



UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

TÍTULO

**FACTOR SOLAR MODIFICADO ÓPTIMO ECONÓMICO EN EDIFICACIÓN TERCIARIA  
PARA ZONA CLIMÁTICA SUR INTERIOR EN LA CIUDAD DE TEMUCO CHILE Y SU  
COMPARACIÓN CON VALORES RECOMENDADOS EN NTM-11, TDR<sub>e</sub> Y CES.**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: JORGE PETERS GATICA

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUIA: DR. ARIEL BOBADILLA MORENO

CO-TUTOR: DR. CARLOS RUBIO BEDILLIO

CONCEPCIÓN 2016

**A mi familia:**

Lorena y Philippa,  
las amo, gracias por  
el tiempo regalado  
para terminar  
este proyecto.

## **RESUMEN:**

En Chile es necesario investigar la implicancia del Factor Solar Modificado (FSM) en el confort térmico y su efecto en la demanda energética.

El marco normativo actual chileno está conformado por los Requisitos y mecanismos de acreditación para el acondicionamiento ambiental de las edificaciones (NTM 011), Términos de Referencia del Ministerio de Obras Públicas (TDR<sub>e</sub>) y el Sistema de Certificación Sustentable (CES), éstas normas deben ser evaluadas para que la temperatura operativa se mantenga dentro de rango el mayor tiempo posible.

En el presente estudio se obtienen valores óptimos de FSM mediante simulaciones que consideran la orientación y protección solar de la edificación. Se analiza el edificio Consistorial de Collipulli y el edificio de la Gobernación Provincial de Malleco, estableciendo el ahorro económico que se puede generar en el uso de sistemas activos y el consumo eléctrico por iluminación mediante la obtención de un FSM óptimo económico. Finalmente, se comparan los óptimos obtenidos con los valores que recomiendan la NTM11, TDR<sub>e</sub> y CES, planteando un precedente para el establecimiento de los límites de FSM en Chile.

## **PALABRAS CLAVES:**

Factor Solar Modificado; Protecciones Solares; Comfort Térmico; Demanda Energética.

## **ABSTRACT:**

In Chile it is necessary to investigate the implications of the Modified Solar Factor (FSM) on thermal comfort and its effect on energy demand.

The current Chilean normative framework is conformed by the Requirements and mechanisms of accreditation for the environmental conditioning of the buildings (NTM 011), Terms of Reference of the Ministry of Public Works (TDR<sub>e</sub>) and the Sustainable Certification System (CES). Be evaluated so that the operating temperature is kept within range as long as possible.

In the present study, optimal values of FSM are obtained through simulations that consider the orientation and solar protection of the building. It analyzes the building of Collipulli and the building of the Provincial Government of Malleco, establishing the economic savings that can be generated in the use of active systems and the electricity consumption by lighting by obtaining an optimal economic FSM.

Finally, we compare the obtained optimum with the values recommended by the NTM11, TDR<sub>e</sub> and CES, setting a precedent for the establishment of the limits of FSM in Chile.

## **GLOSSARY**

Solar Factor Modified ; Sunscreens ; Thermal Comfort ; Energy Demand.

## NOMENCLATURA

$FSM$	: Factor Solar Modificado.
$F_{Sombra}$	: Factor Sombra.
$F_{Solar}$	: Factor Solar.
$F_m$	: Fracción de la ventana ocupada por el marco.
$g_{\perp}$	: Factor Solar de la parte semi transparente de la ventana.
$U_m$	: Transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario [W/m <sup>2</sup> K].
$\alpha$	: Absortividad del marco en función de su color. La absortividad va desde 0,0 (0%) hasta 1,0 (100%).
$\sum A_{vanos}$	: Sumatoria de área de vanos.
NTM-11	: Anteproyecto de Norma Térmica 11: Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones
TDR <sub>e</sub>	: Términos de Referencia Estandarizados con parámetros de eficiencia energética y comfort ambiental, para licitaciones de diseño y obras de la Dirección de Arquitectura según zonas geográficas del país y según tipología de edificios, Ministerio de Obras Públicas de Chile.
CES	: Sistema de Certificación Nacional "Certificación Edificio Sustentable".
CTE	: Código Técnico de la Edificación, Ministerio de Vivienda, España.
COP	: Coeficiente de Performance.
EFE	: Estudio de Eficiencia Energética.
MOP	: Ministerio de Obras Públicas de Chile.
LED	: Diodo Emisor de Luz.
Nch	: Norma Chilena.

## ÍNDICE

### 1. INTRODUCCIÓN.

- 1.1 Planteamiento del Problema.....pág. 1
- 1.2 Hipótesis del Proyecto.....pág. 1

### 2. OBJETIVOS.

- 2.1 Objetivo General.....pág. 2
- 2.2 Objetivos Específicos.....pág. 2

### 3. METODOLOGÍA.

- 3.1 Metodología del Proyecto.....pág. 3

### 4. ESTADO DEL ARTE.

- 4.1 Estado del arte del Factor Solar Modificado.....pág. 5

### 5. CASOS DE ESTUDIO.

- 5.1 Clima de la Novena Región de la Araucanía.....pág. 8
- 5.2 Estudio de Campo Edificación Terciaria en la Novena Región.....pág. 10
- 5.3 Selección de casos de Estudio.....pág. 13
  - 5.3.1 Edificio Consistorial de Collipulli.....pág. 14
  - 5.3.2 Gobernación Provincial de Malleco.....pág. 16

### 6. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN.

- 6.1 Base de Datos Climática.....pág. 18
- 6.2 Clasificación de los Recintos.....pág. 19
- 6.3 Materialidad de los Edificios.....pág. 19
- 6.4 Rango de Comfort Térmico y Sistemas Activos.....pág. 20
- 6.5 Rango de Operación y Ocupación de los Edificios.....pág. 20
- 6.6 Cargas Internas.....pág. 20
- 6.7 Aporte Energético por Luminarias.....pág. 21

### 7. SIMULACIONES.

- 7.1 Cálculo de FSM en Casos Base.....pág. 22
- 7.2 Análisis de Combinaciones de FSM.....pág. 23
- 7.3 Resultados de Simulaciones.....pág. 25
  - 7.3.1 Resultados de Simulaciones Collipulli.....pág. 25

7.3.2 Resultados de Simulaciones Malleco..... pág. 30

## **8. DETERMINACIÓN DE FACTOR SOLAR MODIFICADO ÓPTIMO ECONÓMICO.**

8.1 Estudio Económico..... pág. 35

8.1.1 Análisis de los Costos de Operación en Casos Bases..... pág. 37

8.1.2 Costos de Operación Orientación Noreste – Este – Noroeste,  
Edificio Consistorial de Collipulli..... pág. 38

8.1.2.1 Análisis Costos de Climatización Collipulli..... pág. 38

8.1.2.2 Análisis Costos de Iluminación Collipulli..... pág. 38

8.1.3 Costos de Operación Orientación Norte – Este – Oeste, Edificio  
Gobernación Provincial de Malleco..... pág. 39

8.1.3.1 Análisis Costos de Climatización Malleco..... pág. 39

8.1.3.2 Análisis Costos de Iluminación Malleco..... pág. 40

8.2 Obtención de FSM Óptimo Bajo Análisis de Costos..... pág. 41

8.2.1 FSM Óptimo para la Orientación Noreste – Este – Noroeste.... pág. 41

8.2.2 FSM Óptimo para la Orientación Norte – Este – Oeste..... pág. 42

## **9. ANÁLISIS DE RESULTADOS RESPECTO A RECOMENDACIONES TÉCNICAS.**

9.1 Análisis de Resultados Respecto Proyecto de Norma NTM11..... pág. 44

9.1.1 Análisis Orientación Noreste – Este – Noroeste  
respecto a NTM11..... pág. 44

9.1.2 Análisis Orientación Norte – Este – Oeste  
respecto a NTM11..... pág. 45

9.2 Análisis de Resultados respecto a TDRé..... pág. 46

9.2.1 Análisis Orientación Noreste – Este – Noroeste  
respecto a TDRé..... pág. 46

9.2.2 Análisis Orientación Norte – Este – Oeste  
respecto a TDRé..... pág. 47

9.3 Análisis de Resultados respecto Sistema CES..... pág. 48

9.3.1 Análisis Orientación Noreste – Este – Noroeste  
respecto a CES..... pág. 48

9.3.2 Análisis Orientación Norte – Este – Oeste

respecto a CES..... pág. 49

**10. CONCLUSIONES.**

10.1 Conclusiones Generales..... pág. 51

10.1.1 Edificio Consistorial de Collipulli..... pág. 51

10.1.2 Edificio Gobernación Provincial de Malleco..... pág. 51

10.2 Conclusiones Específicas..... pág. 53

**11. BIBLIOGRAFÍA.**

11.1 Artículos de Investigación..... pág. 55

11.2 Literatura..... pág. 56

**12. ANEXOS.**

Tabla 12.1: Transmitancia Térmica del Perfil de los Marcos en las Superficies

Vidriadas..... pág. 57

Tabla 12.2: Factor Solar..... pág. 57

Tabla 12.3: Transmitancia Térmica de las Superficies Vidriadas..... pág. 57

Tabla 12.4: Valores Típicos de Factor Solar..... pág. 58

Tabla 12.5: Absortividad del Marco para Radiación Solar  $\alpha$ ..... pág. 58

Tabla 12.6: Factor Sombra para obstáculos de Fachada (voladizo)..... pág. 58

Tabla 12.7: Factor Sombra para Obstáculos de Fachada (retranqueo)..... pág. 59

Tabla 12.8: Factor Sombra para Obstáculos de Fachada (laminas)..... pág. 59

Tabla 12.9: Factor Sombra para Obstáculos de Fachada (toldos)..... pág. 60

Tabla 12.10: Factor Sombra (Lucernarios)..... pág. 60

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En el año 2007, se publica la norma de Acondicionamiento Térmico, Envolvente térmica de Edificios - Cálculo de Resistencia y Transmitancias Térmicas (NCh 853) y prácticamente de manera simultánea la normativa de Arquitectura y Construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico (NCh 1079). Ambas son incorporadas en la edificación pública y privada de Chile.

En la NCh 853, sólo se limitó la transmitancia térmica de la envolvente, sin considerar la variable del acristalamiento y el Factor Solar Modificado en la demanda energética.

El marco normativo actual chileno está conformado los TDRé publicados el año 2011, el Sistema CES publicado el año 2014 y la NTM 011 que se encuentra en consulta pública desde el año 2014, sin embargo, al momento de incorporar la variable se extrapoló la realidad española establecida en el Código Técnico Español (CTE) a la realidad nacional sin hacer un estudio detallado en la materia. Estas normas deben ser evaluadas para que la temperatura operativa se mantenga dentro de rango el mayor tiempo posible.

Esto se debe a que los valores de FSM que recomienda la norma y las guías mencionadas anteriormente son el resultado de adaptaciones a condición local de experiencias internacionales, comparables por su similitud climática, lo cual debe ser analizado.

### **1.2 HIPÓTESIS DEL PROYECTO.**

El presente trabajo supone que mediante la limitación de los valores de Factor Solar Modificado para la edificación terciaria de la zona Sur interior, es posible aumentar el rango de confort térmico y obtener una demanda energética mínima óptima, cumpliendo con los niveles de iluminación exigidos por normativa y reduciendo los costos de operación de los edificios.

Conforme a lo anterior, se buscará comprobar la obtención de valores óptimos de Factor Solar Modificado a través de simulaciones que consideren la orientación y protección solar de la edificación pública de la región de la Araucanía.

## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL.**

2.1.1 Determinar valores de Factor Solar Modificado óptimo para dos casos de estudio de edificación terciaria en la región de la Araucanía, Chile, bajo estándares de eficiencia energética en la zona climática Sur interior, maximizando los tiempos de confort térmico e iluminación natural, de manera de obtener un mayor beneficio económico por la disminución del consumo de energía.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

2.2.1 Obtener mediante estudio de campo, a través del análisis de base de datos de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas de la región de la Araucanía, la configuración de edificación terciaria pública más utilizada en la región de la Araucanía, su orientación, porcentaje de vanos por fachada, protecciones solares y los valores de FSM, seleccionando los casos que consideren la totalidad de posibles orientaciones, los cuales a través de simulaciones computacionales podrán determinar óptimos que maximicen los tiempos de confort térmico, disminuyan la demanda energética y el uso de iluminación artificial.

2.2.2 Cuantificar el ahorro económico que se puede obtener en los casos analizados respecto a la situación base mediante la utilización de los óptimos calculados a través de simulaciones, diferenciando costos de calefacción, refrigeración e iluminación artificial y su impacto en las anualidades por concepto de costos en energía.

2.2.3 Comparar los valores de Factor Solar Modificado óptimo obtenido en las simulaciones respecto a los valores recomendados en la NTM11, TDR<sub>e</sub> y el Sistema de Certificación CES en el ámbito del confort térmico, considerando las necesidades actuales de uso mínimo óptimo de energía en Chile.

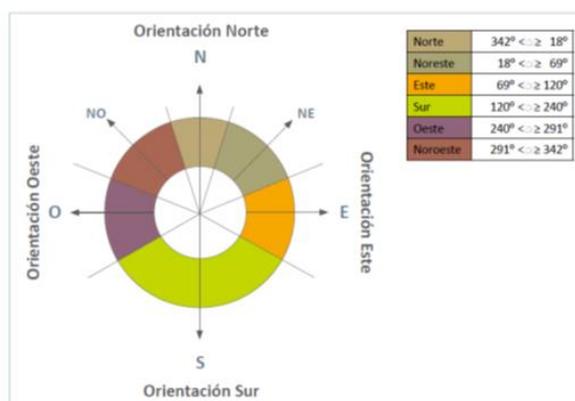
### 3. METODOLOGÍA.

#### 3.1 METODOLOGÍA DEL PROYECTO.

La metodología de trabajo se basa, primeramente, en un análisis teórico del factor solar modificado, a través de la literatura existente y la normativa internacional, además de los estudios y publicaciones que se han realizado respecto al tema. Junto con ello además se estudian las recomendaciones y estándares que actualmente están siendo considerados en Chile para considerar un valor de Factor Solar Modificado como óptimo.

Para llevar a cabo esta primera parte de la metodología, se analiza en específico el Anteproyecto de Norma NTM11 que incorporará restricciones de Factor Solar Modificado a futuro, los Términos de Referencia Estandarizados del MOP, que en la actualidad recomiendan valores de Factor Solar Modificados exigibles a las edificaciones públicas y el sistema de Certificación CES que fija un valor específico para considerar un edificio más o menos eficiente de acuerdo a la ponderación de la variable de Factor Solar Modificado en el Sistema de Certificación.

En forma paralela al punto anterior, y para establecer el caso base, se tendrá acceso a la base de datos de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas de la región de la Araucanía, con el objeto de poder realizar un análisis de la Edificación Pública y la variable de Factor Solar Modificado que se ha utilizado en los últimos años en la región. Con estos datos se obtienen las configuraciones de las superficies vidriadas más utilizadas en la región de la Araucanía, las orientaciones de las edificaciones y sus valores de Factor Solar Modificado, los cuales serán considerados para la selección de los casos de estudio y las simulaciones posteriores.



**Imagen 3.1.1:** Orientaciones a ser analizadas.

*Fuente: Sistema de Certificación CES.*

Una vez seleccionados los casos bases que permitan un mayor análisis de orientaciones por fachada se procede a simularlos mediante el software “Design Builder”. Una vez calibrado el modelo, es decir, alcanzando un valor de demanda energética similar al presentado en los EFE de los casos bases se procede a la variación de la variable Factor Solar Modificado, con el objeto de obtener un óptimo. Junto con ello se describirá detalladamente cómo se calcularán y variarán los valores de Factor Solar Modificado de manera de poder calcular a futuro, los óptimos para las otras zonas climáticas del país,

obteniendo un valor de Factor Solar modificado que reemplace los valores recomendados en la actualidad, los cuales fueron interpolados desde el Código Técnico Español.

Para la obtención del óptimo, se realizará un estudio económico de las simulaciones, con el objeto de obtener una menor demanda energética de climatización y reducir los costos de iluminación de los casos bases. Este punto se llevará a cabo mediante el cálculo de los costos de operación considerando la variación del costo de la energía eléctrica en el tiempo a través de un análisis del pliego tarifario eléctrico y la potencia contratada en cada uno de los edificios en estudio, de acuerdo a lo indicado en los EFE. Posteriormente, se procederá a evaluar la demanda energética y de iluminación de los casos de estudio respecto a los casos bases para obtener un óptimo económico de Factor Solar Modificado para la Zona Sur Interior del País.

Finalmente, se procede a comparar los óptimos obtenidos a través de simulaciones con las recomendaciones de la NTM-11, TDRé y CES con el objeto que éstos puedan ser validados o corregidos a futuro.

La metodología a seguir se muestra en el siguiente esquema:

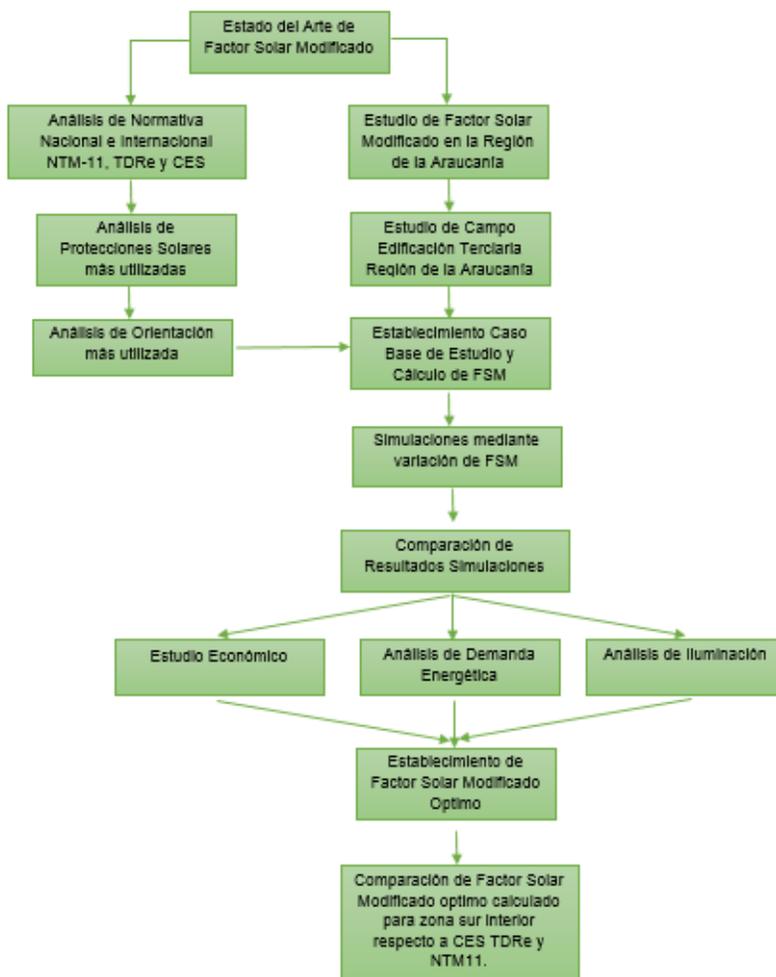


Imagen 3.1.2: Metodología.

## **4. ESTADO DEL ARTE.**

### **4.1 ESTADO DEL ARTE DEL FACTOR SOLAR MODIFICADO.**

Los estándares de eficiencia energética en la edificación terciaria a nivel nacional han ido evolucionando a través de los años. En primera instancia, se incorporan los valores de Transmitancia Térmica Mínima (Valor U) y se hizo un estudio del clima a nivel nacional.

Es así, como en el año 2007, se publica la NCh 853 “Acondicionamiento Térmico, Envoltura térmica de edificios- Cálculo de Resistencias y Transmitancias Térmicas”, y de manera casi simultánea, la NCh 1079 of 2008 “Arquitectura y Construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico”. De esta forma ambas normativas comienzan a ser incorporadas en los procesos de diseño de la edificación pública y privada a nivel nacional.

A contar del año 2006 el Ministerio de Obras Públicas comienza a incorporar criterios de eficiencia y sustentabilidad en las obras públicas para construir edificios más eficientes y con menos consumo energético, reduciendo prácticamente en 50% la demanda energética de los edificios, según el “Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos”<sup>1</sup>.

Sin embargo, en estas normativas, específicamente en la NCh 853 sólo se procedió a limitar la transmitancia térmica de la envoltura (muros, techumbre, piso y superficie acristalada), sin desarrollar la variable que juega el acristalamiento en la demanda energética de un edificio.

