensilvania. Rodale Press. 435 p.
36. Metas & Metrólogos Asociados. 2010. ¿Qué es el factor de potencia? (en línea). Jalisco, MX. Consultado 20 ene 2016. Disponible en http://www.metas.com.mx/guiamet/La-Guia-MetAs-10-02-factor_de_potencia.pdf
37. MINEDU (Ministerio de Educación del Perú). 2008. Guía de Aplicación de Arquitectura Bioclimática en Locales Educativos (en línea). Lima. Consultado 13 jun. 2015. Disponible en: <http://eeea.ca/wp-content/uploads/2013/09/MINEDU-GUIDE-Aplicacion-Arq.-Bioclimatica-en-Locales-Educativos-May-2008.pdf>
38. MINEM (Ministerio de Energía y Minas, PE). 2008. Atlas Eólico del Perú. Lima. Esc. gráfica. Color.
39. MINEM (Ministerio de Energía y Minas, PE). s.f. a. Guía del consumo y facturación de energía Eléctrica. Lima. Consultado 11 dic. 2015. Disponible en <http://intranet.minem.gob.pe/AppWeb/DGE/CalculoConsumo>
40. MINEM (Ministerio de Energía y Minas, PE). s.f. b. Potencia referencial de equipos y artefactos eléctricos. Lima. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en <http://www.minem.gob.pe/giee/pdf/ficha-informativa-05-primaria.pdf>
41. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, PE. 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima. 432 p.
42. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, PE. 2014. EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética. Lima. 50 p.
43. MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, CL). 2006. Manual de aplicación: Reglamentación Térmica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Artículo 4.1.10. Santiago de Chile. 11 p.
44. MINVU (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, CL). 2009. Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Santiago de Chile. 216 p.
45. Neufert, E. 1970. El arte de proyectar en arquitectura. Barcelona. Editorial Gustavo Gili S.A. 447 p.

46. Ochoa, C. 1999. Las papas de Sudamérica: Perú (Parte 1). Kansas. Centro Internacional de la Papa. 1036 p.
47. Olgyay, V. 1968. Clima y Arquitectura en Colombia. Cali. Universidad Católica del Valle, Facultad de Arquitectura. 239 p.
48. ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, MX). 2009. Norma Mexicana NMX-C- 460-ONNCCE-2009: Industria de la construcción–aislamiento térmico– Valor R para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana– Especificaciones y Verificación. México D.F. 8 p.
49. PCR (Pacific Credit Rating). 2014. Informe sectorial Perú: Sector Energético (en línea). s.l. Consultado 16 mar. 2016. Disponible en : http://www.ratingspcr.com/uploads/2/5/8/5/25856651/sector_electrico_peruano_201409-fin.pdf
50. Pinazo, Jose. s.f. Temperaturas Equivalentes en Paredes Típicas de Construcción Española (en línea). Valencia. Consultado 20 ene. 2016. Disponible en: http://www.vpclima.upv.es/jmpinazo/index_archivos/Pdf/CongInt6.pdf
51. Pro-Analise. s.f. Aquelix 5 (en línea). São Paulo. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en: http://www.pro-analise.com.br/conteudos/download_arquivo/arquivo=184
52. Pulgar, J. 1987. Geografía del Perú. Las Ocho Regiones Naturales. 9 ed. Lima. Promoción Editorial Inca, S.A. p. 27-176
53. RMC Boeckeler. 2016. MR2 Manual Microtome (en línea). s.l. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en: <http://www.rmcbocckeler.com/mr-2/>
54. Sánchez, A. 2010. Mapa Climático: Departamento de Cajamarca. Cajamarca. Gobierno Regional de Cajamarca. 33 p.
55. Schneider Electric. s.f. Eficiencia Energética. Manual de soluciones (en línea). Argentina. Consultado 20 feb. 2016. Disponible en: http://www.schneider-electric.com.ar/documents/solutions/catalogo_soluciones.pdf
56. Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). 2011. Mapa de Clasificación Climática del Perú: Clasificación climática por el método de Thornthwaite (en línea). Esc. 1:5,000,000. Color. Consultado 20 set. 2015. Disponible en http://www.senamhi.gob.pe/images/sig/dgm_001.jpg
57. SevMexico. s.f. Fichas técnicas de cámaras (en línea). s.l. Consultado 03 ene. 2016. Disponible en: http://www.sevmexico.com/catalogos/CAMARAS_140312.pdf

58. Thorton, R. 1984. How to move heat in passive homes. Solar Age no.9:26-29.
59. Tricomi, E. 1992. El ABC del Aire Acondicionado. Barcelona. Marcombo. 148 p.
60. Vale, B. 2005. La casa autosuficiente. Madrid. Hermann Blume. 214 p.
61. Wildi, T. 2007. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. 6 ed. Naucalpan de Juárez, MX. Pearson. 960 p.
62. WWF/Adena (World Wildlife Fund / Asociación para la Defensa de la Naturaleza). 2006. Mantenerse frescos sin calentar el planeta. Madrid. 30 p
63. WWF España (World Wildlife Fund España). 2008. Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas. Madrid. 132 p.

