

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL CENTRO DE  
INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN  
DE LA UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO (CITEC UBB).**

**HABILITACIÓN PROFESIONAL PRESENTADO EN  
CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO.**

Profesor guía:

Sr: Luis Cerda Miskulini.

**Rodrigo Esteban Moreno Quiroz**

**Concepción – Chile**

**2016**

## **RESUMEN.**

El presente trabajo de título tiene como objetivo realizar una evaluación energética en el edificio de la Universidad del Bío-Bío designado como “Centro de Investigación de Tecnologías de la Construcción CITEC UBB”, con el propósito de reducir el consumo de energía por parte del edificio.

Para comenzar con el estudio del edificio se realizó un levantamiento de información, en donde se describieron sus tecnologías aplicadas a la envolvente y el acondicionamiento ambiental, con el fin de comprender mejor su comportamiento.

Para determinar el consumo anual del edificio y como los sistemas de climatización de las edificaciones, son en general los sistemas que más energía consumen (entre el 40 y 60% del total) se decidió realizar un análisis en primera instancia de forma manual guiado por el manual Carrier, en el cual se contabilizaron las pérdidas para la condición de invierno y las ganancias para la condición de verano. Luego, para dar un mayor grado de profundidad en el trabajo se ocupó el *software Autodesk Ecotect Analysis*, el cual es una potente herramienta de análisis para estudios de tipo energético, lumínico, solar, etc, para determinar el consumo anual del edificio. Ambos métodos arrojaron valores de consumo energético de calefacción muy similares.

Luego, como última etapa del plan de gestión se propuso instalar en el techo del edificio un sistema solar fotovoltaico, para proveer el 50% del consumo eléctrico anual del edificio. Esta propuesta se soporta mediante los resultados realizados por el *software Autodesk Ecotect Analysis* en cuanto a la radiación solar acumulada anual, y la trayectoria del sol sobre la ciudad de Concepción.

Del estudio técnico económico, para determinar la factibilidad económica de la propuesta, se obtuvo un periodo de recuperación de la inversión de 13 años por debajo de la vida útil del proyecto, el cual es de 25 años, generando ganancias después del año 13, hasta el año 25, por más de 8.3 millones de pesos.

## **INDICE**

<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Origen del tema.....	2
1.3 Objetivos. ....	2
1.3.1 Objetivo general. ....	2
1.3.2 Objetivos específicos. ....	2
1.4 Administración actual de las instituciones. ....	2
1.5 Metodología de trabajo de una gestión energética.....	3
1.6 Compromiso institucional. ....	4
1.7 Fase preliminar.....	5
1.7.1 Hábitos en el consumo eléctrico. ....	5
1.7.2 Hábitos en la iluminación. ....	5
1.7.3 Hábitos en la climatización.....	6
1.7.4 Hábitos en el uso de agua caliente sanitaria (ACS).....	6
1.8 Fase 1: Levantamiento de información.....	6
1.8.1 Características del edificio. ....	6
1.8.2 Características constructivas y de diseño. ....	7
1.8.3 Suministros energéticos.....	7
1.8.4 Parámetros de confort ambiental. ....	8
1.8.5 Gestión de agua caliente sanitaria (ACS). ....	8
1.9 Fase 2: Análisis y cuantificación de los sistemas energéticos.....	8
1.9.1 Línea base de consumo de energía.....	8
1.9.2 Monitorización y evaluación de indicadores.....	9
1.9.3 Análisis de datos. ....	10
1.10 Fase 3: propuestas de mejoras.....	11
1.10.1 Determinación y evaluación de mejoras del plan PGE. ....	11
1.10.2 Capacitación y educación de los usuarios. ....	11
1.10.3 Evaluación de resultados. ....	11
<b>CAPÍTULO 2: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN (CITEC UBB). ....</b>	<b>13</b>

2.1	Introducción.....	13
2.2	Estrategias asociadas a la envolvente del edificio. ....	13
2.2.1	Bloque de hormigón termoresistente. ....	13
2.2.2	Ventanales. ....	14
2.2.3	Muro de acumulación Trombe. ....	15
2.2.4	Celosías móviles. ....	17
2.3	Estrategias asociadas a las instalaciones para el acondicionamiento ambiental del edificio. ....	18
2.3.1	Esquema de climatización del edificio.....	19
2.3.2	Bomba de calor de Geotermia. ....	21
2.3.3	Colector Solar. ....	22
2.3.4	Caldera de condensación. ....	23
2.4	Sistema de ventilación del edificio.....	24
2.5	Sistema de acondicionamiento ambiental del auditorio del edificio.....	25
<b>CAPÍTULO 3: CÁLCULO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE CALOR EN LA EDIFICACIÓN. ....</b>		<b>27</b>
3.1	Introducción.....	27
3.2	Condiciones de diseño del estudio.....	27
3.3	Cálculo de la carga de calefacción.....	28
3.4	Cálculo Coeficiente global de transferencia de calor.....	28
3.4.1	Coeficiente U puerta de acceso. ....	30
3.4.2	Coeficiente U ventanas y muro cortina. ....	30
3.4.3	Coeficiente U muros perimetrales. ....	31
3.4.5	Coeficiente U cielo del edificio. ....	32
3.4.6	Coeficiente U piso del edificio. ....	32
3.5	Cálculo de pérdida de calor por caudal de aire frío infiltrado. ....	33
3.6	Calculo de coeficientes de corrección. ....	34
3.6.1	Suplemento $S_0$ .....	35
3.6.2	Suplemento $S_1$ .....	35
3.6.3	Suplemento $S_2$ .....	35
3.6.4	Factor R. ....	36
3.6.5	Factor H. ....	36
3.7	Pérdidas de calor por la estructura del edificio en condición de invierno. ....	37
3.8	Consumo de energía por calefacción anual. ....	38

---

3.9 Ganancias de calor del edificio por condición de verano. ....	39
3.9.1 Ganancias térmicas por conducción y convección.....	40
3.9.2 Ganancias térmicas por radiación en muros y techos.....	41
3.9.3 Ganancias térmicas por radiación solar en ventanas.....	47
3.9.4 Ganancias térmicas producidas por personas. ....	48
3.9.5 Ganancias térmicas producidas por el alumbrado. ....	49
3.9.6 Ganancias térmicas producidas por equipos. ....	50
3.10 Resumen ganancias térmicas totales.....	50
3.11 Resumen comparativo de pérdidas y ganancias térmicas. ....	51
<b>CAPÍTULO 4: MODELAMIENTO Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CITEC UBB. ....</b>	<b>52</b>
4.1 Introducción.....	52
4.2 Autodesk Ecotec Analisis. ....	52
4.2.1 Geometría de la edificación. ....	53
4.2.2 Materiales constructivos.....	53
4.2.3 Condiciones geográficas y climáticas. ....	53
4.2.4 Análisis solar.....	53
4.2.5 Análisis de sombras.....	53
4.2.6 Análisis de iluminación.....	54
4.2.7 Análisis térmico.....	54
4.3 Metodología de uso del <i>software</i> .....	54
4.3.1 Creación del BIM del modelo. ....	54
4.3.2 Asignación de materiales constructivos. ....	55
4.3.3 Asignación de las condiciones de operación de las zonas térmicas.....	56
4.3.4 Identificación y selección de los espacios interiores críticos.....	57
4.3.5 Calibración del modelo BIM. ....	57
4.3.6 Simulación y análisis.....	57
4.4 Creación del BIM del CITEC UBB. ....	58
4.4.1 Modelo geométrico del edificio.....	58
4.4.2 Orientación de fachada. ....	59
4.4.3 Asignación del clima. ....	60
4.4.4 Asignación de los grupos materiales constructivos.....	60
4.4.5 Asignación de las condiciones de operación de las zonas térmicas.....	62
4.4.6 Condiciones internas de diseño. ....	63

4.4.6.1 Ganancias térmicas aportadas por el tipo de ropa. ....	63
4.4.6.2 Velocidad del aire. ....	63
4.4.6.3 Nivel de iluminación. ....	64
4.4.6.4 Humedad relativa. ....	65
4.4.6.5 Ocupación de personas. ....	65
4.4.6.6 Tasa de intercambio de aire. ....	65
4.4.6.7 Tipo de sistema de climatización. ....	66
4.5 Resultados de simulaciones. ....	68
4.5.1 Análisis de iluminación. ....	68
4.5.2 Análisis solar. ....	70
4.5.3 Distribución de ganancias y pérdidas pasivas. ....	71
4.5.4 Demanda energética de climatización. ....	73
4.6 Cuantificación de los resultados. ....	74
4.6.1 Sector iluminación. ....	74
4.6.2 Sector climatización. ....	76
4.6.3 Sector equipos eléctricos. ....	77
4.6.4 Distribución de consumo anual por sectores. ....	78
<b>CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA. ....</b>	<b>80</b>
5.1 Introducción. ....	80
5.2 Consideraciones de la propuesta. ....	80
5.3 Consideraciones generales. ....	80
5.3.1 Potencia nominal del generador. ....	81
5.3.2 Radiación incidente sobre el generador. ....	81
5.4 Radiación anual del edificio. ....	82
5.5 Dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica. ....	83
5.5.1 Pérdidas de energía. ....	83
5.6 Características de los componentes. ....	84
5.6.1 Generador solar fotovoltaico. ....	84
5.6.2 Inversor. ....	86
5.6.3 Estructura de soporte de los paneles solares. ....	88
5.7 Análisis espacial. ....	89
5.7.1 Parámetros de la posición solar. ....	89
5.7.2 Distancia entre filas de paneles solares. ....	90
5.8 Análisis económico de propuesta. ....	93

5.8.1 costo inversión. ....	93
5.8.2 Período de recuperación de la inversión. ....	94
5.8.3 Período de recuperación de la inversión con tarifa residencial. ....	95
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES. ....</b>	<b>96</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>99</b>
Anexo A-1: Tabla de temperaturas exteriores de cálculo, según norma Nch 1078.c73. .	99
Anexo A-2: Tabla de temperaturas de locales no calefaccionados, según norma Nch 1078.c73. ....	102
Anexo A-3: Tabla de resistencia a la convección interior, según norma Nch 853-2007. ....	103
Anexo A-4: Tabla de conductividad térmica y densidad aparente de materiales constructivos, según la norma Nch 853-2007. ....	104
Anexo A-5: Tabla de resistencias térmicas para espacios no ventilados (cámaras de aire) verticales y flujo de calor horizontal, según norma Nch 853-of71. ....	108
Anexo A-6: Tabla de valores N°RH para el cálculo de aire infiltrado. ....	109
Anexo A-7: Tabla de valores de suplemento S <sub>0</sub> , según norma Nch 1078.c73. ....	109
Anexo A-8: Tabla de valores de suplemento S <sub>1</sub> , según norma Nch 1078.c73. ....	110
Anexo A-9: Tabla de valores del factor R, según norma Nch 1078.c73.....	110
Anexo A-10: Tabla de valores del factor H, según norma 1078.c73. ....	111
Anexo A-11: Tabla de transmitancia térmica lineal, según resistencia térmica total medidos en [m <sup>2</sup> -°C/W].....	111
Anexo A-12: Áreas y volúmenes del edificio ....	112
Anexo B-1: Tabla de corrección de las diferencias equivalentes de temperatura (a)....	114
Anexo B-2: Tabla equivalente de temperaturas para muros soleados o en sombra ( $\Delta t_{es}$ y $\Delta t_{em}$ ).....	115
Anexo B-3: Tabla equivalente de temperaturas para techos ( $\Delta t_{em}$ ).....	116
Anexo B-4: Tabla de aportaciones solares a través de vidrio sencillo ( <b>R<sub>m</sub></b> y <b>R<sub>s</sub></b> ). ....	117
Anexo B-5: Tabla de factor de almacenamiento carga térmica (F <sub>al</sub> ) ....	118
Anexo B-6: Tabla de factor amortiguamiento de ventana (F <sub>am</sub> ).....	119
Anexo B-7: Tabla de ganancias de calor aportadas por personas.....	120
Anexo B-8: Tabla de ganancias aportadas por el alumbrado.....	120
Anexo B-9: Tabla grados día Concepción.....	121
Anexo C-1: Respaldo consumo anual de calefacción y refrigeración anual entregada por <i>Autodesk Ecotect Analisis</i> . ....	121

Anexo C-2: planimetría eléctrica primer y segundo nivel del CITEC UBB.....	122
Anexo D-1: Especificaciones técnicas paneles solares KYL-310P. ....	125
Anexo D-2: Especificaciones técnicas inversor <i>TRIPower STP-10000</i> .....	127

## **CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES**

### **1.1 Introducción**

Hoy en día la energía se ha convertido en un tema de gran importancia en la sociedad, siendo así de manera más específica la eficiencia energética. El Estado de Chile comprendiendo este nuevo escenario ha comenzado a estudiar políticas relacionadas hacia la eficiencia energética y a la vez incentivar al sector privado que invierta en ello. Es por esto, que hoy en la actualidad tanto el sector público como en el privado, existe una creciente preocupación por reducir al mínimo consumo de energía y al mismo tiempo que se mantengan o aumenten los niveles de producción sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades. Esta es la base del concepto de sustentabilidad.

Bajo esta nueva concepción de sistema productivo sustentable es que se han desarrollado gradualmente iniciativas conducentes a reducir el consumo de energía del sector inmobiliario y al mismo tiempo al desarrollo e implementación de energías renovables y no contaminantes, de manera de aprovechar de mejor forma los recursos naturales y reducir así el consumo eléctrico de las edificaciones.

El potencial de eficiencia, es decir, el porcentaje de energía y electricidad que se puede dejar de consumir, es muy significativo. Hoy, el consumo energético de un edificio producto del sistema de climatización, está entre el 40% y el 60% del consumo total, por esta razón es que un plan de gestión energética primeramente estará dirigido hacia esta área.

Para la realización de este plan energético se propone esta metodología basada en trabajos conjuntos realizados por diferentes universidades del país.

## **1.2 Origen del tema.**

El origen del tema se inicia por la necesidad de los profesionales del centro de conocer el desempeño energético del edificio. Esto se debió a que se realizaron algunas modificaciones al proyecto original y no se realizó un estudio sobre su nuevo desempeño.

## **1.3 Objetivos.**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Realizar una evaluación energética del edificio CITEC UBB, del cual surjan mejoras que logren reducir significativamente el consumo energético del edificio.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Levantamiento de información de los sistemas y tecnologías que comprenden el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción CITEC.
- Determinar las cargas de calefacción y enfriamiento del edificio mediante el manual Carrier.
- Diagnosticar energéticamente el edificio mediante el software Autodesk Ecotect Análisis y comprobar su coherencia con el punto anterior.
- Proponer mejoras con el fin de reducir el consumo de energía y verificar su viabilidad económica.

## **1.4 Administración actual de las instituciones.**

En general en los edificios públicos y también en los privados, los temas de eficiencia energética y confort medio ambiental no tienen el sentido de importancia que se merecen, es decir que el consumo de energía para satisfacer las distintas demandas de operación es en general desconocida o irrelevante, por esta razón es muy probable que se esté incurriendo en mayores costos energéticos y en malestar o desagrado de parte de los funcionarios por tener condiciones medioambientales deficientes.

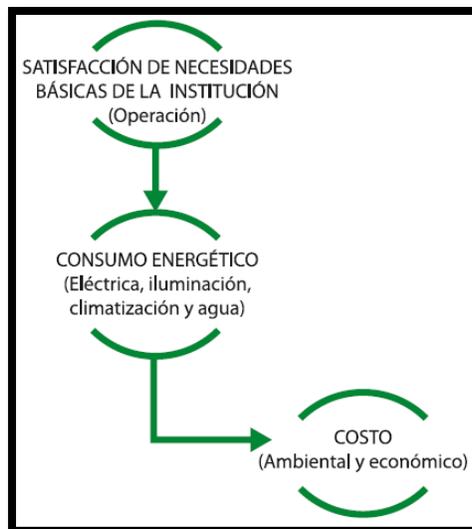


Figura 1.1: Estructura de administración de las instituciones.

Como se puede apreciar en la figura 1.1 el consumo energético de los edificios solo depende de las necesidades básicas de operación de la institución y no existe un seguimiento o control para lograr una eficiencia energética y menos un confort medio ambiental óptimo.

Finalmente, este consumo desmedido de energía trae consigo costos, pero no solamente de tipo energéticos sino, que también, costos de tipo económicos, medioambientales y sociales.

### 1.5 Metodología de trabajo de una gestión energética.

Para comenzar con una gestión energética es importante implementar una metodología de trabajo que oriente a realizar los pasos correctos y sin caer en redundancias, además de servir como una guía estandarizada, no solo para un edificio en particular, sino para todos los lugares en los cuales se requiera implementar esta gestión.

Las fases que conforman esta gestión energética son:

- Compromiso institucional: Definición de las políticas y compromisos por parte de la institución.
- Fase preliminar: Revisión de los hábitos energéticos de la institución.
- Fase 1: Levantamiento de información del edificio: verificación y cuantificación de los sistemas energéticos de la institución o edificio en particular.

- Fase 2: Análisis y cuantificación de los sistemas energéticos: etapa donde se analizan los sistemas energéticos y se cuantifican los consumos de energía
- Fase 3: Propuestas de mejoras: etapa donde se proponen mejoras a los sistemas del edificio con el fin de reducir su consumo energético y optimizar su confort medio ambiental

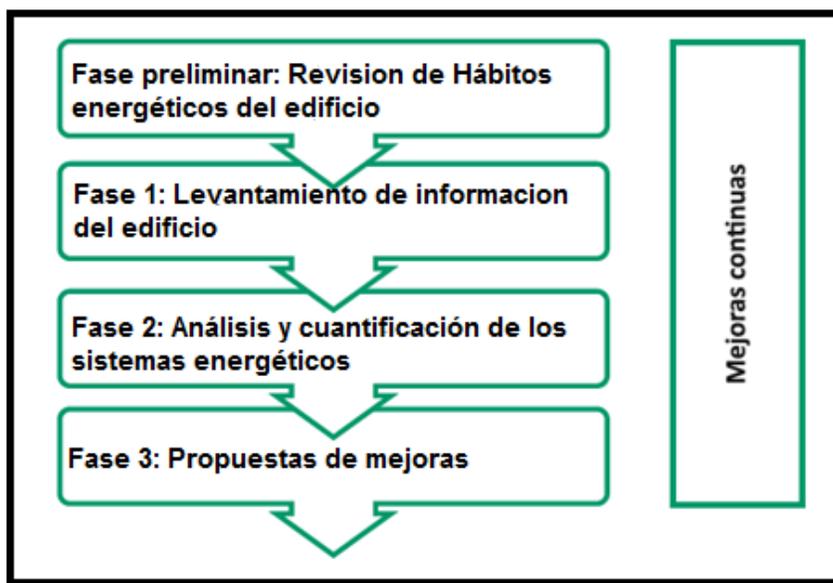


Figura 1.2: Esquema de la metodología de trabajo.

### 1.6 Compromiso institucional.

El compromiso institucional de una empresa, u otro tipo de organización es muy importante para la realización de un plan de gestión energética, puesto que deben colaborar activamente en la gestión del plan para realizar el cambio necesario. Organizaciones que prestan este tipo de servicio, son conformadas por un equipo gestor, el cual se detalla a continuación:

- Asesor: es la persona u organización encargada de la mejora o creación de las estrategias de gestión, además es el encargado del diseño y velar por la correcta implementación de las mejoras destinadas a la eficiencia energética.
- Colaborador(es): este rol por lo general lo cumple la persona de mayor jerarquía de la institución o en su defecto por una persona designada por él. Su principal

obligación es la de servir como nexo entre el asesor y las personas que trabajan en dicha institución.

El principal objetivo del equipo gestor es el de velar por la correcta implementación del plan, reduciendo los niveles de consumo de energía y mejorando el confort ambiental sin tener un perjuicio en la producción de dicha institución.