De esta forma, a nivel nacional se hace necesaria la restricción de las superficies acristaladas de la edificación terciaria. Conforme a lo anterior, ésta variable es incorporada en los Términos de Referencia del Ministerio de Obras Públicas TDR, el Sistema de Certificación Sustentables CES y los Requisitos y mecanismos de acreditación para el acondicionamiento ambiental de las edificaciones NTM 011-2014. Sin embargo, al momento de incorporar la variable en los tres casos anteriores se extrapoló la realidad española establecida en el Código Técnico Español a la realidad nacional, sin hacer un estudio acabado en la materia.

El Factor Solar Modificado, es el producto entre el factor sombra y el factor solar, y es utilizado para restringir el calentamiento en exceso de las edificaciones debido a la radiación solar a través de las superficies vidriadas de la envoltura (ventanas, lucernas y puertas).

El Factor Sombra, es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada como aleros, voladizos u otros, el cual se obtiene de tablas en función del dispositivo de sombra mediante simulaciones o el procedimiento establecido en la Norma Española UNE-EN-410: “Vidrio en la edificación. Determinación de las características luminosas y solares de los acristalamientos, en función de los factores de transmisión y absorción energética”, considerando convencionalmente que:

- El espectro solar es el definido en la norma.

---

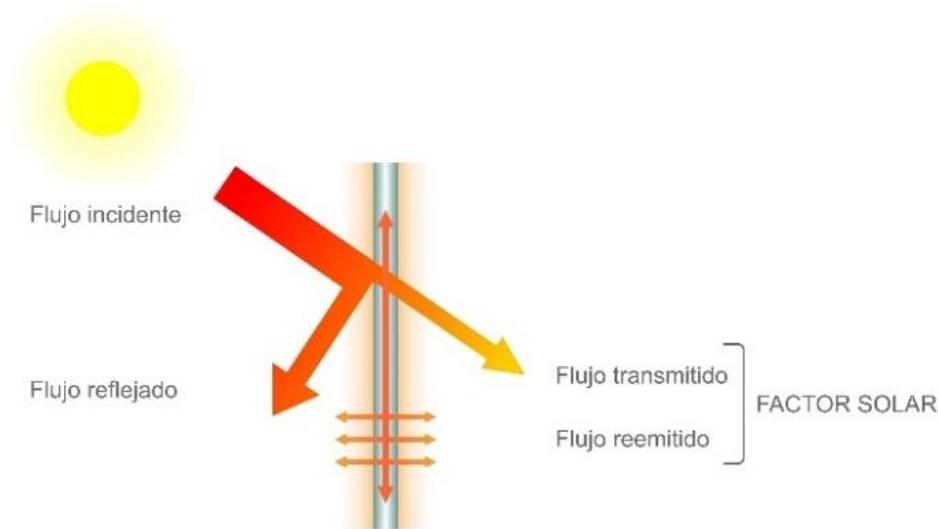
<sup>1</sup>Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos.

- La posición del vidrio es vertical.
- Las temperaturas ambientales, interior y exterior, son iguales entre sí.
- El coeficiente de intercambio del acristalamiento hacia el exterior es de 23 [W/m<sup>2</sup>K].

En caso que no se justifique fehacientemente el valor del Factor Sombra, se debe considerar igual a uno.

El Factor Solar es el cuociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente:

$$F_{Solar} = (1 - F_m) \cdot g_{\perp} + F_m \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha$$



**Imagen 4.1.1:** Esquema Factor Solar.

De esta forma, el valor de factor solar modificado se define como:

$$F_{Solar\ Modificado} = F_{Sombra} \cdot [(1 - F_m) \cdot g_{\perp} + F_m \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

Donde:

$F_{Sombra}$  : Factor Sombra.

$F_{Solar}$  : Factor Solar.

$F_m$  : Fracción de la ventana ocupada por el marco.

$g_{\perp}$  : Factor Solar de la parte semi transparente de la ventana.

$U_m$  : Transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario [W/m<sup>2</sup>K].

$\alpha$  : Absortividad del marco en función de su color

Una vez obtenido el factor solar modificado de cada ventana, se determina el factor solar modificado por fachada y orientación, el cual se compara con el valor límite de la localidad del país para esa orientación<sup>2</sup>:

$$F_{\text{Solar modificado medio de vanos acristalados de fachada}} = \frac{\sum A_{\text{vanos}} \cdot (F_{\text{sombra}} \cdot F_{\text{solar}})}{\sum A_{\text{vanos}}} < F_{\text{Solar límite medio de vanos acristalados de fachada}}$$

---

<sup>2</sup>TDR: Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Comfort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios.

## 5. CASOS DE ESTUDIO.

### 5.1 CLIMA DE LA NOVENA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.

Los edificios en estudio se ubican en las ciudades de Collipulli, Lautaro, Malleco y Temuco, sin embargo, debido a que la base de datos de Meteororm con que cuenta la universidad no dispone de estas ciudades, se utilizará para las simulaciones la ciudad de Temuco, capital de la provincia de Cautín y de la novena región de Chile. Es importante destacar que, si bien los edificios se encuentran en distintas provincias de la región, los cuatro se encuentran en la zona climática Sur Interior, por lo que el archivo climático de Temuco, se considerará como representativo para la totalidad de los casos.

La Ciudad de Temuco está ubicada al Sur de Chile y equidista del Océano Pacífico y la Cordillera de los Andes. Esta se encuentra ubicada sobre los 120 [m.s.n.m] y su ubicación georeferencial es 38°45'S, 72°38'O.

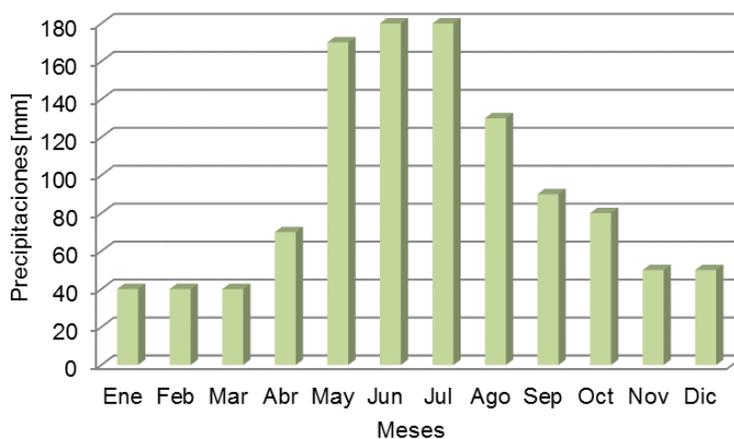
El clima de la ciudad corresponde a un clima oceánico templado lluvioso con influencia mediterránea típica de la depresión intermedia del país. A través del año se alternan las influencias anticiclónicas y ciclónicas, teniendo lluvias durante todas las estaciones del año. Los datos climáticos de la ciudad de Temuco correspondientes al año 2010 son los siguientes:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima absoluta [°C]	33	35	31	27	21	22	23	22	27	29	30	32	35
Temperatura máxima media [°C]	22	22	20	17	13	11	11	12	14	16	18	21	16
Temperatura mínima media [°C]	10	10	8	6	6	5	4	4	5	6	7	9	7
Temperatura mínima absoluta [°C]	-	-	-	-3	-3	-5	-6	-4	-3	-1	-	-	-6
Precipitación total [mm]	40	40	40	70	170	180	180	130	90	80	50	50	1190

**Tabla 5.1.1:** Parámetros Climáticos Ciudad de Temuco año 2010.

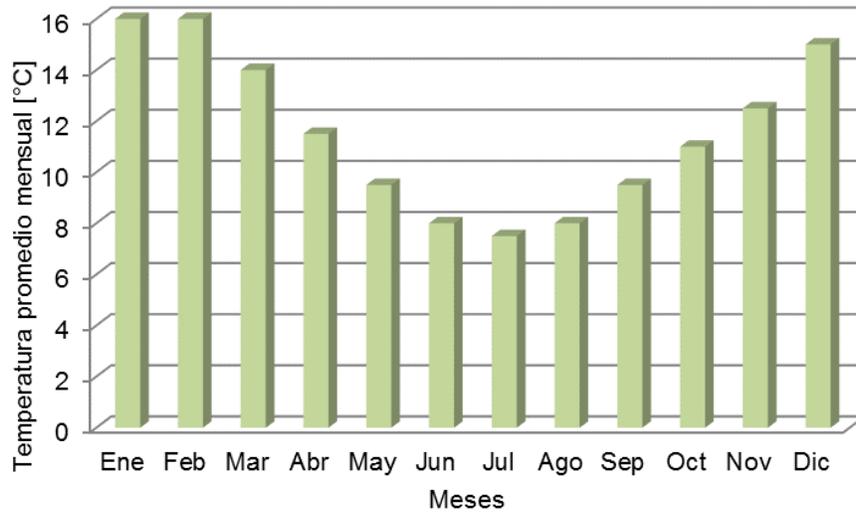
*Fuente: Weatherbase 2010.*

Conforme a la Norma Chilena NCH 1019 of 2008, la ciudad de Temuco, se encuentra clasificada en la zona Sur interior. Se caracteriza por ser una zona lluviosa y fría con heladas frecuentes. Veranos cortos, de cuatro a cinco meses con insolación moderada. Lagos y ríos numerosos, con microclimas. Vegetación robusta. Ambiente y suelo húmedo, vientos provenientes desde el Sur de mediana a baja velocidad.



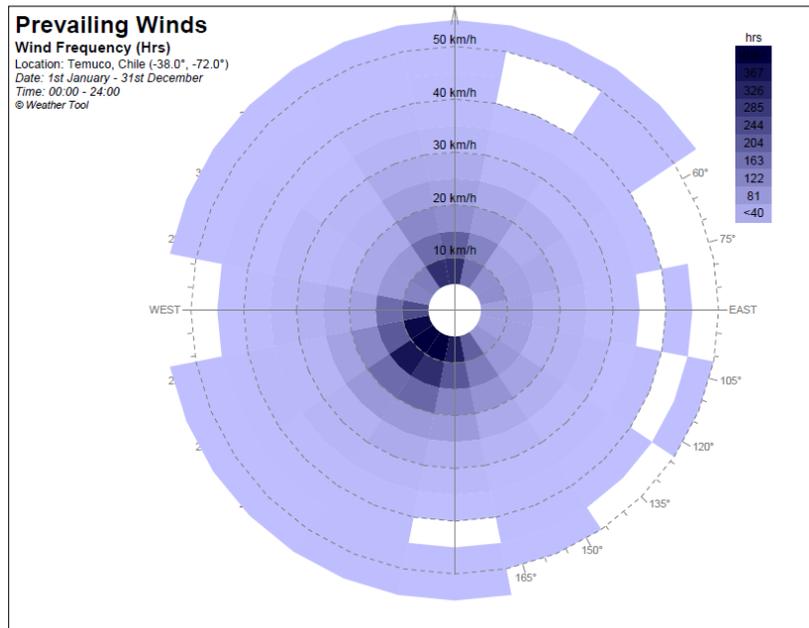
**Gráfico 5.1.1:** Precipitaciones mensuales ciudad de Temuco año 2010.

*Fuente: Weatherbase 2010.*



**Gráfico 5.1.2:** Temperatura promedio mensual ciudad de Temuco año 2010.  
*Fuente: Weatherbase 2010.*

Los vientos predominantes del sector provienen del Suroeste:



**Imagen 5.1.1:** Vientos Predominantes Ciudad de Temuco.  
*Fuente: Elaboración Propia, Software Ecotect.*

## 5.2 ESTUDIO DE CAMPO EN LA EDIFICACIÓN TERCIARIA DE LA NOVENA REGIÓN.

Conforme a los objetivos del proyecto y con el fin de establecer un valor de Factor Solar Modificado para la zona climática Sur interior, se tuvo acceso a la base de datos de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas de la Región de la Araucanía.

De manera de establecer un límite para la recolección de antecedentes, se consideró la edificación terciaria proyectada y totalmente construida a contar del año 2006 bajo estándares de eficiencia y sustentabilidad, debido a que a contar de éste año se incorporaron en las bases de licitación de los proyectos de la dirección de arquitectura de la región de la Araucanía, los estudios de Eficiencia Energética.

De esta forma, para obtener la configuración de edificación terciaria pública más utilizada en la zona Sur del país, su orientación, porcentaje de vanos por fachada, protecciones solares y los valores de Factor Solar Modificado, se analizaron los siguientes edificios públicos:

- Edificio Consistorial de Collipulli
- Fiscalía de Lautaro.
- Gobernación Provincial de Malleco
- Intendencia de Temuco

Mediante el acceso a la información, se pudo determinar, la orientación y tipo de protección solar utilizada en estos edificios.

La orientación predominante es el acceso de la edificación hacia el lado Norte, salvo en la intendencia de la ciudad de Temuco, en que, por su emplazamiento, se configuró el acceso al Sur, pues se encuentra a un costado de la plaza de armas.

Respecto a las protecciones solares, predominan protecciones del tipo “film” en las superficies vidriadas, así como dinteles y alféizares extendidos. Respecto a ésta última protección, se debe considerar si fue un diseño arquitectónico o definitivamente una protección solar, ya que en los estudios de eficiencia energética no se dice nada al respecto.

En el caso específico de la Fiscalía de Lautaro, se consideraron lamas verticales con una inclinación de 30° como protección solar.

En el caso del Edificio Consistorial de Collipulli, se utilizó como protección solar la extensión del alféizar y el dintel de la ventana.

El tipo de vidrio para la totalidad de casos analizados es termopanel en distintas configuraciones, incorporando films con filtro UV en alguno de los casos. Otro punto importante, es el uso de muros cortinas en la envolvente del tipo “Low E”, por su elevada transmisión de luz natural y estilo arquitectónico moderno.

El resumen de los datos analizados se muestra a continuación:

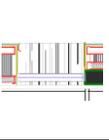
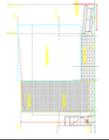
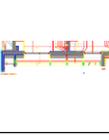
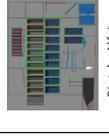
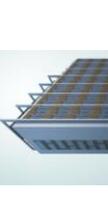
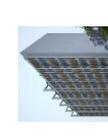
Proyecto	Emplazamiento	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Orientación	Protección Solar Norte	Protección Solar Sur	Protección Solar Oriente	Protección Solar Poniente	Tipo de Vidrio	Demanda Energética [KWh/m <sup>2</sup> .año]
 Edificio Consistorial de Collipulli Fecha de inicio: 25-12-2009		2538	N-E	 Dintel y Alfeïsar extendidos	 Dintel y Alfeïsar extendidos	 Paños de Aluminio Termopanel Alero	 Paños de Aluminio Termopanel Alero	Termopanel Vidrio Traslucido BlueGreen Vidrio Incoloro con filtro UV	72,75
 Fiscalía de Lautaro Fecha de inicio: 30-04-2013		426,97	N	 Sin Protección	 Sin Protección	 Ventana PVC Termopanel Celosia 30", Alero	 Ventana PVC Termopanel Celosia 30", Alero	Traslucido Termopanel 5-12,5 mm, con film protector de 7mm sdc arca ultra 3M	34,13 Incorpora apertura de ventanas
 Gobernación Provincial de Malleco Fecha de inicio: 05-02-2013		3487	N	 Dintel y Alfeïsar extendidos en muro cortina	 Dintel y Alfeïsar extendidos en muro cortina	 Dintel y Alfeïsar extendidos en muro cortina	 Dintel y Alfeïsar extendidos en muro cortina	Termopanel Incoloro monocristalino 5-12,5 mm	33,8 Incorpora apertura de ventanas
 Intendencia de Temuco Fecha de inicio: 13-12-11		8635	S	 Sin ventanas al norte	 Lamas Verticales y Protecciones escalonadas	 Lamas Verticales y Protecciones escalonadas	 Lamas Verticales y Protecciones escalonadas	Termopanel 6-12,6 Low E, se incorporan protecciones que disminuyen el área de la ventana y lamas verticales.	28

Imagen 5.2.1: Características Arquitectónicas y de Superficies Vidriadas Casos de Estudio.

Fuente: Estudios de Eficiencia Energética Dirección de Arquitectura MOP de la Araucanía.

Los Costos de operación de los edificios analizados son los siguientes y fueron obtenidos de los Estudios de Eficiencia Energética de cada uno de ellos:

	SUPERFICIE [m <sup>2</sup> ]	FSM PROM	DEMANDA ENERGÉTICA [KWh/m <sup>2</sup> -año]	SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	COSTO NETO INVERSIÓN SISTEMAS ACTIVOS	AÑO DE CONSTRUCCIÓN
Edificio Consistorial de Collipulli	2538	<b>0.3660</b>	72.75	Geotermia, Bomba de Calor (losa radiante)	\$ 60,167,137	2008
Fiscalía de Lautaro	426.97	<b>0.3611</b>	34.13	Geotermia, Bomba de Calor (losa radiante)	\$ 27,862,127	2010
Gobernación Provincial de Malleco	3487	<b>0.4954</b>	35.3	Equipos de Clima Sistema VRV	\$ 158,800,000	2012
Intendencia de Temuco	8635	<b>0.2597</b>	28	Bomba de calor aire-agua, Recuperadores de calor, Unidades	\$ 232,042,531	2011

**Imagen 5.2.2:** Costos de operación Edificios en Estudio.

Fuente: Estudios de Eficiencia Energética Dirección de Arquitectura MOP de la Araucanía.

### 5.3 SELECCIÓN DE CASOS BASE DE ESTUDIO.

Posteriormente, se procedió a calcular el factor solar modificado por fachada y orientación para los 4 edificios, obteniendo los siguientes resultados:

	% Vanos Norte	FSM Norte	% Vanos Oriente	FSM Oriente	% Vanos Poniente	FSM Poniente	% Vanos N-E	FSM N-E	% Vanos N-O	FSM N-O	FSM PROM	DEMANDA ENERGÉTICA [KWh/m <sup>2</sup> ·año]
Edificio Consistorial de Collipulli			49%	0.42			91%	0.34	13%	0.34	<b>0.37</b>	72.75
Fiscalía de Lautaro			16%	0.35					35%	0.37	<b>0.36</b>	34.13
Gobernación Provincial de Malleco	15%	0.44	44%	0.48	97%	0.57					<b>0.50</b>	35.3
Intendencia de Temuco	12%	0.24	35%	0.27	41%	0.27					<b>0.26</b>	28

**Tabla 5.3.1:** FSM casos de estudio.

Al comparar los resultados con el sistema CES y los TDRé se tiene:

- Para la zona climática Sur interior, de acuerdo al Sistema de Certificación CES, se podría considerar que todos los edificios cumplen con el pre-requisito de certificación respecto al Factor Solar Modificado, ya que presentan valores inferiores a los recomendados por el sistema. En el caso de las fachadas Norte, Noreste y Noroeste se establece un valor de 0,75, mientras que para la fachada de Este y Oeste se recomienda un valor de 0.6.

Elemento	NL	ND	NVT	CL	CI	SL	SI	SE	An
U - Ventanas y Lucernarios	5,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,0	3,0	3,0	3,0
FSM - N y NE/NO	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	-	0,75	-	-
FSM -E/O	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-	0,6	-	-

**Tabla 5.3.2:** Transmitancia térmica (U – W/m<sup>2</sup>·K) para ventanas, y Factor Solar Modificado (FSM) para ventanas de fachadas y cubierta, Sistema CES.

- De acuerdo a las recomendaciones establecidas en los TDRé los edificios en estudio cumplirían con los estándares exigidos, salvo en las fachadas con más del 60% de superficie vidriada, en las cuales se indica que se debe cumplir con las exigencias de Eficiencia Energética. Conforme a lo anterior, no cumpliría el edificio Consistorial de Collipulli y la Gobernación Provincial de Malleco, que además en su fachada oriente no cumple con el máximo establecido de 0,45.

Porcentaje de Vanos %	Baja carga Interna			Alta Carga Interna		
	E/O	N	NE/NO	E/O	N	NE/NO
0 a 10	-	-	-	-	-	-
11 a 20	-	-	-	-	-	-
21 a 30	-	-	-	-	-	-
31 a 40	-	-	-	0,54	-	0,56
41 a 50	-	-	-	0,45	0,60	0,49
51 a 60	-	-	-	0,40	0,54	0,43
> 60	Debera cumplir con las exigencias de Eficiencia Energetica					
Factor solar modificado limite de lucernarios = 0,10						

**Tabla 5.3.4:** FSM TDRé.

- En el caso del anteproyecto de norma NTM-11 la ciudad de Temuco se encontraría en la zona Climática F, para la cual la totalidad de los casos en estudio no cumplen con los requisitos establecidos.