IX. ANEXOS

Anexo 1: EM.110 Ubicación de provincias por zona bioclimática

| Departamento | 1 Desértico Marino | 2 Desértico | 3 Interandino Bajo | 4 Mesoandino | 5 Alto Andino | 6 Nevado | 7 Ceja de Montaña | 8 Subtropical Húmedo | 9 Tropical Húmedo |
|--------------|-----------------------|----------------|-----------------------|---------------------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Amazonas | | | | | | | Chachapoyas | | Bagua |
| | | | | | | | Utcubamba | | Condorcanqui |
| | | | | | | | Bongará | | |
| | | | | | | | Luya | | |
| Ancash | Casma | | | Asunción | Bolognesi | Mariscal Luzúñaga | | | |
| | Huarmey | | | Pomabamba | Huaraz | | Pallasca | | |
| | | | | Aija | | | | | |
| | Santa | | | Antonio Raimondi | Pomabamba | | | | |
| | | | | Carhuaz | Recuay | | | | |
| | | | | Carlos Fermín Fitzcarrald | | | | | |
| | | | | Huari | | | | | |
| | | | | Corongo | | | | | |
| | | | | Huaylas | | | | | |
| | | | | Mariscal Luzúñaga | | | | | |
| Apurímac | | | | Abancay | Antabamba | Cotabambas | Abancay | | |
| | | | | Andahuaylas | Grao | | Chincheros | | |
| | | | | Aymaraes | | | | | |
| | | | | Cotabambas | | | | | |
| Arequipa | Camana | | Caravelí | Arequipa | Caylloma | La Unión | | | |
| | Islay | | Castilla | Condesuyos | | | | | |
| | | | Condesuyos | | | | | | |
| Ayacucho | | | | Cangallo | Huancá Sancos | Lucanas | Huanta | | |
| | | | | Huanta | Sucre | Parinacochas | La Mar | | |
| | | | | Huamanga | Victor Fajardo | | Vilcashuamán | | |
| | | | | La Mar | | | | | |
| | | | | Lucanas | | | | | |
| | | | | Parinacochas | | | | | |
| Cajamarca | | | Contumazá | Cajabamba | | | Cajabamba | | |
| | | | San Miguel | Cajamarca | | | Cajamarca | | |
| | | | | Celendín | | | Celendín | | |
| | | | | Chota | | | Chota | | |
| | | | | Contumazá | | | Contumazá | | |
| | | | | Hualgayoc | | | Cutervo | | |
| | | | | San Marcos | | | Hualgayoc | | |
| | | | | San Miguel | | | Jaén | | |
| | | | | San Pablo | | | San Marcos | | |
| | | | | | | | San Ignacio | | |
| Cusco | | | | Cusco | Canas | | La Convención | La Convención | |
| | | | | Paruro | Espinar | | | | |
| | | | | Canchis | Chumbivilcas | | | | |
| | | | | Acomayo | | | | | |
| | | | | Anta | | | | | |
| | | | | Calca | | | | | |
| | | | | La Convención | | | | | |
| | | | | Faucar Tambo | | | | | |
| | | | Quispicanchi | | | | | | |
| | | | Urubamba | | | | | | |

Anexo 1: Continuación

| Departamento | 1 Desértico Marino | 2 Desértico | 3 Interandino Bajo | 4 Mesoandino | 5 Alto Andino | 6 Nevado | 7 Caja de Montaña | 8 Subtropical Húmedo | 9 Tropical Húmedo |
|---------------|-----------------------|----------------|-----------------------|-------------------|------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Huancavelica | | | | Castrovirreyna | | Angaraes | Tayacaja | | |
| | | | | | Huancavelica | | | | |
| | | | | Tayacaja | | | | | |
| | | | | Churcampa | | | | | |
| Huanuco | | | | Huaytará | | | | | |
| | | | | Acobamba | | | | | |
| | | | Marañón | Huamalies | Lauricocha | | Ambo | Leoncio Prado | |
| | | | | Huánuco | Dos de Mayo | | Huacaybamba | Puerto Inca | |
| | | | | Pachitea | | | Marañón | | |
| | | | | Ambo | | | Yarowilca | | |
| Ica | | | | Huacaybamba | | | | | |
| | | | | Yarowilca | | | | | |
| | | Palpa | | | | | | | |
| | | Ica | | | | | | | |
| Junin | | Nazca | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | Chincha | | | | | | | |
| | | Pisco | | | | | | | |
| Junin | | | | Tarma | | | | | |
| | | | | Concepción | Junín | | Chanchamayo | Chanchamayo | |
| | | | | Huancayo | | | | Satipo | |
| | | | | Chupaca | | | | | |
| La Libertad | | | | Jauja | | | | | |
| | Pacasmayo | Ascope | | Bolívar | | | Gran Chimú | | |
| | Trujillo | Chepén | | Sánchez Carrión | | | | | |
| | | Gran Chimú | | Bolívar | | | | | |
| | | Virú | | Otuzco | | | | | |
| | | | | Pataz | | | | | |
| Lambayeque | | | | Julcán | | | | | |
| | Chiclayo | | | Santiago de Chuco | | | | | |
| | | Lambayeque | | | | | | Lambayeque | |
| Lima | | | | | | | | | |
| | Barranca | | Canta | Cajatambo | Oyón | Oyón | | | |
| | Cañete | | | Huachipaico | | | | | |
| | Huaura | | | Yauyos | | | | | |
| Loreto | | | | | | | | | Maynas |
| | | | | | | | | | Alto Amazonas |
| | | | | | | | | | Loreto |
| | | | | | | | | | Mariscal Ramón Castilla |
| | | | | | | | | | Requena |
| | | | | | | | | | Datem del Marañón |
| Madre de Dios | | | | | | | Manu | Tahuamanu | |
| | | | | | | | | Tambopata | |
| Moquegua | | | Mariscal Nieto | | | | | | |
| | Ilo | | General Sánchez Cerro | | | | | | |
| Pasco | | | | | Pasco | Daniel Alcides Carrión | | Oxapampa | |
| Piura | Talara | Paíta | | Huancabamba | | | Ayabaca | Huancabamba | |
| | | Sechura | | Ayabaca | | | | Morropón | |
| | | Piura | | | | | | Sullana | |