Para lograr la efectividad de este plan se requiere cambios en la toma de decisiones en el sistema de planificación y control de la institución de modo que para lograr una eficiencia en el manejo de los recursos se tiene que involucrar toda la estructura organizacional.

A fin de garantizar una exitosa implementación del plan, deberá tomarse la decisión estratégica que plantee y comprometa a la Administración con este objetivo, puesto que la Gestión Energética es una inversión, y como tal, debe contemplar el costo del recurso inicial para lograr disminuir este consumo con los mismos niveles de producción y con los niveles de confort ambiental necesarios, permitiendo que estos cambios sean viables económica, social y ambientalmente.

## **1.7 Fase preliminar.**

Esta etapa es más bien cualitativa. El objetivo de esta etapa es el de revisar los hábitos energéticos de los ocupantes del edificio y la forma en que ocupan los equipos consumidores de energía.

A continuación se resumirán algunos hábitos y conductas con el fin de ahorrar energía y mejorar el confort ambiental interior.

### **1.7.1 Hábitos en el consumo eléctrico.**

- Se apaga y/o desenchufa todos los artefactos que consumen electricidad cuando no se están usando.
- Se revisa que el medidor eléctrico no siga marcando o girando cuando no exista consumo eléctrico.
- Se ocupan artefactos con certificación de eficiencia energética.

### **1.7.2 Hábitos en la iluminación.**

- Se apagan las luces cuando no se están usando.
- Se utilizan iluminarias con certificación de eficiencia energética.

- Se utiliza la luz natural reubicando los puestos de trabajo orientados hacia ventanas.

### **1.7.3 Hábitos en la climatización.**

- Se realizan mantenimientos y limpieza constante a los artefactos de climatización.
- Se apaga el sistema de climatización cuando no se ocupa.
- Se mantienen cerradas las puertas y ventanas cuando se está climatizando el recinto.
- Se ocupan artefactos de climatización con certificación de eficiencia energética.
- Se mantiene despejado de objetos las áreas cercanas a los sistemas de distribución de climatización.

### **1.7.4 Hábitos en el uso de agua caliente sanitaria (ACS).**

- Se cierran las llaves de agua caliente sanitaria cuando estas no se ocupan.
- Se verifica la inexistencia de goteras en los sistemas de distribución de ACS.
- Se ocupan equipos de generación de ACS con certificación de eficiencia energética.

## **1.8 Fase 1: Levantamiento de información.**

Para comenzar con el plan de gestión es importante realizar el debido levantamiento de información, con el objetivo de determinar las características del edificio, de su funcionalidad, etc.

### **1.8.1 Características del edificio.**

- **Clima:** conocer las condiciones climáticas de una zona ya sea: la temperatura media, precipitaciones, velocidad del viento, etc. Es muy importante ya que, ayuda a determinar las mejores opciones de climatización o el diseño arquitectónico.
- **Ubicación y emplazamiento:** la ubicación y el emplazamiento ayuda a comprender el entorno que rodea el edificio, ya sean: lagos, cerros, árboles, vegetación, etc. Esto puede influir en gran medida en los parámetros térmicos y lumínicos del edificio.
- **Funcionalidad:** la funcionalidad también influye en los parámetros térmicos y lumínicos del edificio ya que, el régimen de funcionamiento por ejemplo de una escuela, un retén de carabineros, un hospital, etc, varía significativamente en los horarios de trabajo, personas que alberga, hábitos en el consumo eléctrico, etc.

### **1.8.2 Características constructivas y de diseño.**

- Orientación: ésta es muy importante para la iluminación y también, para la climatización ya que informa si el edificio está orientado hacia una posición ventajosa para la radiación solar o no.
- Superficies: el área construida útil tiene gran importancia en el acondicionamiento ambiental ya que, mientras mayor sea el área de construcción mayor serán las pérdidas o ganancias de calor y por consiguiente mayor la potencia de los equipos térmicos.
- Altura y niveles: la altura con respecto al nivel del mar varía en la temperatura exterior y también en la velocidad del viento, junto con los niveles del edificio ya que esto influye en la potencia de los equipos de ventilación.
- Tipo de recinto: al especificar el tipo de recinto se detallará la producción y el confort mínimo que se necesita de parte de los trabajadores, con esto se puede estimar las maquinarias a ocupar o el desempeño esperado por estas.
- Especificaciones técnicas (EETT) y materialidad: las EETT y la materialidad determinan la envolvente térmica del edificio y la transmitancia térmica de los muros obteniendo así la carga de calefacción y enfriamiento requerida por el edificio o un recinto en particular.

### **1.8.3 Suministros energéticos.**

- Evaluación de consumos en instalaciones eléctricas e iluminación: determinar el consumo de los equipos eléctricos conectados a la red y el consumo proveniente de la iluminación, y comparar con el consumo mensual. Además verificar si las instalaciones coinciden con los planos eléctricos del edificio, esto ayuda a visualizar el estado en que opera la institución y la administración de los recursos energéticos.
- Evaluación de consumos e instalaciones de climatización: determinar el consumo de los equipos de climatización y contrarrestar este dato con la potencia mensual ocupada por el edificio en este punto, también realizar lo mismo que en el ítem anterior con respecto a la verificación de planos existentes.

#### **1.8.4 Parámetros de confort ambiental.**

- Confort térmico: este es un tema de gran importancia y la determinación de este confort va a depender de la funcionalidad, de las características de sus ocupantes y la materialidad del edificio. También es importante determinar si es que el edificio cuenta con un sistema de climatización.
- Confort lumínico: el confort lumínico en oficinas y lugares afines, es muy importante e influye en gran medida en la productividad de las personas es por esto que la administración debiera tener ciertos estándares de luminosidad en los recintos con niveles mínimos y también máximos, para no caer en el derroche de energía, también los trabajadores deben tener conciencia de cuando hay luz natural, aprovecharla y cuando no se está ocupando la luz artificial se debiera apagar.
- Confort respiratorio: el confort respiratorio al igual que los otros influye en la productividad de los trabajadores por lo cual es importante mantener niveles de CO<sub>2</sub> y humedad aceptables, para lograr esto es importante ventilar los recintos.

#### **1.8.5 Gestión de agua caliente sanitaria (ACS).**

El último tópico para determinar el consumo base del edificio es el estudio de la ACS. Para dicho análisis se identifica el tipo y características del sistema ocupado en el edificio. Entre los parámetros de este análisis están por ejemplo: el número de personas promedio que alberga el edificio, la producción de los equipos de ACS, la acumulación y distribución de ésta, y verificar si el sistema es el más conveniente de acuerdo a las características de emplazamiento, clima, funcionalidad, etc. Por otro lado, se debe hacer una cuantificación de los hábitos de los usuarios con respecto al ACS de modo de observar el nivel de eficiencia de éste.

### **1.9 Fase 2: Análisis y cuantificación de los sistemas energéticos.**

#### **1.9.1 Línea base de consumo de energía.**

Una vez realizado el diagnóstico del edificio, se debe realizar seguimientos de consumo de energía antes de llevar a cabo el Plan. Tomar en consideración las distintas variables que se presentan en ese tiempo (clima, funcionalidad del edificio, tecnología implementada, entre otras). Los registros obtenidos son analizados, ya sea de forma cualitativa, cuantitativa y/o gráficamente, de manera de fijar una línea base de consumo energético, dato que ayudará posteriormente a verificar el desempeño y la eficiencia el Plan instalado.

### 1.9.2 Monitorización y evaluación de indicadores.

Se debe realizar un análisis de los consumos de energía en el edificio y relacionarlos por ejemplo con el área del recinto, con las actividades que ejerce la institución o con los usuarios existentes en el edificio, a fin de obtener indicadores representativos para su posterior evaluación. Los indicadores se deben analizar cada vez que se implemente un plan, con la finalidad de evaluar de forma permanente la aplicación de las mejoras establecidas en la edificación y así verificar si los resultados fueron los esperados o no, según los objetivos y política estratégica planteada en la Fase Preliminar. En la misma línea, las facturas entregadas por compañías de índole energética son muy importantes, ya que, entregan una información objetiva sobre los costos de estos recursos, ya sea en electricidad, gas, petróleo, leña, u otro.

A modo de ejemplo, se presenta en la figura 1.3 un esquema de indicadores de consumos, indicando una forma de como ordenar esta posible información.

MES AGOSTO 2012							
Característica del recinto		Electricidad [KWh]				Combustible [m <sup>3</sup> ]	
Tipo	N° usuario	Super [m <sup>2</sup> ]	Climati.	Ilumina.	Elemen. Eléctricos	Petróleo	Gas
Baño	35	55	80	115	189	0	55
Hall	46	80	114	130	195	30	36
Sala	70	150	120	125	240	15	78
Oficina	105	300	100	169	221	40	15

Figura 1.3: Ejemplo de un indicador de consumo por recinto.

Los datos de la línea base se deben actualizar posteriormente durante la fase 3, como forma de mantenimiento del Plan y como método de chequear el cumplimiento de la meta u objetivo de la administración del edificio, la que influirá en las mejoras continuas que se decreten en la institución, como respuestas a las modificaciones existentes durante ese lapso.

### 1.9.3 Análisis de datos.

Teniendo a disposición todos los datos de las mediciones se procede al análisis de éstos, a través de tablas comparativas, gráficos, curvas de consumo en función de horas del día, estaciones del año, etc. Es necesario que la divulgación de esta información sea lo más sencilla posible y fácil de explicar a los usuarios de tal forma que se logre una motivación por cómo se van bajando los consumos excesivos y mejorando la eficiencia de la institución.

Es muy importante después que se implementa el plan llevar un registro mensual de los consumos y clasificarlos por recintos a fin de obtener un perfil energético, de esta forma es más fácil hacer comparaciones e identificar las mejoras más importantes y urgentes.

Teniendo todos los ítems zanjados se puede realizar un diagrama de Sankey, que es un diagrama de flujo energético que muestra gráficamente los consumos relevantes del edificio, como se aprecia en la figura 1.4.

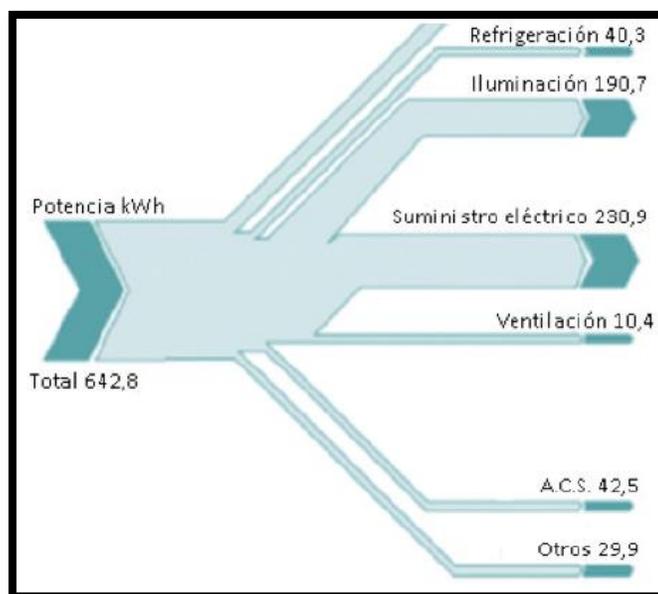


Figura 1.4: Diagrama de Sankey: distribución de los distintos consumos.

El diagrama de flujo debe desglosar la totalidad del consumo energético en los distintos sistemas o procesos consumidores, de tal manera de poner en evidencia cuál de éstos es el que significa un mayor valor y costo para la institución.

## **1.10 Fase 3: Propuestas de mejoras.**

### **1.10.1 Determinación y evaluación de mejoras del plan PGE.**

Una vez determinada la línea base de consumo del edificio se procede a realizar las mejoras. Estas mejoras van de acuerdo a las políticas y necesidades de la institución, que se comprometió al principio del plan. Para el desarrollo de estas mejoras se realizarán estudios de factibilidad técnicos y económicos y también ver si hay posibilidad de instalar o mejorar sistemas de energías renovables. Luego de la identificación y valoración de las mejoras se determina cuales serán de corto, mediano y largo plazo, según criterios de presupuesto y urgencias. Esto es para lograr dirigir los esfuerzos de la institución eficazmente.

Algunas de las herramientas para el desarrollo de las mejoras son: la elaboración de una matriz o cuadro de selección de mejoras, análisis costo/beneficio y económico simple, métodos de evaluación de impacto ambiental y modelos de costo de la empresa y evaluación financiera.

### **1.10.2 Capacitación y educación de los usuarios.**

Una vez identificadas las acciones del plan se procede a la capacitación e instrucción de los usuarios de la institución. Esta instrucción tiene como fin el de mejorar los malos hábitos de los usuarios desde el punto de vista energético y al mismo tiempo el de incentivar hacia una conciencia sobre el cuidado de la energía y el óptimo aprovechamiento, esto hay que realizarlo de una forma equilibrada entre la eficiencia energética y en que no se vean muy deterioradas sus comodidades y calidad de vida.

Algunas herramientas a utilizar en las distintas auditorías son: Entrenamiento del personal en prácticas de operación, autodiagnósticos y mantenimiento de los equipos energéticos, charlas inductivas, instructivos de trabajos, preparación del personal para la comprensión y administración del plan, entre otros.

### **1.10.3 Evaluación de resultados.**

En la evaluación final del plan se busca verificar su correcto desarrollo y cumplimiento de acuerdo a los compromisos y políticas definidas en el inicio. Para la realización de esto se deben realizar algunas tareas como: el seguimiento del plan, registro de mejoras establecidas evaluando los resultados que éstas conllevan, análisis y revisión de

indicadores, registros y estudio de capacitaciones (eficacia) y la recopilación de datos que permitan verificar los cumplimientos de los objetivos de los periodos anteriores.

Finalmente, se debe determinar el grado de cumplimiento del plan y de ser necesario establecer nuevas metas y objetivos a través de un nuevo plan, para seguir mejorando la eficiencia del edificio, convirtiéndolo en una política institucional.

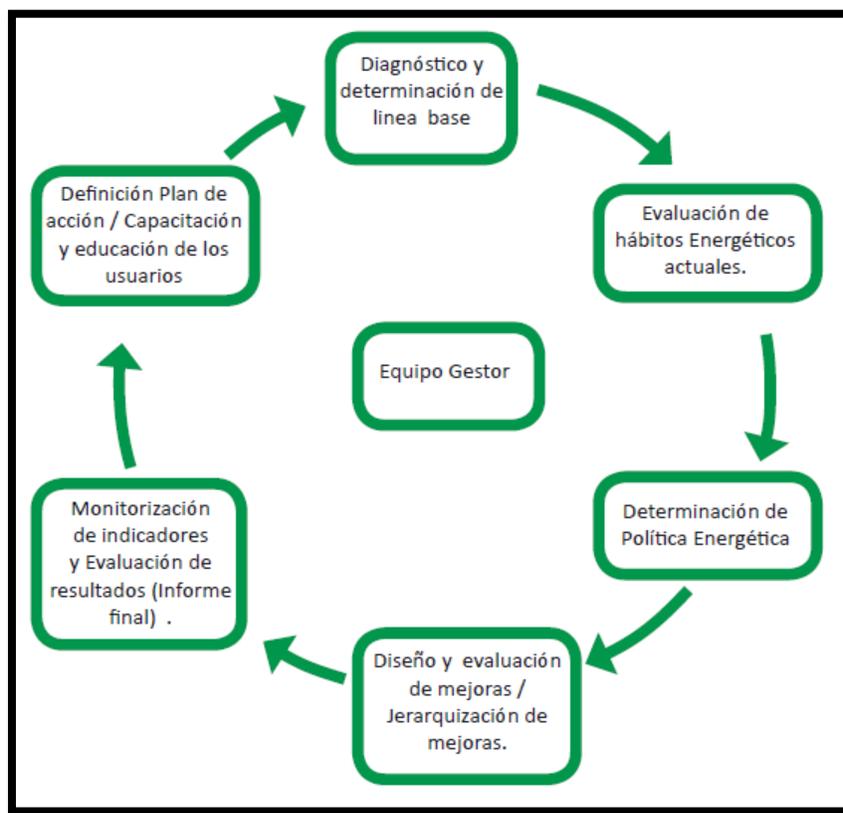


Figura 1.5: Ciclo del plan de gestión energética.

## **CAPÍTULO 2: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN (CITEC UBB).**

### **2.1 Introducción.**

El 7 de septiembre de 2007, el comité Innova Chile, dependiente de la Corporación de Fomento de la Producción CORFO , y la Universidad del Bío-Bío celebraron el convenio de ejecución del proyecto denominado “Centro tecnológico para la calidad de la vivienda”, código 06FC01 IXC-56. Proyecto postulado en su ocasión al primer concurso nacional de proyectos de formación y fortalecimiento de capacidades regionales, la obra fue materializada con aportes de Innova Chile, Cementos Bío-Bío S.A, Constructora JCE S.A y la Universidad de Lovaina, Bélgica.

Dentro de los objetivos de este edificio está el de desarrollar, aplicar y transferir el conocimiento y tecnología de la Universidad a la Industria de la construcción nacional y a la comunidad chilena en general; respondiendo con excelencia y calidad a sus necesidades de asesoría, formación de recursos humanos, investigación aplicada e innovación.

Siguiendo la línea de sus objetivos, el diseño del edificio, su materialidad, instalaciones y sistema de control incorporaron criterios de sustentabilidad medioambiental. Criterios conducentes a reducir la demanda y consumo de energía del edificio, mejorar las condiciones ambientales y disminuir el impacto sobre el medio ambiente. Diversas estrategias de diseño pasivo, activo e híbrido junto con innovadoras tecnologías a nivel de construcción e instalaciones, alguna de las cuales se utilizan por primera vez en Chile, están siendo permanentemente monitoreadas y evaluadas en el edificio.

### **2.2 Estrategias asociadas a la envolvente del edificio.**

Estas tecnologías van orientadas hacia la materialidad del edificio y sus procesos constructivos dentro de los cuales hay estrategias innovadoras que se detallarán a continuación.

#### **2.2.1 Bloque de hormigón termoresistente.**

El edificio se construyó en bloques huecos de hormigón termoresistente. El bloque y el sistema constructivo que lo utiliza son productos resultados del Proyecto Innova Bío-Bío N° 06-PC-51-004, ejecutado por investigadores del Centro y un grupo de empresas chilenas entre los años 2008 y 2009. Proyecto de investigación y desarrollo que dio lugar a esa

tecnología, debidamente probada y certificada a través de dicho proyecto, la cual se utilizó por primera vez en Chile en esta obra de edificación.

La resistencia térmica del nuevo bloque utilizado en el edificio duplica la de bloques tradicionales ( $0.6 \text{ m}^2\text{K/W}$  a  $1.2 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) y suma a ello propiedades hidro-resistentes que lo hacen apropiado además para uso bajo climas lluviosos. Los muros perimetrales se constituyen en base a estos bloques más un revestimiento térmico interior con lo que se consigue una envolvente térmica de muy alta eficiencia energética. La transmitancia térmica certificada de los muros perimetrales del edificio es menor a  $0.5 \text{ W/m}^2\text{°C}$  Las pérdidas térmicas a través de una envolvente de ese estándar son, respectivamente, cuatro y ocho veces menores a las que se producen por envolventes murales típicas de albañilería de ladrillos y hormigón.



*Figura 2.1: Ladrillo de hormigón termoresistente.*

### **2.2.2 Ventanales.**

Las ventanas del edificio son de clase permeable certificada 7a (reforzada). Estándar que da cuenta de una ventana con casi nula infiltración de aire. La ventana misma incorpora un sistema de ventilación controlada pasivamente (figura 2.2).



Figura 2.2: Ventanas del CITEC UBB

La envolvente del edificio es de baja permeabilidad al aire, tanto por las características de los elementos transparentes, el adecuado tratamiento de sellos de vanos y juntas y por las propias de la construcción en bloque. La permeabilidad al aire medida de la construcción es menor a 8 cambios de aire a 50 Pascales de presión diferencial. Construcciones comparables en Concepción tienen entre 15 y 40 cambios de aire a ese nivel de presión diferencial.