ZONA TÉRMICA	ORIENTACIÓN	PORCENTAJE DE COMPLEJO DE VENTANAS			COMPLEJO DE VENTANA EN TECHUMBRE
		31 a 40%	41 a 50%	51% o mas	
A	N	-	0,72	0,65	0,3
	O-P	-	0,57	0,5	
B	N	0,69	0,62	0,53	0,3
	O-P	0,54	0,47	0,38	
C	N	-	-	-	0,3
	O-P	-	-	-	
D	N	-	0,66	0,58	0,3
	O-P	-	0,51	0,43	
E	N	-	-	-	0,3
	O-P	-	-	-	
F	N	-	0,72	0,65	0,3
	O-P	-	0,57	0,5	
G	N	-	-	-	-
	O-P	-	-	-	
H	N	-	-	-	-
	O-P	-	-	-	
I	N	-	-	-	-
	O-P	-	-	-	

**Tabla 5.3.5:** FSM NTM 11.

Es de suma importancia destacar que las diferencias en los 3 criterios que se analizan, hacen necesario realizar un estudio acabado de la implicancia del Factor Solar Modificado en la Demanda Energética de la Edificación Terciaria Nacional.

Conforme a lo anterior, y considerando los casos estudiados con una mayor demanda energética y que no cumplen con los TDR del MOP, que son más restrictivos en cuanto a las variables de Factor Solar Modificado, se opta por utilizar como casos base de estudio para las posteriores simulaciones el Edificio Consistorial de Collipulli y la Gobernación Provincial de Malleco, ya que además, permiten trabajar con la totalidad de orientaciones reglamentadas (Norte, Este, Oeste, Noreste y Noroeste).

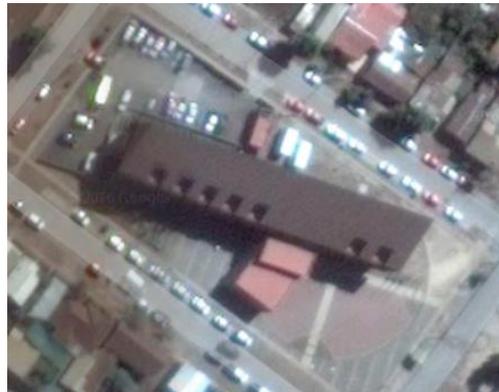
### 5.3.1 EDIFICIO CONSISTORIAL DE COLLIPULLI.

El Edificio Consistorial de Collipulli se concibe como un volumen único donde se distribuyen las oficinas de los distintos departamentos que lo conforman.

El edificio es esencialmente de estructura de hormigón armado con divisiones interiores de tabiquería liviana. Se encuentra revestido en muchos de los tabiques con madera. Los cielos interiores son removibles en zonas de oficinas y circulaciones, y cielos fijos en servicios higiénicos, sector de archivos y bodegas. La cubierta y fachadas son de tejas asfálticas, mientras que el Zócalo en el primer nivel está revestido en piedra. Los Pavimentos en general son de Porcelanato y cerámica en baños.



**Imagen 5.3.1.1:** Render Edificio Consistorial de Collipulli.



**Imagen 5.3.1.2:** Vista Satelital Edificio Consistorial de Collipulli.

De acuerdo a los estudios de eficiencia energética obtenidos de la dirección de arquitectura del MOP de la Araucanía, las características de la superficie vidriada del caso base de estudio, que es con el cual fue construido el proyecto, se detallan a continuación:

El Caso Base de Collipulli consideró para la fachada Noreste las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
	$\alpha$	Gris Anodizado
$U_m$	Marco Aluminio	3.2
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.23 - 0.9

**Tabla 5.3.1.1:** Características Superficie Vidriada Caso Base Collipulli, Fachada Noreste.

Para la fachada Este el caso base de Collipulli consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
	$\alpha$	Gris Anodizado
$U_m$	Marco Aluminio	3.2
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.57 - 0.91

**Tabla 5.3.1.2:** Características Superficie Vidriada Caso Base Collipulli, Fachada Este.

Mientras que para la fachada Noroeste el caso base de Collipulli consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
$\alpha$	Gris Anodizado	0.65
$U_m$	Marco Aluminio	3.2
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.54 – 0.91

**Tabla 5.3.1.3:** Características Superficie Vidriada Caso Base Collipulli, Fachada Noroeste.

Si bien la fachada Sur no es considerada para el cálculo del Factor Solar Modificado por no recibir radiación solar de manera directa durante el día, para efectos de cálculo de la demanda energética se consideraron las siguientes características de superficie vidriada, las cuales no se variarán para las posteriores simulaciones:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
$\alpha$	Gris Anodizado	0.65
$U_m$	Marco Aluminio	3.2
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	1

**Tabla 5.3.1.4:** Características Superficie Vidriada Caso Base Collipulli, Fachada Sur.

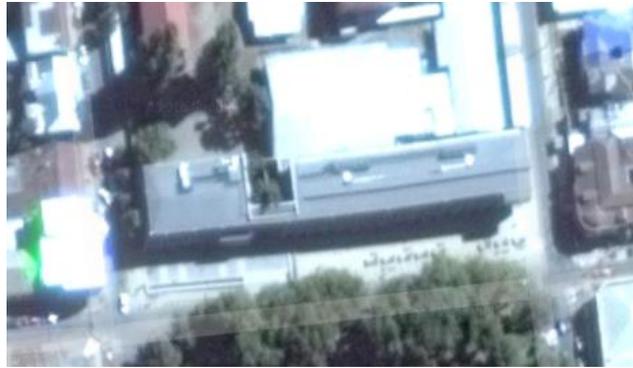
### 5.3.2 GOBERNACIÓN PROVINCIAL DE MALLECO.

El edificio de la Gobernación Provincial de Malleco se ubica en la comuna de Angol, IX Región. La construcción de este edificio alberga las dependencias del gobierno provincial, además de ser sede de servicios de atención al público: Correos de Chile, Servicio de Impuestos Internos, Registro Civil y PRODEMU (Fundación para el Desarrollo y Promoción de la Mujer).

El edificio se emplaza frente a la Plaza de Armas de Angol, y se compone de dos volúmenes de tres pisos cada uno, separados por un patio de acceso. La superficie vidriada consiste en muros cortina y la construcción en base a Hormigón.



**Imagen 5.3.2.1:** Render Gobernación Provincial de Malleco.



**Imagen 5.3.2.2:** Vista Satelital Gobernación Provincial de Malleco.

De acuerdo a los estudios de eficiencia energética obtenidos de la dirección de arquitectura del MOP de la Araucanía, las características de la superficie vidriada del caso base de estudio, que es con el cual fue construido el proyecto se detallan a continuación:

El Caso Base de Malleco consideró para la fachada Este las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
$\alpha$	Gris Medio	0.65
$U_m$	PVC 2 cámaras	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.82

**Tabla 5.3.2.1:** Características Superficie Vidriada Caso Base Malleco, Fachada Este.

Para la fachada Oeste el caso base consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
$\alpha$	Gris Medio	0.65
$U_m$	PVC 2 cámaras	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.82 – 0.91

**Tabla 5.3.2.2:** Características Superficie Vidriada Caso Base Malleco, Fachada Oeste.

Mientras que para la fachada Norte el caso base consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
$\alpha$	Gris Medio	0.65
$U_m$	PVC 2 cámaras	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.82

**Tabla 5.3.2.3:** Características Superficie Vidriada Caso Base Malleco, Fachada Norte.

Si bien la fachada Sur no es considerada para el cálculo del Factor Solar Modificado por no recibir radiación solar de manera directa durante el día, para efectos de cálculo de la demanda energética se consideraron las siguientes características de superficie vidriada, las cuales no se variarán para las posteriores simulaciones:

PROTECCIÓN SOLAR	RETRANQUEO	
$\alpha$	Gris Medio	0.65
$U_m$	PVC 2 cámaras	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.82

**Tabla 5.3.2.4:** Características Superficie Vidriada Caso Base Malleco, Fachada Sur.

## 6. PARAMETROS DE SIMULACIÓN.

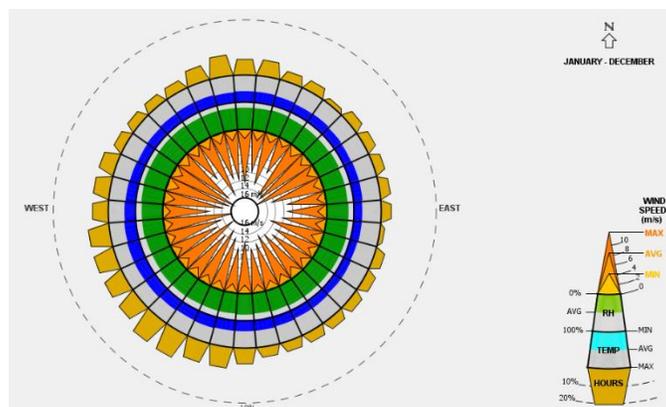
Los parámetros de simulación fueron obtenidos de los estudios de eficiencia energética de ambos edificios, los cuales se resumen a continuación, tanto para el edificio consistorial de Collipulli, como para la gobernación provincial de Malleco.

### 6.1 BASE DE DATOS CLIMÁTICA.

La Base de datos climáticas por hora, fue obtenida del programa Meteonorm 7.0 para la localidad de Temuco a través del Centro de Investigación en Tecnologías de la construcción de la Universidad del Bio Bio (CITEC).

Si bien los casos de estudio se ubican en las localidades de Collipulli y Angol, no existen bases de datos climáticos para estas ciudades por lo que se utilizará el clima de la capital regional Temuco que se encuentra en la misma zona climática (Sur Interior) para la ciudad de Collipulli y Angol.

Finalmente, se debe destacar que la base de datos climática, facilitada por la Universidad de acuerdo a los datos recolectados consideró para las simulaciones un cielo cubierto (overcast day).



**Imagen 6.1.1:** Vientos Predominantes Ciudad de Temuco.  
Fuente: Elaboración Propia, Software Climate Consultant.

## 6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RECINTOS.

Los recintos ubicados al interior de la envolvente térmica de los edificios se clasificarán en recintos habitables y recintos no habitables.

Recinto habitable: recinto interior destinado al uso de personas, cuya densidad de ocupación, actividad principal y tiempo de estadía exigen condiciones térmicas y de salubridad adecuadas.

Recinto no habitable: recinto interior cuya ocupación, por ser ocasional, excepcional o por períodos muy cortos de tiempo, sólo exige condiciones de salubridad adecuadas. Se incluyen dentro esta categoría recintos tales como: laboratorios, salas de conservación de materiales, salas de máquinas, bodegas, etc.

De las configuraciones arquitectónicas de los dos casos en estudio, se distinguen los siguientes recintos habitables y no habitables:

	Collipulli	Malleco
Recintos Habitables	Oficinas	Oficinas
	Sala de Reuniones	Auditorio
	Atencion público	Comedor
	Hall Acceso	Pasillos
	Comedor	Baños
Recintos no Habitables	Baños	Ascensor
	Auditorio	Bodegas
	Circulación	Caja Escala
	Caja Escala	
	Ascensor	
	Acceso	
	Entretecho	

**Tabla 6.2.1:** Clasificación de recintos.

Cabe destacar que los recintos no habitables no serán considerados como zonas térmicas para efectos de simulación.

## 6.3 MATERIALIDAD DE LOS EDIFICIOS.

Las propiedades físicas de conductividad y transmitancia térmica de los materiales de la envolvente de los edificios utilizados para el estudio se consiguieron de los Estudios de Eficiencia Energética, en los cuales se indica que fueron obtenidos de la NCh 853 Of. 2007:

	m <sup>2</sup>	U muros ext. [W/m <sup>2</sup> K]	U techumbre. [W/m <sup>2</sup> K]	U piso. [W/m <sup>2</sup> K]	U piso vent. [W/m <sup>2</sup> K]	U ventanas [W/m <sup>2</sup> K]	U puertas [W/m <sup>2</sup> K]
Collipulli	2239	0.66	0.28	0.68	-	2.6	4

**Tabla 6.3.1:** Valores de Transmitancia Edificio Consistorial de Collipulli.

	m <sup>2</sup>	U muros ext. [W/m <sup>2</sup> K]	U techumbre [W/m <sup>2</sup> K]	U piso. [W/m <sup>2</sup> K]	U piso vent. [W/m <sup>2</sup> K]	U ventanas [W/m <sup>2</sup> K]	U puertas [W/m <sup>2</sup> K]
Malleco	3847	0.66	0.38	0.25	0.6	2.78	2.78

**Tabla 6.3.2:** Valores de Transmitancia Gobernación provincial de Malleco.

#### 6.4 RANGO DE COMFORT TÉRMICO Y SISTEMAS ACTIVOS.

Los requerimientos de comfort térmico para cada recinto habitable o grupo de recintos habitables se definieron de acuerdo a los Estudios de Eficiencia Energética de cada uno de los edificios, así como la configuración de los Sistemas Activos y los COPs de calefacción y refrigeración, de acuerdo a la siguiente tabla:

	T° Setpoint heating [°C]	T° Setpoint cooling [°C]	Templete	COP Heating	COP Cooling
Collipulli	20	24	Heated Floor	4.5	3
Malleco	21	24	VRF	4	3

**Tabla 6.4.1:** Rango de Comfort Térmico.

#### 6.5 RANGO DE OPERACIÓN Y OCUPACIÓN DE LOS EDIFICIOS.

Los perfiles de ocupación y operación de los edificios en estudio fueron obtenidos de los respectivos Estudios de Eficiencia Energética y se muestran a continuación:

Calendario de Ocupación		
Edificio	Periodo Anual	Periodo Semanal
Consistorial de Collipulli	01 de enero al 31 de diciembre	De lunes a viernes
Gobernación Malleco	01 de enero al 31 de diciembre	De lunes a viernes

**Tabla 6.5.1:** Calendarios de ocupación Edificios en Estudio.

Edificio	Designación de Uso	Horario
Consistorial de Collipulli	Uso de día	08:00 am a 18:00 pm
Gobernación Malleco	Uso de día	08:00 am a 18:00 pm

**Tabla 6.5.2:** Designación de usos Edificios en Estudio.

#### 6.6 CARGAS INTERNAS.

Las cargas internas se obtuvieron de los Estudios de Eficiencia Energética de ambos edificios:

EDIFICIO CONSISTORIAL DE COLLIPULLI						
Recintos	Densidad Ocupacional [hab/m <sup>2</sup> ]	Infiltraciones	Ventilación Natural [ac/h]	Ganancia Equipos [W/m <sup>2</sup> ]	Factor Metabolismo	Ventilación Mecánica
Oficinas	0,09 hab/m <sup>2</sup>	1.3	1	12 W/m <sup>2</sup>	1 met	min fresh air
Sala de Reuniones	0,11 hab/m <sup>2</sup>	1.3	1	12 W/m <sup>2</sup>	1 met	min fresh air
Atención público	0,11 hab/m <sup>2</sup>	1.3	1	12 W/m <sup>2</sup>	1 met	min fresh air
Hall Acceso	0,11 hab/m <sup>2</sup>	1.3	1	12 W/m <sup>2</sup>	1 met	min fresh air
Comedor	0,11 hab/m <sup>2</sup>	1.3	1	12 W/m <sup>2</sup>	1 met	min fresh air

**Tabla 6.6.1:** Cargas Internas Edificio Consistorial de Collipulli.

GOBERNACION PROVINCIAL DE MALLECO						
Recintos	Densidad Ocupacional [hab/m <sup>2</sup> ]	Infiltraciones	Ventilación Natural [ac/h]	Ganancia Equipos [W/m <sup>2</sup> ]	Factor Metabolismo	Ventilación Mecánica
Oficinas	0,1 hab/m2	0.6	1	15 W/m2	1 met	min fresh air
Auditorio	0,5 hab/m2	0.6	1	15 W/m2	1 met	min fresh air
Comedor	0,2 hab/m2	0.6	1	15 W/m2	1 met	min fresh air
Pasillos	0,1 hab/m2	0.6	1	15 W/m2	1 met	min fresh air
Baños	0,1 hab/m2	0.6	1	15 W/m2	1 met	min fresh air

**Tabla 6.6.2:** Cargas Internas Gobernación Provincial de Malleco.

### 6.7 APOORTE ENERGÉTICO POR LUMINARIAS.

El aporte energético de la iluminación requerida, si bien no se encontraba detallada en el Estudio de Eficiencia Energética del edificio Consistorial de Collipulli se asumió de acuerdo a la siguiente tabla:

Iluminación Edificio Consistorial de Collipulli		
Recinto	Iluminación Requerida [lux]	Aporte Energético LED [W/m <sup>2</sup> ]
Oficinas	300	2
Atención Público	300	1,5
Sala de Reuniones	400	2
Auditorio	300	1,5

**Tabla 6.7.1:** Aporte Energético por Luminarias Collipulli.

Luego, el aporte energético para el caso de la Gobernación Provincial de Malleco, sí se encontraba definido y consideraba luminarias T8, de acuerdo al siguiente detalle:

Iluminación Edificio Gobernación provincial de Malleco		
Recinto	Iluminación Requerida [lux]	Aporte Energético T8 [W/m <sup>2</sup> ]
Oficinas	300	10,0
Atención Publico	300	7,5
Sala de Reuniones	400	10
Auditorio	300	7,5

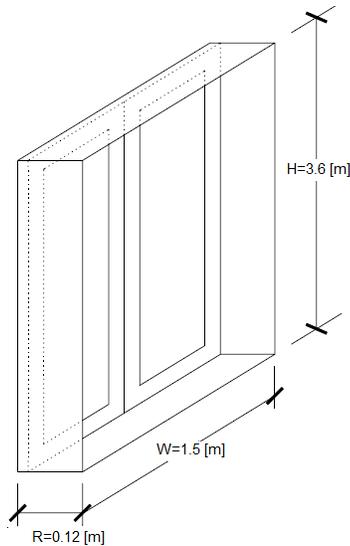
**Tabla 6.7.2:** Aporte Energético por Luminarias Malleco.

## 7. SIMULACIONES.

### 7.1 CÁLCULO DE FACTOR SOLAR MODIFICADO EN CASOS BASE.

Para demostrar cómo se llevó a cabo el cálculo a través de las fórmulas indicadas en el capítulo 1, se procederá a calcular el factor solar modificado de una de las ventanas de la Gobernación Provincial de Malleco.

Para efecto de demostración se seleccionó la ventana V-K de la fachada Este. Las dimensiones y características técnicas de esta ventana son las siguientes:



Valor $g_{\perp}$	0.75
$U_m$	2.2 (Marco de PVC)
$\alpha$	0.65 (Gris Medio)

**Imagen 7.1.1:** Propiedades Ventana V-K Gobernación Provincial de Malleco.

Con los datos anteriores se debe proceder a calcular el factor sombra  $F_S$  de acuerdo a lo indicado en la tabla 12.7 del Anexo, de esta forma se tiene:

$$\frac{R}{W} = \frac{0.12}{1.5} = 0,003 \qquad \frac{R}{H} = \frac{0.12}{3.6} = 0.013$$

De estos valores y la tabla 12.7 se obtiene un valor de factor sombra de  $F_S = 0,91$  para la fachada Este.

Luego, se procedió a calcular la fracción de la ventana ocupada por el marco  $F_M$ . De los planos de ventanas, se obtuvo que el perfil del marco tiene un espesor de 6 [cm] y corresponde a un solo paño fijo.

De lo anterior se tiene:

$$A_{Ventana} = 1,5 \cdot 3,6 = 5,4 [m^2]$$

$$A_{Cristal} = 1,38 \cdot 3,48 = 4,8 [m^2]$$

Luego, la parte de la ventana que corresponde al cristal de manera proporcional será;

$$\frac{A_{Cristal}}{A_{Ventana}} = \frac{4,8}{5,4} = 0,88$$

Por lo que  $F_M$  tendrá el siguiente valor:

$$F_M = 1 - 0,88 = 0.12$$

Luego, de la ecuación que define el Factor Solar Modificado se tiene:

$$F_{Solar\ Modificado} = F_{Sombra} \cdot [(1 - F_m) \cdot g_{\perp} + F_m \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

$$F_{Solar\ Modificado} = 0,91 \cdot [(1 - 0.12) \cdot 0.75 + 0.12 \cdot 0,04 \cdot 2.2 \cdot 0.65]$$

$$F_{Solar\ Modificado} = 0.612$$

Es importante destacar que este procedimiento se efectuó para la totalidad de las superficies vidriadas de los edificios en estudio, hasta obtener el FSM por fachada y el FSM global de ambos edificios.