Anexo 1: Continuación

| Departamento | 1 Desértico Marino | 2 Desértico | 3 Interandino Bajo | 4 Mesoandino | 5 Alto Andino | 6 Nevado | 7 Ceja de Montaña | 8 Suptropical Húmedo | 9 Tropical Húmedo |
|--------------|-----------------------|----------------|-----------------------|------------------|------------------|-------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| Puno | | | | Sandia | Azángaro | Carabaya | | San Antonio de Putina | |
| | | | | Yunguyo | Carabaya | Chucuito | | Sandia | |
| | | | | | Chucuito | El Collao | | | |
| | | | | | El Collao | Huancané | | | |
| | | | | | Huancané | Puno | | | |
| | | | | | Lampa | Yunguyo | | | |
| | | | | | Melgar | | | | |
| | | | | | Moho | | | | |
| San Martín | | | | Rioja | | | Rioja | | Bellavista |
| | | | | Tocache | | | | | Mariscal Cáceres |
| | | | | Mariscal Cáceres | | | | | San Martín |
| | | | | | | | | | El Dorado |
| | | | | | | | | | Huallaga |
| | | | | | | | | | Lamas |
| | | | | | | | | | Moyobamba |
| | | | | | | | | | Picota |
| Tacna | | Jorge Basadre | Jorge Basadre | Tacna | Tacna | Candarave | | | Tocache |
| | | Tacna | | | | Tarata | | | |
| Tumbes | | | Contralmirante Villar | | | | | Tumbes | |
| | | Tumbes | | | | | | Zarumilla | |
| Ucayali | | | | | | | | | Purús |
| | | | | | | | | | Padre Abad |
| | | | | | | | | | Atalaya |
| | | | | | | | | | Coronel Portillo |

Anexo 2: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Valores para el Cálculo del Flujo de Calor a Través de la Envolvente

| ESTADO | Ciudad | K de referencia (W/m ² K) | | | CONDUCCIÓN | | | | | | | | | | RADIACIÓN | | | | Barrera para vapor | | | | | | | |
|-----------------|------------------|--|---------------------|-------|----------------------|---------------------|-------|-------------|------|--------------|----|-------------|----|----|--------------|------------------------------|----------|----|--------------------|----|---|-----|------------------------------|-----|-----|----|
| | | | | | OPACA | | | | | TRANSPARENTE | | | | | TRANSPARENTE | | | | | | | | | | | |
| | | Temperatura equivalente promedio te (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros compartidos | Mas de tres niveles | | T _{interna} | Superficie interior | Techo | Muro masivo | | | | Muro ligero | | | | T _{interna} y demás | Ventanas | | | | Factor de ganancia solar promedio Fg (W/m ²) | | | | | |
| Techo y muro | | | | | | | | Techo | Muro | N | E | S | O | N | E | | S | O | N | E | S | O | T _{interna} y demás | N | E | S |
| AGUASCALIENTES | Aguascalientes | 0.833 | 0.833 | 0.909 | 24 | 26 | 37 | 24 | 27 | 26 | 25 | 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 | 26 | 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 | 0.475 | 0.475 | 0.556 | 25 | 34 | 50 | 36 | 40 | 37 | 38 | 41 | 45 | 43 | 45 | 29 | 30 | 32 | 32 | 32 | 322 | 70 | 159 | 131 | 164 | |
| | Tijuana | 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 | 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 |
| | 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 |
| COAHUILA | Mordova | 0.526 | 0.526 | 0.625 | 25 | 31 | 45 | 31 | 34 | 32 | 33 | 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 |
| | Saltillo | 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 | |
| | Torreón | 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 | 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 |
| | Manzanillo | 0.526 | 0.526 | 0.625 | 25 | 31 | 45 | 31 | 34 | 32 | 33 | 36 | 40 | 38 | 40 | 26 | 27 | 28 | 29 | 29 | 274 | 91 | 137 | 118 | 146 | Si |
| CHIAPAS | Amega | 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 |
| | Comitán | 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 | |
| | Tepechula | 0.526 | 0.526 | 0.714 | 25 | 30 | 44 | 30 | 33 | 31 | 32 | 35 | 39 | 37 | 38 | 25 | 27 | 28 | 28 | 28 | 272 | 102 | 140 | 114 | 134 | Si |
| CHIHUAHUA | 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 |
| | 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 | |
| D. F. | 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 | |
| | México (e) | 0.909 | 0.909 | 0.909 | 23 | 23 | 33 | 20 | 22 | 22 | 21 | 26 | 29 | 28 | 28 | 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 | Guanajuato | 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 (b) | 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 | |
| | 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 |
| HIDALGO | 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 | |