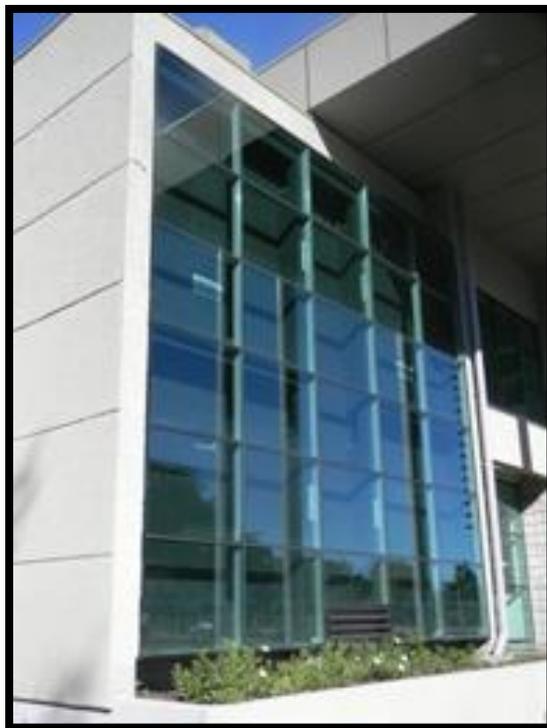
### 2.2.3 Muro de acumulación Trombe.

Sistema pasivo de recolección de energía solar que se utiliza para apoyar las necesidades de calefacción del auditorio y de la sala de archivos y biblioteca del edificio. Consiste básicamente de un muro de 36 m<sup>2</sup>, el muro norte de ambos recintos en este caso, que actúa como elemento confinador y acumulador de energía solar, un elemento vidriado doble enfrente al muro y una cámara de aire entre ambos elementos (fig.2.3). El muro incorpora una película oscura en su cara exterior y orificios de ventilación debidamente dispuestos con templadores motorizados y manuales. Completan el sistema, sensores de temperatura y los sistemas de control y accesorios correspondientes.

La pared norte se separa en la práctica en dos muros, uno superior y otro inferior. El superior atiende independientemente las necesidades de la sala de bibliotecas y archivos y el inferior las de la sala auditorio. Ambos muros son cruzados vertical y centralmente por una chimenea solar con ventilas de admisión y expulsión.

En régimen de operación la película oscura absorbe parte del espectro solar visible y emite una pequeña porción del rango infrarrojo. La absorción transforma la luz en calor en la superficie de la pared y disminuye la reflexión. El calor absorbido en la cara exterior, se transfiere a los recintos por conducción a través del muro y luego por conducción hacia el ambiente. Adicionalmente, parte del calor absorbido por el muro y el capturado en la cámara de aire, es distribuido a los recintos directamente por convección forzada.

Un sistema de regulación y control mide y relaciona permanentemente la temperatura en la cámara de aire y la interior de los recintos, la diferencia entre ambas y la posición de los templadores motorizados para decidir respecto del sentido de la circulación del aire. El sistema está conformado por: sensores de temperatura dispuestos en el interior del muro captador de energía solar; dampers comandados eléctricamente que permiten direccionar los flujos de calor desde y hacia el muro trombe; pantallas de usuario a través de las cuales se ingresan la temperatura de control deseada en cada uno de los recintos; y sistema de control inteligente, basado en PLC (Controlador Lógico Programable) cuya misión es comandar los diferentes elementos para lograr la utilización eficiente de la energía acumulada. Cabe señalar que este sistema de calefacción solo atiende los recintos del auditorio y la sala de archivos o biblioteca del edificio, además se estima que el muro Trombe sea capaz de proporcionar entre el 50 y 80% de las necesidades de calefacción de estos 2 recintos.

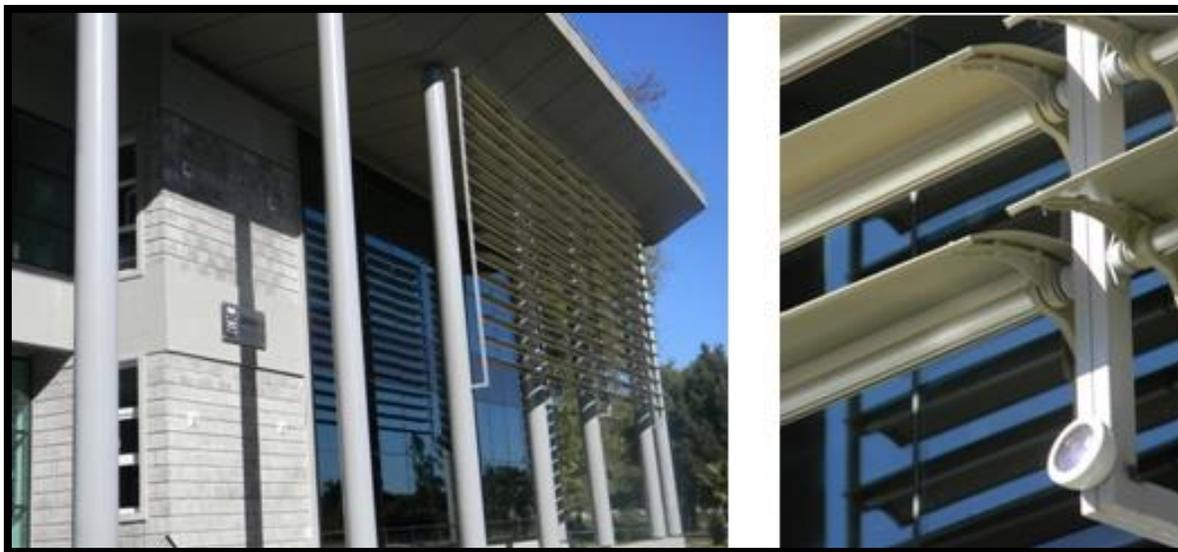


*Figura 2.3: Muro de acumulación Trombe.*

#### **2.2.4 Celosías móviles.**

Las celosías móviles cuentan con un sistema corredizo. Son paneles que se componen de láminas fijas, pero que se desplazan por un riel, teniendo así un manejo sobre la inclinación de la celosía.

En el edificio se encuentran instaladas en el muro cortina de la fachada norte, abarcando un área aproximada de 40 m<sup>2</sup> y controlado automáticamente mediante sensores de iluminación para optimizar el aprovechamiento solar pasivo en invierno y reducir los impactos de éste en verano.



*Figura 2.4: Celosías móviles.*

### **2.3 Estrategias asociadas a las instalaciones para el acondicionamiento ambiental del edificio.**

El edificio incorpora varios sistemas para atender las demandas de calor, frío y ventilación durante el año. Sistemas del tipo centralizado por sectores del edificio y otros localizados por recintos. El propósito de ello es además pedagógico, el diseño de las instalaciones incorpora sistemas para contabilizar y monitorizar consumos energéticos y variables medioambientales.

Las instalaciones de acondicionamiento ambiental atienden 350 m<sup>2</sup> de área de administración y oficinas del primer y segundo nivel del edificio. El primero consiste en un sistema integrado y formado por tres tecnologías distintas: Sistema bomba de calor geotérmica; Sistema solar térmico y Sistema caldera de condensación. Sistemas concebidos para trabajar en forma independiente o integradamente, a través de una losa radiante para atender las demandas de calefacción, enfriamiento (sólo bomba de calor geotérmica) y provisión de agua caliente para los recintos del hall hacia la derecha, como se aprecia en la figura 2.5. El segundo es un sistema localizado solo para el auditorio el cual es una bomba de calor aerotérmica provista para atender las necesidades de calefacción y enfriamiento del recinto, asistido también por el muro Trombe.

### 2.3.1 Esquema de climatización del edificio.

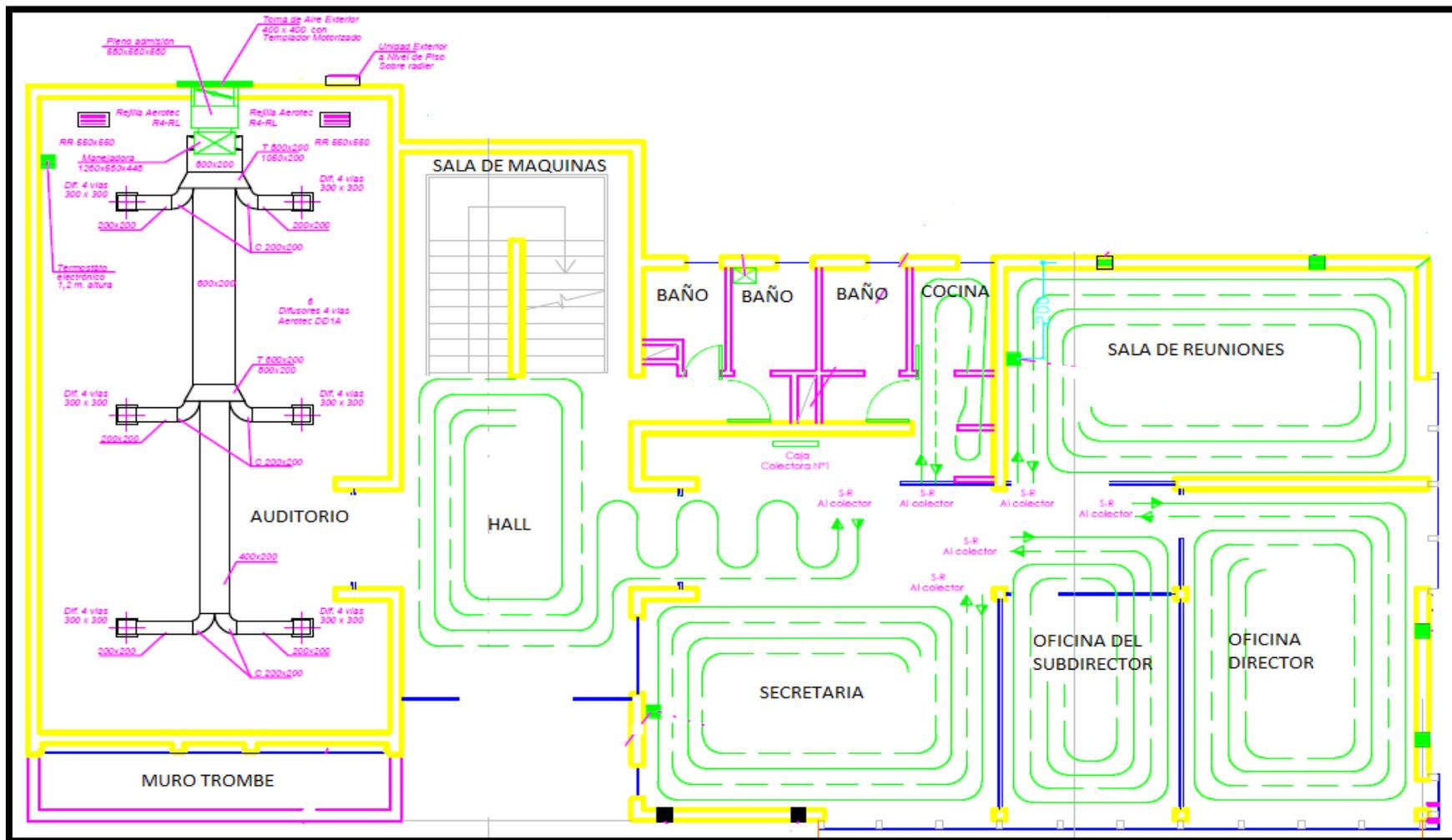


Figura 2.5: Esquema de planta de la climatización del primer piso.

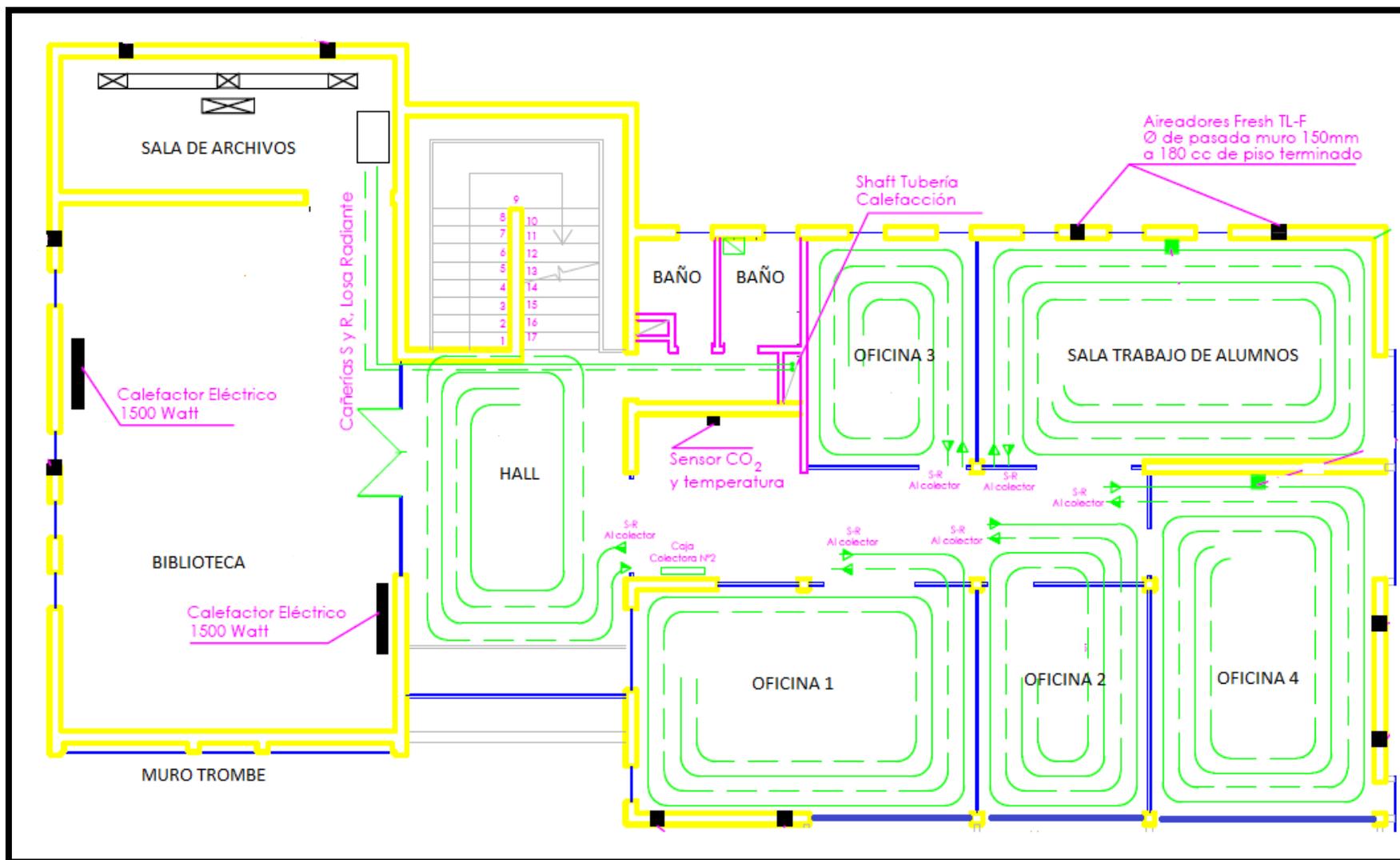


Figura 2.6: Esquema de planta de la climatización del segundo piso

Como se puede apreciar en la figura 2.5 y 2.6 los recintos ubicados desde el hall a la derecha están climatizados por un sistema de loza radiante siendo este el serpentín verde que se aprecia en la figuras. Estos serpentines son abastecidos por agua caliente o fría dependiendo del requerimiento a través de un acumulador de inercia, en donde este se abastece por los sistemas que se detalla a continuación.

### **2.3.2 Bomba de calor de Geotermia.**

Concebida para calefaccionar y enfriar el edificio durante las distintas estaciones del año y según necesidades. Consta de una bomba de calor geotérmica; estanque de acumulación y amortiguación; serpentines colectores geotérmicos dispuestos debajo de la superficie del terreno aledaño, entre 1 y 2 m de profundidad; serpentines de piso dispuesto sobre radier y elementos de regulación, medición y control. A través de este sistema, en invierno, se capta energía de la tierra, mediante los colectores dispuestos debajo del terreno que se “bombea” al interior del edificio donde se disipa a través de los serpentines dispuestos en el piso del edificio (piso radiante). En verano, con demandas de refrigeración, el proceso se invierte: del edificio se capta energía la cual se “bombea” al terreno donde se disipa.



*Figura 2.7: Bomba de calor geotérmica del edificio.*

### **2.3.3 Colector Solar.**

Concebido para proveer agua caliente sanitaria y para apoyar la calefacción del edificio. Consta de paneles solares dispuestos sobre la cubierta del edificio a través de los cuales se captura energía solar térmica la que se transfiere al edificio mediante un fluido térmico e intercambiadores de calor hacia el acumulador de inercia. Cabe destacar que la principal función de este sistema es para apoyar la demanda de agua caliente sanitaria del edificio.



*Figura 2.8: Colector solar.*

#### **2.3.4 Caldera de condensación.**

Caldera de condensación a gas licuado de alta eficiencia energética. Concebida para apoyar el servicio de calefacción, cuando la bomba de geotermia no sea capaz de responder a los requerimientos del edificio.

La caldera entra en funcionamiento automáticamente cuando el sistema detecta que la temperatura del acumulador de inercia baja en el rango que se programó, esto ocurre en días muy fríos y la bomba no es capaz de mantener la temperatura del acumulador, luego se apaga cuando llega a la temperatura programada del acumulador de inercia

Los serpentines del piso se gobiernan mediante termostatos inalámbricos y válvulas reguladoras de caudal con actuadores electrónicos con lo que se consigue un control ambiental por zonas. Los serpentines se diseñan para actuar en régimen de calefacción tanto con el sistema geotérmico como con el sistema caldera de condensación o con ambos. En régimen de refrigeración en tanto opera con el sistema geotérmico.

Los sistemas se conciben y diseñan para actuar integradamente de modo de utilizar el mínimo de energía posible. También para funcionar de forma

independiente. El manejo combinado de estas tres tecnologías para el acondicionamiento ambiental de un edificio se utiliza por primera vez en Chile.



Figura 2.9: Caldera de condensación del edificio.

#### **2.4 Sistema de ventilación del edificio.**

Sistema de ventilación formado por: una chimenea de ventilación, dispositivos que sirven como aireadores de muro y de pasadas, extractores híbridos con posibilidad de ventilación natural y forzada, sensores de concentración de CO<sub>2</sub> y temperatura ambiental y sistemas de monitorización y control y de variables medioambientales por zonas del edificio. El sistema se diseña para asegurar una calidad del aire interior apropiada a las necesidades fisiológicas de los usuarios y las propias del edificio.

Las instalaciones se proyectan para que, en régimen de ventilación natural, el tiro térmico generado por la columna central más la presión de vientos dominantes, posibiliten el ingreso de aire de ventilación a través de aireadores de muros dispuestos en la envolvente del edificio. De modo que el aire circule naturalmente

desde la periferia del edificio hacia la chimenea central de ventilación de donde es expulsado naturalmente al exterior.

En régimen de ventilación forzada, esto es cuando la provisión de aire exterior no es suficiente para atender las necesidades higiénicas y/o de enfriamiento de los recintos, el aire es movilizado forzadamente a través de extractores dispuestos al efecto en distintos puntos del edificio.

En ambos casos sirven los dispositivos aireadores de muros; el aire en el interior circula a través de conductos y dispositivos para pasadas de aire y, adicionalmente, a través de puertas interiores. Sensores de CO<sub>2</sub> y temperatura debidamente dispuestos actúan para controlar el funcionamiento de los extractores y decidir la forma de funcionamiento; forzada o natural según las exigencias o conveniencias.