## 7.2 ANÁLISIS DE COMBINACIONES DE FACTOR SOLAR MODIFICACO.

Para establecer el rango en el que se encontrará el Factor Solar Modificado óptimo para la región de la Araucanía, se procedió a efectuar un análisis matemático a través de las permutaciones con repetición, considerando las orientaciones de los edificios en estudio y un rango de FSM, que va desde el mayor valor obtenido por fachada hasta un valor de 0,2.

	Orientaciones	Valores FSM
Collipulli	Noreste	0.68 - 0.6 - 0.4 - 0.2
	Este	0.66 - 0.6 - 0.4 - 0.2
	Noroeste	0.62 - 0.6 - 0.4 - 0.2
Malleco	Este	0.68 - 0.6 - 0.4 - 0.2
	Oeste	0.68 - 0.6 - 0.4 - 0.2
	Norte	0.61 - 0.6 - 0.4 - 0.2

**Tabla 7.2.1:** Rango de Simulaciones.

Si se tienen n cosas para elegir y se eligen r de ellas, las posibles permutaciones son:

$$n \times n \times \dots (r \text{ veces}) = n^r$$

Ya que hay n posibilidades para la primera elección, después hay n posibilidades para la segunda elección y así sucesivamente. De esta forma, se tendrían las siguientes combinaciones por fachada:

$$4^3 = 64$$

Es decir, 64 combinaciones de Factor Solar Modificado por Edificio para el Edificio Consistorial de Collipulli y 64 combinaciones para la Gobernación Provincial de Malleco.

Las configuraciones de los casos que se analizarán en el presente estudio se muestran a continuación:

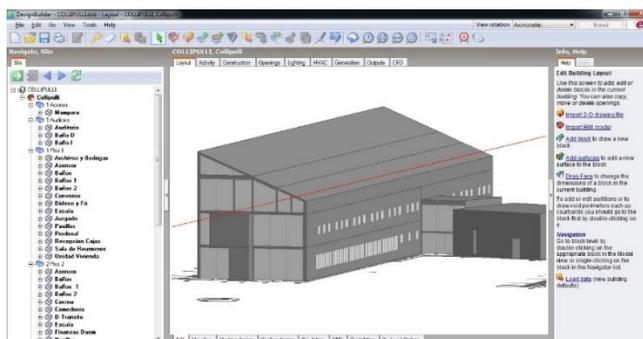
Caso Base Collipulli			Caso Base Malleco				
Combinación	Valor FSM			Combinación	Valor FSM		
	NE	E	NO		E	O	N
C1	0.68	- 0.66	- 0.62	M1	0.68	- 0.68	- 0.61
C2	0.68	- 0.66	- 0.6	M2	0.68	- 0.68	- 0.6
C3	0.68	- 0.66	- 0.4	M3	0.68	- 0.68	- 0.4
C4	0.68	- 0.66	- 0.2	M4	0.68	- 0.68	- 0.2
C5	0.68	- 0.6	- 0.62	M5	0.68	- 0.6	- 0.61
C6	0.68	- 0.6	- 0.6	M6	0.68	- 0.6	- 0.6
C7	0.68	- 0.6	- 0.4	M7	0.68	- 0.6	- 0.4
C8	0.68	- 0.6	- 0.2	M8	0.68	- 0.6	- 0.2
C9	0.68	- 0.4	- 0.62	M9	0.68	- 0.4	- 0.61
C10	0.68	- 0.4	- 0.6	M10	0.68	- 0.4	- 0.6
C11	0.68	- 0.4	- 0.4	M11	0.68	- 0.4	- 0.4
C12	0.68	- 0.4	- 0.2	M12	0.68	- 0.4	- 0.2
C13	0.68	- 0.2	- 0.62	M13	0.68	- 0.2	- 0.61
C14	0.68	- 0.2	- 0.6	M14	0.68	- 0.2	- 0.6
C15	0.68	- 0.2	- 0.4	M15	0.68	- 0.2	- 0.4
C16	0.68	- 0.2	- 0.2	M16	0.68	- 0.2	- 0.2
C17	0.6	- 0.66	- 0.62	M17	0.6	- 0.68	- 0.61
C18	0.6	- 0.66	- 0.6	M18	0.6	- 0.68	- 0.6
C19	0.6	- 0.66	- 0.4	M19	0.6	- 0.68	- 0.4
C20	0.6	- 0.66	- 0.2	M20	0.6	- 0.68	- 0.2
C21	0.6	- 0.6	- 0.62	M21	0.6	- 0.6	- 0.61
C22	0.6	- 0.6	- 0.6	M22	0.6	- 0.6	- 0.6
C23	0.6	- 0.6	- 0.4	M23	0.6	- 0.6	- 0.4
C24	0.6	- 0.6	- 0.2	M24	0.6	- 0.6	- 0.2
C25	0.6	- 0.4	- 0.62	M25	0.6	- 0.4	- 0.61
C26	0.6	- 0.4	- 0.6	M26	0.6	- 0.4	- 0.6
C27	0.6	- 0.4	- 0.4	M27	0.6	- 0.4	- 0.4
C28	0.6	- 0.4	- 0.2	M28	0.6	- 0.4	- 0.2
C29	0.6	- 0.2	- 0.62	M29	0.6	- 0.2	- 0.61
C30	0.6	- 0.2	- 0.6	M30	0.6	- 0.2	- 0.6
C31	0.6	- 0.2	- 0.4	M31	0.6	- 0.2	- 0.4
C32	0.6	- 0.2	- 0.2	M32	0.6	- 0.2	- 0.2
C33	0.4	- 0.66	- 0.62	M33	0.4	- 0.68	- 0.61
C34	0.4	- 0.66	- 0.6	M34	0.4	- 0.68	- 0.6
C35	0.4	- 0.66	- 0.4	M35	0.4	- 0.68	- 0.4
C36	0.4	- 0.66	- 0.2	M36	0.4	- 0.68	- 0.2
C37	0.4	- 0.6	- 0.62	M37	0.4	- 0.6	- 0.61
C38	0.4	- 0.6	- 0.6	M38	0.4	- 0.6	- 0.6
C39	0.4	- 0.6	- 0.4	M39	0.4	- 0.6	- 0.4
C40	0.4	- 0.6	- 0.2	M40	0.4	- 0.6	- 0.2
C41	0.4	- 0.4	- 0.62	M41	0.4	- 0.4	- 0.61
C42	0.4	- 0.4	- 0.6	M42	0.4	- 0.4	- 0.6
C43	0.4	- 0.4	- 0.4	M43	0.4	- 0.4	- 0.4
C44	0.4	- 0.4	- 0.2	M44	0.4	- 0.4	- 0.2
C45	0.4	- 0.2	- 0.62	M45	0.4	- 0.2	- 0.61
C46	0.4	- 0.2	- 0.6	M46	0.4	- 0.2	- 0.6
C47	0.4	- 0.2	- 0.4	M47	0.4	- 0.2	- 0.4
C48	0.4	- 0.2	- 0.2	M48	0.4	- 0.2	- 0.2
C49	0.2	- 0.66	- 0.62	M49	0.2	- 0.68	- 0.61
C50	0.2	- 0.66	- 0.6	M50	0.2	- 0.68	- 0.6
C51	0.2	- 0.66	- 0.4	M51	0.2	- 0.68	- 0.4
C52	0.2	- 0.66	- 0.2	M52	0.2	- 0.68	- 0.2
C53	0.2	- 0.6	- 0.62	M53	0.2	- 0.6	- 0.61
C54	0.2	- 0.6	- 0.6	M54	0.2	- 0.6	- 0.6
C55	0.2	- 0.6	- 0.4	M55	0.2	- 0.6	- 0.4
C56	0.2	- 0.6	- 0.2	M56	0.2	- 0.6	- 0.2
C57	0.2	- 0.4	- 0.62	M57	0.2	- 0.4	- 0.61
C58	0.2	- 0.4	- 0.6	M58	0.2	- 0.4	- 0.6
C59	0.2	- 0.4	- 0.4	M59	0.2	- 0.4	- 0.4
C60	0.2	- 0.4	- 0.2	M60	0.2	- 0.4	- 0.2
C61	0.2	- 0.2	- 0.62	M61	0.2	- 0.2	- 0.61
C62	0.2	- 0.2	- 0.6	M62	0.2	- 0.2	- 0.6
C63	0.2	- 0.2	- 0.4	M63	0.2	- 0.2	- 0.4
C64	0.2	- 0.2	- 0.2	M64	0.2	- 0.2	- 0.2

Tabla 7.2.2: Configuraciones de FSM para simulación.

### 7.3 RESULTADOS DE SIMULACIONES.

#### 7.3.1 RESULTADOS DE SIMULACIONES COLLIPULLI.

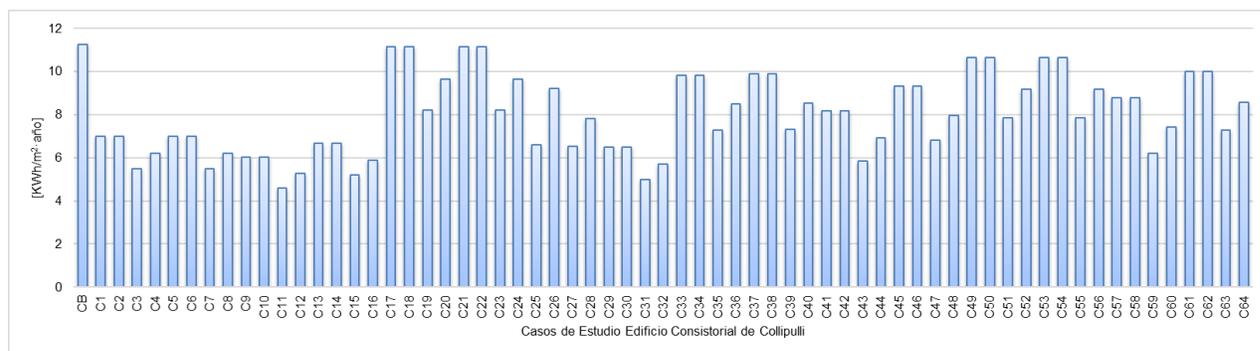
Una vez modelada la arquitectura del edificio consistorial de Collipulli e ingresados los parámetros de simulación descritos en el capítulo 6, se procedió a efectuar las simulaciones para el caso base y las 64 combinaciones para la orientación Noreste – Este – Noroeste.



**Imagen 7.3.1.1:** Simulación Edificio Consistorial de Collipulli.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de demanda de climatización y consumo de energía eléctrica para el caso base y las 64 configuraciones de estudio.

La demanda energética de refrigeración del caso base corresponde a 11.25 [KWh/m<sup>2</sup>·año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 11 (C11) con un valor de 4.6 [KWh/m<sup>2</sup>·año].



**Gráfico 7.3.1.1:** Demanda Energética de Refrigeración Edificio Consistorial de Collipulli.

El Caso 11 consideró para la fachada Noreste las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_L$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.98

**Tabla 7.3.1.1:** Características Superficie Vidriada Caso 11, Fachada Noreste.

Para la fachada Este el caso 11 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 0° GRADOS	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.63

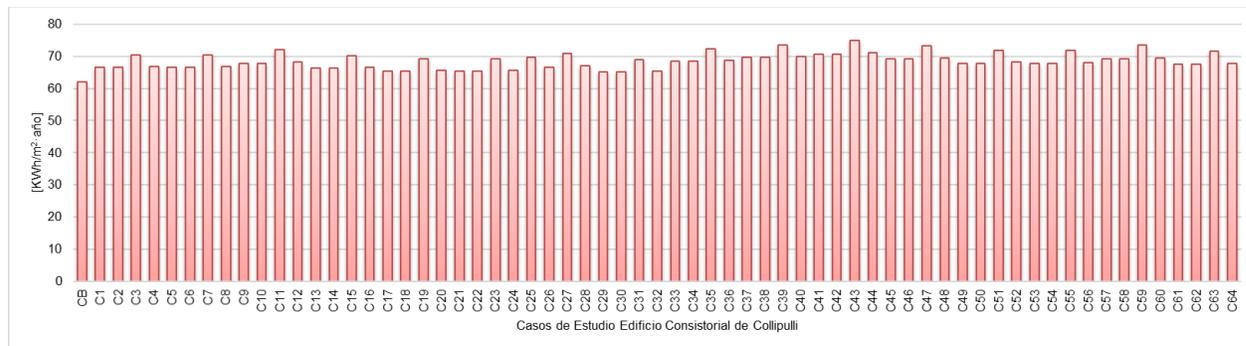
**Tabla 7.3.1.2:** Características Superficie Vidriada Caso 11, Fachada Este.

Mientras que para la fachada Noroeste el caso 11 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 0° GRADOS	
$\alpha$	Verde Claro	0.4
$U_m$	PVC 2 cámaras	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.63

**Tabla 7.3.1.3:** Características Superficie Vidriada Caso 11, Fachada Noroeste.

La demanda energética de calefacción del caso base corresponde a 62.12 [KWh/m<sup>2</sup>·año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 30 (C30) con un valor de 65.09 [KWh/m<sup>2</sup>·año].



**Gráfico 7.3.1.2:** Demanda Energética de Calefacción Edificio Consistorial de Collipulli.

El Caso 30 consideró para la fachada Noreste las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	PVC 2 Cámaras	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.98

**Tabla 7.3.1.4:** Características Superficie Vidriada Caso 30, Fachada Noreste.

Para la fachada Este el caso 30 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 60° GRADOS	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.32

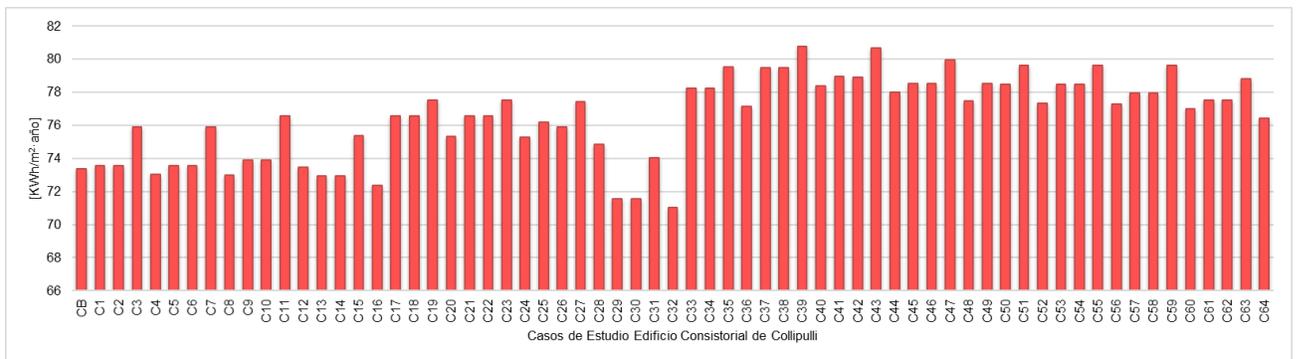
**Tabla 7.3.1.5:** Características Superficie Vidriada Caso 30, Fachada Este.

Mientras que para la fachada Noroeste el caso 30 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.98 -0.92

**Tabla 7.3.1.6:** Características Superficie Vidriada Caso 30, Fachada Noroeste.

La demanda energética total (refrigeración y calefacción) del caso base corresponde a 73.37 [KWh/m<sup>2</sup>·año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 32 (C32) con un valor de 71.04 [KWh/m<sup>2</sup>·año].



**Gráfico 7.3.1.3:** Demanda Energética Total Edificio Consistorial de Collipulli.

El Caso 32 consideró para la fachada Noreste las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	PVC 2 Cámaras	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.98

**Tabla 7.3.1.7:** Características Superficie Vidriada Caso 32, Fachada Noreste.

Para la fachada Este el caso 32 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 60° GRADOS	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.32

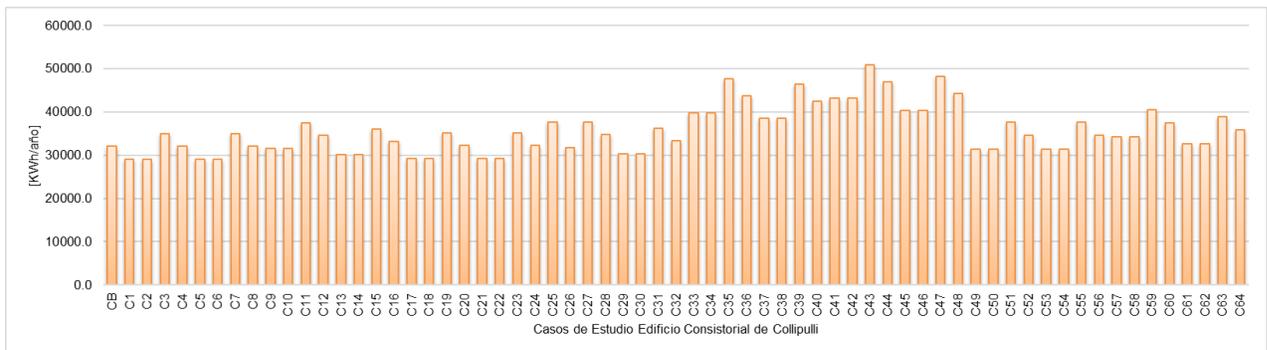
**Tabla 7.3.1.8:** Características Superficie Vidriada Caso 32, Fachada Este.

Mientras que para la fachada Noroeste el caso 32 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 60° GRADOS	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco PVC	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble Low E	0.65
$F_s$	Factor Sombra	0.38

**Tabla 7.3.1.9:** Características Superficie Vidriada Caso 32, Fachada Noroeste.

El consumo eléctrico del caso base corresponde a 32169.7 [KWh/año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 5 (C5) con un valor de 29137.32 [KWh/año].



**Gráfico 7.3.1.4:** Consumo Eléctrico Iluminación Edificio Consistorial de Collipulli.

El Caso 05 consideró para la fachada Noreste las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.98

**Tabla 7.3.1.10:** Características Superficie Vidriada Caso 05, Fachada Noreste.

Para la fachada Este el caso 05 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
	$\alpha$	Azul Oscuro
$U_m$	Marco PVC	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Simple - doble	0.82 – 0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.99 – 0.92

**Tabla 7.3.1.11:** Características Superficie Vidriada Caso 05, Fachada Este.

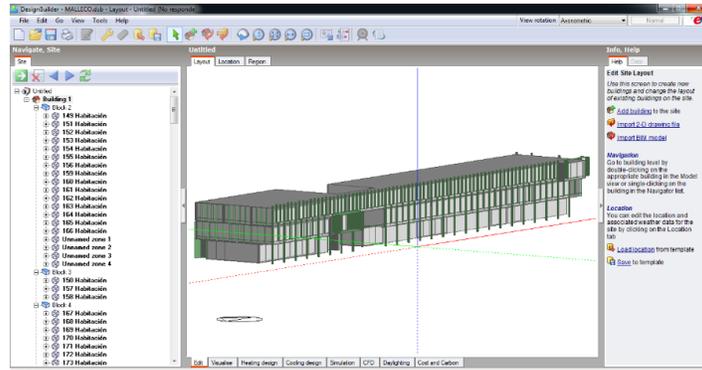
Mientras que para la fachada Noroeste el caso 05 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
	$\alpha$	Negro Medio
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.98 – 0.9

**Tabla 7.3.1.12:** Características Superficie Vidriada Caso 05, Fachada Noroeste.

### 7.3.2 RESULTADOS DE SIMULACIONES MALLECO.

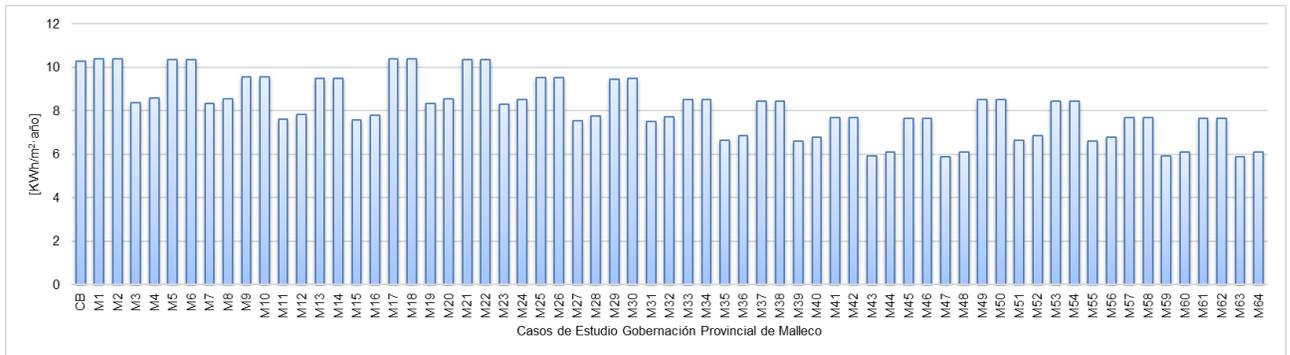
Una vez modelada la arquitectura de la Gobernación Provincial de Malleco e ingresado los parámetros de simulación descritos en capítulo 6, se procedió a efectuar las simulaciones para el caso base y las 64 combinaciones para la orientación Este – Oeste - Norte.