Anexo 2: Continuación

| ESTADO | Ciudad | K de referencia (W/m ² K) | | CONDUCCION | | | | | | | | | | RADIACION | | | | Barrera para vapor | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|--|-------|---------------------|----|------------|---------------------|-------|--------------|----|----|---|----|--------------|----|-------------|----|--------------------|---------------------|---------------------|----------|-----|-----|-----|-----|----|
| | | | | OPACA | | | | | TRANSPARENTE | | | | | TRANSPARENTE | | | | | | | | | | | | |
| | | Temperatura equivalente promedio te (°C) | | | | | | | | | | Factor de ganancia solar promedio FG (W/m ²) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros compartidos | | Mas de tres niveles | | T interior | Superficie interior | Techo | Muro masivo | | | | | | | Muro ligero | | | | Trapezoidal y otros | Ventanas | | | | | |
| Techo y muro | | Techo | Muro | N | E | | | | S | O | N | E | S | O | N | E | S | O | Trapezoidal y otros | | N | E | S | O | | |
| 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 | |
| | Huejucar | 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 Mor. | 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 | |
| | Ocotlan | 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 | |
| | 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 | |
| MEXICO | Chapingo, Texc. | 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 | |
| | 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 | |
| MICHOACAN | 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 | |
| | Lazaro 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 | |
| | 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 | Tepic | 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 LEON | 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 | |
| OAXACA | Oaxaca | 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 | |
| | 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 | |
| PUEBLA | 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 | |
| | Atlixco | 0.714 | 0.714 | 0.909 | 23 | 25 | 35 | 23 | 25 | 24 | 24 | 28 | 31 | 30 | 30 | 21 | 22 | 23 | 23 | 23 | 272 | 102 | 140 | 114 | 134 | |
| | Tehuacan | 0.714 | 0.714 | 0.909 | 24 | 25 | 35 | 23 | 25 | 24 | 24 | 28 | 31 | 31 | 31 | 21 | 22 | 23 | 23 | 23 | 272 | 102 | 140 | 114 | 134 | |
| QUERÉTARO | Querétaro | 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 | |
| | San Juan del Rio. | 0.833 | 0.833 | 0.909 | 24 | 24 | 34 | 22 | 24 | 23 | 23 | 27 | 30 | 29 | 29 | 20 | 21 | 22 | 22 | 22 | 274 | 91 | 137 | 118 | 146 | |
| QUINTANA ROO | Cozumel | 0.526 | 0.526 | 0.714 | 25 | 30 | 44 | 30 | 33 | 31 | 32 | 35 | 39 | 37 | 38 | 25 | 27 | 28 | 28 | 28 | 284 | 95 | 152 | 119 | 133 | Si |
| | Chetumal | 0.526 | 0.526 | 0.625 | 25 | 31 | 45 | 31 | 34 | 32 | 32 | 36 | 40 | 38 | 39 | 26 | 27 | 28 | 29 | 29 | 284 | 95 | 152 | 119 | 133 | Si |
| | Cancun | 0.526 | 0.526 | 0.625 | 25 | 31 | 46 | 32 | 35 | 33 | 34 | 37 | 41 | 39 | 40 | 26 | 28 | 29 | 29 | 29 | 284 | 95 | 152 | 119 | 133 | Si |
| | Playa Carmen | 0.526 | 0.526 | 0.625 | 25 | 31 | 45 | 31 | 35 | 33 | 33 | 36 | 41 | 39 | 40 | 26 | 28 | 29 | 29 | 29 | 284 | 95 | 152 | 119 | 133 | Si |
| SAN LUIS POTOSI | Rio Verde | 0.556 | 0.556 | 0.909 | 25 | 28 | 41 | 27 | 30 | 29 | 29 | 33 | 36 | 35 | 35 | 24 | 25 | 26 | 26 | 26 | 274 | 91 | 137 | 118 | 146 | |
| | San Luis Potosi | 0.833 | 0.833 | 0.909 | 25 | 24 | 34 | 22 | 24 | 23 | 23 | 27 | 30 | 30 | 30 | 20 | 22 | 22 | 22 | 22 | 274 | 91 | 137 | 118 | 146 | |
| | Cd. Valles | 0.526 | 0.526 | 0.556 | 25 | 31 | 45 | 32 | 35 | 33 | 33 | 37 | 41 | 39 | 40 | 26 | 28 | 29 | 29 | 29 | 274 | 91 | 137 | 118 | 146 | |
| SINALOA | Metenuala | 0.833 | 0.833 | 0.909 | 25 | 27 | 39 | 25 | 28 | 27 | 27 | 31 | 34 | 33 | 34 | 22 | 24 | 25 | 25 | 25 | 274 | 91 | 137 | 118 | 146 | |
| | Culiacan | 0.526 | 0.526 | 0.556 | 25 | 31 | 46 | 32 | 36 | 33 | 34 | 37 | 41 | 39 | 41 | 27 | 28 | 29 | 29 | 29 | 322 | 70 | 159 | 131 | 164 | |
| | Mazatlan | 0.526 | 0.526 | 0.625 | 25 | 31 | 45 | 31 | 34 | 32 | 33 | 36 | 40 | 38 | 39 | 26 | 27 | 28 | 29 | 29 | 322 | 70 | 159 | 131 | 164 | |
| | Guesave | 0.526 | 0.526 | 0.556 | 25 | 32 | 47 | 33 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 40 | 41 | 27 | 28 | 30 | 30 | 30 | 322 | 70 | 159 | 131 | 164 | |
| | Los Mochis | 0.526 | 0.526 | 0.625 | 25 | 32 | 47 | 33 | 36 | 34 | 34 | 38 | 42 | 40 | 41 | 27 | 28 | 30 | 30 | 30 | 322 | 70 | 159 | 131 | 164 | |

Anexo 2: Continuación

| ESTADO | Ciudad | K de referencia (W/m²K) | | CONDUCCIÓN | | | | | | | | | | RADIACIÓN | | | | Barrera para vapor | | | | | | | | |
|--------------|---------------|--|---------------------|------------|------------|---------------------|-------|-------------|--------------|----|----|-------------|----|--------------|----|-----------------|----------|--------------------|----|----|---|-----|-----|-----|-----|----|
| | | | | OPACA | | | | | TRANSPARENTE | | | | | TRANSPARENTE | | | | | | | | | | | | |
| | | Temperatura equivalente promedio te (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros compartidos | Mas de tres niveles | | T interior | Superficie inferior | Techo | Muro masivo | | | | Muro ligero | | | | Tegoluz y alero | Ventanas | | | | Factor de ganancia solar promedio Fg (W/m²) | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Techo y muro | Techo | Muro | | | | N | E | S | O | N | E | S | O | N | E | S | O | Tegoluz y alero | N | E | S | O | | | | |
| SONORA | Guaymas | 0.476 | 0.476 | 0.556 | 25 | 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 |
| | 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 | |
| TABASCO | 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 |
| | 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 |
| TAMAULIPAS | 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 |
| | Matamoros | 0.556 | 0.556 | 0.833 | 25 | 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 | |
| TLAXCALA | 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 | |
| | 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 | |
| VERACRUZ | Coatzacoalcos | 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 | |
| | 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 |
| YUCATAN | 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 |
| | Veracruz | 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 |
| | Mérida | 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 |
| | 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 |
| | Valledolid | 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 |
| ZACATECAS | 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 | |

Anexo 3: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor

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

$$K = \frac{1}{M}$$

Donde:

- K es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, de superficie a superficie, en W/m^2K ;
- M es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en m^2K/W .

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

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

$$M = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}$$

Donde:

- M: es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en m^2K/W ;
- h_i : es la conductancia superficial interior, en W/m^2K . 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 W/m^2K .
- 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_1 : es el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, en W/mK.

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

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

$$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{\text{parcial}} + \frac{g}{\lambda_1}} + \frac{F_2}{M_{\text{parcial}} + \frac{g}{\lambda_2}} + \dots + \frac{F_m}{M_{\text{parcial}} + \frac{g}{\lambda_m}}}$$

$$M_{\text{parcial}} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}$$

Donde:

- M_{parcial} es el aislamiento térmico parcial de una porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, se superficie a superficie ($\text{m}^2\text{K/W}$). Es la suma de todos los aislamientos térmicos de todas las capas y aislamientos superficiales que componen la parte de la envolvente del edificio para uso habitacional, 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 para uso habitacional, ocupada por cada material en la capa no homogénea.
- g : es el espesor o grueso de la capa no homogénea.