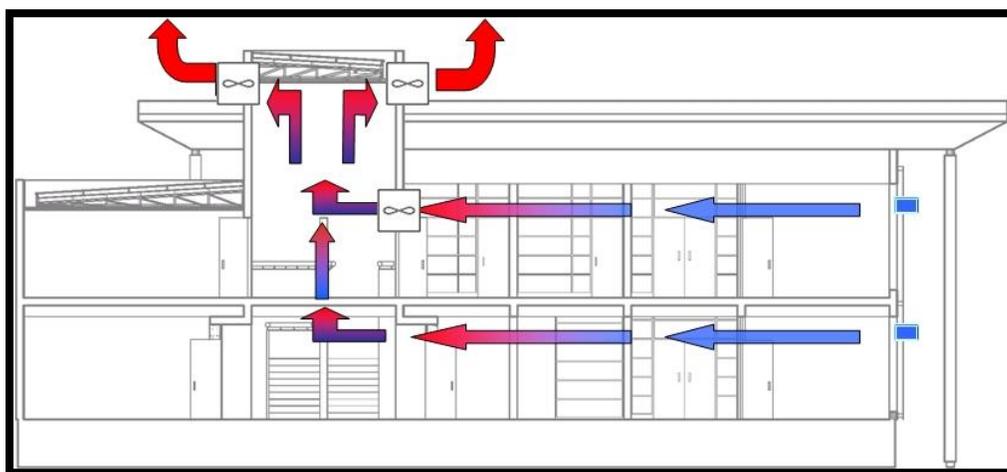


Figura 2.10: Esquema de ventilación del edificio.

## 2.5 Sistema de acondicionamiento ambiental del auditorio del edificio.

El auditorio del edificio, un recinto de 84 m<sup>2</sup> es climatizado por un sistema de acondicionamiento de aire en base a una bomba de calor aéreo térmica (fig. 2.11), formado por una máquina térmica, redes de impulsión y retorno de aire, dispositivos de impulsión y elementos de control y seguridad. Tecnología convencional, de uso relativamente común en nuestro país, a la cual se le incorpora un doble sistema de regulación y control de la cantidad de aire nuevo que se requiere tratar e impulsar al recinto, dependiendo de la ocupación y necesidades de éste. De dicha magnitud

depende principalmente la energía consumida por la instalación para acondicionar térmicamente el recinto.

Un primer sistema relaciona automáticamente el número de persona(s) presente(s) en el recinto con la cantidad de aire nuevo a impulsar. Utiliza para ello un conjunto de sensores (barreras infrarrojas) dispuestos en la puerta de ingreso al auditorio, que permite determinar dinámicamente la cantidad de personas que están al interior de éste. Esta información y en coordinación con el sistema de control inteligente del edificio permite tomar acciones pre-programadas sobre la cantidad de aire nuevo que se requiere tratar e impulsar al recinto.

El segundo sistema relaciona la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en el recinto con la cantidad de aire nuevo a impulsar. Utiliza para ello sensores de CO<sub>2</sub> ubicados al interior del auditorio. Nuevamente esta información y en coordinación con el sistema de control inteligente del edificio permite tomar acciones pre-programadas sobre la cantidad de aire nuevo que se requiere tratar e impulsar al recinto. Ambos sistemas fueron desarrollados por investigadores del Centro.



*Figura 2.11: Sistema acondicionador de aire del auditorio.*

## **CAPÍTULO 3: CÁLCULO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE CALOR EN LA EDIFICACIÓN.**

### **3.1 Introducción.**

Según la segunda ley de la termodinámica dice, que de manera natural y espontánea el calor se transfiere de un lugar más cálido a uno más frío. Este transporte de energía puede ser mediante 3 mecanismos conocidos como la conducción, la convección y la radiación. En las edificaciones en general, existen pérdidas o ganancias de calor simultáneamente por estos 3 mecanismos a través de muros, ventanas, puertas, techos, suelo, etc. Y la tasa de transferencia de calor va directamente ligada a los materiales de construcción, al caudal de aire que se infiltra a las edificaciones y de la posición de la edificación con respecto al sol. Para tener un control del transporte de energía entre la edificación y el medio ambiente es que se busca calcular un coeficiente global que involucre todas las resistencias térmicas por conducción y por convección y de esta forma resulte mucho más fácil cuantificar las pérdidas o ganancias térmicas.

Para dar soporte teórico a esta investigación se realizarán los cálculos térmicos manualmente mediante las ecuaciones del libro Carrier a fin de tener un valor concreto de carga de calefacción y refrigeración.

### **3.2 Condiciones de diseño del estudio.**

Para poder realizar este tipo de análisis se deben tener ciertos factores predeterminados, según las ecuaciones de confort térmico, las condiciones climáticas y geográficas.

De acuerdo a la norma chilena NCh 1078.c73 (anexo A-1 y A-2) se considera las siguientes condiciones de diseño.

- Temperatura interior del recinto 21 °C.
- Temperatura exterior de cálculo para condición de invierno 5 °C.
- Temperatura exterior de cálculo para condición de verano 29 °C.

- Temperatura de locales no calefaccionados al interior del recinto 13 °C.
- Velocidad promedio del viento exterior 24 (km/h).

### 3.3 Cálculo de la carga de calefacción.

En términos generales la carga de calefacción es la cantidad de calor que debe aportar el equipo para compensar las pérdidas por la estructura más el calentamiento del aire frío infiltrado por puertas y ventanas, esto para el caso de invierno. Es decir:

$$Q_{\text{calefacción}} = Q_{\text{transferido estructura}} + Q_{\text{aire frío infiltrado.}} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Por lo tanto para calcular el calor transferido por la estructura más el calor por aire frío infiltrado se ocupa la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{calefacción}} = \sum (U_i \cdot A_i \cdot \Delta t_i) + (\dot{m}_e \cdot C_p \text{aire} \cdot (T_a - T_e)) \quad (\text{W}) \quad (\text{ecuación 3.2})$$

### 3.4 Cálculo Coeficiente global de transferencia de calor.

Para este estudio se trabaja con la norma chilena Nch 853 2007, de la cual se verificaron los datos de conductividad térmica (k) y densidad aparente ( $\rho$ ) de los materiales empleados en la construcción del edificio (anexo A-4).

Para obtener el coeficiente global de transferencia de calor se emplea la siguiente ecuación.

$$U = \frac{1}{R_t} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (\text{ecuación 3.3})$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor,  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$

R<sub>t</sub> = Resistencia total térmica,  $\left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$

Luego la resistencia térmica total se calcula con la ecuación 3.4

$$R_t = R_{ci} + \Sigma R_{ki} + R_{ce} \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] \quad (\text{ecuación 3.4})$$

Donde:

$R_{ci} = \frac{1}{h_i}$ : Resistencia a la convección interior. Según la Nch 853 (anexo A-3) se considera una resistencia térmica a la convección interior para un flujo de calor horizontal de  $0.12 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$

$\Sigma R_{ki} = \frac{L_i}{K_i}$ : Resistencia a la conducción. Esta resistencia es una sumatoria de los materiales empleados para la construcción en donde  $L_i$  es el espesor del material en (m) y  $K_i$  es la conductividad térmica del material en (W/mK).

$R_{ce} = \frac{1}{h_e}$ : Resistencia a la convección exterior, según la Nch 853 se considera la resistencia térmica a la convección exterior en función de la velocidad del viento atmosférico según las siguientes fórmulas:

$$h_e = 5,8 + 4 \vec{v} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad \text{si } \vec{v} < 5 \text{ m/s} \quad (\text{ecuación 3.5.1})$$

$$h_e = 7,15 + v^{0.78} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad \text{si } \vec{v} > 5 \text{ m/s} \quad (\text{ecuación 3.5.2})$$

Para calcular la resistencia a la convección exterior se considera una velocidad del viento de 24 (km/h), es decir 6,67 (m/s). Para los muros que colindan con otro espacio interior, no calefaccionado, se considera convección natural. Por lo tanto el valor de  $h_i$  no calefaccionado será aproximadamente igual al valor de  $h_i$  calefaccionado. Usando la ecuación 3.5.2, se tiene:

$$h_e = 7,15 + 6,67^{0.78} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_e = 31,4 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Por lo tanto:

$$R_{ce} = \frac{1}{h_e} = \frac{1}{31,4} = 0,031 \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

Ahora se procede a calcular las resistencias térmicas a la conducción en puertas, ventanas, muros y cielos. Y luego se calcula el coeficiente global U.

### 3.4.1 Coeficiente U puerta de acceso.

Tabla 3.1: coeficiente global U puerta de acceso.

Material	Espesor (m)	$k [W/mK]$	$\rho [kg/m^3]$	Sumatoria de resistencias
Vidrio templado	0,01	1,2	2500	0,0083
<b>R<sub>ci</sub></b>				0,12
<b>R<sub>ce</sub></b>				0,031
<b>R<sub>total</sub> <math>\left[ \frac{m^2K}{W} \right]</math></b>				0,16
<b>U <math>\left[ \frac{W}{m^2K} \right]</math></b>				<b>6,25</b>

### 3.4.2 Coeficiente U ventanas y muro cortina.

Tabla 3.2: coeficiente global U ventanas exteriores.

Material	Espesor (m)	$k [W/mK]$	$\rho [kg/m^3]$	Sumatoria de resistencias
Vidrio	0,006	1,2	2500	0,005
Cámara de aire (termopanel)	0,008	-	-	0,13
Vidrio	0,004	1,2	2500	0,003
<b>R<sub>ci</sub></b>				0,12
<b>R<sub>ce</sub></b>				0,031
<b>R<sub>total</sub> <math>\left[ \frac{m^2K}{W} \right]</math></b>				0,29
<b>U <math>\left[ \frac{W}{m^2K} \right]</math></b>				<b>3,45</b>

Nota: para calcular la cámara de aire de la ventana, especificada en la tabla 3.2, se utiliza  $R_a$  del anexo A-5.

### 3.4.3 Coeficiente U muros perimetrales.

Tabla 3.3 coeficiente global U muro perimetrales.

Material	Espesor (m)	$k [W/mK]$	$\rho [kg/m^3]$	Sumatoria de resistencias	Sumatoria de resistencias
Mortero de cemento	0,025	1.4	1650	0,018	0,018
Ladrillo hormigón	0,19	0,6	2300	0,32	0,32
Poliestireno expandido	0,05	0,0430	10	1.16	1,16
Yeso cartón	0,01	0,24	650	0,042	
Madera	0,02	0,104	400		0.19
$R_{ci}$				0,12	0,12
$R_{ce}$				0,031	0,031
$R_{total} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$				1.69	1.84
$U \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$				<b>0.59</b>	<b>0,54</b>

Nota: el primero es el muro perimetral simple y el segundo es el muro perimetral que envuelve al auditorio y biblioteca.

### 3.4.5 Coeficiente U cielo del edificio.

Tabla 3.4 coeficiente global U cielo.

Material	Espesor (m)	$k [W/mK]$	$\rho [kg/m^3]$	Sumatoria de resistencias
Lana mineral	0,1	0,042	40	2,38
Yeso cartón	0,015	0,26	650	0,058
Yeso cartón	0,015	0,26	650	0,058
$R_{ci}$				0,1
$R_{ce}$				0,1
$R_{total} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$				2,7
$U \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$				<b>0,37</b>

### 3.4.6 Coeficiente U piso del edificio.

Tabla 3.5 coeficiente global U suelo.

Material	Espesor (m)	$k [W/mK]$	$\rho [kg/m^3]$	Sumatoria de resistencias
Radier de hormigón	0.15	1.63	2400	<b>0.092</b>
Poliestireno Expandido	0.02	0.043	10	<b>0.47</b>
Sobrelosa hormigón liviano	0.06	0.33	1000	<b>0.18</b>
Mortero cemento	0.02	1.4	1650	<b>0.014</b>
cerámicos	0.01	1.75	1200	<b>0.006</b>
$R_{total} \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$				<b>0.76</b>
$H \left[ \frac{W}{mK} \right]$				<b>1.0</b>

**Nota:** en anexo A-11 se muestra el criterio del valor H calculado en la tabla 3.5.

### 3.5 Cálculo de pérdida de calor por caudal de aire frío infiltrado.

Por más hermético o sellado que se encuentre un recinto siempre hay infiltraciones de aire por las rendijas de puertas o ventanas, esto en invierno provoca un descenso en la temperatura que el equipo calefactor debe suplir.

La ecuación que describe la cantidad de calor que debe aportar el equipo se define como:

$$Q_{\text{Aire infiltrado}} = \dot{m}_e * C_{p \text{ aire}} * (T_i - T_e) \quad [W] \quad (\text{ecuación 3.6})$$

Donde:

$$\dot{m}_e = \text{Caudal másico de aire} \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$C_{p \text{ aire}} = \text{Calor específico del aire} \left[ \frac{kcal}{kg^\circ C} \right]$$

$T_i$  = Temperatura interior de cálculo ( $^\circ C$ )

$T_e$  = Temperatura exterior de cálculo ( $^\circ C$ )

Para calcular el caudal másico de aire existen varios métodos, en esta ocasión se ocupará el método de número de renovaciones por hora (N°RH) en donde se estima el caudal de aire infiltrado y luego se multiplica por la densidad del aire en condiciones atmosféricas para obtener el caudal másico según lo describen la siguientes ecuaciones.

$$\dot{V}_{\text{infiltrado}} = N^\circ RH * \text{Volumen local} \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad (\text{ecuación 3.7.1})$$

$$\dot{m}_e = \rho_e * \dot{V}_{\text{infiltrado}} \left[ \frac{kg}{h} \right] \quad (\text{ecuación 3.7.2})$$

**Nota:** se considera según anexo A-6 un valor de N°RH de 0,5 y para la densidad del aire atmosférico un valor de  $1,2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

Según planimetría adjuntada en anexo A-11 se construye la tabla 3.6 de áreas y volúmenes del edificio.

Tabla 3.6: Áreas y volúmenes del edificio.

<b>Primer piso</b>			
<b>Sección</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>
<b>Oficinas</b>	134.5	2.7	363
<b>Auditorio</b>	73.9	2.7	200
<b>Hall</b>	38.6	2.7	104
<b>Segundo piso</b>			
<b>Sección</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Altura [m]</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>
<b>Oficinas</b>	134.5	3	404
<b>Biblioteca</b>	73.9	2.3	170
<b>Hall</b>	24.3	5.6	136
<b>Total</b>			<b>1377</b>

Por lo tanto el flujo de calor por caudal de aire infiltrado viene dado por:

$$\dot{V}_{infiltrado} = 0,5 \left[ \frac{1}{h} \right] * 1377[m^3] = 689 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$\dot{m}_e = 1,2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 689 \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 827 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

Teniendo el flujo másico calculado se procede a calcular el flujo de calor de aire infiltrado quedando como:

$$\dot{Q}_{aire\ infiltrado} = 827 \left[ \frac{kg}{h} \right] * 0,24 \left[ \frac{kcal}{kg^{\circ}C} \right] * (21 - 5)[^{\circ}C]$$

$$\dot{Q}_{aire\ infiltrado} = 3176 \left[ \frac{kcal}{h} \right] = 3694 [W]$$

### 3.6 Cálculo de coeficientes de corrección.

Para determinar la capacidad del equipo de calefacción de una manera más precisa se ocupan factores de corrección y suplementos que dependen por ejemplo

de la permeabilidad térmica del edificio, de la orientación de los muros con respecto al sol, de las horas de funcionamiento del equipo, etc.

### 3.6.1 Suplemento $S_0$ .

Este suplemento está relacionado con la intermitencia o interrupción diaria del servicio de calefacción y también de la permeabilidad térmica. Por lo tanto dependerá del número de horas de interrupción del servicio por día y de cómo sea su inercia térmica. La ecuación que describe la permeabilidad térmica se detalla a continuación:

$$P_{media} = \frac{\sum U_i * A_i * \Delta T_i}{\sum A_i * \Delta T_i} \text{ (ecuación 3.8)}$$

$$P_{media} = \frac{14774}{11844} = 1,24 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

Con un valor de 1,24 nos da un suplemento  $S_0$  de 0,15 según anexo A-7

### 3.6.2 Suplemento $S_1$ .

Este suplemento está relacionado con la orientación de los muros con respecto al sol, por lo tanto considera el aporte o no de radiación solar de cada muro. Según el anexo A-8 viene dado por la siguiente tabla.

Tabla 3.7: Suplemento  $S_1$  según orientación cardinal.

Orientación	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Suplemento $S_1$	-0,05	-0,05	0	+0,05	+0,05	+0,05	0	-0,05

### 3.6.3 Suplemento $S_2$ .

Este suplemento se relaciona con el entorno en que se encuentra el recinto, y solo tiene 2 posibles valores:

- $S_2 = 1,2$  Para recintos ubicados en casa esquina que contengan una puerta o ventana en el vértice.
- $S_2 = 1$  Para el resto de los recintos.

Por lo tanto el valor del suplemento  $S_2= 1$ .

#### **3.6.4 Factor R.**

Factor característico del local, es un factor empírico que posee 2 posibles valores: 0,9 y 0,7 y depende de la razón de áreas de puertas y ventanas además del tipo de material de la ventana y también de la hermeticidad de las puertas interiores.

$$\frac{A_{ventana}}{A_{puerta}} = 1,6$$

Según anexo A-9 el valor del factor R es de 0,9

#### **3.6.5 Factor H.**

Este factor está relacionado con la protección o no al viento. Del local en estudio y considera efectos tales como:

- Localidad: si es de vientos normales o intensos.
- Protección de acción al viento, si se encuentra despejada o extraordinariamente despejada.
- Si es una casa de fila o una casa independiente.

Según anexo A-10 el valor del factor H es de 0,58.

### 3.7 Pérdidas de calor por la estructura del edificio en condición de invierno.

Tabla 3.8: Pérdida de calor por la estructura más calor por aire frío infiltrado.

Designac.	Orientac.	Superf. neta (m <sup>2</sup> )	U W/m <sup>2</sup> °C	Δt °C	Qcalef. W	So	S <sub>1</sub>	(1+ So+ S <sub>1</sub> )	Qequipo W
<b>Ventanas</b>	<b>Norte</b>	110.8	3.45	16	6116.16	0.15	-0.05	1.1	6727.776
<b>Muros</b>	<b>Norte</b>	47.7	0.59	16	450.288	0.15	-0.05	1.1	495.3168
<b>Puerta</b>	<b>Norte</b>	9.5	6.25	16	950	0.15	-0.05	1.1	1045
								1	
<b>Ventanas</b>	<b>Sur</b>	9.7	3.45	16	535.44	0.15	0.05	1.2	642.528
<b>Muros</b>	<b>Sur</b>	169	0.59	16	1595.36	0.15	0.05	1.2	1914.432
								1	
<b>Ventanas</b>	<b>Este</b>	4.32	3.45	16	238.464	0.15	0.05	1.2	286.1568
<b>Muros</b>	<b>Este</b>	109.2	0.59	16	1030.848	0.15	0.05	1.2	1237.0176
								1	
<b>Ventanas</b>	<b>Oeste</b>	34.2	3.45	16	1887.84	0.15	-0.05	1.1	2076.624
<b>Muros</b>	<b>Oeste</b>	120	0.54	16	1036.8	0.15	-0.05	1.1	1140.48
								1	
<b>Cielo</b>		226	0.37	8	668.96			1	668.96
<b>Piso</b>		74	1	16	1184			1	1184
	<b>SUBTOTAL</b>				15694.16				17418.291

#### INFILTRACION DE AIRE FRIO

Rendijas	V m <sup>3</sup> /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qcalef. W	R	H	S <sub>2</sub>	Qequipo W
	689	826.8	0.24	16	3691.7581	0.9	0.58	1	1927.0977
					<b>SUBTOTAL</b>				3691.7581
					<b>TOTAL</b>				19385.918
									19345.389

$$\text{Tasa de calefacción: } \frac{Q_{equipo}}{\text{superficie total}} = \frac{19345}{483} = 40.1 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### 3.8 Consumo de energía por calefacción anual.