**Imagen 7.3.2.1:** Simulación Gobernación Provincial de Malleco.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de demanda de climatización y consumo de energía eléctrica para el caso base y las 64 configuraciones de estudio.

La demanda energética de refrigeración del caso base corresponde a 10.28 [KWh/m<sup>2</sup>·año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 47 (C47) con un valor de 5.89 [KWh/m<sup>2</sup>·año].



**Gráfico 7.3.2.1:** Demanda Energética de Refrigeración Gobernación Provincial de Malleco.

El Caso 47 consideró para la fachada Este las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMAS HORIZONTALES 0° GRADOS	
$\alpha$	Azul Claro	0.5
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_L$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.57

**Tabla 7.3.2.1:** Características Superficie Vidriada Caso 47, Fachada Este.

Para la fachada Oeste el caso 47 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA HORIZONTAL A 60° GRADOS	
$\alpha$	Azul Oscuro	0.95
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.27

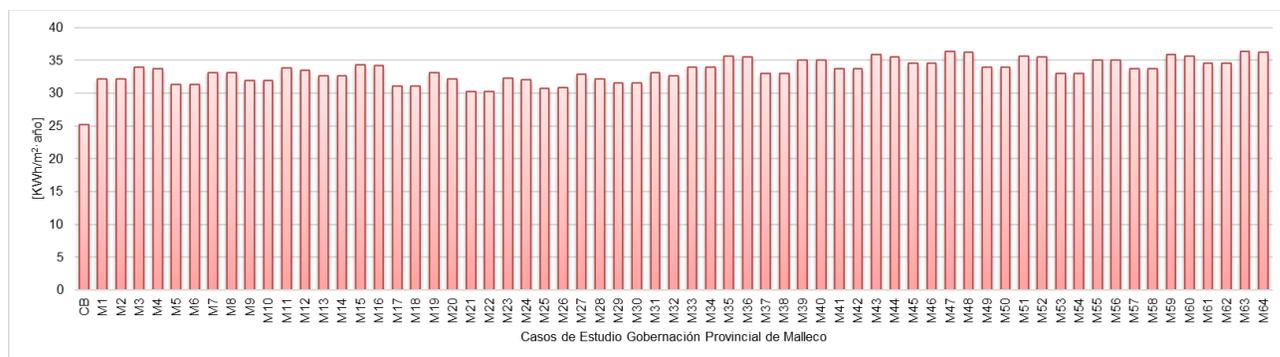
**Tabla 7.3.2.2:** Características Superficie Vidriada Caso 47, Fachada Oeste.

Mientras que para la fachada Norte el caso 47 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO – LAMA HORIZONTAL A 30° GRADOS	
$\alpha$	Azul Medio	0.8
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.87 – 0.42

**Tabla 7.3.2.3:** Características Superficie Vidriada Caso 47, Fachada Norte.

La demanda energética de calefacción del caso base corresponde a 25.18 [KWh/m<sup>2</sup>-año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 21 (C21) con un valor de 30.21 [KWh/m<sup>2</sup>-año].



**Gráfico 7.3.2.2:** Demanda Energética de Calefacción Gobernación Provincial de Malleco.

El Caso 21 consideró para la fachada Este las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Azul Claro	0.5
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.92

**Tabla 7.3.2.4:** Características Superficie Vidriada Caso 21, Fachada Este.

Para la fachada Oeste el caso 21 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Azul Claro	0.5
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.92

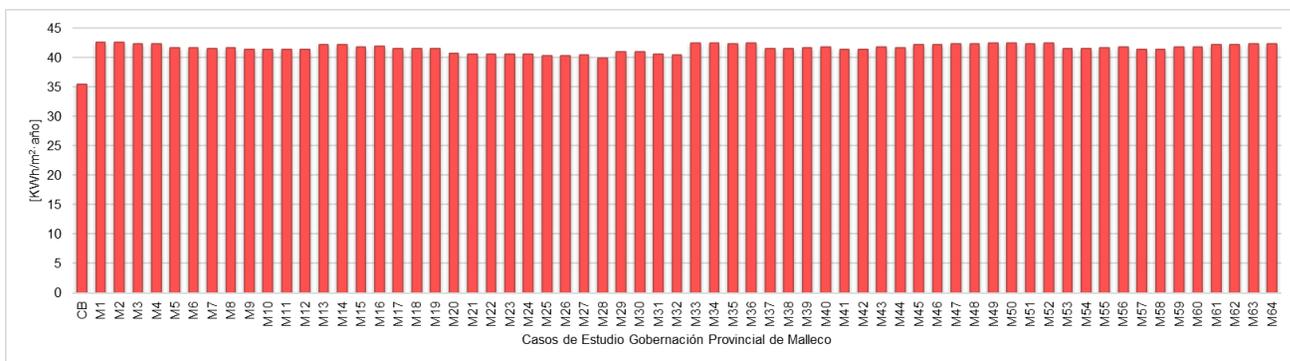
**Tabla 7.3.2.5:** Características Superficie Vidriada Caso 21, Fachada Oeste.

Mientras que para la fachada Norte el caso 21 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.87

**Tabla 7.3.2.6:** Características Superficie Vidriada Caso 21, Fachada Norte.

La demanda energética total (refrigeración y calefacción) del caso base corresponde a 35.46 [KWh/m<sup>2</sup>-año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 28 (C28) con un valor de 39.91 [KWh/m<sup>2</sup>-año].



**Gráfico 7.3.2.3:** Demanda Energética Total Gobernación Provincial de Malleco.

El Caso 28 consideró para la fachada Este las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Azul Claro	0.5
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.92

**Tabla 7.3.2.7:** Características Superficie Vidriada Caso 28, Fachada Este.

Para la fachada Oeste el caso 28 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA HORIZONTAL A 0° GRADOS	
$\alpha$	Verde Claro	0.4
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.57

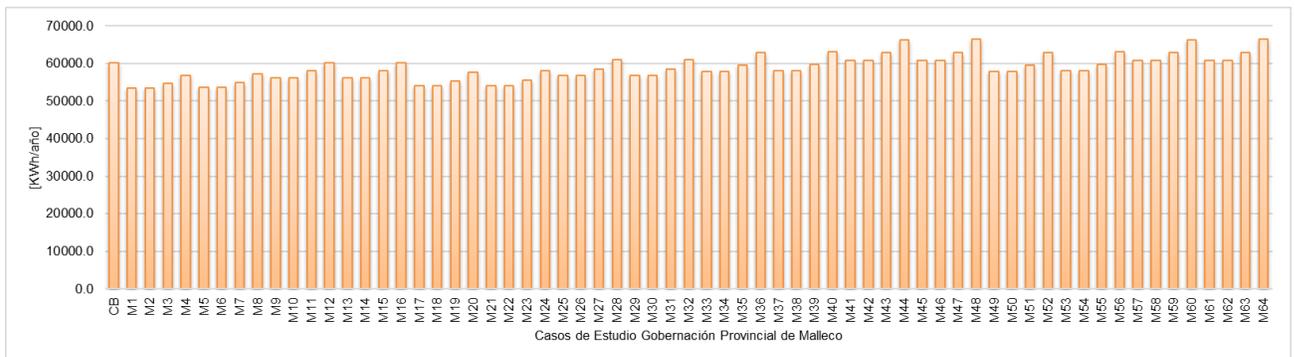
**Tabla 7.3.2.8:** Características Superficie Vidriada Caso 28, Fachada Oeste.

Mientras que para la fachada Norte el caso 28 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 60° GRADOS	
$\alpha$	Gris Medio	0.65
$U_m$	Marco PVC	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.32

**Tabla 7.3.2.9:** Características Superficie Vidriada Caso 28, Fachada Norte.

El consumo eléctrico del caso base corresponde a 60092.8 [KWh/año], mientras que el menor valor se obtuvo para el caso 2 (C2) con un valor de 53463.2 [KWh/año].



**Gráfico 7.3.2.4:** Consumo Eléctrico Iluminación Gobernación Provincial de Malleco.

El Caso 02 consideró para la fachada Este las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.92

**Tabla 7.3.2.10:** Características Superficie Vidriada Caso 02, Fachada Este.

Para la fachada Oeste el caso 02 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
	$\alpha$	Negro Medio
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.92

**Tabla 7.3.2.11:** Características Superficie Vidriada Caso 02, Fachada Oeste.

Mientras que para la fachada Norte el caso 02 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
	$\alpha$	Azul Medio
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.87

**Tabla 7.3.2.12:** Características Superficie Vidriada Caso 02, Fachada Norte.

## 8. DETERMINACIÓN DE FACTOR SOLAR MODIFICADO ÓPTIMO ECONÓMICO.

### 8.1 ESTUDIO ECONÓMICO.

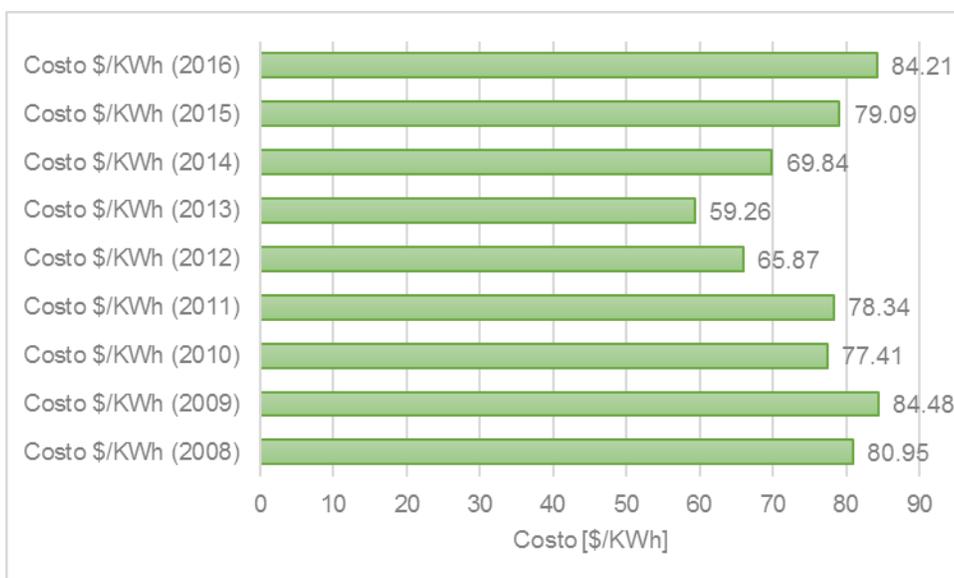
Con el fin de cumplir con los objetivos del proyecto y poder determinar un óptimo económico de FSM, se procederá a evaluar los costos de energía eléctrica referente a los equipos activos de climatización y la iluminación de los dos edificios en estudio, conforme a los resultados de las simulaciones.

Para esto, y considerando las Potencias Eléctricas contratadas, indicadas en los Estudios de Eficiencia Energética, se procedió a analizar el pliego tarifario de la compañía Frontel (empresa que suministra energía a los edificios en estudio) desde el año 2008 para el edificio Consistorial de Collipulli y desde el año 2013 para la Gobernación provincial de Malleco. Ambos casos se analizaron hasta septiembre del año 2016.

En el Caso del Edificio Consistorial de Collipulli, la Potencia Eléctrica Contratada corresponde a baja tensión 4.3 (BT4.3).

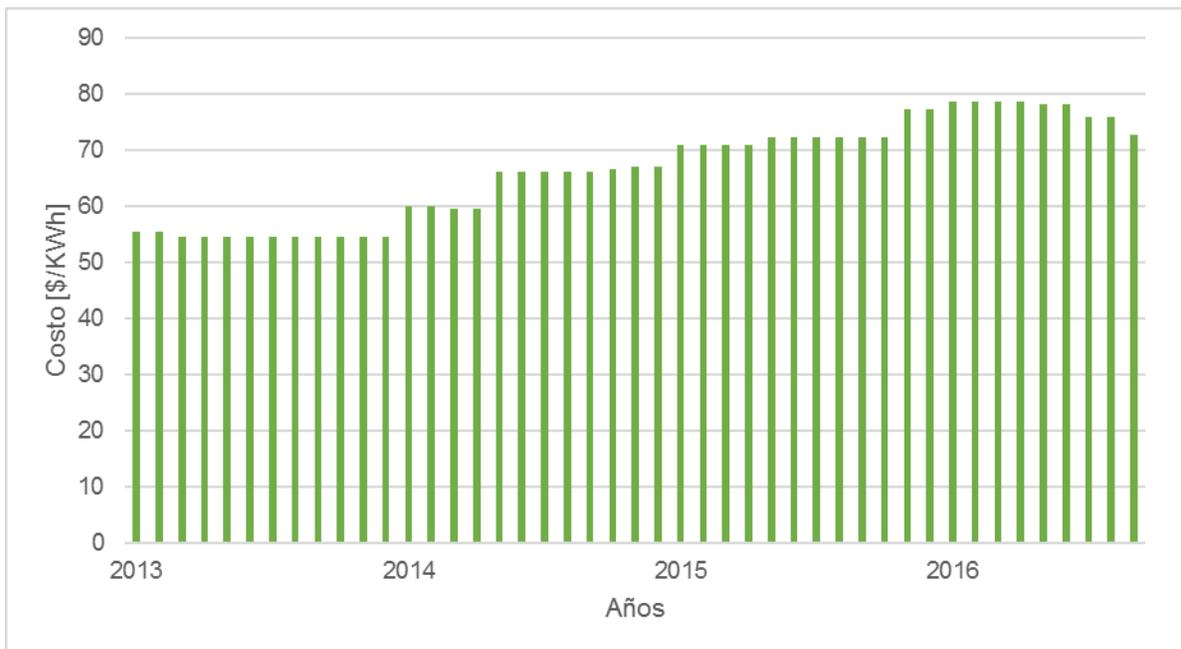


**Gráfico 8.1.1:** Costo real de la energía eléctrica en tarifa BT4.3 Collipulli.

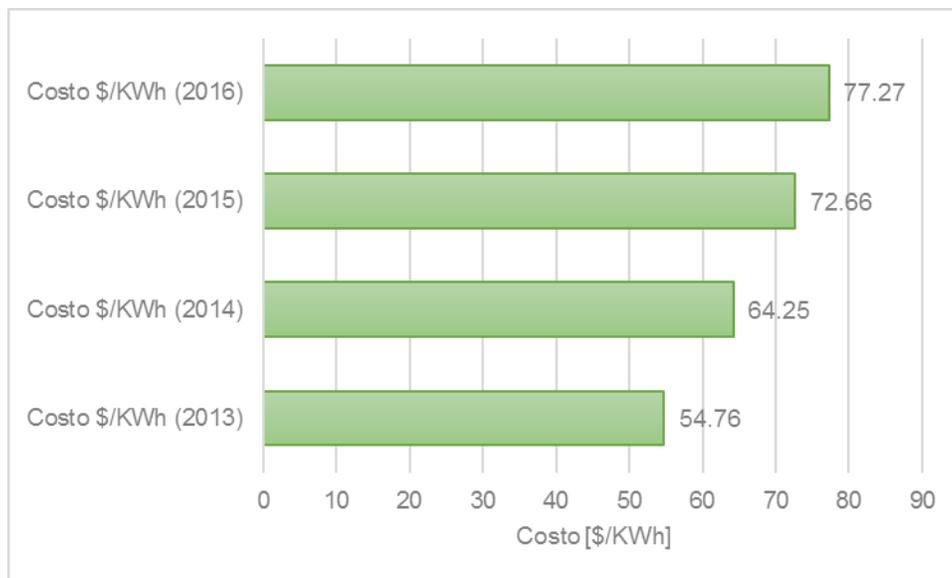


**Gráfico 8.1.2:** Costo real de la energía eléctrica en tarifa BT4.3 Collipulli.

En el Caso de la Gobernación Provincial de Malleco la Potencia Eléctrica Contratada corresponde a alta tensión 4.3 (AT4.3), por lo que se debió incluir en el proyecto la incorporación de un transformador de alta a baja tensión. Los costos son los siguientes:



**Gráfico 8.1.3:** Costo real de la energía eléctrica en tarifa AT4.3 Malleco.



**Gráfico 8.1.4:** Costo real de la energía eléctrica en tarifa AT4.3 Malleco.

Se debe hacer presente que los valores obtenidos de los pliegos tarifarios y con los que se obtendrá el costo de operación de climatización e iluminación de los casos bases y las simulaciones, consideran sólo el cargo por energía.

### 8.1.1 ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN EN CASOS BASE.

Para el análisis de costos se consideraron las demandas energéticas de ambos casos de estudio, 72.75 [KWh·m<sup>2</sup>/año] para el caso del edificio consistorial de Collipulli y 35.3 [KWh·m<sup>2</sup>/año] para el caso de la Gobernación Provincial de Malleco.

Posteriormente, y luego de varias simulaciones, se calibraron los modelos a los valores que se entregaron en los estudios de eficiencia energética enunciados previamente, obteniéndose para el Edificio Consistorial de Collipulli un valor de demanda energética de 73.37 [KWh·m<sup>2</sup>/año] y para el caso de la Gobernación Provincial de Malleco de 35.46 [KWh·m<sup>2</sup>/año].

Para los costos de iluminación, si bien los estudios de eficiencia no detallan los costos, se respetaron las especificaciones técnicas de iluminación de los proyectos, en que se indicaba luminaria LED para Collipulli y del Tipo T-8 para Malleco.

El valor de la energía se obtuvo de los pliegos tarifarios sin considerar costos extras como cargo fijo, cargo fijo por uso de sistema troncal, cargo por presencia en horario punta o carga por potencia leída en horario punta.

De esta forma los valores de demanda energética y costos a mejorar de acuerdo a la vida útil de los edificios en estudio son los siguientes:

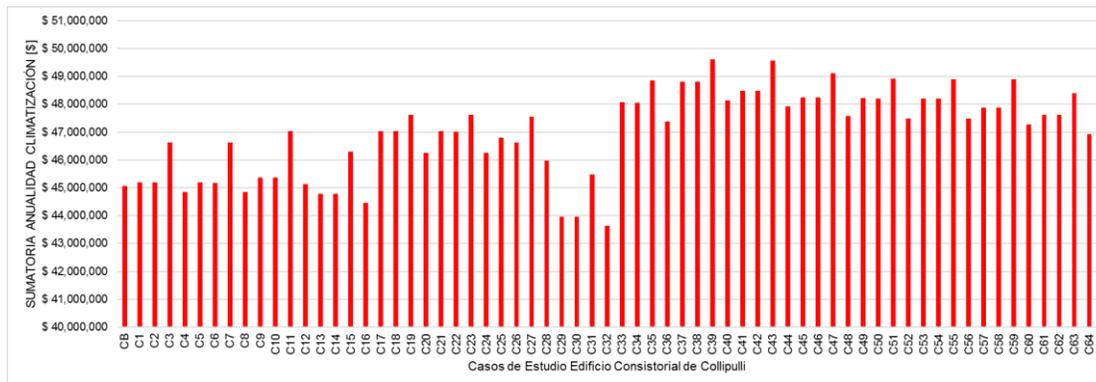
	SUPERFICIE [m <sup>2</sup> ]	FSM PROM	DEMANDA ENERGÉTICA EFE [KWh/m <sup>2</sup> ·año]	DEMANDA ENERGÉTICA CALIBRADA [Kwh/m <sup>2</sup> ·año]	COSTO CLIMATIZACIÓN VIDA UTIL [\$]	COSTOS ILUMINACIÓN VIDA UTIL [\$]	COSTO TOTAL A OPTIMIZAR [\$]	AÑO DE CONSTRUCCIÓN
Edificio Consistorial de Collipulli	2538	<b>0.3660</b>	72.75	73.37	\$46.062.795	\$21.857.696	\$ 66,920,491	2008
Gobernación Provincial de Malleco	3487	<b>0.4954</b>	35.3	35.46	\$11.843.950	\$ 16,161,363	\$28.005.313	2012

**Tabla 8.1.1.1:** Costos Totales de Operación en Casos de Estudio a Optimizar, obtenidos mediante pliego tarifario.

## 8.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN ORIENTACIÓN NORESTE – ESTE – NOROESTE. EDIFICIO CONSISTORIAL DE COLLIPULLI.