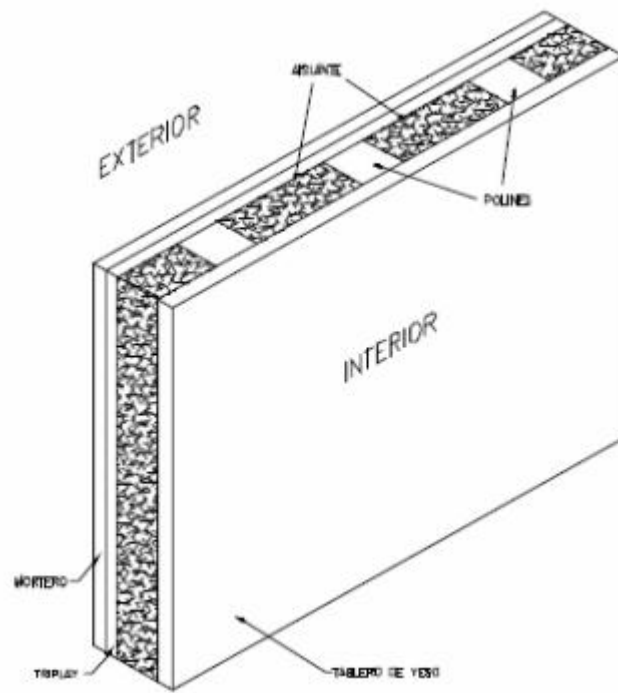


Figura An.1

Anexo 4: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana con volado con extensión lateral más allá de los límites de ésta

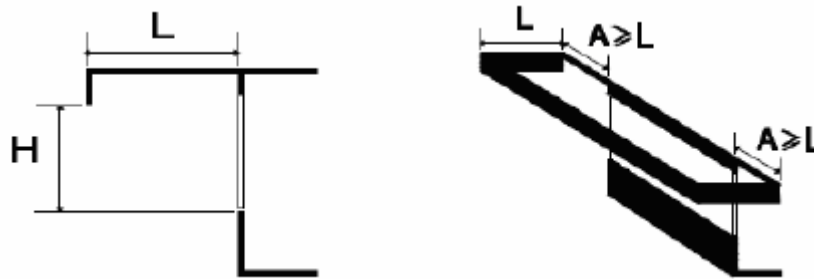


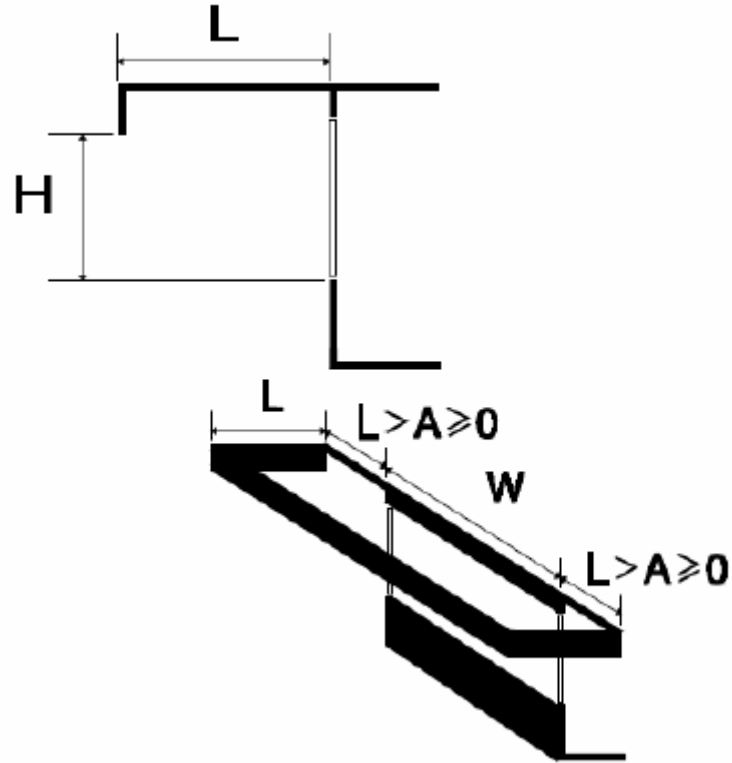
Tabla 2. Factor de corrección de sombreado exterior (SE)

| 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°)

Anexo 5: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana con volado con extensión lateral hasta los límites de ésta



| Ventanas al Norte con latitud de 19° y hasta 14° | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|-----------|
| $W/H \rightarrow$ | 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 |

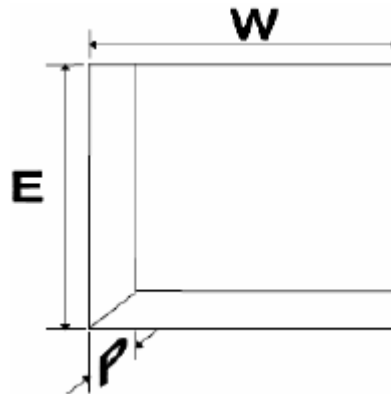
| Ventanas al Sur con latitud de 19° y hasta 14° | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|-----------|
| W/H→ | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 y mayor |
| L/H | | | | | | |
| 0,0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 0,1 | 0,94 | 0,91 | 0,90 | 0,87 | 0,86 | 0,86 |
| 0,2 | 0,90 | 0,84 | 0,81 | 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 |

Anexo 6: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana remetida.



| 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 |

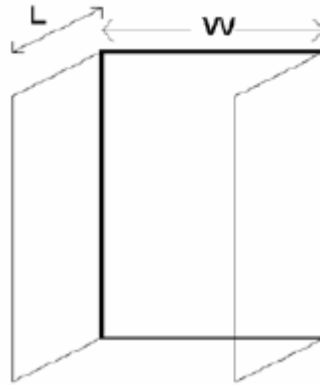
| Ventanas al Sur con latitud de 19° y hasta 14° | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|-----------|
| W/E→ | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 y mayor |
| | | | | | | |
| P/E | | | | | | |
| 0,0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 0,1 | 0,77 | 0,83 | 0,87 | 0,85 | 0,85 | 0,87 |
| 0,2 | 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 |