Ya determinadas las cargas de calefacción y enfriamiento, se procederá a determinar el consumo de energía de los equipos por el modo de calefacción, mediante el método de grados días expresado en la ecuación 3.9, para la ciudad de Concepción.

$$Q_{anual} = 24 * G * V * \mu * i * GD \left[ \frac{Wh}{año} \right] \quad (\text{ecuacion 3.9})$$

Donde:

24 = Se refiere al número de horas por día  $\left[ \frac{h}{día} \right]$

G = Coeficiente volumétrico de transferencia de calor en  $\left[ \frac{W}{m^3C} \right]$ .

V = Volumen del recinto en  $[m^3]$ .

$\mu$  = Porcentaje efectivo de horas de calefacción diarias.

$i$  = Coeficiente dependiente de las protecciones solares en ventanas.

GD = Grados día de la ciudad requerida en  $[°C-día]$ .

i) Para determinar el coeficiente volumétrico G se deberá despejar de la ecuación 3.10. Conociendo previamente la carga de calefacción obtenida en la tabla 3.8, las temperaturas de diseño interior y exterior y el volumen del recinto.

$$Q_{calefaccion} = G * V * (t_a - t_e) [W] \quad (\text{ecuacion 3.10})$$

Por lo tanto el coeficiente G viene dado por:

$$G = \frac{Q_{calefaccion}}{V * (t_a - t_e)} = \frac{19386}{1377 * (21 - 5)} = 0.88 \left[ \frac{W}{m^3°C} \right]$$

ii) Para determinar el porcentaje efectivo de horas de calefacción, como primer paso se debe determinar un periodo de funcionamiento de la calefacción en el año. Luego se debe determinar el régimen de funcionamiento semanal y cuantas horas funciona

el equipo por día. En la tabla 3.9 se muestran los rangos de funcionamiento consultados al encargado de los equipos de climatización del edificio CITEC UBB.

Tabla 3.9: Régimen de funcionamiento de la calefacción del edificio.

Periodo de calefacción en el año	Abril a octubre
Régimen de funcionamiento semanal	Lunes a viernes
Promedio de horas de funcionamiento diarias	3.5 horas diarias promedio

Ya determinados los rangos de funcionamiento se ocupará la ecuación 3.11 para estimar el porcentaje de calefacción efectivo.

$$\mu = \frac{\text{horas totales} - \text{horas sin calefaccion}}{\text{horas totales}} \quad (\text{ecuacion 3.11})$$

Quedando como:

$$\mu = \frac{149 * 24 - 149 * 20.5}{149 * 24} = 0.14$$

iii) el coeficiente  $i$  tiene 2 posibles valores como lo muestra la tabla 3.10.

Tabla 3.10: coeficiente  $i$

<b>Ventanas con protección térmica</b>	<b>0.9</b>
<b>Ventanas sin protección térmica</b>	<b>0.96</b>

iv) Para determinar los grados días del régimen especificado anteriormente se recurrirá al anexo B-9. Quedando un total de 1280 [°C-día].

Ya determinados los valores para calcular la ecuación 3.10, el consumo anual por calefacción queda como:

$$Q_{\text{anual}} = 24 * 0.88 * 1344 * 0.14 * 0.9 * 1280 = 4.587 \text{ [kWh]}$$

### 3.9 Ganancias de calor del edificio por condición de verano.

Ya contabilizadas las pérdidas de calor por la condición de invierno, se procede a calcular las ganancias de calor por la condición de verano.

Para determinar las ganancias de calor por la condición de verano se deberán considerar los siguientes factores:

- Cargas térmicas por conducción y convección.
- Cargas térmicas por radiación en muros y techos soleados y a la sombra
- Cargas térmicas por radiación en los vidrios de las ventanas
- Cargas térmicas por la ocupación de las personas.
- Cargas térmicas por efecto de las luces y equipos eléctricos.

El método para determinar las cargas por conducción y convección es similar al calculo que se realiza para la condición de invierno, es decir, se mantienen los coeficientes globales de transferencia de calor, con la diferencia de cambiar el  $\Delta t$  correspondiente en este caso para una temperatura exterior de cálculo de 29 °C, y sin considerar los factores de corrección.

Las cargas por radiación en muros y techos se calcularán utilizando el método del manual Carrier. El cual consiste en calcular la diferencia de temperatura equivalente mediante tablas y formulas entregadas por dicho manual.

El cálculo de la radiación en ventanas también se realizará con la ayuda del manual Carrier determinando valores de aporte solar y factores de almacenamiento sobre la carga térmica y amortiguamiento.

Finalmente, se estimará la ganancia que producen las personas que se encuentran en el edificio y los equipos eléctricos, aunque estas ganancias comparadas con las demás son casi insignificantes.

### **3.9.1 Ganancias térmicas por conducción y convección.**

En la tabla 3.11 se puede apreciar el desglose de cargas térmicas producidas por el intercambio de conducción y la convección con el medio ambiente, además de su tasa de enfriamiento.

Tabla 3.11: Ganancia de calor por la estructura más aire caliente infiltrado.

Designac.	Orientac.	Superf. neta (m <sup>2</sup> )	U W/m <sup>2</sup> °C	Δt °C	Qref. W	So	S <sub>1</sub>	(1+ So+ S <sub>1</sub> )	Qequipo W
Ventanas	Norte	110.8	3.45	8	3058.08			1	3058.08
Muros	Norte	47.7	0.59	8	225.144			1	225.144
Puerta	Norte	9.5	6.25	8	475			1	475
								1	
Ventanas	Sur	9.7	3.45	8	267.72			1	267.72
Muros	Sur	169	0.59	8	797.68			1	797.68
								1	
Ventanas	Este	4.32	3.45	8	119.232			1	119.232
Muros	Este	109.2	0.59	8	515.424			1	515.424
								1	
Ventanas	Oeste	34.2	3.45	8	943.92			1	943.92
Muros	Oeste	120	0.54	8	518.4			1	518.4
								1	
Cielo		226	0.37	7	585.34			1	585.34
Piso		74	1	8	592			1	592
	<b>SUBTOTAL</b>				8097.94				8097.94
<b>INFILTRACION DE AIRE CALIENTE</b>									
Rendijas	V m <sup>3</sup> /h	m kg /h	Cp kcal/kg°C	Δt °C	Qref. W	R	H	S <sub>2</sub>	Qequipo W
Ventanas	689	826.8	0.24	8	1845.8791	1	1	1	1845.8791
Puerta									
	<b>SUBTOTAL</b>				1845.8791				1845.8791
<b>TOTAL</b>					9943.8191				9943.8191

$$\text{Tasa de enfriamiento} = \frac{Q_{\text{equipo}}}{\text{Superficie total}} = \frac{27783}{483} = 57.5 \left[ \frac{W}{m^2} \right].$$

### 3.9.2 Ganancias térmicas por radiación en muros y techos.

El cálculo de calor producido por la radiación de muros y techos se utilizará la ecuación 3.12.

$$Q = A * U * \Delta t_e [W] \quad (\text{ecuación 3.12})$$

Donde:

$A$  = Área de transferencia de calor [ $m^2$ ].

$U$  = Coeficiente global de transferencia de calor [ $\frac{W}{m^2K}$ ]

$\Delta t_e$  = Diferencia de temperatura corregida equivalente [ $^{\circ}C$ ]

Luego para determinar el calor por radiación de muros y techos el único término faltante por calcular es  $\Delta T_e$ , por lo cual se empleara la ecuación 3.13.

$$\Delta t_e = a + \Delta t_{es} + b * \frac{R_s}{R_m} (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad (\text{ecuación 3.13})$$

Donde:

$a$  = Factor de corrección, dependiente de las temperaturas interiores y exteriores.

$\Delta t_{es}$  = Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada, para la pared a la sombra.

$\Delta t_{em}$  = Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada, para la pared soleada

$b$  = Factor que considera el color de la cara exterior del muro.

$R_s$  = Máxima insolación solar correspondiente al mes y latitud deseados.

$R_m$  = Máxima insolación solar correspondiente al mes de Julio a  $40^{\circ}$  de latitud norte.

i) Para determinar el factor ( $a$ ) se deben considerar los siguientes datos:

- Temperatura exterior de cálculo:  $29^{\circ}C$ .
- Temperatura interior de cálculo:  $21^{\circ}C$ .
- Delta de temperaturas:  $8^{\circ}C$ .
- Delta de temperaturas en 24 horas:  $15^{\circ}C$  (según medias climáticas de la Universidad de Concepción)

Con estos datos se determina que el factor  $a = -2.0$  según anexo B-1.

ii) Para determinar los valores  $\Delta t_{es}$  y  $\Delta t_{em}$  se debe calcular el peso del muro en ( $\text{kg/m}^2$ ), y considerar una hora, para este caso será las 13 hrs, para luego recurrir al anexo B-2, y obtener la diferencia equivalente de temperatura. El mismo caso para el techo se debe recurrir al anexo B-3

Tabla 3.12 Cálculo del peso de los muros.

Material	Espesor [m]	Densidad [ $\text{kg/m}^3$ ]	Peso [ $\text{kg/m}^2$ ]
Mortero de cemento	0.025	1650	41.3
Ladrillo de hormigón	0.19	2300	437
Poliestireno expandido	0.05	10	0.5
Yeso cartón	0.01	650	6.5
Madera	0.02	400	8
<b>Total</b>			<b>493.3</b>

Con el peso del muro y la hora deseada se procede a calcular los valores  $\Delta t_{es}$  y  $\Delta t_{em}$  como se aprecia en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 valores de dif. de temp. equivalente en pared y techo a la sombra y soleada.

$\Delta t_{es}$	$\Delta t_{em}$ Norte	$\Delta t_{em}$ Sur	$\Delta t_{em}$ Este	$\Delta t_{em}$ Oeste	$\Delta t_{em}$ Techo
<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>4.4</b>	<b>13.9</b>	<b>3.9</b>	<b>12.8</b>

iii) Para determinar el coeficiente (b) se necesita saber el color de los muros y el techo del edificio en cuestión.

- Color oscuro  $b=1$  (azul oscuro, rojo oscuro, marron oscuro, etc)
- Color medio  $b=0.78$  (verde, azul o gris claro)
- Color claro  $b= 0.55$  (blanco, crema, etc.)

En este caso el CITEC UBB posee muros color gris claro y techo verde claro, por lo tanto el coeficiente b para ambos casos es de 0.78.

iv) para determinar los valores  $R_s$  y  $R_m$  se recurrirá al anexo B-4 con las siguientes consideraciones.

- $R_m$  se considerará la máxima insolación solar a 40° latitud norte, en el mes de julio, a través de una superficie acristalada vertical, para la orientación considerada (en el caso del muro); u horizontal (en el caso del techo).
- $R_s$  se considerará la máxima insolación en los meses de diciembre a marzo, según latitud y orientaciones dadas.

Tabla 3.14: Valores máximos de insolación  $R_s$  y  $R_m$

Orientación muro	Máxima insolación solar $R_s$ [kcal/h-m <sup>2</sup> ] meses				Máxima insolación solar $R_m$ [kcal/h-m <sup>2</sup> ] mes
	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Jul.
Norte	146	187	276	379	65
Sur	87	65	38	38	187
Este	439	444	439	404	444
Oeste	439	444	439	404	444
Horizontal (techo)	642	631	580	496	631

Nota: valores  $R_s$  y  $R_m$  obtenidos de la tabla 15 del manual Carrier según consideraciones mencionadas anteriormente.

Una vez determinados todos los valores se procederá a calcular la temperatura corregida equivalente  $\Delta t_e$ , como lo muestra la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Valores de diferencia de temperatura corregida equivalente  $\Delta t_e$

<b>Diferencia de temperatura corregida equivalente (°C) mes de Diciembre</b>							
<b>orientación</b>	<b>a</b>	$\Delta t_{es}$	$\Delta t_{em}$	<b>b</b>	$R_s$	$R_m$	$\Delta t_e$
<b>Norte</b>	-2	0.5	0.5	0.78	146	65	<b>-1.5</b>
<b>Sur</b>	-2	0.5	4.4	0.78	87	187	<b>-0.1</b>
<b>Este</b>	-2	0.5	13.9	0.78	439	444	<b>8.8</b>
<b>Oeste</b>	-2	0.5	3.9	0.78	439	444	<b>1.1</b>
<b>Techo</b>	-2	0.5	12.8	0.78	642	631	<b>8.3</b>
<b>Diferencia de temperatura corregida equivalente (°C) mes de enero</b>							
<b>orientación</b>	<b>a</b>	$\Delta t_{es}$	$\Delta t_{em}$	<b>b</b>	$R_s$	$R_m$	$\Delta t_e$
<b>Norte</b>	-2	0.5	0.5	0.78	187	65	<b>-1.5</b>
<b>Sur</b>	-2	0.5	4.4	0.78	65	187	<b>-0.4</b>
<b>Este</b>	-2	0.5	13.9	0.78	444	444	<b>9.0</b>
<b>Oeste</b>	-2	0.5	3.9	0.78	444	444	<b>1.2</b>
<b>Techo</b>	-2	0.5	12.8	0.78	631	631	<b>8.1</b>
<b>Diferencia de temperatura corregida equivalente (°C) mes de febrero</b>							
<b>orientación</b>	<b>a</b>	$\Delta t_{es}$	$\Delta t_{em}$	<b>b</b>	$R_s$	$R_m$	$\Delta t_e$
<b>Norte</b>	-2	0.5	0.5	0.78	276	65	<b>-1.5</b>
<b>Sur</b>	-2	0.5	4.4	0.78	38	187	<b>-0.9</b>
<b>Este</b>	-2	0.5	13.9	0.78	439	444	<b>8.8</b>
<b>Oeste</b>	-2	0.5	3.9	0.78	439	444	<b>1.1</b>
<b>Techo</b>	-2	0.5	12.8	0.78	580	631	<b>7.3</b>
<b>Diferencia de temperatura corregida equivalente (°C) mes de marzo</b>							
<b>orientación</b>	<b>a</b>	$\Delta t_{es}$	$\Delta t_{em}$	<b>b</b>	$R_s$	$R_m$	$\Delta t_e$
<b>Norte</b>	-2	0.5	0.5	0.78	379	65	<b>-1.5</b>
<b>Sur</b>	-2	0.5	4.4	0.78	38	187	<b>-0.9</b>
<b>Este</b>	-2	0.5	13.9	0.78	404	444	<b>8.0</b>
<b>Oeste</b>	-2	0.5	3.9	0.78	404	444	<b>0.9</b>
<b>Techo</b>	-2	0.5	12.8	0.78	496	631	<b>6.0</b>

Una vez determinados los valores  $\Delta t_e$  se procede a calcular el calor por radiación en muros y techo a través de la ecuación 3.12, para los meses de verano seleccionados.

Tabla 3.16: Ganancias por radiación en muros y techo.

<b>Ganancia por radiación en muros y techo, mes de diciembre</b>				
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [<math>\frac{W}{m^2K}</math>]</b>	<b><math>\Delta t_e</math> [°C]</b>	<b>Q [W]</b>
Norte	110.8	0.54	-1.5	-89.7
Sur	169	0.54	-0.1	-9.1
Este	109.2	0.54	8.8	518.9
Oeste	120	0.54	1.1	71.3
Techo	437	0.37	8.3	1342.0
<b>Sub-total [W]</b>				<b>1833.4</b>
<b>Ganancia por radiación en muros y techo, mes de enero</b>				
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [<math>\frac{W}{m^2K}</math>]</b>	<b><math>\Delta t_e</math> [°C]</b>	<b>Q[W]</b>
Norte	110.8	0.54	-1.5	-89.7
Sur	169	0.54	-0.4	-36.5
Este	109.2	0.54	9.0	530.7
Oeste	120	0.54	1.2	77.8
Techo	437	0.37	8.1	1309.7
<b>Sub-total [W]</b>				<b>1791.4</b>
<b>Ganancia por radiación en muros y techo, mes de febrero</b>				
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [<math>\frac{W}{m^2K}</math>]</b>	<b><math>\Delta t_e</math>[°C]</b>	<b>Q[W]</b>
Norte	110.8	0.54	-1.5	-89.7
Sur	169	0.54	-0.9	-82.1
Este	109.2	0.54	8.8	518.9
Oeste	120	0.54	1.1	71.3
Techo	437	0.37	7.3	1180.3
<b>Sub-total [W]</b>				<b>1598.7</b>
<b>Ganancia por radiación en muros y techo, mes de marzo</b>				
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U [<math>\frac{W}{m^2K}</math>]</b>	<b><math>\Delta t_e</math> [°C]</b>	<b>Q[W]</b>
Norte	110.8	0.54	-1.5	-89.7
Sur	169	0.54	-0.9	-82.1
Este	109.2	0.54	8.0	471.7
Oeste	120	0.54	0.9	58.3
Techo	437	0.37	6.0	970.1
<b>Sub-total [W]</b>				<b>1328.3</b>
<b>Total [W]</b>				<b>6552.2</b>

### 3.9.3 Ganancias térmicas por radiación solar en ventanas.

Para determinar la radiación de las ventanas se utiliza un método similar al del punto anterior en el cual la latitud, el tiempo considerado y la orientación de las ventanas respecto al norte son determinantes. Para determinar cuanta radiación incide en las ventanas se ocupa la ecuación 3.14.

$$Q = A * G_{max} * F_{al} * F_{am} * F_L [W] \quad (\text{ecuación 3.14})$$

Donde:

$A$  = Área ventana [ $m^2$ ].

$G_{max}$  = Aporte solar en ventanas  $\left[ \frac{kcal}{h-m^2} \right]$ .

$F_{al}$  = Factor de almacenamiento.

$F_{am}$  = Factor de amortiguamiento.

$F_L$  = Factor de limpieza de la ventana.

- i) Para determinar el aporte solar  $G_{max}$  se consideraran los valores máximos mostrados en el tabla del anexo B-4, para los meses de verano.
- ii) Para determinar el factor de almacenamiento  $F_{al}$  se deberá recurrir al anexo B-5.
- iii) Para determinar el factor de amortiguamiento  $F_{am}$  de la ventana, se deberá recurrir al anexo B-6, en el cual se consideran vidrios dobles de 6 mm y protecciones exteriores a 45°.
- iv) El factor de limpieza se considera con un mínimo de 0.85.

Tabla 3.17: Ganancias de calor en ventanas.

<b>Ganancia por radiación en ventanas, mes de diciembre</b>						
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>G<sub>max</sub></b>	<b>F<sub>al</sub></b>	<b>F<sub>am</sub></b>	<b>F<sub>L</sub></b>	<b>Q [ <math>\frac{kcal}{h-m^2}</math> ].</b>
<b>Norte</b>	47.7	146	0.96	0.12	0.85	681.9
<b>Sur</b>	9.7	86	0.31	0.12	0.85	26.4
<b>Este</b>	4.32	439	0.71	0.12	0.85	137.3
<b>Oeste</b>	34.2	439	0.72	0.12	0.85	1102.6
<b>Sub-total radiación [W]</b>						<b>2265.4</b>
<b>Ganancia por radiación en ventanas, mes de enero</b>						
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>G<sub>max</sub></b>	<b>F<sub>al</sub></b>	<b>F<sub>am</sub></b>	<b>F<sub>L</sub></b>	<b>Q [ <math>\frac{kcal}{h-m^2}</math> ].</b>
<b>Norte</b>	47.7	187	0.96	0.12	0.85	873.4
<b>Sur</b>	9.7	65	0.31	0.12	0.85	19.9
<b>Este</b>	4.32	444	0.71	0.12	0.85	138.9
<b>Oeste</b>	34.2	444	0.72	0.12	0.85	1115.2
<b>Sub-total radiación [W]</b>						<b>2497</b>
<b>Ganancia por radiación en ventanas, mes de febrero</b>						
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>G<sub>max</sub></b>	<b>F<sub>al</sub></b>	<b>F<sub>am</sub></b>	<b>F<sub>L</sub></b>	<b>Q [ <math>\frac{kcal}{h-m^2}</math> ].</b>
<b>Norte</b>	47.7	276	0.96	0.12	0.85	1289.1
<b>Sur</b>	9.7	38	0.31	0.12	0.85	11.7
<b>Este</b>	4.32	439	0.71	0.12	0.85	137.3
<b>Oeste</b>	34.2	439	0.72	0.12	0.85	1102.6
<b>Sub-total radiación [W]</b>						<b>2954.4</b>
<b>Ganancia por radiación en ventanas, mes de marzo</b>						
<b>Orientación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>G<sub>max</sub></b>	<b>F<sub>al</sub></b>	<b>F<sub>am</sub></b>	<b>F<sub>L</sub></b>	<b>Q [ <math>\frac{kcal}{h-m^2}</math> ].</b>
<b>Norte</b>	47.7	379	0.96	0.12	0.85	1770.2
<b>Sur</b>	9.7	38	0.31	0.12	0.85	11.7
<b>Este</b>	4.32	404	0.71	0.12	0.85	126.4
<b>Oeste</b>	34.2	404	0.72	0.12	0.85	1014.7
<b>Sub-total radiación [W]</b>						<b>3398.8</b>
<b>Total [W]</b>						<b>11115.6</b>

### 3.9.4 Ganancias térmicas producidas por personas.

Para determinar las ganancias de calor producidas por las personas se deben definir los siguientes factores:

- Tipo de actividad.
- Tipo de aplicación.
- Temperatura del local climatizado.