### 8.1.2.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE CLIMATIZACIÓN COLLIPULLI.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones, se obtuvo el siguiente óptimo respecto a los costos de climatización para el edificio consistorial de Collipulli, el cual se muestra en el siguiente gráfico:



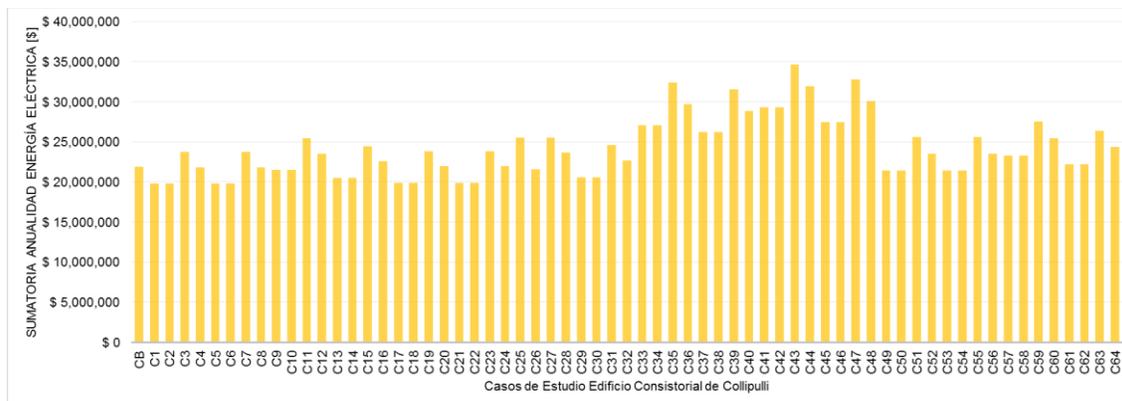
**Gráfico 8.1.2.1:** Sumatoria de Anualidades de Climatización en Caso Base y Casos de Estudio Edificio Consistorial de Collipulli.

De la gráfica se obtiene que el óptimo para la orientación Noreste – Este – Noroeste respecto a los costos de climatización se obtiene para el caso 32 con un costo de \$43.361.743 durante los 08 años en que se encuentra funcionando el edificio.

El caso base analizado tiene un costo de \$45.062.795, por lo que el caso de estudio 32 podría haber generado un ahorro de \$1.701.052 que equivalen a un 3,7% respecto al caso base, bajo el criterio de optimización del Factor Solar Modificado.

### 8.1.2.2 ANÁLISIS COSTOS DE ILUMINACIÓN COLLIPULLI.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones, se obtuvo el siguiente óptimo respecto a los costos de iluminación para el edificio consistorial de Collipulli, el cual se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 8.1.2.2:** Sumatoria de Anualidades de Energía Eléctrica en Caso Base y Casos de Estudio Edificio Consistorial de Collipulli.

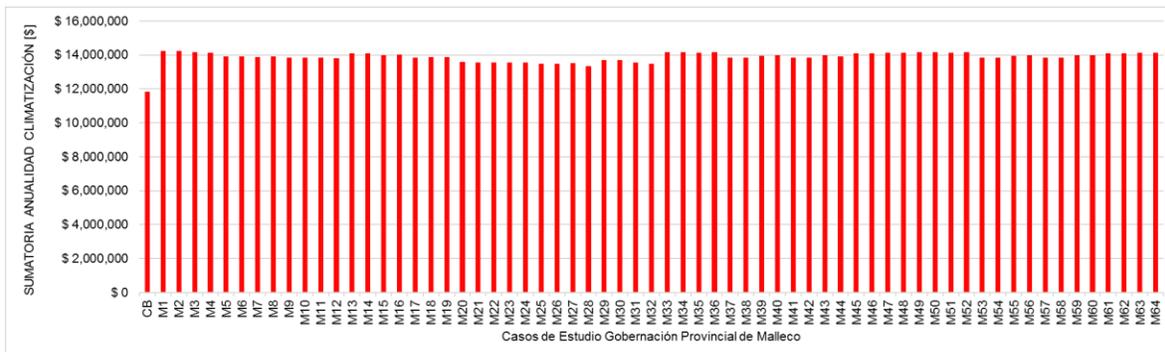
De la gráfica se obtiene que el óptimo para la orientación Noreste – Este – Noroeste respecto a los costos de iluminación se obtiene para el caso 05 con un costo de \$19.797.352 durante los 08 años en que se encuentra funcionando el edificio.

El caso base analizado tiene un costo de \$21.857.696, por lo que el caso de estudio 05 podría haber generado un ahorro de \$2.060.344 que equivalen a un 9,42% respecto al caso base, bajo el criterio de optimización del Factor Solar Modificado.

### 8.1.3 COSTOS DE OPERACIÓN ORIENTACIÓN NORTE – ESTE – OESTE, EDIFICIO GOBERNACIÓN PROVINCIAL DE MALLECO.

#### 8.1.3.1 ANÁLISIS COSTOS DE CLIMATIZACIÓN MALLECO.

Como se indicó anteriormente para el caso de estudio de la Gobernación Provincial de Malleco, es el Caso Base el que mantiene una menor demanda energética a continuación se muestra el comportamiento de los costos simulados en el siguiente gráfico:



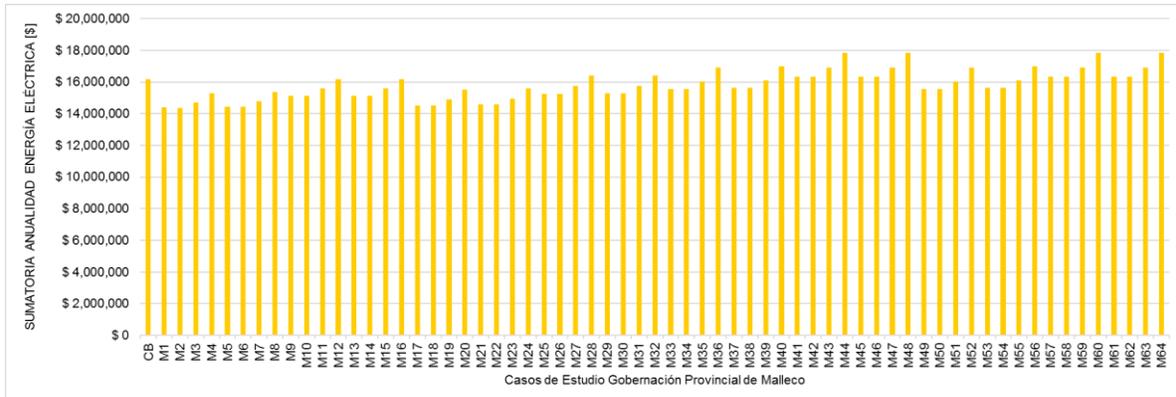
**Gráfico 8.1.3.1:** Sumatoria de Anualidades de Climatización en Caso Base y Casos de Estudio Gobernación Provincial de Malleco.

De la gráfica se obtiene que el menor valor de los costos de climatización de los casos simulados para la orientación Norte – Este – Oeste se obtiene para el caso 28 con un costo de \$13.330.289 durante los 04 años en que se encuentra funcionando el edificio.

El caso base analizado tiene un costo de \$11.843.950, por lo que el caso de estudio 28, genera un costo extra de \$1.486.339, que equivalen a un 11,1% respecto al caso base.

### 8.1.3.2 ANÁLISIS COSTOS DE ILUMINACIÓN MALLECO.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones, se obtuvo el siguiente óptimo respecto a los costos de iluminación para la Gobernación provincial de Malleco, el cual se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 8.1.3.2:** Sumatoria de Anualidades de Energía Eléctrica en Caso Base y Casos de Estudio Gobernación Provincial de Malleco.

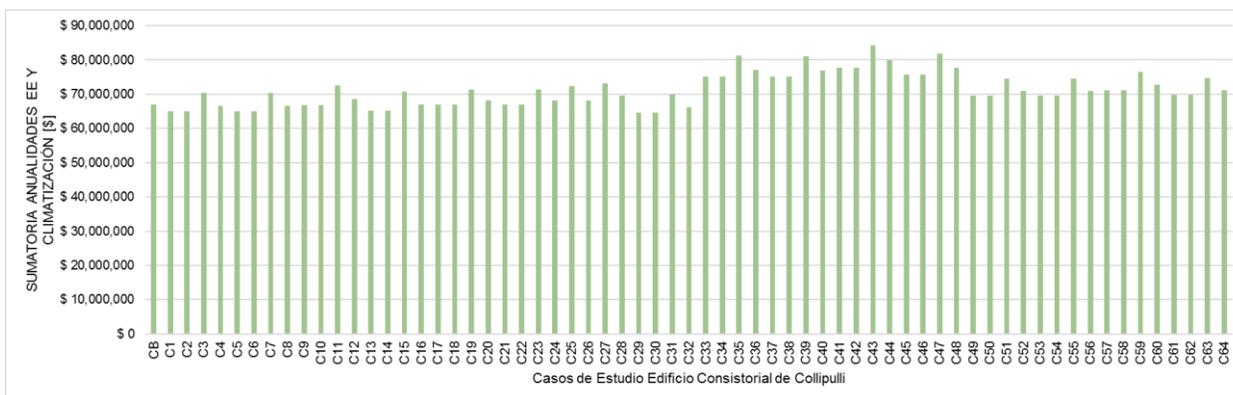
De la gráfica se obtiene que el óptimo para la orientación Norte – Este – Oeste respecto a los costos de iluminación se obtiene para el caso 02 con un costo de \$14.378.401 durante los 04 años en que se encuentra funcionando el edificio.

El caso base analizado tiene un costo de \$16.161.363, por lo que el caso de estudio 02 podría haber generado un ahorro de \$1.782.962, que equivalen a un 11,03% respecto al caso base, sólo en iluminación, bajo el criterio de optimización del Factor Solar Modificado.

## 8.2 OBTENCIÓN DE FSM ÓPTIMO ECONÓMICO BAJO ANÁLISIS DE COSTOS.

### 8.2.1 FSM ÓPTIMO ECONÓMICO PARA LA ORIENTACIÓN NORESTE – ESTE – NOROESTE.

De las 64 simulaciones y de la sumatoria de los costos evaluados para climatización e iluminación del edificio consistorial de Collipulli, es el caso 30 el que genera un menor costo anual de energía, como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 8.2.1.1:** Sumatoria de Anualidades de Climatización y EE en Caso Base y Casos de Estudio Edificio Consistorial de Collipulli.

El Caso 30 generó un costo total de anualidades de climatización e iluminación durante los 08 años que lleva funcionando el edificio de \$64.561.800, lo que genera un ahorro de \$2.358.691 sobre el caso base que tiene un costo de \$66.920.491. Este ahorro representa un 3,52% sobre el caso base.

El Caso 30 consideró para la fachada Noreste las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	PVC	2.2
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.98

**Tabla 8.2.1.1:** Características Superficie Vidriada Caso 30, Fachada Noreste.

Para la fachada Este el caso 30 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 60° GRADOS	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.32

**Tabla 8.2.1.2:** Características Superficie Vidriada Caso 30, Fachada Este.

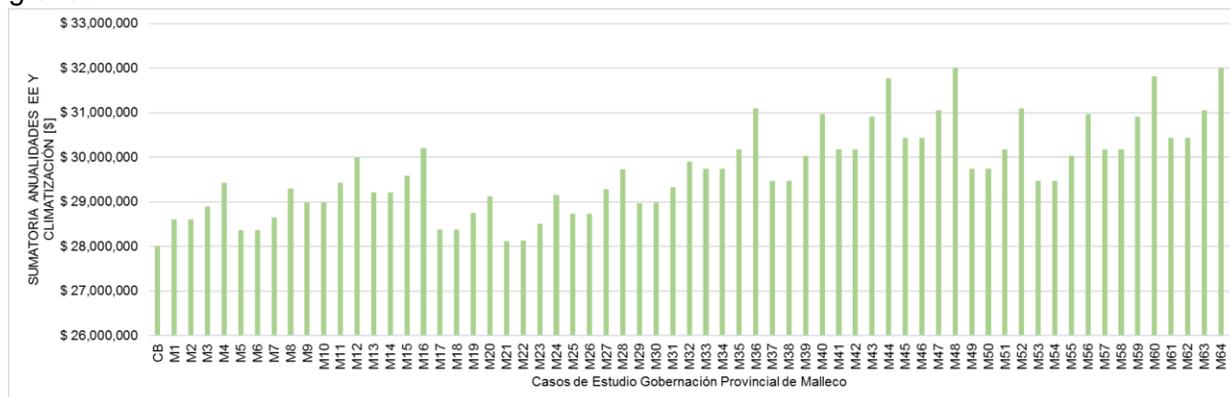
Mientras que para la fachada Noroeste el caso 30 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	LAMA VERTICAL A 60° GRADOS	
$\alpha$	Negro Medio	0.96
$U_m$	Aluminio	4
$g_{\perp}$	Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.98 – 0.92

**Tabla 8.2.1.3:** Características Superficie Vidriada Caso 30, Fachada Noroeste.

### 8.2.2 FSM ÓPTIMO ECONÓMICO PARA LA ORIENTACIÓN NORTE – ESTE – OESTE.

De las 64 simulaciones y de la sumatoria de los costos evaluados para climatización e iluminación de la Gobernación Provincial de Malleco, es el caso 21 el que genera un menor costo anual de energía después del caso base, como se muestra en el siguiente gráfico:



**Gráfico 8.2.2.1:** Sumatoria de Anualidades de Climatización y EE en Caso Base y Casos de Estudio Gobernación Provincial de Malleco.

El Caso 21 generó un costo total de anualidades de climatización e iluminación durante los 04 años que lleva funcionando el edificio de \$28.118.973, lo que genera un costo extra de \$113.660 sobre el caso base que tiene un costo de \$28.005.313.

El Caso 21 consideró para la fachada Este las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
$\alpha$	Azul Claro	0.5
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio Doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.92

**Tabla 8.2.2.1:** Características Superficie Vidriada Caso 21, Fachada Este.

Para la fachada Oeste el caso 21 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
	$\alpha$	Azul Claro
$U_m$	Marco Aluminio	4
$g_{\perp}$	Vidrio doble	0.75
$F_s$	Factor Sombra	0.92

**Tabla 8.2.2.2:** Características Superficie Vidriada Caso 21, Fachada Oeste.

Mientras que para la fachada Norte el caso 21 consideró las siguientes características para la superficie vidriada:

PROTECCIÓN SOLAR	ALERO	
	$\alpha$	Negro Medio
$U_m$	Marco Metálico	5.7
$g_{\perp}$	Vidrio Simple	0.82
$F_s$	Factor Sombra	0.87

**Tabla 8.2.2.3:** Características Superficie Vidriada Caso 21, Fachada Norte.

Se debe destacar que este costo a pesar de ser superior al del caso base, se logra con la incorporación de aleros, vidrios dobles y marcos metálicos a diferencia del caso base que cuenta con lamas verticales y doble vidriado hermético.

## 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS RESPECTO A RECOMENDACIONES TÉCNICAS.

### 9.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS RESPECTO ANTEPROYECTO DE NORMA NTM11.

#### 9.1.1 ANÁLISIS ORIENTACIÓN NORESTE – ESTE – NOROESTE RESPECTO A NTM11.

Para la fachada Noreste-Este-Noroeste, caso de Collpulli se puede establecer que cumple con los requerimientos que establece en la NTM11 para el Factor Solar Modificado en un 12,5% de los casos de estudio.

Los requerimientos de la NTM11 para la zona climática F se muestran a continuación:

ZONA TÉRMICA	ORIENTACIÓN	PORCENTAJE DE COMPLEJO DE VENTANAS			COMPLEJO DE VENTANA EN TECHUMBRE
		31 a 40%	41 a 50%	51% o mas	
F	N	-	0,72	0,65	0,3
	O-P	-	0,57	0,5	

**Tabla 9.1.1.1:** Valor FSM Zona F NTM11.

Edificio Consistorial de Collpulli	% Vanos Noreste	% Vanos Este	% Vanos Noroeste
	91%	49%	13%

**Tabla 9.1.1.2:** Porcentaje Superficie Vidriada Collpulli.

Caso Base Collpulli								
Combinación	Valor FSM			Combinación	Cumplimiento			
	NE	E	NO		NTM11	NTM11		
C1	0.68	- 0.66	- 0.62	C33	0.4	- 0.66	- 0.62	No
C2	0.68	- 0.66	- 0.6	C34	0.4	- 0.66	- 0.6	No
C3	0.68	- 0.66	- 0.4	C35	0.4	- 0.66	- 0.4	No
C4	0.68	- 0.66	- 0.2	C36	0.4	- 0.66	- 0.2	No
C5	0.68	- 0.6	- 0.62	C37	0.4	- 0.6	- 0.62	No
C6	0.68	- 0.6	- 0.6	C38	0.4	- 0.6	- 0.6	No
C7	0.68	- 0.6	- 0.4	C39	0.4	- 0.6	- 0.4	No
C8	0.68	- 0.6	- 0.2	C40	0.4	- 0.6	- 0.2	No
C9	0.68	- 0.4	- 0.62	C41	0.4	- 0.4	- 0.62	No
C10	0.68	- 0.4	- 0.6	C42	0.4	- 0.4	- 0.6	No
C11	0.68	- 0.4	- 0.4	C43	0.4	- 0.4	- 0.4	Si
C12	0.68	- 0.4	- 0.2	C44	0.4	- 0.4	- 0.2	Si
C13	0.68	- 0.2	- 0.62	C45	0.4	- 0.2	- 0.62	No
C14	0.68	- 0.2	- 0.6	C46	0.4	- 0.2	- 0.6	No
C15	0.68	- 0.2	- 0.4	C47	0.4	- 0.2	- 0.4	Si
C16	0.68	- 0.2	- 0.2	C48	0.4	- 0.2	- 0.2	Si
C17	0.6	- 0.66	- 0.62	C49	0.2	- 0.66	- 0.62	No
C18	0.6	- 0.66	- 0.6	C50	0.2	- 0.66	- 0.6	No
C19	0.6	- 0.66	- 0.4	C51	0.2	- 0.66	- 0.4	No
C20	0.6	- 0.66	- 0.2	C52	0.2	- 0.66	- 0.2	No
C21	0.6	- 0.6	- 0.62	C53	0.2	- 0.6	- 0.62	No
C22	0.6	- 0.6	- 0.6	C54	0.2	- 0.6	- 0.6	No
C23	0.6	- 0.6	- 0.4	C55	0.2	- 0.6	- 0.4	No
C24	0.6	- 0.6	- 0.2	C56	0.2	- 0.6	- 0.2	No
C25	0.6	- 0.4	- 0.62	C57	0.2	- 0.4	- 0.62	No
C26	0.6	- 0.4	- 0.6	C58	0.2	- 0.4	- 0.6	No
C27	0.6	- 0.4	- 0.4	C59	0.2	- 0.4	- 0.4	Si
C28	0.6	- 0.4	- 0.2	C60	0.2	- 0.4	- 0.2	Si
C29	0.6	- 0.2	- 0.62	C61	0.2	- 0.2	- 0.62	No
C30	0.6	- 0.2	- 0.6	C62	0.2	- 0.2	- 0.6	No
C31	0.6	- 0.2	- 0.4	C63	0.2	- 0.2	- 0.4	Si
C32	0.6	- 0.2	- 0.2	C64	0.2	- 0.2	- 0.2	Si

**Tabla 9.1.1.3:** Cumplimiento Sistema NTM11 Collpulli.

Se debe hacer presente que la NTM11 no considera recomendaciones y valores considerados como óptimos para las distintas zonas climáticas con orientaciones Noreste

y Noroeste, por lo que para criterios de análisis se utilizaron los valores recomendados para las orientaciones Este y Oeste.

De acuerdo a este criterio, el caso óptimo obtenido en el presente proyecto no calificaría dentro del rango recomendado por la NTM11, así como tampoco el caso base. A su vez, los casos que si cumplen con la NTM11, no son los que obtienen el menor costo de operación.

### 9.1.2 ANÁLISIS ORIENTACIÓN NORTE – ESTE – OESTE RESPECTO A NTM11.

Para la fachada Norte-Este-Oeste, caso de Malleco, se puede establecer que cumple con los requerimientos que establece en la NTM11 para el Factor Solar Modificado en un 37,5% de los casos de estudio.