Anexo 7: Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 - Tablas para Determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior. Ventana 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 |

Anexo 8: Listado de personal del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología y su aporte calorífico

| | Nº (*) | Tiempo (hr) (*) | Calor (Kcal/hr) (**) | Q'i (Watt/día) |
|--|--------|-----------------|----------------------|----------------|
| Usuarios en laboratorio | 10 | 8 | 175 | 16282.00 |
| Usuarios en laboratorio – Medio tiempo | 9 | 4 | 175 | 7326.90 |
| Administrativos | 9 | 4 | 145 | 6070.86 |
| Eventuales | 8 | 2 | 175 | 3256.40 |
| Calor interno – Personal (Watt/día) | | | | 32936.16 |

FUENTE:

(*) Número de personal y tiempo de uso de las instalaciones obtenido de las visitas a las instalaciones del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología.

(**) Koenigsberger (1977).

Anexo 9: Listado de luminarias y potencias del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología

| | Nº | Tiempo (hr) | Calor (Watts) | Q _i (Watt/día) |
|--|-------|-------------|---------------|---------------------------|
| ARTEFACTO EMPOTRADO A TECHO C/ 1 LAMP. 150 W HALOG. METAL C/ BALASTO ELEC. (MOD. ALPHA SPOT-E JOSFEL O SIMILAR) | 22.00 | 4 | 150 | 13200 |
| ARTEFACTO EMPOTRADO A TECHO C/ 1 LAMP. 150 W HALOG. METAL C/ BALASTO ELEC. (MOD. METAL SPOT-E JOSFEL O SIMILAR) | 8.00 | 4 | 150 | 4800 |
| ARTEFACTO EMPOTRADO A TECHO C/ 4 LAMP. FLUORESCENTE 18 W Y BALASTO ELECTRONICO (MOD. RBL-E DE JOSFEL O SIMILAR) | 78.00 | 4 | 18 | 5616 |
| ARTEFACTO ADOSADO A TECHO C/ 2 LAMP. FLUORESCENTE 36 W (MDO. RAS - M TL36 JOSFEL O SIMILAR) | 63.00 | 4 | 36 | 9072 |
| ARTEFACTO ADOSADO A TECHO HERMETICO C/ 2 LAMP. FLUORESCENTE DE 36 W (MDO. AHR-Z / 2TL36 JOSFEL O SIMILAR) | 4.00 | 4 | 36 | 576 |
| ARTEFACTO ADOSADO A PARED C/ 1 LAMP. VAPOR DE SODIO 70 W. ANTIVANDALICO (MDO. RSP JOSFEL O SIMILAR) | 14.00 | 4 | 70 | 3920 |
| ARTEFACTO ADOSADO A PARED C/ 2 LAMP FLUORESCENTE 36 W, C/ BALASTO ELECTRONICO, TIPO ULTRAVIOLETA | 7.00 | 4 | 36 | 1008 |
| ARTEFACTO ADOSADO A PISO C/ 1 LAMP. VAPOR DE SODIO 70 W, EN PEDESTAL ANTIVANDALICO (MDO. BOLLARD JOSFEL O SIMILAR) | 9.00 | 4 | 70 | 2520 |
| Calor interno – Luminarias (Watt/día) | | | | 40712 |

FUENTE: D + M ARQUITECTOS S.A.C. (2011)

Anexo 10: Listado de equipos y potencias del Laboratorio de Enseñanza e Investigación en Microbiología y Biotecnología

| Ambiente | Unidades | Horas de uso/día (*) | Potencia (Watts) | Fuente | Potencia total (Watts/día) |
|---|-----------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| PISO 1 | | | | | |
| Laboratorio de enseñanza 1 | | | | | |
| Cámara de fotoperiodo | 1 | 2 | 2100 | SevMexico. (s.f.) | 4200 |
| Refrigeradora para semillas | 1 | 8 | 180 | (**) | 1440 |
| Agitador | 1 | 0.08 | 26.4 | (**) | 2.20 |
| Compresor (bomba al vacío) | 1 | 0.05 | 193.6 | (**) | 9.68 |
| Baño María | 1 | 4 | 1200 | (**) | 4800 |
| Sala de procesamiento de resultados de servicio | | | | | |
| Computadora | 1 | 9 | 200 | MINEM (s.f. a) | 1800 |
| Impresora multifuncional | 1 | 9 | 150 | MINEM (s.f. a) | 1350 |
| Monitor (vigilancia) | 2 | 24 | 100 | MINEM (s.f. a) | 4800 |
| CPU (vigilancia) | 2 | 24 | 100 | MINEM (s.f. a) | 4800 |
| Sala de reuniones + jefatura | | | | | |
| Computadora | 1 | 9 | 200 | MINEM (s.f. a) | 1800 |
| Almacén de muestras perecibles | | | | | |
| Baño María | 1 | 9.6 | 1200 | (**) | 11520 |
| Balanza | 2 | 0.1 | 4.8 | (**) | 1.0 |
| Almacén de muestras no perecibles | | | | | |
| Refrigeradora 1 | 1 | 8 | 190 | (**) | 1520 |
| Refrigeradora 2 | 1 | 8 | 120 | (**) | 960 |
| Estufa | 1 | 14.4 | 330 | (**) | 4752 |
| Oficina | | | | | |
| Laptop | 2 | 9 | 25 | MINEM (s.f. b) | 450 |
| Impresora multifuncional | 2 | 9 | 150 | (**) | 2700 |