Como el edificio solo presenta oficinas administrativas la actividad mayoritaria será en reposo, además la temperatura interior será de 21° C, con estos datos se debe recurrir al anexo B-7 para determinar los calores sensibles y latentes los cuales serán:

- Calor sensible (CS)= $65 \left[ \frac{kcal}{h-m^2} \right]$ ./persona => 75.5 [W]/persona
- Calor latente (CL)= $23 \left[ \frac{kcal}{h-m^2} \right]$ ./persona => 26.7 [W]/persona

Tabla 3.18: Ganancias térmicas producidas por las personas.

Recinto	N° personas	Calor sensible [W]	Calor latente [W]
Auditorio	30	2265	801
Secretaria	3	226.5	80.1
Of. Director	1	75.5	26.7
Of. Sub-director	1	75.5	26.7
S. Reuniones	6	453	160.2
Biblioteca	5	377.5	133.5
O. Profesor 1	1	75.5	26.7
O. Profesor 2	1	75.5	26.7
S. Trabajo alumnos.	3	226.5	80.1
S. Trabajo profesor.	3	226.5	80.1
Laboratorio	6	453	160.2
<b>Sub-Total</b>		<b>4530</b>	<b>1602</b>
<b>Total [W]</b>			<b>6132</b>

### 3.9.5 Ganancias térmicas producidas por el alumbrado.

Para determinar las ganancias térmicas se recurre al anexo B-8.

Tabla 3.19: Ganancias térmicas producidas por el alumbrado.

Tipo iluminación	Potencia [W]	Cantidad	Sub-total
Dicroica	50	12	600
Halógena	50	30	1500
Fluorescente	18	60	1080
Plafón	40	12	480
<b>Total ganancia [W]</b>			<b>3360</b>

### 3.9.6 Ganancias térmicas producidas por equipos.

Para determinar el calor sensible aportado por los equipos solo se considerara equipos de oficina, ya que los equipos de climatización se encuentran en la sala de máquinas.

Tabla 3.20: Ganancias térmicas producidas por los equipos eléctricos.

Tipo de equipo	Potencia [W]	Cantidad	Sub-total [W]
Pc de escritorio	150	15	2250
Proyectores	80	4	320
Televisores	150	7	1050
<b>Total ganancia [W]</b>			<b>3620</b>

### 3.10 Resumen ganancias térmicas totales.

Una vez determinadas todas las ganancias térmicas para la condición de verano, se elabora un resumen, para mayor comprensión de las cantidades que se generan en los meses de diciembre enero, febrero y marzo.

Tabla 3.21: Resumen de ganancias térmicas para la estación de verano.

Tipo de ganancia [W]	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Conducción y Convección	8098	8098	8098	8098
Aire infiltrado	1846	1846	1846	1846
Rad. Por muro	1833.4	1791.4	1598.7	1328.3
Rad. Por ventana	2265.4	2497	2954.4	3398.8
Ganancia Por persona	6132	6132	6132	6132
Ganancia Por alumbrado	3360	3360	3360	3360
Ganancia Por equipos	3620	3620	3620	3620
<b>Total ganancias [W]</b>	<b>27155</b>	<b>27344</b>	<b>27609</b>	<b>27783</b>

### 3.11 Resumen comparativo de pérdidas y ganancias térmicas.

Las diferencias entre las pérdidas por la condición de invierno y las ganancias por la condición de verano se representaran en la tabla 3.22. Cabe destacar que se consideró el mes con mayor radiación que en este caso resultó ser marzo.

Tabla 3.22: Comparativa de pérdidas v/s ganancias.

<b>Tipo de pérdida o ganancia</b>	<b>Pérdidas de calor [W]</b>	<b>Ganancias de calor [W]</b>
<b>Conducción y convección</b>	15694	8098
<b>Aire frío infiltrado</b>	3692	1846
<b>Radiación por muros y techo</b>	-	1328
<b>Radiación por ventanas</b>	-	3399
<b>Ganancia por personas</b>	-	6132
<b>Ganancia por alumbrado</b>	-	3360
<b>Ganancia por equipos</b>	-	3620
<b>Total [W]</b>	<b>19386</b>	<b>27783</b>

De acuerdo a los valores obtenidos se puede concluir que dieron valores bastante parejos de radiación para el periodo de verano en la ciudad de Concepción.

Con respecto a la carga de enfriamiento (43% mayor que la carga de calefacción) es ligeramente menor al promedio, el cual varía entre un 50 y 100 % dependiendo del porcentaje de ventanas de las fachadas.

No se pudo realizar una estimación del consumo eléctrico anual por enfriamiento del edificio, de forma manual, ya que no existe una ecuación que pueda describir este consumo, como es posible hacerlo con el caso de la calefacción a través del método de los grados días. El único modo de estimar este consumo, teóricamente, es por medio de algún software de análisis.

## **CAPÍTULO 4: MODELAMIENTO Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL CITEC UBB.**

### **4.1 Introducción.**

Hoy en día los profesionales de las áreas como la tecnología, ciencias aplicadas, medicina, etc. Apoyan sus trabajos mediante programas de cálculo, de simulación, de modelamiento, etc. Esto permite que se optimice de gran manera el tiempo, ya que en el pasado, había que destinar varias horas de trabajo en realizar cálculos que, siendo parte importante de una investigación no era el objetivo central sino, que era el método para lograr las conclusiones pertinentes de ella. Otro punto era que, siempre estaba la posibilidad de errores de cálculo, en general, por simple naturaleza humana, en tanto el trabajo se debía revisar por varias personas para cerciorarse de que los valores eran legítimos. El cambio en este tipo de situaciones, hoy en día permite enfocar todo el esfuerzo, creatividad e innovación en la resolución de problemas más complejos que en el pasado, pero teniendo un mejor potencial tecnológico a través de estos software.

En este capítulo, en primera instancia se hará una descripción del software haciendo énfasis en sus principales funciones, para luego realizar el análisis energético del edificio CITEC UBB.

### **4.2 Autodesk Ecotect Analysis.**

*Autodesk Ecotect Analysis* es una herramienta de diseño que ofrece varias opciones de simulaciones y análisis de construcción, mediante análisis de tipo térmico, acústico, lumínico, solares, etc. Que tienen como fin mejorar el rendimiento energético de las edificaciones construidas y por construir.

Los Software de este tipo son usados en proyectos de gran importancia ya que ayudan a la toma de decisiones sobre su diseño y que pueden ayudar a optimizar al máximo el aprovechamiento de los recursos naturales y las condiciones climáticas y geográficas de una determinada zona, transformándose al final en beneficios económicos.

A continuación se describen las variadas funciones que posee este software.

#### **4.2.1 Geometría de la edificación.**

Posee un entorno sencillo para modelar la edificación directamente, pero al ser un software que se enfoca más en el análisis, tiene la desventaja de no poder modelar entornos más detallados y complejos. Para dar solución a este problema es que es posible importar archivos de otros programas de modelado más completos como por ejemplo *Autocad*, *Sketchup*, *Revit*, etc.

#### **4.2.2 Materiales constructivos.**

Posee una librería de grupos de materiales para asignar a los elementos del proyecto deseado, ya sean muros, puertas, ventanas, techos, etc. Para el caso en que se necesite un material que no se encuentre en esta librería siempre es posible la creación de nuevos materiales.

#### **4.2.3 Condiciones geográficas y climáticas.**

Para la realización de los análisis térmicos y solares *Autodesk Ecotect Analysis* cuenta con una opción donde insertar la orientación de la fachada principal con respecto al sol, además de la ciudad del proyecto y así determinar el posicionamiento global y el clima de la edificación

#### **4.2.4 Análisis solar.**

Datos que se pueden obtener con el uso de este recurso, es la insolación solar de la edificación en varios intervalos de tiempo como por ejemplo en horas, días, años, también se puede decidir si estos datos son promedios o acumulados, esto es muy útil por ejemplo para la realización de proyectos fotovoltaicos.

#### **4.2.5 Análisis de sombras.**

Puede proporcionar la visualización de las sombras exteriores e interiores del edificio como así también las sombras sobre objetos particulares designados por el usuario. Este tipo de análisis es muy útil por ejemplo. Para determinar el impacto de sombra que tendría una gran torre en el centro de alguna ciudad.

#### **4.2.6 Análisis de iluminación.**

Puede proporcionar de forma bastante didáctica, mediante esquemas, los factores de iluminancia naturales proporcionados por la luz solar, como así también para la iluminación artificial, útil para determinar la ubicación y potencia de las luces artificiales en un proyecto.

#### **4.2.7 Análisis térmico.**

Quizás uno de los más útiles que puede entregar este software, ya que permite conocer temperaturas a distintas horas del día, las ganancias y las pérdidas de calor anuales, así como también su distribución ya sea por conducción, por aire frío infiltrado, por ganancias internas, ventilación etc.

Además permite conocer el consumo de energía de los sistemas de calefacción y refrigeración anuales. Y su respuesta térmica a la envolvente del edificio.

### **4.3 Metodología de uso del software.**

El procedimiento para realizar este estudio se basa en 6 partes las cuales se detallarán a continuación.

#### **4.3.1 Creación del BIM del modelo.**

En esta primera etapa se inicia con la familiarización del software en donde se busca aprender sus comandos de modelaje y crear habilidades y destrezas para su posterior manejo si es que se pretende modelar directamente en *Autodesk Ecotect Analysis*, de no ser así también se puede importar un modelo desde otro software de modelado.

Para la creación del BIM por sus siglas en inglés *building information modelling* (modelo de información de una edificación) es necesario contar con la información detallada real de la edificación real la cual se describirá a continuación.

- Detalles de la edificación: se hace referencia a las particularidades de la fachada exterior del edificio como son volados en ventanas o puertas, pórticos o miradores.
- Estructura arquitectónica: se refiere a cada uno de los elementos constitutivos del edificio como lo son las paredes, puertas, ventanas, cielos,

suelos. En donde se busca toda la información como son el grosor existencia de cámaras de aire, etc. Esta información se debería encontrar disponible en los planos del edificio estudiado.

- Obstrucciones aledañas: esta información se puede determinar mediante planos o inspección visual en terreno sobre edificios o arboles aledaños que impidan que la radiación solar y vientos incidan directamente sobre el edificio en estudio.
- Orientación de la fachada principal: Esta información se extrae de los planos del edificio y es fundamental para determinar cómo afecta la radiación solar a las fachadas y techo del edificio.
- Asignación del clima: dentro de la biblioteca de climas de *Autodesk Ecotect Analysis* se debe seleccionar la ciudad deseada para el proyecto, con el fin de cargar el clima con el que será sometido a análisis, la edificación.

#### **4.3.2 Asignación de materiales constructivos.**

Los materiales que componen elementos como los muros, puertas, ventanas, suelos y techos determinan su desempeño térmico, acústico y visual por lo que asignarlos correctamente es de vital importancia para el análisis del software.

Para asignar los grupos de materiales a los elementos *Autodesk Ecotect Analysis* funciona con un sistema de *layers* similar a *Autocad* en donde se pueden editar los distintos tipos de capas y espesores que poseen los muros, suelos y techos, este procedimiento viene predeterminado por una biblioteca de elementos listos que cuenta el software, pero en el caso en que estos grupos de materiales no coincidan con el elemento deseado siempre se pueden crear nuevos grupos de materiales, teniendo la precaución de conocer todas sus propiedades físicas que pide el software como son su densidad, conductividad térmica y calor específico.

A su vez se debe tener presente que el software pide la asignación de 2 grupos de materiales para cada elemento el primario y el secundario, esto ocurre porque en la unión de distintas zonas térmicas (que se detallarán más adelante), hay una superposición de posibles elementos distintos por lo tanto el material primario sería

el constituyente del elemento seleccionado y el material secundario correspondería al elemento adyacente a éste.

#### **4.3.3 Asignación de las condiciones de operación de las zonas térmicas.**

El software trabaja con zonas térmicas para asignar condiciones de operación. Una zona térmica es volumen de aire enclaustrado relativamente homogénea, por lo tanto debe construir una zona geoméricamente cerrada es decir que debe tener todas las superficies que encierran un volumen por ejemplo si imaginamos rellenar esta zona térmica con agua al girarla de cabeza no debería escaparse nada de agua.

Las condiciones de operación de una zona térmica son aquellas que inciden directamente en el confort térmico y la calidad del aire interior, y se definen a partir de las siguientes especificaciones:

- Condiciones internas de diseño: son los parámetros que se consideran en la operación interna del edificio como lo son: la humedad relativa del aire, el nivel de iluminación, el coeficiente de ropa usada por las personas y la velocidad del aire.
- Ocupación: se asigna el número máximo de personas que están en dicho recinto y la actividad que realizan en ella a fin de determinar el nivel de potencia que disipan al ambiente.
- Ganancias internas de calor: se asignan las ganancias internas de calor sensible y de calor latente.
- Tasa de intercambio de aire: se refiere a la infiltración de aire desde el exterior por lo cual se asignan valores para especificar la tasa de renovación y sensibilidad del aire.
- Tipo de sistema de climatización (HVAC): se define la eficiencia el horario y el tipo de sistema de climatización, es decir si es por ventilación natural, mixta, acondicionado full, solo calefacción o solo refrigeración.
- Intervalo de temperaturas predeterminadas: se determina el rango de temperaturas en que puede fluctuar el interior del edificio.

#### **4.3.4 Identificación y selección de los espacios interiores críticos.**

Los espacios interiores críticos son aquellas que por sus particularidades merecen ser calibradas y posteriormente analizadas a través de las simulaciones.

Los principales aspectos que influyen en el comportamiento energético de una edificación son la orientación de la fachada, el tiempo de uso, ocupación, uso de iluminación artificial, utilización de aire acondicionado, área del espacio interior y si posee ventanas. La identificación de los espacios interiores críticos, tiene como finalidad definir los espacios que van a ser calibrados en la siguiente fase.

Al finalizar la etapa anterior se tiene un listado de espacios, resultando de una pre-selección. El paso a seguir es reducir ese número a los que son realmente críticos, para lo cual se deben efectuar simulaciones preliminares del modelo sin calibrar, se deben analizar los resultados y seleccionar los espacios que representan las condiciones más críticas dentro de cada simulación.

#### **4.3.5 Calibración del modelo BIM.**

Una vez que se tiene el modelo BIM con los 4 pasos anteriores completados, se procede a calibrar el modelo. Esto se realiza para poder determinar si los resultados entregados en las simulaciones previas son confiables o no.

Para realizar esta calibración se realizan los cálculos manualmente en las zonas críticas determinadas anteriormente y se comparan con los resultados obtenidos por el *software*, una vez que los valores manuales se asemejen a los predichos por el *software* es que se está en condiciones de poder hacer simulaciones más complejas y por lo tanto confiables en los resultados.

#### **4.3.6 Simulación y análisis.**

En esta última etapa se desarrollan las simulaciones de las zonas térmicas anteriormente calibradas.

Dentro de la amplia gama de simulaciones que puede realizar el *software*, para este trabajo se requerirán las simulaciones que incidan en el consumo energético del edificio las cuales serán:

- Simulación de iluminación natural y artificial.

- Simulación de radiación solar.
- Simulación de los sistemas HVAC.

#### **4.4 Creación del BIM del CITEC UBB.**

##### **4.4.1 Modelo geométrico del edificio.**

Para la modelación de este BIM se complementó con el uso del *software SketchUp*.

Su principal característica es poder realizar diseños en 3D de forma sencilla. El programa incluye entre sus recursos ejemplos en vídeo para aprender paso a paso cómo se puede diseñar y modelar un ambiente propio. Permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante, además el programa incluye una galería de objetos, texturas e imágenes listas para descargar.

En la figura 4.1 se puede apreciar el modelo del edificio CITEC UBB.

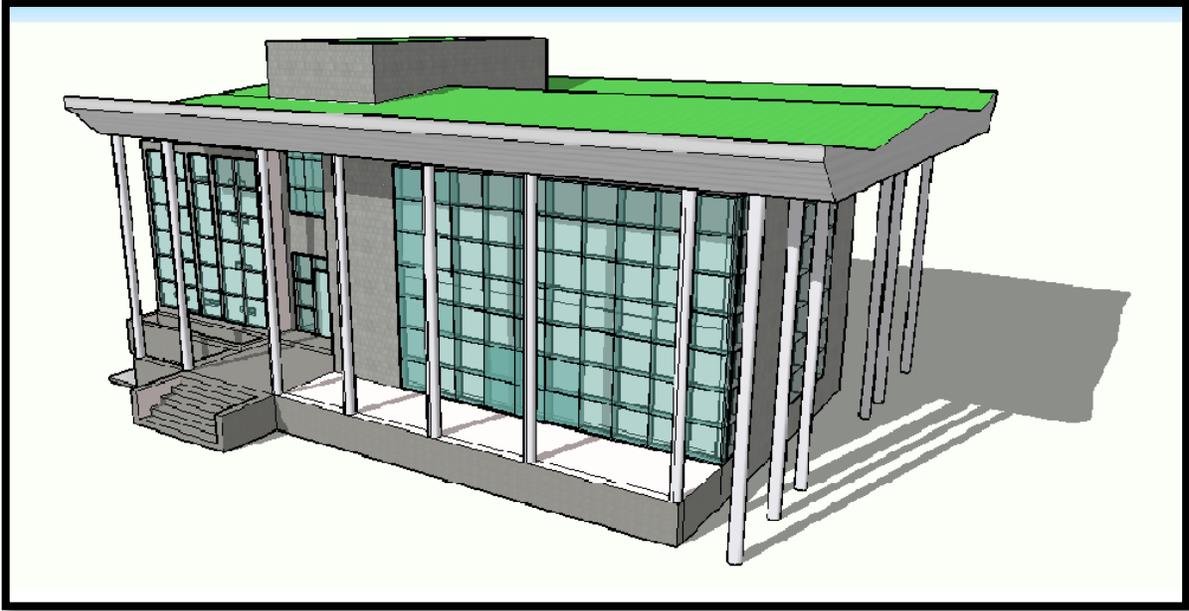


Figura 4.1: Modelo geométrico del edificio ECOTEC UBB modelado en EsSketchUp

#### 4.4.2 Orientación de fachada.

La orientación de la fachada principal con respecto al norte influye directamente en la incidencia del sol a la edificación por esta razón *Autodesk ecotect Analisis* cuenta con una opción donde se ingresa el desfase de esta con respecto al norte, así como también se debe ingresar la altura con respecto al nivel del mar y el tipo de localidad

para este caso se tiene un desfase de -15 grados noreste y altura promedio de 23 msnm la cual está inserta en un área urbano.