Los requerimientos de la NTM11 para la zona climática F se muestran a continuación:

ZONA TÉRMICA	ORIENTACIÓN	PORCENTAJE DE COMPLEJO DE VENTANAS			COMPLEJO DE VENTANA EN TECHUMBRE
		31 a 40%	41 a 50%	51% o mas	
F	N	-	0,72	0,65	0,3
	O-P	-	0,57	0,5	

**Tabla 9.1.2.1:** Valor FSM Zona F NTM11.

Gobernación Provincial de Malleco	% Vanos Norte	% Vanos Este	% Vanos Oeste
	15%	44%	97%

**Tabla 9.1.2.2:** Porcentaje Superficie Vidriada Malleco.

Caso Base Malleco					
Combinación	Valor FSM E O N	Cumplimiento NTM11	Combinación	Valor FSM E O N	Cumplimiento NTM11
M1	0.68 - 0.68 - 0.61	No	M33	0.4 - 0.68 - 0.61	No
M2	0.68 - 0.68 - 0.6	No	M34	0.4 - 0.68 - 0.6	No
M3	0.68 - 0.68 - 0.4	No	M35	0.4 - 0.68 - 0.4	No
M4	0.68 - 0.68 - 0.2	No	M36	0.4 - 0.68 - 0.2	No
M5	0.68 - 0.6 - 0.61	No	M37	0.4 - 0.6 - 0.61	Si
M6	0.68 - 0.6 - 0.6	No	M38	0.4 - 0.6 - 0.6	Si
M7	0.68 - 0.6 - 0.4	No	M39	0.4 - 0.6 - 0.4	Si
M8	0.68 - 0.6 - 0.2	No	M40	0.4 - 0.6 - 0.2	Si
M9	0.68 - 0.4 - 0.61	No	M41	0.4 - 0.4 - 0.61	Si
M10	0.68 - 0.4 - 0.6	No	M42	0.4 - 0.4 - 0.6	Si
M11	0.68 - 0.4 - 0.4	No	M43	0.4 - 0.4 - 0.4	Si
M12	0.68 - 0.4 - 0.2	No	M44	0.4 - 0.4 - 0.2	Si
M13	0.68 - 0.2 - 0.61	No	M45	0.4 - 0.2 - 0.61	Si
M14	0.68 - 0.2 - 0.6	No	M46	0.4 - 0.2 - 0.6	Si
M15	0.68 - 0.2 - 0.4	No	M47	0.4 - 0.2 - 0.4	Si
M16	0.68 - 0.2 - 0.2	No	M48	0.4 - 0.2 - 0.2	Si
M17	0.6 - 0.68 - 0.61	No	M49	0.2 - 0.68 - 0.61	No
M18	0.6 - 0.68 - 0.6	No	M50	0.2 - 0.68 - 0.6	No
M19	0.6 - 0.68 - 0.4	No	M51	0.2 - 0.68 - 0.4	No
M20	0.6 - 0.68 - 0.2	No	M52	0.2 - 0.68 - 0.2	No
M21	0.6 - 0.6 - 0.61	No	M53	0.2 - 0.6 - 0.61	Si
M22	0.6 - 0.6 - 0.6	No	M54	0.2 - 0.6 - 0.6	Si
M23	0.6 - 0.6 - 0.4	No	M55	0.2 - 0.6 - 0.4	Si
M24	0.6 - 0.6 - 0.2	No	M56	0.2 - 0.6 - 0.2	Si
M25	0.6 - 0.4 - 0.61	No	M57	0.2 - 0.4 - 0.61	Si
M26	0.6 - 0.4 - 0.6	No	M58	0.2 - 0.4 - 0.6	Si
M27	0.6 - 0.4 - 0.4	No	M59	0.2 - 0.4 - 0.4	Si
M28	0.6 - 0.4 - 0.2	No	M60	0.2 - 0.4 - 0.2	Si
M29	0.6 - 0.2 - 0.61	No	M61	0.2 - 0.2 - 0.61	Si
M30	0.6 - 0.2 - 0.6	No	M62	0.2 - 0.2 - 0.6	Si
M31	0.6 - 0.2 - 0.4	No	M63	0.2 - 0.2 - 0.4	Si
M32	0.6 - 0.2 - 0.2	No	M64	0.2 - 0.2 - 0.2	Si

**Tabla 9.1.2.3:** Cumplimiento Sistema NTM11 Malleco.

En el caso de la aplicación de la NTM11 para la Gobernación Provincial de Malleco, se puede apreciar que, tanto el caso base como el caso 21, que obtuvo el menor costo de operación, no cumplen con los criterios establecidos. A su vez, los valores que sí cumplen con la NTM11 no son los que generaron el menor costo.

## 9.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS RESPECTO TDR<sub>e</sub>.

### 9.2.1 ANÁLISIS ORIENTACIÓN NORESTE – ESTE – NOROESTE RESPECTO A TDR<sub>e</sub>.

Para la fachada Noreste-Este-Noroeste, caso de Collpulli se puede establecer que cumple con los requerimientos que establecen los TDR<sub>e</sub> para el Factor Solar Modificado en un 25% de los casos de estudio.

Los requerimientos de los TDR<sub>e</sub> para la zona climática Sur Interior se muestran a continuación:

Porcentaje de Vanos %	Baja carga Interna			Alta Carga Interna		
	E/O	N	NE/NO	E/O	N	NE/NO
0 a 10	-	-	-	-	-	-
11 a 20	-	-	-	-	-	-
21 a 30	-	-	-	-	-	-
31 a 40	-	-	-	0,54	-	0,56
41 a 50	-	-	-	0,45	0,60	0,49
51 a 60	-	-	-	0,40	0,54	0,43
> 60	Debera cumplir con las exigencias de Eficiencia Energética					
Factor solar modificado limite de lucernarios = 0,10						

**Tabla 9.2.1.1:** Valor FSM Zona Sur Interior TDR<sub>e</sub>.

Edificio Consistorial de Collpulli	% Vanos Noreste	% Vanos Este	% Vanos Noroeste
	91%	49%	13%

**Tabla 9.2.1.2:** Porcentaje Superficie Vidriada Collpulli.

Caso Base Collpulli									
Combinación	Valor FSM			Cumplimiento TDR <sub>e</sub>	Combinación	Valor FSM			Cumplimiento TDR <sub>e</sub>
	NE	E	NO			NE	E	NO	
C1	0.68	0.66	0.62	No	C33	0.4	0.66	0.62	No
C2	0.68	0.66	0.6	No	C34	0.4	0.66	0.6	No
C3	0.68	0.66	0.4	No	C35	0.4	0.66	0.4	No
C4	0.68	0.66	0.2	No	C36	0.4	0.66	0.2	No
C5	0.68	0.6	0.62	No	C37	0.4	0.6	0.62	No
C6	0.68	0.6	0.6	No	C38	0.4	0.6	0.6	No
C7	0.68	0.6	0.4	No	C39	0.4	0.6	0.4	No
C8	0.68	0.6	0.2	No	C40	0.4	0.6	0.2	No
C9	0.68	0.4	0.62	No	C41	0.4	0.4	0.62	Si
C10	0.68	0.4	0.6	No	C42	0.4	0.4	0.6	Si
C11	0.68	0.4	0.4	No	C43	0.4	0.4	0.4	Si
C12	0.68	0.4	0.2	No	C44	0.4	0.4	0.2	Si
C13	0.68	0.2	0.62	No	C45	0.4	0.2	0.62	Si
C14	0.68	0.2	0.6	No	C46	0.4	0.2	0.6	Si
C15	0.68	0.2	0.4	No	C47	0.4	0.2	0.4	Si
C16	0.68	0.2	0.2	No	C48	0.4	0.2	0.2	Si
C17	0.6	0.66	0.62	No	C49	0.2	0.66	0.62	No
C18	0.6	0.66	0.6	No	C50	0.2	0.66	0.6	No
C19	0.6	0.66	0.4	No	C51	0.2	0.66	0.4	No
C20	0.6	0.66	0.2	No	C52	0.2	0.66	0.2	No
C21	0.6	0.6	0.62	No	C53	0.2	0.6	0.62	No
C22	0.6	0.6	0.6	No	C54	0.2	0.6	0.6	No
C23	0.6	0.6	0.4	No	C55	0.2	0.6	0.4	No
C24	0.6	0.6	0.2	No	C56	0.2	0.6	0.2	No
C25	0.6	0.4	0.62	No	C57	0.2	0.4	0.62	Si
C26	0.6	0.4	0.6	No	C58	0.2	0.4	0.6	Si
C27	0.6	0.4	0.4	No	C59	0.2	0.4	0.4	Si
C28	0.6	0.4	0.2	No	C60	0.2	0.4	0.2	Si
C29	0.6	0.2	0.62	No	C61	0.2	0.2	0.62	Si
C30	0.6	0.2	0.6	No	C62	0.2	0.2	0.6	Si
C31	0.6	0.2	0.4	No	C63	0.2	0.2	0.4	Si
C32	0.6	0.2	0.2	No	C64	0.2	0.2	0.2	Si

**Tabla 9.1.2.3:** Cumplimiento Sistema TDR<sub>e</sub> Collpulli.

En el caso de la aplicación de los TDRé para el edificio consistorial de Collipulli, se puede apreciar que, tanto el caso base como el caso 30 que obtuvo el menor costo de operación, no cumplen con los criterios establecidos. A su vez, los valores que sí cumplen con los TDRé no son los que generaron el menor costo de operación.

### 9.2.2 ANÁLISIS ORIENTACIÓN NORTE – ESTE – OESTE RESPECTO A TDRé.

Para la fachada Norte-Este-Oeste, caso de Malleco, se puede establecer que cumple con los requerimientos que establecen los TDRé para el Factor Solar Modificado en un 25% de los casos de estudio.

Los requerimientos de los TDRé para la zona climática Sur Interior se muestran a continuación:

Porcentaje de Vanos %	Baja Carga Interna			Alta Carga Interna		
	E/O	N	NE/NO	E/O	N	NE/NO
0 a 10	-	-	-	-	-	-
11 a 20	-	-	-	-	-	-
21 a 30	-	-	-	-	-	-
31 a 40	-	-	-	0,54	-	0,56
41 a 50	-	-	-	0,45	0,60	0,49
51 a 60	-	-	-	0,40	0,54	0,43
> 60	Debera cumplir con las exigencias de Eficiencia Energética					
Factor solar modificado límite de lucernarios = 0,10						

**Tabla 9.2.2.1:** Valor FSM Zona Sur Interior TDRé.

Gobernación Provincial de Malleco	% Vanos Norte	% Vanos Este	% Vanos Oeste
	15%	44%	97%

**Tabla 9.2.2.2:** Porcentaje Superficie Vidriada Malleco.

Caso Base Malleco									
Combinación	Valor FSM			Cumplimiento TDRé	Combinación	Valor FSM			Cumplimiento TDRé
	E	O	N			E	O	N	
M1	0.68	-0.68	-0.61	No	M33	0.4	-0.68	-0.61	No
M2	0.68	-0.68	-0.6	No	M34	0.4	-0.68	-0.6	No
M3	0.68	-0.68	-0.4	No	M35	0.4	-0.68	-0.4	No
M4	0.68	-0.68	-0.2	No	M36	0.4	-0.68	-0.2	No
M5	0.68	-0.6	-0.61	No	M37	0.4	-0.6	-0.61	No
M6	0.68	-0.6	-0.6	No	M38	0.4	-0.6	-0.6	No
M7	0.68	-0.6	-0.4	No	M39	0.4	-0.6	-0.4	No
M8	0.68	-0.6	-0.2	No	M40	0.4	-0.6	-0.2	No
M9	0.68	-0.4	-0.61	No	M41	0.4	-0.4	-0.61	Si
M10	0.68	-0.4	-0.6	No	M42	0.4	-0.4	-0.6	Si
M11	0.68	-0.4	-0.4	No	M43	0.4	-0.4	-0.4	Si
M12	0.68	-0.4	-0.2	No	M44	0.4	-0.4	-0.2	Si
M13	0.68	-0.2	-0.61	No	M45	0.4	-0.2	-0.61	Si
M14	0.68	-0.2	-0.6	No	M46	0.4	-0.2	-0.6	Si
M15	0.68	-0.2	-0.4	No	M47	0.4	-0.2	-0.4	Si
M16	0.68	-0.2	-0.2	No	M48	0.4	-0.2	-0.2	Si
M17	0.6	-0.68	-0.61	No	M49	0.2	-0.68	-0.61	No
M18	0.6	-0.68	-0.6	No	M50	0.2	-0.68	-0.6	No
M19	0.6	-0.68	-0.4	No	M51	0.2	-0.68	-0.4	No
M20	0.6	-0.68	-0.2	No	M52	0.2	-0.68	-0.2	No
M21	0.6	-0.6	-0.61	No	M53	0.2	-0.6	-0.61	No
M22	0.6	-0.6	-0.6	No	M54	0.2	-0.6	-0.6	No
M23	0.6	-0.6	-0.4	No	M55	0.2	-0.6	-0.4	No
M24	0.6	-0.6	-0.2	No	M56	0.2	-0.6	-0.2	No
M25	0.6	-0.4	-0.61	No	M57	0.2	-0.4	-0.61	Si
M26	0.6	-0.4	-0.6	No	M58	0.2	-0.4	-0.6	Si
M27	0.6	-0.4	-0.4	No	M59	0.2	-0.4	-0.4	Si
M28	0.6	-0.4	-0.2	No	M60	0.2	-0.4	-0.2	Si
M29	0.6	-0.2	-0.61	No	M61	0.2	-0.2	-0.61	Si
M30	0.6	-0.2	-0.6	No	M62	0.2	-0.2	-0.6	Si
M31	0.6	-0.2	-0.4	No	M63	0.2	-0.2	-0.4	Si
M32	0.6	-0.2	-0.2	No	M64	0.2	-0.2	-0.2	Si

**Tabla 9.2.2.3:** Cumplimiento Sistema TDRé Malleco.

En el caso de la aplicación de los TDR para la Gobernación Provincial de Malleco, se puede apreciar que, tanto el caso base como el caso 21, que obtuvo el menor costo de operación, no cumplen con los criterios establecidos como aceptables. A su vez, los valores que si cumplen con los TDR no son los que generaron el menor costo de operación.

### 9.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS RESPECTO SISTEMA CES.

#### 9.3.1 ANÁLISIS ORIENTACIÓN NORESTE – ESTE – NOROESTE RESPECTO A CES.

Para la fachada Noreste-Este-Noroeste, caso de Collipulli se puede establecer que cumple con los requerimientos que establece el sistema CES para el Factor Solar Modificado en un 93,75% de los casos de estudio.

Los requerimientos del sistema CES para la zona Sur interior se muestran a continuación:

Elemento	Zona SI
U - Ventanas y Lucernarios	3,0
FSM - N y NE/NO	0,75
FSM - E/O	0,6

**Tabla 9.3.1.1:** Valor FSM Zona Sur Interior Sistema CES.

El detalle de los casos que cumplen con el sistema CES se muestran en la siguiente tabla:

Caso Base Collipulli									
Combinación	Valor FSM			Cumplimiento CES	Combinación	Valor FSM			Cumplimiento CES
	NE	E	NO			NE	E	NO	
C1	0.68	0.66	0.62	No	C33	0.4	0.66	0.62	Si
C2	0.68	0.66	0.6	No	C34	0.4	0.66	0.6	Si
C3	0.68	0.66	0.4	No	C35	0.4	0.66	0.4	Si
C4	0.68	0.66	0.2	No	C36	0.4	0.66	0.2	Si
C5	0.68	0.6	0.62	Si	C37	0.4	0.6	0.62	Si
C6	0.68	0.6	0.6	Si	C38	0.4	0.6	0.6	Si
C7	0.68	0.6	0.4	Si	C39	0.4	0.6	0.4	Si
C8	0.68	0.6	0.2	Si	C40	0.4	0.6	0.2	Si
C9	0.68	0.4	0.62	Si	C41	0.4	0.4	0.62	Si
C10	0.68	0.4	0.6	Si	C42	0.4	0.4	0.6	Si
C11	0.68	0.4	0.4	Si	C43	0.4	0.4	0.4	Si
C12	0.68	0.4	0.2	Si	C44	0.4	0.4	0.2	Si
C13	0.68	0.2	0.62	Si	C45	0.4	0.2	0.62	Si
C14	0.68	0.2	0.6	Si	C46	0.4	0.2	0.6	Si
C15	0.68	0.2	0.4	Si	C47	0.4	0.2	0.4	Si
C16	0.68	0.2	0.2	Si	C48	0.4	0.2	0.2	Si
C17	0.6	0.66	0.62	Si	C49	0.2	0.66	0.62	Si
C18	0.6	0.66	0.6	Si	C50	0.2	0.66	0.6	Si
C19	0.6	0.66	0.4	Si	C51	0.2	0.66	0.4	Si
C20	0.6	0.66	0.2	Si	C52	0.2	0.66	0.2	Si
C21	0.6	0.6	0.62	Si	C53	0.2	0.6	0.62	Si
C22	0.6	0.6	0.6	Si	C54	0.2	0.6	0.6	Si
C23	0.6	0.6	0.4	Si	C55	0.2	0.6	0.4	Si
C24	0.6	0.6	0.2	Si	C56	0.2	0.6	0.2	Si
C25	0.6	0.4	0.62	Si	C57	0.2	0.4	0.62	Si
C26	0.6	0.4	0.6	Si	C58	0.2	0.4	0.6	Si
C27	0.6	0.4	0.4	Si	C59	0.2	0.4	0.4	Si
C28	0.6	0.4	0.2	Si	C60	0.2	0.4	0.2	Si
C29	0.6	0.2	0.62	Si	C61	0.2	0.2	0.62	Si
C30	0.6	0.2	0.6	Si	C62	0.2	0.2	0.6	Si
C31	0.6	0.2	0.4	Si	C63	0.2	0.2	0.4	Si
C32	0.6	0.2	0.2	Si	C64	0.2	0.2	0.2	Si

**Tabla 9.3.1.2:** Cumplimiento Sistema CES Collipulli.

Se debe destacar que, para el edificio en estudio, el óptimo se alcanza en el caso 30 con un valor del FSM de 0,6 para la fachada Noreste, de 0,2 para la fachada Este y de 0,6 para la fachada Noroeste.

En el caso de la aplicación de CES para el edificio consistorial de Collipulli, se puede apreciar que, tanto el caso base como el caso 30, que obtuvo el menor costo de operación, cumplen con los criterios establecidos.

### 9.3.2 ANÁLISIS ORIENTACIÓN NORTE – ESTE – OESTE RESPECTO A CES.

Para la fachada Norte-Este-Oeste, caso de Malleco se puede establecer que cumple con los requerimientos que establece el sistema CES para el Factor Solar Modificado en un 68,75% de los casos de estudio.