Anexo 10: Continuación

| Ambiente | Unidades | Horas de uso/día (*) | Potencia (Watts) | Fuente | Potencia total (Watts/día) |
|------------------------------|----------|----------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|
| Área de cómputo | | | | | |
| Laptop | 7 | 9 | 25 | MINEM (s.f. b) | 1575 |
| Impresora | 1 | 9 | 150 | MINEM (s.f. a) | 1350 |
| Computadora | 1 | 9 | 200 | MINEM (s.f. a) | 1800 |
| UPS 1 | 1 | 24 | 1600 | (**) | 38400 |
| UPS 2 | 1 | 24 | 13500 | (**) | 324000 |
| Transformador | 1 | 24 | 1000 | (**) | 24000 |
| Módem | 1 | 24 | 30 | MINEM (s.f. a) | 720 |
| Preprocesamiento de muestras | | | | | |
| Horno (similar a estufa) | 1 | 24 | 330 | (**) | 7920 |
| Peletizador | 1 | 0.2 | 7992.9 | Lippel (s.f.) | 1598.6 |
| Compresor | 1 | 0.2 | 2664.3 | (**) | 532.9 |
| Cubil | | | | | |
| Cabina de bioseguridad | 1 | 9 | 1300 | (**) | 11700 |
| Sala del biorreactor | | | | | |
| Laptop | 1 | 4.8 | 25 | MINEM (s.f. b) | 120 |
| Biorreactor | 1 | 4.8 | 300 | Bionet Engineering (s.f.) | 1440 |
| Bomba peristaltic | 1 | 4.8 | 143 | (**) | 686.4 |
| Equipo de microbiología | | | | | |
| Laptop | 1 | 0.4 | 25 | MINEM (s.f. b) | 10 |
| Lector de placas | 1 | 0.4 | 100 | (**) | 40 |
| Bomba de vacío | 1 | 8 | 450 | (**) | 3600 |
| Liofilizador | 1 | 8 | 1288 | (**) | 10304 |
| Rotor para centrifuga HERMLE | 1 | 6 | 1980 | (**) | 11880 |
| Ultra congeladora Ilshin | 1 | 8 | 1332.14 | (**) | 10657.14 |
| Ultra congeladora Sanyo | 1 | 8 | 1180 | (**) | 9440 |

Anexo 10: Continuación

| Ambiente | Unidades | Horas de uso/día (*) | Potencia (Watts) | Fuente | Potencia total (Watts/día) |
|--|-----------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Incubadora en frío | 1 | 24 | 1130 | (**) | 27120 |
| Sala de equipos bioquímica | | | | | |
| Computadora | 1 | 0.15 | 200 | MINEM (s.f. a) | 30 |
| Cromatógrafo de gases | 1 | 0.15 | 2360 | (**) | 354 |
| HPLC1 | 1 | 0.25 | 256 | (**) | 64 |
| HPLC2 | 1 | 0.25 | 144 | (**) | 36 |
| HPLC3 | 1 | 0.25 | 128 | (**) | 32 |
| HPLC4 | 1 | 0.25 | 128 | (**) | 32 |
| Estabilizador | 1 | 24 | 5600 | (**) | 134400 |
| UPS | 1 | 24 | 5400 | (**) | 129600 |
| Lavado y esterilización de material limpio | | | | | |
| Estufa eléctrica de esterilización | 1 | 2.4 | 2200 | (**) | 5280 |
| Autoclave | 1 | 3 | 4000 | (**) | 12000 |
| Sala de preparación de medios de cultivo y muestras | | | | | |
| Refrigeradora | 1 | 8 | 133.21 | (**) | 1065.71 |
| Destilador | 1 | 24 | 65 | Pro-Analise (s.f.) | 1560 |
| pHmetro | 1 | 0.1 | 2.88 | (**) | 0.288 |
| Agitador | 1 | 0.083 | 50 | (**) | 4.17 |
| Microscopía | | | | | |
| Microscopio Nikon | 1 | 1 | 76.8 | (**) | 76.8 |
| Microscopio Leica | 1 | 1 | 3 | (**) | 3 |
| Esteroscopio Leica | 1 | 1 | 3 | (**) | 3 |
| Espectofotómetro | 2 | 1 | 64 | (**) | 128 |
| Microscopio de fluorescencia | 1 | 0.5 | 86.4 | (**) | 43.2 |
| PC | 1 | 0.5 | 200 | MINEM (s.f. a) | 100 |
| Refrigeradora con congeladora 1 | 1 | 8 | 180 | (**) | 1440 |
| Refrigeradora con congeladora 2 | 1 | 8 | 264 | (**) | 2112 |
| Refrigeradora | 1 | 8 | 396 | (**) | 3168 |

Anexo 10: Continuación

| Ambiente | Unidades | Horas de uso/día (*) | Potencia (Watts) | Fuente | Potencia total (Watts/día) |
|---|-----------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Cuarto de 28° | | | | | |
| Agitador | 2 | 9.6 | 26.4 | (**) | 506.88 |
| Esterilización de material sucio | | | | | |
| Autoclave | 1 | 3 | 3000 | (**) | 9000 |
| Sala de trabajo Microbiología | | | | | |
| Cabina de bioseguridad | 1 | 9 | 2024 | (**) | 18216 |
| Campana extractora | 1 | 0.2 | 300 | MINEM (s.f. a) | 60 |
| Microondas | 1 | 1.67 | 1500 | (**) | 2500 |
| Vinera | 1 | 24 | 92 | (**) | 2208 |
| Estufa 1 Lab-Line imperial II incubator | 1 | 24 | 400 | (**) | 9600 |
| Estufa 2 Biogen | 1 | 1.8 | 400 | (**) | 720 |
| Estufa 3 Memmert | 1 | 24 | 900 | (**) | 21600 |
| Estufa 4 Memmert | 1 | 24 | 900 | (**) | 21600 |
| Agitador Mrc | 2 | 24 | 26.4 | (**) | 1267.2 |
| Micrómetro | 1 | 0.25 | 36 | RMC Boeckeler (2016) | 9 |
| Centrífuga MPW | 1 | 0.1 | 120 | (**) | 12 |
| Vortex | 3 | 0.25 | 28.16 | (**) | 21.12 |
| PISO 2 | | | | | |
| Laboratorio de enseñanza 2 | | | | | |
| Autoclave | 1 | 1 | 2000 | (**) | 2000 |
| Refrigeradora | 1 | 8 | 188 | (**) | 1504 |
| Incubadora en frío | 1 | 24 | 1200 | (**) | 28800 |
| Sala de conferencias | | | | | |
| Proyector multimedia | 1 | 2 | 230.4 | (**) | 460.8 |
| Sala de trabajo | | | | | |
| Termobloque Branson | 1 | 0.5 | 90 | (**) | 45 |
| Vortex | 1 | 0.05 | 15 | (**) | 0.75 |
| Sonicador | 1 | 0.1 | 200 | (**) | 20 |