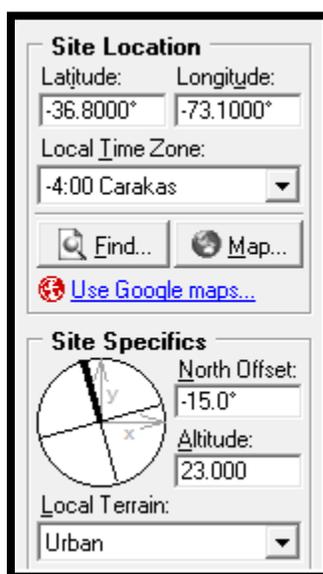


Figura 4.2: Captura del asistente de orientación del edificio con respecto al Norte.

#### 4.4.3 Asignación del clima.

Para determinar la ubicación geográfica del edificio se debe cargar desde la pestaña *Project* y luego *load weather file*, en el caso que no se encuentre la ciudad deseada en la base de datos se puede cargar desde la opción *find weather data*.

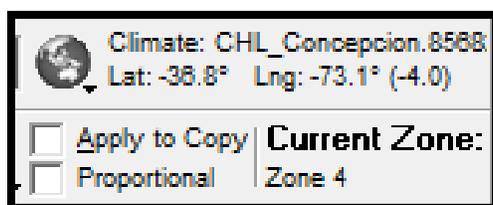


Figura 4.3: Captura desde el asistente de asignación de posición geográfica.

#### 4.4.4 Asignación de los grupos materiales constructivos.

En *Autodesk Ecotec Analisis* se deben definir los grupos de materiales que van a formar los elementos constructivos, los cuales son: muros, puertas, ventanas, cielo, techo, suelo. Como ya se explicó anteriormente si no coincide ningún grupo de materiales preseleccionado de la biblioteca, se pueden crear nuevos grupos.

En este caso se debió de crear nuevos grupos de materiales como se aprecia en la figura 4.5, para cumplir con la norma de construcción chilena Nch 853.

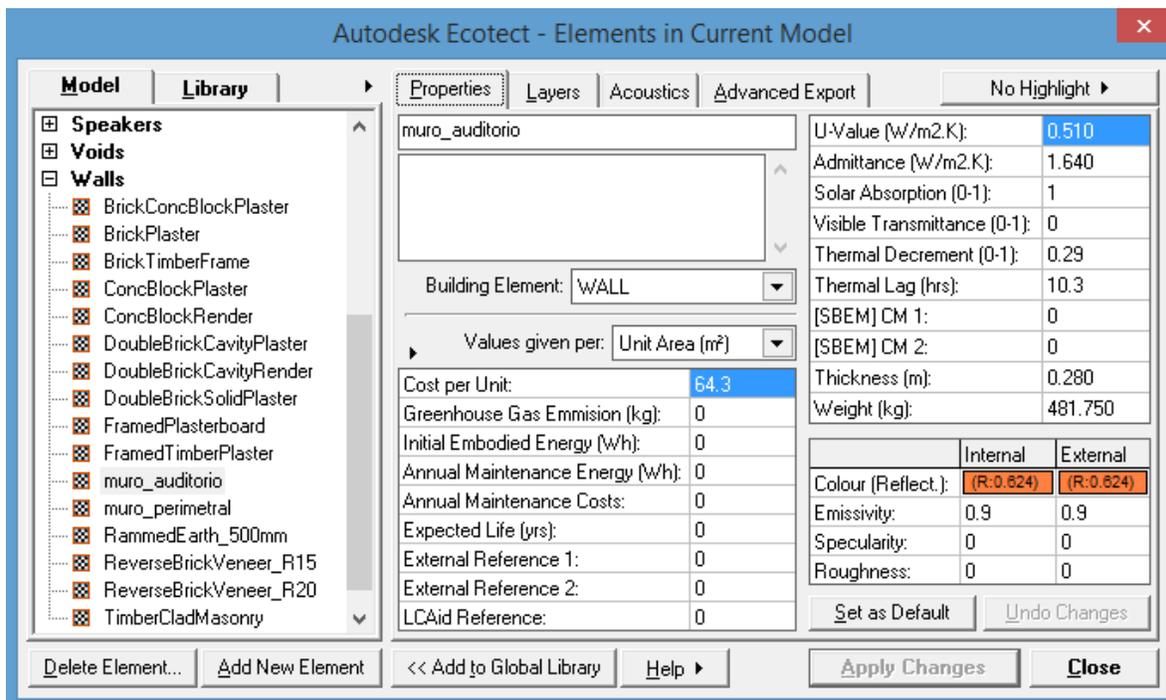


Figura 4.4: Captura del asistente de asignación de materiales

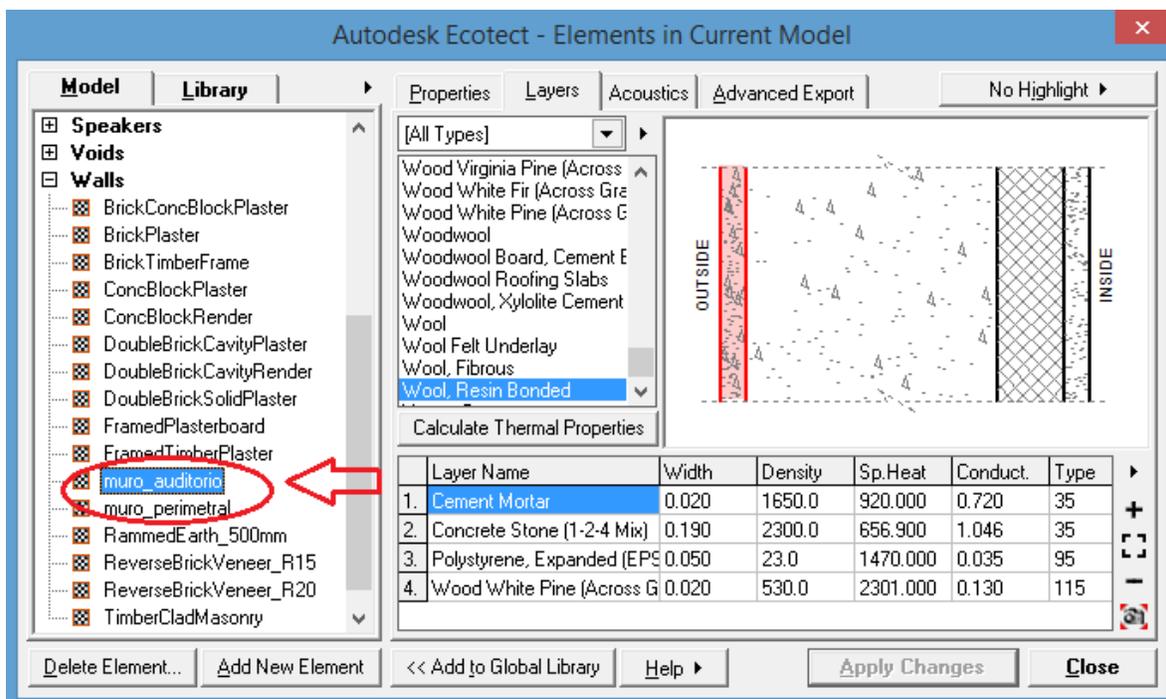


Figura 4.5: Creación de nuevos layer.

#### 4.4.5 Asignación de las condiciones de operación de las zonas térmicas.

El siguiente paso es asignar el tipo de operación que van a tener las distintas zonas térmicas, en la figura 4.6 se puede apreciar cómo se asignan los valores en el asistente de zonas.

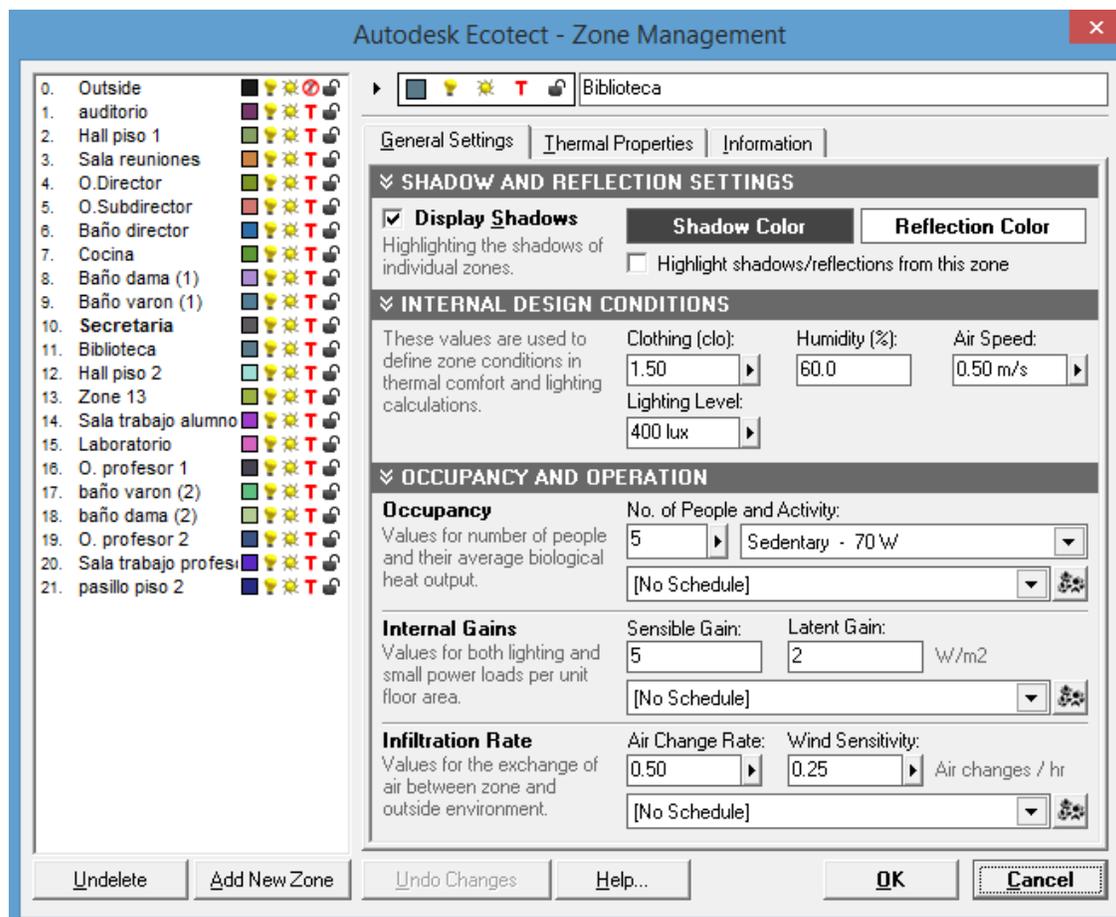


Figura 4.6: Captura del asistente de zonas térmicas.

A continuación se detallan los valores ocupados para la simulación de las condiciones de operaciones internas tenidos en cuenta en la realización del BIM CITEC UBB.

#### 4.4.6 Condiciones internas de diseño.

##### 4.4.6.1 Ganancias térmicas aportadas por el tipo de ropa.

El software ofrece varios coeficientes de ropa dependiendo del tipo de clima o del tipo de actividad realizada por los ocupantes del edificio. Para este proyecto se selecciona un coeficiente de 1.5 Clo según proyecto

Tabla 4.1: Factores que determinan la resistencia térmica por tipo de ropa.

Tipo de ropa	Índice Clo.
Desnudo	0
Ropa interior	0.2
Short y camisa	0.4
Pantalón y camisa	0.6
Traje	1
<b>Traje y ropa interior térmica</b>	<b>1.5</b>
Abrigo	2
Ropa de invierno	2.5
Ropa tipo ártico	3

Fuente: Autodesk Ecotetc Analysis

##### 4.4.6.2 Velocidad del aire.

Autodesk Ecotetc Analysis ofrece varias velocidades del aire interno de los recintos cada una asignada a una descripción para asimilar de mejor forma la dimensión de dicho valor, el seleccionado en esta ocasión es de 0.5 m/s.

Tabla 4.2: Parámetros de velocidad del aire.

Descripción	Velocidad (m/s)
Calma	0
No perceptible	0.1
Apenas perceptible	0.3
<b>Brisa placentera</b>	<b>0.5</b>
Brisa suave	0.7
Movimiento de papeles	1
Corriente de aire perceptible	1.4
Brisa molesta	1.7
Corriente ventosa	2

Fuente: Autodesk Ecotetc Analysis

#### 4.4.6.3 Nivel de iluminación.

El software ofrece un rango de intensidades de iluminación cada uno acompañado de una descripción para facilitar su elección, dependiendo del tipo de actividad que se realice en cada zona se asignará el valor de intensidad de iluminación. Para este proyecto se asignará un valor de 100 lux para pasillos y escaleras, 400 lux para oficinas y 600 lux para el auditorio.

Tabla 4.3: Parámetros de nivel de iluminación.

Tipo de recinto	Nivel de iluminación (LUX)
Estacionamientos/ bodegas	50
<b>Corredores/ escaleras</b>	<b>100</b>
Ascensor / salas de espera	200
<b>Oficinas / talleres</b>	<b>400</b>
<b>Salas de ventas/ mall</b>	<b>600</b>
Laboratorios / salas de conferencia	900
Recitales/ shows	1200

Fuente: Autodesk Ecotetc Analysis.

#### 4.4.6.4 Humedad relativa.

A diferencia de los tópicos anteriores el valor asignado puede ser el que determine el usuario, sin tener que elegir valores predeterminados, en este caso según especificación de proyecto la humedad relativa seleccionada será de un 60 % para todas las zonas.

#### 4.4.6.5 Ocupación de personas.

Los parámetros de ocupación se usan para cuantificar las ganancias de calor que aportan las personas dentro de la zona. Para ello se le asigna un valor al tipo de actividad física que realiza por ejemplo si la actividad de un persona es de oficinista tendría una actividad sedentaria de 70 W. para este proyecto se ocuparán las actividades, sedentario (70 W) y caminador (80W).

*Tabla 4.4: Parámetros de actividad física realizada por personas*

Actividad	Potencia (W)
Sedentaria	70
Caminar	80
Ejercicio	100
Ejercicio pesado	150

*Fuente: Autodesk Ecotect Analysis.*

#### 4.4.6.6 Tasa de intercambio de aire.

En la siguiente tabla aparecen valores predeterminados por Autodesk Ecotect Analysis de infiltración de aire frío por las rendijas del edificio para lo cual se seleccionó un valor de 0.5 N°RH. Este valor es relativamente bajo ya que este edificio cuenta con puertas y ventanas muy bien selladas para evitar las infiltraciones de aire frío contribuyendo así con un significativo ahorro de energía.

Tabla 4.5: Valores de número de renovaciones por hora.

Nivel de hermeticidad	Numero de renovaciones por hora (N°RH)
Hermética	0.25
Bien sellada	0.5
Promedio	1
agujereada	2

Fuente: Autodesk Ecotetc Analysis.

#### 4.4.6.7 Tipo de sistema de climatización.

Para realizar los cálculos de consumo de energía, el software trabaja con 6 modos de climatización, los cuales se clasificarán a continuación.

Para el caso de estudio de este proyecto se ocuparán 2 tipos de climatización, el modo de sistema combinado y el modo de climatización full, esto es porque el auditorio y la biblioteca obtienen sus necesidades de calefacción, mediante un muro Trombe que es un sistema que puede considerarse pasivo y la refrigeración la provee por una bomba de calor aerotérmica.

Tabla 4.6: Detalle de modos de climatización de Autodesk Ecotect Analysis

Tipo de sistema	Descripción
Ninguno	No hay presencia de equipos funcionando, se consideran puertas y ventanas cerradas y la ventilación es por medio de la tasa de infiltración de aire
Ventilación natural	No hay presencia de equipos funcionando, se considera la ventilación por mecanismos pasivos.
Modo de sistema combinado	Es una mezcla entre el sistema de ventilación natural y el aire acondicionado full, cuando las condiciones externas sean desfavorables se encienden los equipos y cuando sean favorables funcionan los sistemas pasivos.
Aire acondicionado full	Es un sistema que abarca calefacción y refrigeración, cuando se requiera mantener la temperatura predeterminada, el software asume que puertas y ventanas se mantienen cerradas por lo que solo existe ventilación por la infiltración de aire exterior.
Sólo calefacción	Similar al modo de aire acondicionado full, pero solo con el modo calefacción.
Sólo refrigeración	Similar al modo de aire acondicionado full pero solo con el modo refrigeración.

Fuente: Autodesk Ecotect Analysis.

## 4.5 Resultados de simulaciones.

### 4.5.1 Análisis de iluminación.

*Autodesk Ecotect Analysis* puede realizar un análisis de la iluminación natural como también de la iluminación artificial, las variables que juegan un papel importante son la orientación al sol y también posiciones de las ventanas que tienen los recintos. Para analizar esto *el software* cuenta con indicador *Daylight Factor (DF)*, este hace una relación entre la iluminación en porcentajes sobre un punto particular dentro del espacio. Los rangos son:

- Menor a 2% iluminación deficiente.
- 2 a 5% iluminación en rango óptimo.
- Mayor a 5% altamente iluminado.

Un edificio de uso diurno y bien iluminado podría hasta prescindir de las luces artificiales, lo que resultaría en un gran impacto al consumo energético de la edificación.

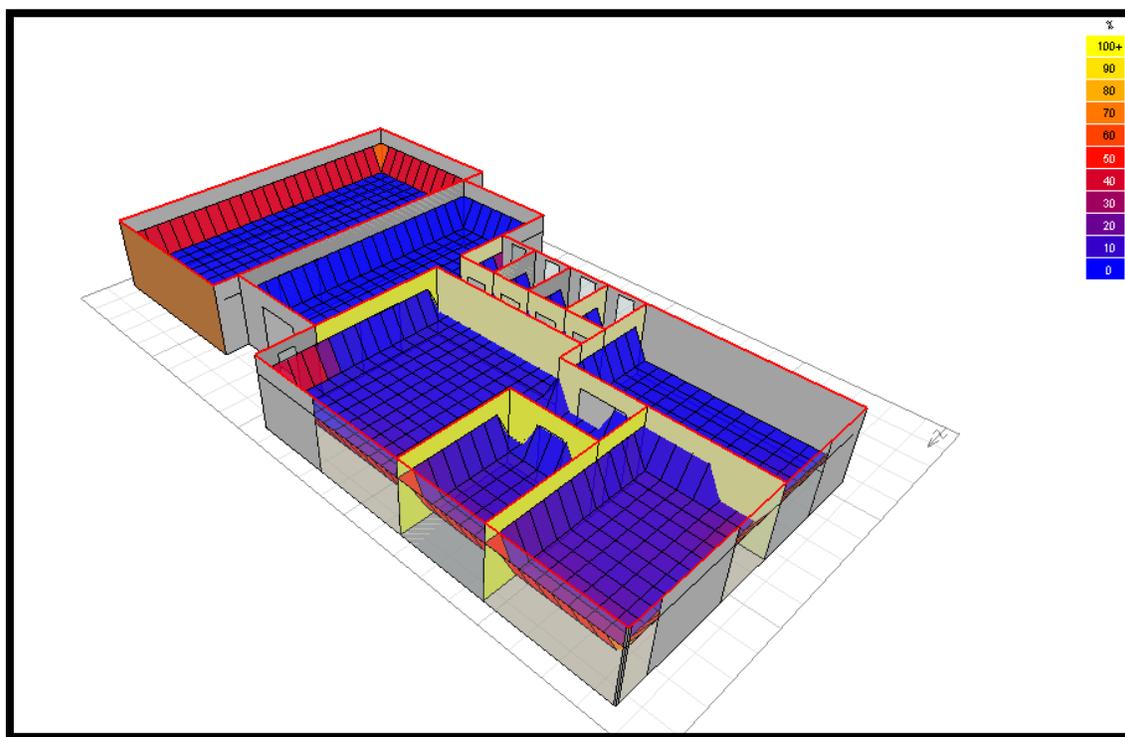


Figura 4.7 Iluminación natural CITEC UBB primer piso.