Los requerimientos del sistema CES para la zona Sur interior se muestran a continuación:

Elemento	Zona SI
U - Ventanas y Lucernarios	3,0
FSM - N y NE/NO	0,75
FSM -E/O	0,6

**Tabla 9.3.2.1:** Valor FSM Zona Sur Interior Sistema CES.

El detalle de los casos que cumplen con el sistema CES se muestran en la siguiente tabla:

Caso Base Malleco									
Combinación	Valor FSM			Cumplimiento CES	Combinación	Valor FSM			Cumplimiento CES
	E	O	N			E	O	N	
M1	0.68	0.68	0.61	No	M33	0.4	0.68	0.61	Si
M2	0.68	0.68	0.6	No	M34	0.4	0.68	0.6	Si
M3	0.68	0.68	0.4	No	M35	0.4	0.68	0.4	Si
M4	0.68	0.68	0.2	No	M36	0.4	0.68	0.2	Si
M5	0.68	0.6	0.61	No	M37	0.4	0.6	0.61	Si
M6	0.68	0.6	0.6	No	M38	0.4	0.6	0.6	Si
M7	0.68	0.6	0.4	No	M39	0.4	0.6	0.4	Si
M8	0.68	0.6	0.2	No	M40	0.4	0.6	0.2	Si
M9	0.68	0.4	0.61	No	M41	0.4	0.4	0.61	Si
M10	0.68	0.4	0.6	No	M42	0.4	0.4	0.6	Si
M11	0.68	0.4	0.4	No	M43	0.4	0.4	0.4	Si
M12	0.68	0.4	0.2	No	M44	0.4	0.4	0.2	Si
M13	0.68	0.2	0.61	No	M45	0.4	0.2	0.61	Si
M14	0.68	0.2	0.6	No	M46	0.4	0.2	0.6	Si
M15	0.68	0.2	0.4	No	M47	0.4	0.2	0.4	Si
M16	0.68	0.2	0.2	No	M48	0.4	0.2	0.2	Si
M17	0.6	0.68	0.61	No	M49	0.2	0.68	0.61	Si
M18	0.6	0.68	0.6	No	M50	0.2	0.68	0.6	Si
M19	0.6	0.68	0.4	No	M51	0.2	0.68	0.4	Si
M20	0.6	0.68	0.2	No	M52	0.2	0.68	0.2	Si
M21	0.6	0.6	0.61	Si	M53	0.2	0.6	0.61	Si
M22	0.6	0.6	0.6	Si	M54	0.2	0.6	0.6	Si
M23	0.6	0.6	0.4	Si	M55	0.2	0.6	0.4	Si
M24	0.6	0.6	0.2	Si	M56	0.2	0.6	0.2	Si
M25	0.6	0.4	0.61	Si	M57	0.2	0.4	0.61	Si
M26	0.6	0.4	0.6	Si	M58	0.2	0.4	0.6	Si
M27	0.6	0.4	0.4	Si	M59	0.2	0.4	0.4	Si
M28	0.6	0.4	0.2	Si	M60	0.2	0.4	0.2	Si
M29	0.6	0.2	0.61	Si	M61	0.2	0.2	0.61	Si
M30	0.6	0.2	0.6	Si	M62	0.2	0.2	0.6	Si
M31	0.6	0.2	0.4	Si	M63	0.2	0.2	0.4	Si
M32	0.6	0.2	0.2	Si	M64	0.2	0.2	0.2	Si

**Tabla 9.3.2.2:** Cumplimiento Sistema CES Malleco.

Se debe destacar que, para el edificio en estudio, el caso más cercano al óptimo se alcanza en el caso 21 con un valor del FSM de 0,6 para la fachada Este, de 0,6 para la fachada Oeste y de 0,61 para la fachada Norte.

Mientras que el caso base alcanza un valor de FSM de 0,48 para la fachada Este, de 0,57 para la fachada Oeste y de 0,44 para la fachada Norte.

En el caso de la aplicación de CES para la Gobernación Provincial de Malleco, se puede apreciar que, tanto el caso base como el caso 21, que obtuvo el menor costo de operación cumplen con los criterios establecidos como aceptables.

## 10. CONCLUSIONES.

### 10.1 CONCLUSIONES GENERALES.

#### 10.1.1 EDIFICIO CONSISTORIAL DE COLLIPULLI.

Respecto a la definición de un valor límite de FSM para la edificación terciaria de la región de la Araucanía, se pudo establecer como mayor problemática la gran cantidad de posibles configuraciones que se pueden presentar para un mismo edificio. El valor de FSM está íntimamente ligado a la superficie vidriada, la cual no se debería restringir como lo hacen la NTM11, los TDR<sub>e</sub> y CES, si no, ser asociado a un óptimo. de hecho, las variables que más influyen en el Factor Solar Modificado son la superficie vidriada y el Factor Sombra que depende directamente de la protección solar, ya que al hacer variar estos parámetros el cambio en el valor del FSM es más significativo en la totalidad de los casos de estudio.

Para el estudio en cuestión, fue posible establecer que para la orientación Noreste- Este – Noroeste que corresponde al Edificio Consistorial de Collipulli el óptimo se alcanza entre el intervalo del caso de estudio 29 y el caso de estudio 32, donde el FSM tiene un valor total promedio de 0,41, lo cual es representativo para edificios que tengan la siguiente superficie vidriada para la región de la Araucanía, ubicados en la zona sir interior:

Edificio Consistorial de Collipulli	% Vanos Noreste	% Vanos Este	% Vanos Noroeste
	91%	49%	13%

**Tabla 10.1.1.1:** Porcentaje Superficie Vidriada Collipulli.

También se debe destacar que este óptimo se encuentra en el intervalo en que se restringe más la Fachada Este con un valor de FSM de 0,2, la cual tiene una superficie vidriada de un 49% por lo que se puede concluir que para la orientación Noreste- Este – Noroeste se podría restringir el valor de FSM de la fachada Este a un valor de FSM entre 0,3 y 0,2, obteniéndose un óptimo económico.

#### 10.1.2 EDIFICIO GOBERNACIÓN PROVINCIAL DE MALLECO.

Para la orientación Norte – Este – Oeste correspondiente al edificio de la Gobernación Provincial de Malleco fue posible establecer que el óptimo se alcanza entre el intervalo del caso de estudio 21 y el caso de estudio 23, donde el FSM tiene un valor total promedio de 0,58, lo cual es representativo para edificios que tengan la siguiente superficie vidriada para la región de la Araucanía:

Gobernación Provincial de Malleco	% Vanos Norte	% Vanos Este	% Vanos Oeste
	15%	44%	97%

**Tabla 10.1.2.1:** Porcentaje Superficie Vidriada Malleco.

También se observa que éste óptimo se encuentra restringiendo a un valor de FSM de 0,6 las fachadas Este y Oeste de manera simétrica, por lo que, se puede concluir que restringiendo estas fachadas a un valor entre 0,5 y 0,6 es posible alcanzar un óptimo económico, dejando libre las protecciones solares de la fachada Norte para una superficie vidriada de un 15% en esa orientación.

Para este caso de estudio se pudo comprobar que la incorporación de ventanas del tipo DVH no asegura una gran disminución en la demanda energética, ya que la incorporación de estos elementos genera un ahorro de \$113.660 respecto al mejor caso de estudio, los cuales difieren en 0,1 puntos de FSM, ya que el caso base tiene un FSM promedio de 0,5 y el mejor caso de estudio, que fue el 21 tiene un valor de FSM 0,6.

Finalmente, en el caso de la Gobernación Provincial de Malleco, si bien no hay una disminución de la demanda energética hay una gran disminución en la demanda de iluminación respecto al caso base, sólo incorporando vidrio simple y como protecciones solares aleros, reduciéndose los costos relacionados a esta variable de manera significativa.

## 10.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.

**10.2.1** Del Estudio de campo, se pudo establecer que la orientación más predominante en la edificación terciaria de la novena región de la Araucanía es la orientación Norte, predominando el uso de lamas verticales como protecciones solares en las superficies vidriadas con un valor de FSM de 0,37 para los 04 casos analizados en el estudio, que son el Edificio Consistorial de Collipulli, la Fiscalía de Lautaro, La Gobernación Provincial de Malleco y La Intendencia de Temuco, casos que fueron facilitados por la Dirección de Arquitectura del MOP de la novena región.

**10.2.2** Luego de establecer 02 casos de estudios por considerar la totalidad de orientaciones posibles y de analizar los pliegos Tarifarios para las tarifas BT4.3 (Edificio Consistorial de Collipulli) y AT4.3 (Gobernación Provincial de Malleco), los costos de operación de los casos base y la totalidad de 164 combinaciones realizadas, fue posible establecer las siguientes conclusiones:

En el caso de Collipulli, de las 64 simulaciones y de la sumatoria de los costos evaluados para climatización e iluminación del edificio, es el Caso 30 el que genera un menor costo anual de energía con un valor de FSM de 0.47 respecto al valor de 0.37 del caso base.

El Caso 30 generó un costo total de anualidades de climatización e iluminación durante los 08 años que lleva funcionando el edificio de \$64.561.800, lo que genera un ahorro de \$2.358.691 sobre el caso base, que tiene un costo de \$66.920.491. Este ahorro representa un 3,52% sobre el caso base.

Para el caso de Malleco, de las 64 simulaciones y de la sumatoria de los costos evaluados para climatización e iluminación, es el Caso 21 el que genera un menor costo anual de energía después del caso base. con un valor de FSM de 0.6 respecto al valor de 0.5 de la situación base.

El Caso 21 generó un costo total de anualidades de climatización e iluminación durante los 04 años que lleva funcionando el edificio de \$28.118.973, lo que genera un costo extra de \$113.660 sobre el caso base que tiene un costo de \$28.005.313.

**10.2.3** Del análisis de los resultados obtenidos respecto a la NTM11 y los TDRé se puede establecer que, si bien hay simulaciones que están dentro de los parámetros que se consideran recomendables, estos no son necesariamente los óptimos en cuanto a los costos operacionales de climatización e iluminación. Es más, para ambos casos de estudio los óptimos se encuentran fuera de los parámetros recomendados, lo cual debe ser analizado más a fondo. De acuerdo a los resultados obtenidos tanto para la NTM11 y los TDRé se puede establecer que los valores simulados que sí están dentro de los parámetros recomendados obtienen una demanda energética inferior a los demás casos, por lo que se podría establecer que estos sistemas consideraron sólo la demanda energética para establecer los valores óptimos, dejando de lado la demanda por iluminación para ambos casos.

El Sistema CES, si bien considera los mejores resultados obtenidos como óptimos, es mucho menos restrictivo que la NTM11 y los TDRé, lo que hace que los valores con menor demanda energética se encuentren en los parámetros considerados como óptimos. No se puede asegurar fehacientemente que CES haya considerado la demanda de iluminación dentro de la variable del factor solar modificado, si no que por ser menos restrictivo hace que más cantidad de simulaciones sean consideradas como eficientes para puntuar en la escala de certificación del sistema.

Para establecer un FSM como óptimo se hace necesario considerar dentro de la NTM11, TDRé y CES la variable del consumo eléctrico por iluminación, incluso en el CTE, ya que los valores de las tres recomendaciones descritas anteriormente fueron extrapolados a la realidad nacional desde el CTE. Para esto se debe asociar el FSM a un consumo energético por iluminación de manera de obtener un óptimo económico para cada zona geográfica del país.

**10.2.4** Se debe hacer presente que la NTM11 no considera recomendaciones y valores considerados como óptimos para las distintas zonas climáticas con orientaciones Noreste y Noroeste, por lo que para criterios de análisis se utilizaron los valores recomendados para las orientaciones Este y Oeste. Esto deberá ser corregido en el proceso de consulta de la norma antes descrita.

**10.2.5** Si bien, al reducir los costos de iluminación por incorporar vidrio simple se podría producir el fenómeno de deslumbramiento, como indica Paul Littlefair [10.1] este fenómeno se puede eliminar de forma sencilla, incorporando protecciones interiores como cortinas o persianas de bajo costo. Más aún, si se considera que en la actualidad prácticamente la totalidad de edificios públicos que se construyen consideran la incorporación de mobiliario y cortinas antes de su puesta en servicio.

**10.2.6** De los dos casos que fueron analizados en el presente trabajo se pudo concluir que mediante la incorporación de protecciones solares y aleros a ventanas con vidrio simple y marcos metálicos es posible obtener demandas energéticas y costos de operación similares a las que se obtienen mediante la incorporación de ventanas del tipo DVH Low E, por lo que se hace necesario desarrollar un estudio del impacto económico en la construcción al incorporar la tipología de ventanas con vidrio simple y aleros vs, ventanas del tipo termo panel, ya que se podrían obtener menores costos de operación con una de estas dos configuraciones.

**10.2.7** Finalmente, si bien para este estudio no se consideró la influencia de la fachada Sur en la demanda energética y los costos de iluminación, ya que el FSM no restringe esta fachada, se considera de suma importancia poder estudiar a futuro el impacto de la superficie vidriada de la fachada Sur de las edificaciones en la demanda energética y el efecto de la radiación reflejada que ingresa al edificio por esta fachada.

## 11. BIBLIOGRAFÍA.

### 11.1 ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN.

- LITTLEFAIR, P., ORTIZ, J. y BHAUMIK, C. Das, 2010. A simulation of solar shading control on UK office energy use. *Building Research & Information* [en línea], vol. 38, no. 6, pp. 638-646. ISSN 0961-3218. DOI 10.1080/09613218.2010.496556. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2010.496556>.
- CHO, J., YOO, C. y KIM, Y., 2014. Viability of exterior shading devices for high-rise residential buildings: Case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 82, pp. 771-785. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2014.07.092. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778814006410>.
- JARA;JAZMÍN, 2013. Protecciones solares y su implicancia en la demanda energética: caso edificio público en Concepción , Chile. *Revista Habitat Sustentable*, pp. 47-61.
- BELLIA, L., MARINO, C., MINICHIELLO, F. y PEDACE, A., 2014. An Overview on Solar Shading Systems for Buildings. *Energy Procedia* [en línea], vol. 62, pp. 309-317. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2014.12.392. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610214034237>.
- KIRIMTAT, A., KOYUNBABA, B.K., CHATZIKONSTANTINOY, I. y SARIYILDIZ, S., 2016. Review of simulation modeling for shading devices in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 53, pp. 23-49. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2015.08.020. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115008667>.
- MAESTRE, I.R., BLÁZQUEZ, J.L.F., GALLERO, F.J.G. y CUBILLAS, P.R., 2015. Influence of selected solar positions for shading device calculations in building energy performance simulations. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 101, pp. 144-152. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2015.05.004. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778815003679>.
- PRECISION, M.T.D.E., PROTECCIONES, P., EN, S. y PUBLICOS, E., 2007. Modelizacion termo-luminica de precision para protecciones solares en edificios publicos. , vol. 11, pp. 161-167.
- SUN, C., GILES, H. y LIAN, Z., 2014. The dynamic impact of window characteristics on shading factor and energy consumption. *Solar Energy* [en línea], vol. 102, pp. 1-13. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2014.01.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.008>.

## 11.2 LITERATURA.

- MINISTERIO DE VIVIENDA ESPAÑA, 2006. Código Técnico de la Edificación Partes I y II. ,
- OLGAYAY, V., 1963. Arquitectura y Clima. S.l.: s.n.
- PÚBLICAS, M. de O., 2011. TDR<sup>e1</sup>. Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Comfort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios [en línea], Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract>.
- CERTIFICACION SUSTENTABLE., 2014. Manual Evaluación y Calificación Energética. S.l.: s.n. ISBN 9789568070113.
- CITEC UBB. 2012. Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos *Manual de Diseño Pasivo Y Eficiencia Energética En Edificios Públicos*. [http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos\\_Parte1.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif-Publicos_Parte1.pdf).

## 12. ANEXOS.

MATERIAL DEL PERFÍL	$U_m$ [W/m <sup>2</sup> K]
Metálico	5.7
Aluminio con RPT ( $4\text{mm} \leq d < 12\text{mm}$ )	4
Aluminio con RPT ( $d \geq 12\text{mm}$ )	3.2
Madera dura (700 kg/m <sup>3</sup> - 60mm espesor)	2.2
Madera blanda (500 kg/m <sup>3</sup> - 60mm espesor)	2
Perfil de PVC (2 cámaras)	2.2
Perfil de PVC (3 cámaras)	1.8

**Tabla 12.1:** Transmitancia Térmica del Perfil de los marcos en las superficies vidriadas.

*Fuente: Manual del Ingeniero Mecánico.*

FACTOR SOLAR g	
Vidrio Simple	0.82
Vidrio Doble	0.75
Doble bajo emisor	0.65

**Tabla 12.2:** Factor Solar.

*Fuente: Software de simulación Código Técnico Español CEXv 2.3.*

Grupo	Tipo	Espesor [mm]	Espesor Cámara [mm]	Gas	U [W/m <sup>2</sup> K]
Simple	Claro	4	-		5.7
Simple	Claro	6	-		5.7
Simple	Absorbente	4	-		5.7
Simple	Absorbente	6	-		5.7
Simple	Reflectante Claro	6	-		5.7
Simple	Reflectante Gris	6	-		5.7
Doble	Claro - Claro	4	6	Aire	3.1
Doble	Claro - Claro	6	6	Aire	3.1
Doble	Absorbente - Claro	4	6	Aire	3.1
Doble	Absorbente - Claro	6	6	Aire	3.1
Doble	Reflectante Claro - Claro	6	6	Aire	2.7
Doble	Reflectante Claro - Claro	6	6	Aire	2.7
Doble	Claro - Bajo Emisor	4	12	Aire	2.6
Doble	Claro - Bajo Emisor	6	12	Aire	2.5

**Tabla 12.3:** Transmitancia Térmica de las Superficies Vidriadas.

*Fuente: Revista Hábitat Sustentable Jazmín Jara.*

Grupo	Tipo	Vidrio [mm]	Cámara de Aire [mm]	Coefficiente Transmisión luminosa	Factor Solar
Simple	Claro	3	-	0,9	0,89
		4	-	0,89	0,85
Doble	Claro-Claro	4	6	0,79	0,77
		4	12	0,79	0,77
		4	18	0,79	0,77
		6	6	0,8	0,72
Doble reflectante	Claro	6	12	0,55	0,30
	Plata	6	12	0,30	0,32
	Verde	6	12	0,23	0,21
	Gris	6	12	0,14	0,21
Doble bajo emisor	Claro	4	6	0,77	0,65

**Tabla 12.4:** Valores típicos de Factor Solar.

Fuente: Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos.

COLOR	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

**Tabla 12.5:** Absortividad del marco para radiación dólara  $\alpha$ .

Fuente: TDRé.

ORIENTACIÓN DE LA FACHADA		$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
		N	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50
$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87		0,64	0,39	0,22
$D/H > 0,5$	0,93		0,82	0,6	0,39
NE/NO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27
	$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22
	$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43
	$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75

**Tabla 12.6:** Factor Sombra para obstáculos de fachada (voladizo).

Nota: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

Fuente: TDRé.

ORIENTACION DE LA FACHADA		0,05 < R/W ≤ 0,1				0,1 < R/W ≤ 0,2				0,2 < R/W ≤ 0,5				R/W > 0,5											
		N		NE/NO		E/O		N		NE/NO		E/O		N		NE/NO		E/O							
		0,05 < R/H ≤ 0,1		0,1 < R/H ≤ 0,2		0,2 < R/H ≤ 0,5		RH > 0,5		0,05 < R/H ≤ 0,1		0,1 < R/H ≤ 0,2		0,2 < R/H ≤ 0,5		RH > 0,5		0,05 < R/H ≤ 0,1		0,1 < R/H ≤ 0,2		0,2 < R/H ≤ 0,5		RH > 0,5	
		0,82		0,74		0,62		0,39		0,86		0,81		0,72		0,51		0,91		0,87		0,81		0,65	
		0,76		0,67		0,56		0,35		0,79		0,74		0,66		0,47		0,86		0,82		0,76		0,61	
		0,56		0,51		0,39		0,27		0,59		0,56		0,47		0,36		0,71		0,68		0,61		0,51	
		0,35		0,32		0,27		0,17		0,38		0,36		0,32		0,23		0,53		0,51		0,48		0,39	

**Tabla 12.7:** Factor Sombra para obstáculos de fachada (retranqueo).

Fuente: TDRé.

ORIENTACIÓN		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0°	30°	60°
NORTE		0,49	0,42	0,26
NORESTE / NOROESTE		0,54	0,44	0,26
ESTE / OESTE		0,57	0,45	0,27

ORIENTACION		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60°	-45°	-30°	0°	30°	45°	60°
NORTE		0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
NORESTE		0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,4	0,3
ESTE		0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
OESTE		0,44	0,52	0,58	0,63	0,5	0,41	0,29
NOROESTE		0,38	0,44	0,5	0,56	0,53	0,48	0,38

**Tabla 12.8:** Factor Sombra para obstáculos de fachada (lamas).

Notas: Los valores de factor sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1.

El ángulo σ debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Fuente: TDRé.

	<b>CASO A</b>	<b>Tejido opacos</b>			<b>Tejidos translúcidos</b>		
		$\tau=0$			$\tau=0,2$		
	$\alpha$	NE / N / NO		E / O	NE / N / NO		E / O
	30°	0,02		0,04	0,22		0,24
	45°	0,05		0,08	0,25		0,28
60°	0,22		0,28	0,42		0,48	
	<b>CASO B</b>	<b>Tejido opacos</b>			<b>Tejidos translúcidos</b>		
		$\tau=0$			$\tau=0,2$		
	A	N	NE / NO	E / O	N	NE / NO	E / O
	30°	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
	45°	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
	60°	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

**Tabla 12.9:** Factor Sombra para obstáculos de fachada (toldos).

Fuente: TDRé.

		<b>Y / Z</b>						
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	
	<b>X / Z</b>	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
		0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
		1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
		2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
		5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
10,0		0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85	

**Tabla 12.10:** Factor Sombra (Lucernarios).

Notas: Los valores de factor sombra que se indican en esta tabla son válidos para lucernarios sensiblemente horizontales.

En caso de lucernarios de planta elíptica o circular podrán tomarse como dimensiones características equivalentes los ejes mayor y menor o el diámetro.

Fuente: TDRé.