Anexo 10: Continuación

| Ambiente | Unidades | Horas de uso/día (*) | Potencia (Watts) | Fuente | Potencia total (Watts/día) |
|---------------------------------------|----------|----------------------|------------------|-------------------------|----------------------------|
| Mikro 200R centrifuga | 1 | 0.1 | 364.8 | (**) | 36.48 |
| Vinera General Electric | 1 | 24 | 92 | (**) | 2208 |
| Destilador de agua ultra pura | 1 | 24 | 64 | (**) | 1536 |
| Combined meter pH/mV&EC/TDS/NaCl | 1 | 0.1 | 2.88 | (**) | 0.29 |
| Cámara de bioseguridad | 1 | 4 | 500 | (**) | 2000 |
| Estabilizador de voltaje Power Safe | 1 | 24 | 80 | (**) | 1920 |
| Ice crusher professional | 1 | 0.02 | 144 | (**) | 2.4 |
| Balanza analítica Kessel | 1 | 0.1 | 2.88 | (**) | 0.29 |
| Balanza electrónica Henkel | 1 | 0.1 | 2.88 | (**) | 0.29 |
| Congeladora Frigidaire | 1 | 8 | 500 | MINEM (s.f. a) | 4000 |
| Vortex mixer | 1 | 0.05 | 28.16 | (**) | 1.41 |
| Microcentrífuga MPW-55 | 1 | 0.1 | 95 | (**) | 9.5 |
| Grupo de Baño María Labnet (dry bath) | 1 | 0.1 | 115.92 | (**) | 11.59 |
| Espectrofotómetro de ADN | 1 | 0.1 | 30 | (**) | 3 |
| Corredor 07 | | | | | |
| Congeladora | 1 | 8 | 155 | (**) | 1240 |
| Cuarto de siembra 2 (selva) | | | | | |
| Luces LED | 13 | 12 | 7.5 | General Electric (2013) | 1170 |
| Cuarto de siembra 3 (costa) | | | | | |
| Fluorescentes | 13 | 12 | 36 | (**) | 5616 |

Anexo 10: Continuación

| Ambiente | Unidades | Horas de uso/día (*) | Potencia (Watts) | Fuente | Potencia total (Watts/día) |
|-------------------------------------|----------|----------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|
| Cubil 4 | | | | | |
| Balanza electrónica Henkel | 1 | 0.1 | 2.88 | (**) | 0.288 |
| Electroforesis | | | | | |
| Fuente de poder (para las cámaras) | 1 | 1.5 | 150 | (**) | 225 |
| Sala de bio informática | | | | | |
| Computadora | 1 | 0.2 | 200 | MINEM (s.f. a) | 40 |
| Sala de revelado | | | | | |
| Trasluminador | 1 | 0.02 | 160 | (**) | 2.67 |
| Fotodocumentador + trasluminador UV | 2 | 0.02 | 115.2 | Life Technologies (2011) | 3.84 |
| PCR en tiempo real | | | | | |
| UPS | 1 | 2 | 80 | (**) | 160 |
| Transformador | 1 | 2 | 100 | (**) | 200 |
| Termociclador en tiempo real 1 | 1 | 0.1 | 800 | (**) | 80 |
| Termociclador en tiempo real 2 | 1 | 0.2 | 800 | (**) | 160 |
| Termociclador en tiempo real 3 | 1 | 0.2 | 950 | (**) | 190 |
| Dispensador automático | 1 | 0.33 | 150 | (**) | 50 |
| Laptop (termociclador 3) | 1 | 0.2 | 51.8 | (**) | 10.36 |
| Comedor | | | | | |
| Horno microondas | 1 | 0.5 | 1200 | (**) | 600 |
| Refrigeradora | 1 | 8 | 119 | (**) | 952 |
| Calor interno – Equipos (Watt/día) | | | | | 969911.13 |

FUENTE:

(*) Información de horas de uso obtenida mediante visita a las instalaciones.

(**) Información de potencias de equipos obtenida de las visitas a las instalaciones en conjunto con el documento Lista de Detallada de equipos y artefactos del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología [2011-01062/OSG] (Vásquez, 2011)⁷

⁷ Vásquez, J. 2011. Lista de Detallada de equipos y artefactos del Laboratorio de Microbiología y Biotecnología [2011-01062/OSG] (carta). Lima, Oficina de Servicios Generales - UNALM.

Anexo 11: Información de dirección y velocidad del viento para la estación Von Humboldt (Periodo 2011-2013) - Senamhi

| Mes | Dirección y velocidad del viento | | |
|-----|----------------------------------|---------|---------|
| | 2011 | 2012 | 2013 |
| 1 | WSW-1.5 | WSW-1.6 | WSW-1.7 |
| 2 | WSW-1.5 | WSW-1.6 | W-1.5 |
| 3 | WSW-1.4 | WSW-1.5 | W-1.3 |
| 4 | WSW-1.4 | WSW-1.4 | W-1.3 |
| 5 | WSW-1.3 | WSW-1.3 | W-1.2 |
| 6 | WSW-1.2 | WSW-1.3 | W-1.2 |
| 7 | SW-1.2 | SW-1.4 | WSW-1.1 |
| 8 | SW-1.2 | SW-1.3 | WSW-1.2 |
| 9 | WSW-1.5 | WSW-1.4 | W-1.2 |
| 10 | WSW-1.6 | WSW-1.6 | W-1.5 |
| 11 | WSW-1.6 | WSW-1.6 | W-1.5 |
| 12 | WSW-1.6 | WSW-1.6 | W-1.5 |