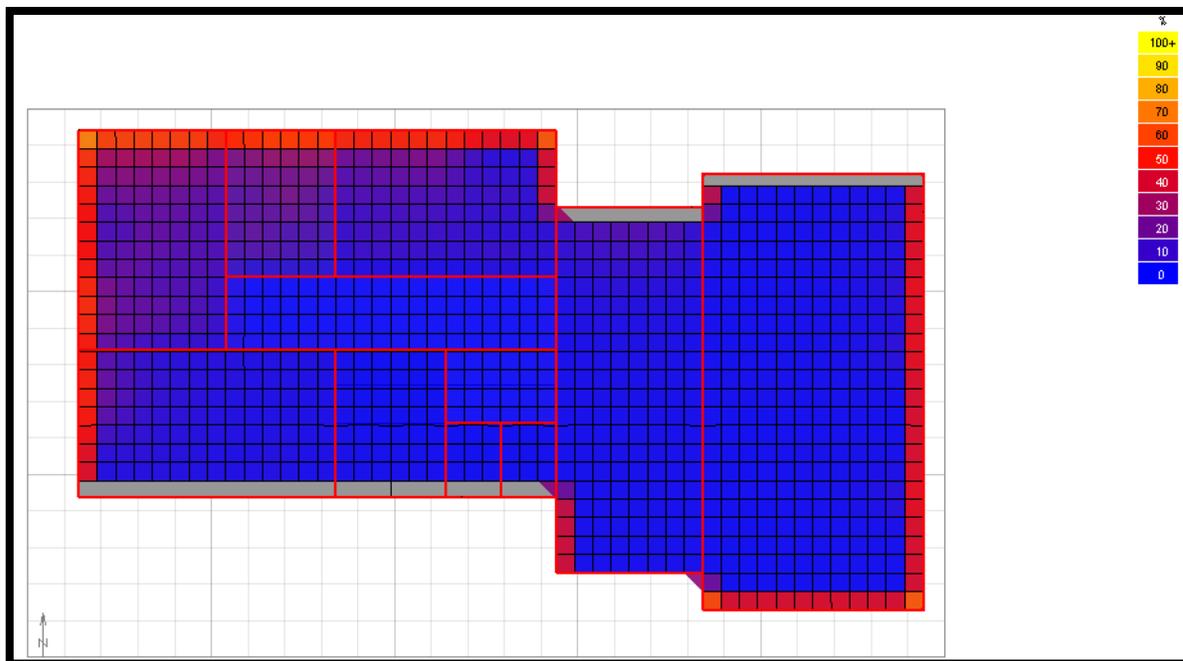


Figura 4.8 Iluminación natural CITEC UBB segundo piso.

A continuación se representarán los resultados para la simulación de iluminación artificial, el software utiliza un sistema de punto a punto para el cálculo de la luz en cada recinto, los datos a diferencia de la iluminación natural están representados en nivel de iluminación (LUX).

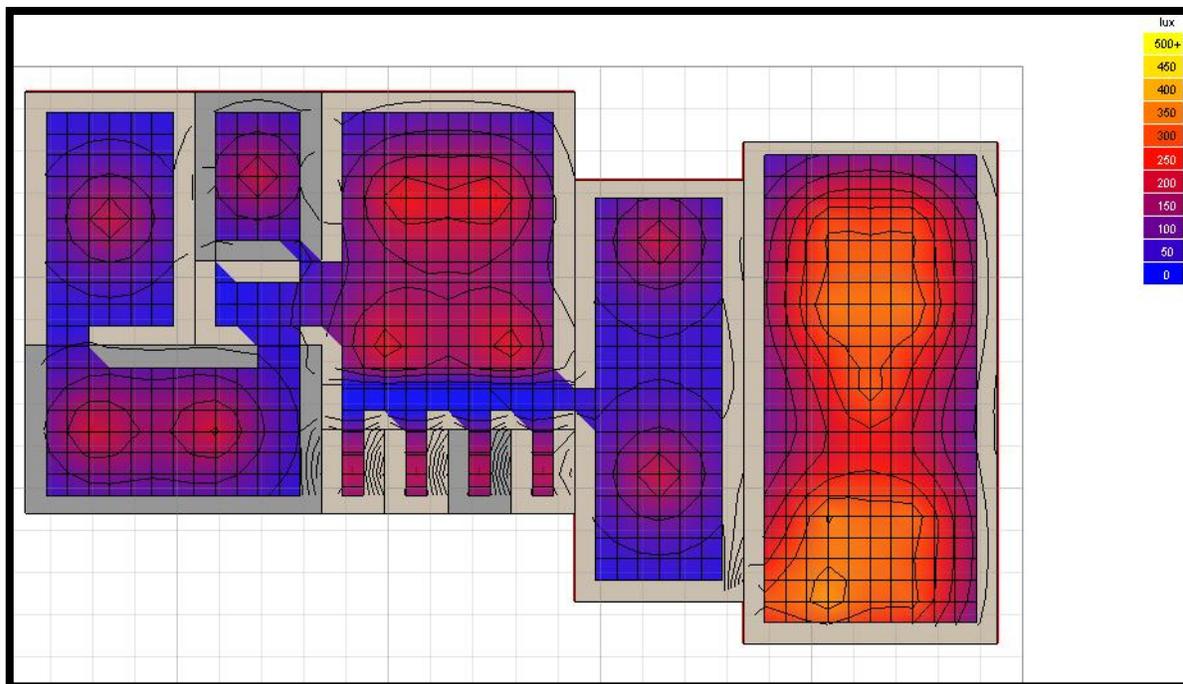


Figura 4.9: Iluminación artificial primer nivel.

Como comentario final al análisis de luz natural se puede deducir que tiene un buen nivel de iluminación sobretodo en el área de las oficinas, producto que colindan con el muro cortina, esto permite un gran ahorro en consumo de iluminación artificial en los recintos más ocupados por los profesionales del centro.

Con respecto al análisis de luz artificial la mayoría de los recintos bordean los 200 lux de iluminancia, lo que resulta suficiente, ya que el régimen de funcionamiento del edificio es hasta las 18 horas. El auditorio según los resultados obtenidos presenta una óptima iluminación, dado que es el recinto que por su funcionalidad demanda un alto grado de iluminancia.

#### 4.5.2 Análisis solar.

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol medidas en ( $W/m^2$ ). Dentro de un análisis energético el estudio de la radiación solar es muy importante. Es un buen medidor de cuáles pueden ser las zonas más críticas dentro de una edificación.

La simulación de la figura 4.10 entrega la energía solar incidente promedio del día 1 de enero del 2017.



divisoria del medio del gráfico y por contraparte las ganancias se encuentran sobre la línea. Cabe destacar que la columna de la derecha representa los porcentajes del valor total anual de pérdida o ganancia respectivamente.

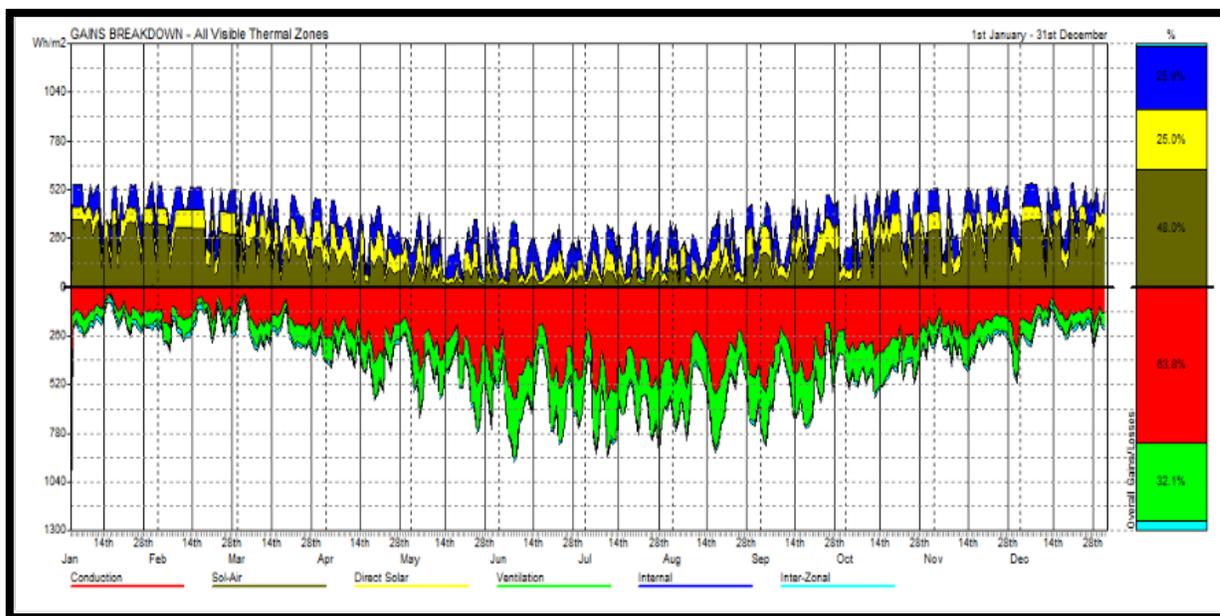


Figura 4.11: Ganancias y pérdidas anuales del CITEC UBB.

En la tabla 4.7 se presenta una comparación de los datos entregados por el software vs los valores calculados en el capítulo 3.

Tabla 4.7: Resultados software vs valores calculados capítulo 3.

<b>Ganancias térmicas</b>		
<b>Tipo de ganancia</b>	<b>Método por software</b>	<b>Método manual</b>
Ganancias externas	48%	36%
Radiación solar	25%	17%
Ganancias internas	26%	47%
<b>Perdidas térmicas</b>		
<b>Tipo de pérdida</b>	<b>Método por software</b>	<b>Método manual</b>
Conducción y convección	68%	80%
Infiltración de aire y ventilación	32%	20%

A pesar de que los valores arrojados por el software en el gráfico 4.11 son medidos en energía por unidad de área, son muy similares a los obtenidos en el capítulo 3 que son medidos en potencia calórica esto ocurre porque tanto las ganancias como las pérdidas, sea por conducción, convección o radiación solar son estables en el tiempo, la única diferencia se encuentra en las ganancias internas, en donde estas a diferencia de las otras son intermitentes en el tiempo, por lo tanto la comparación de éste valor entre el software y el método manual no sería compatible.

#### 4.5.4 Demanda energética de climatización.

El gasto energético producto de la climatización es por lo general el más alto por lo que es determinante en estos tipos de estudios, conocer cómo se comporta y en que rangos de tiempo llega a sus valores peak.

En la figura 4.13 se puede observar un comportamiento bastante habitual entre el consumo de calefacción y refrigeración. Marcado obviamente por las fluctuaciones de temperatura entre invierno y verano respectivamente.

Para respaldar la figura 4.13 en cuanto al consumo de energía por calefacción se presenta la figura 4.14 en la cual se aprecian los grados días de la ciudad de Concepción. Aquí se puede apreciar que en ambos gráficos la curva del consumo crece en los meses de invierno y decae en los meses de verano, coincidiendo en ambos gráficos en su valor peak, que da lugar en el mes de julio.

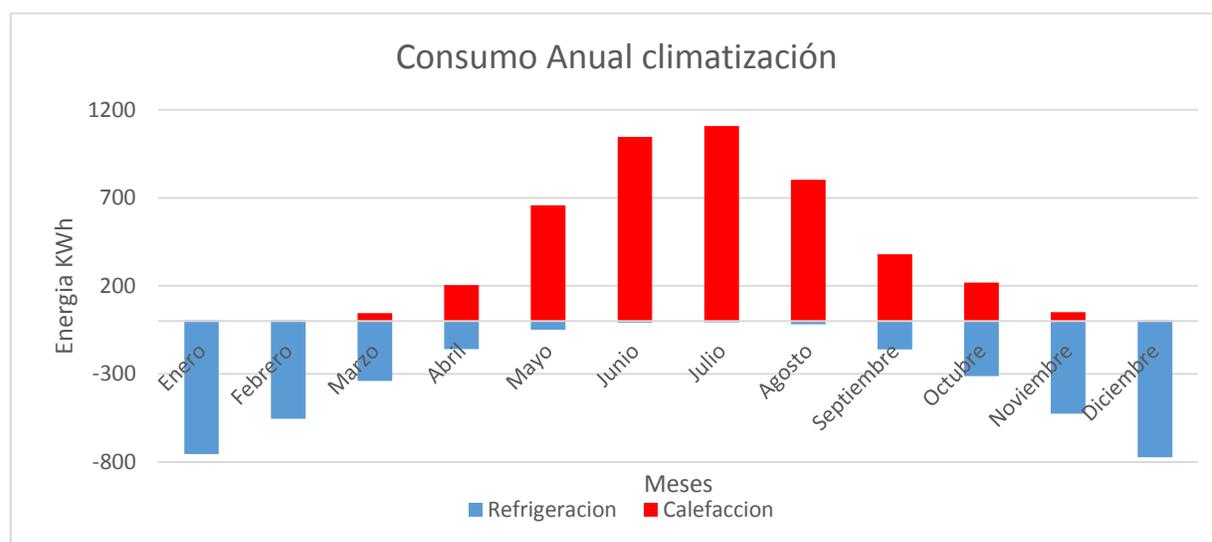


Figura 4.13: Consumo anual de energía por calefacción y refrigeración.

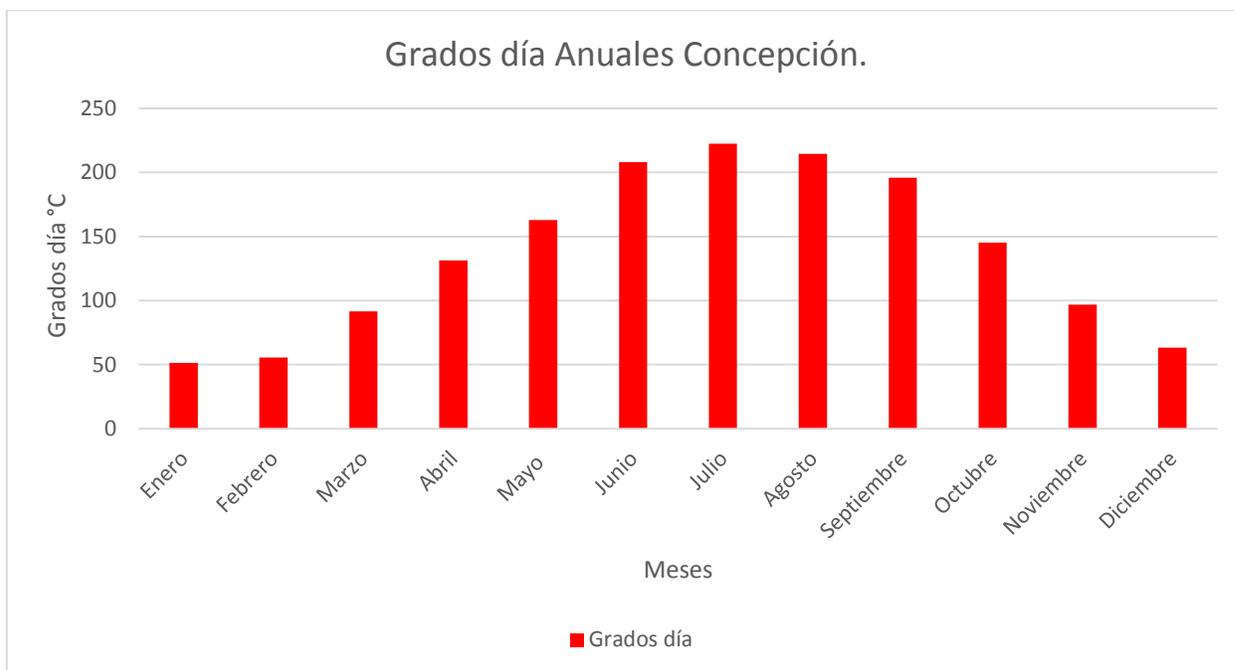


Figura 4.14: Grados día anuales de la ciudad de concepción.

**Nota: Temperatura base 18°C (21° menos 3° por concepto de ganancias internas)**

#### 4.6 Cuantificación de los resultados.

Una vez terminado el análisis de las simulaciones se procede a cuantificar los consumos más relevantes del edificio a fin de zanjar los consumos por los sectores de iluminación, climatización y equipos eléctricos.

##### 4.6.1 Sector iluminación.

De acuerdo a la información entregada por la planimetría eléctrica (anexo C-2) se elaboró la tabla 4.8 en donde se hace un estimado del consumo de energía eléctrica con la información del tipo de luminaria de los recintos, la potencia y la cantidad de luces. Para estimar el número de horas de funcionamiento de las luces se consultó con los profesionales del CITEC, llegando a los siguientes valores:

- Sala de reunión, biblioteca, sala de archivos, baños y cocina:

$$N^{\circ} \text{ horas} = 1 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 220 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

- Auditorio, frontis:

$$N^{\circ} \text{ horas} = 2 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 440 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

- Hall piso 1, hall piso 2, oficinas de trabajo:

$$N^{\circ} \text{ horas} = 4 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 880 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

- Secretaria:

$$N^{\circ} \text{ horas} = 8 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 1760 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

Tabla 4.8: Consumo anual de iluminación.

Recinto	Luminaria y potencia [W]	Potencia total [kW]	Horas funcionamiento [h]	Energía anual [kWh]
Hall piso 1	2 fluorescente(4x18W)	0.14	880	123.2
Auditorio	24 fluorescente(4x18W) 12 dicroica(1x50W) 30 alógena(1x50W)	3.83	440	1685.2
Secretaria	6 fluorescente(4x18W)	0.43	1760	756.8
O. Director	2 fluorescente(4x18W)	0.14	880	123.2
O. Subdirector	1 fluorescente(4x18W)	0.07	880	61.6
Sala reunión	3 fluorescente(4x18W)	0.22	220	48.4
Cocina	2 Plafón(2x40W)	0.16	220	3.52
Baño director	2 Plafón(2x40W)	0.16	220	3.52
Baño dama 1	2 Plafón(2x40W)	0.16	220	3.52
Baño varón 2	2 Plafón(2x40W)	0.16	220	3.52
Biblioteca	4 fluorescente(4x18W)	0.28	220	61.6
Sala archivos	3 fluorescente(4x18W)	0.22	220	48.4
Hall piso 2	5 fluorescente(4x18W)	0.43	880	378.4
Oficina 1	1 fluorescente(4x18W)	0.07	880	61.6
Oficina 2	1 fluorescente(4x18W)	0.07	880	61.6
Oficina 3	1 fluorescente(4x18W)	0.07	880	61.6
Oficina 4	1 fluorescente(4x18W)	0.07	880	61.6
Sala alumnos	3 fluorescente(4x18W)	0.22	880	193.6
Laboratorio	3 fluorescente(4x18W)	0.22	880	193.6
Baño dama 2	2 Plafón(2x40W)	0.16	220	3.52
Baño varón 2	2 Plafón(2x40W)	0.16	220	3.52
Frontis	5 Pagoda(3x60W)	0.9	440	396
<b>Total [kWh]</b>				<b>4338</b>

#### 4.6.2 Sector climatización.

La tabla 4.9 se elaboró con los resultados arrojados por el software, donde posteriormente se determina el consumo anual de climatización.

Tabla 4.9: Consumo anual de climatización.

Meses	Calefacción kWh	Refrigeración kWh
Enero	3.4	754.3
Febrero	4.1	553.9
Marzo	45.5	340
Abril	203.8	158.1
Mayo	657.1	49.1
Junio	1045.2	8.6
Julio	1107.6	6.6
Agosto	802.3	18.6
Septiembre	380.1	161.4
Octubre	218.8	312.3
Noviembre	50.8	524.8
Diciembre	3.2	773.9
Subtotal modos climatización	4521.9	3661.6
<b>Total [kWh]</b>	<b>8184</b>	

$$\text{consumo anual} = \frac{8184 \text{ [kWh/año]}}{483 \text{ [m}^2\text{]}} = 17 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 - \text{año}} \right]$$

#### 4.6.3 Sector equipos eléctricos.

En la tabla 4.10 se muestra el consumo anual estimado de los equipos eléctricos, es importante recalcar que no se consideraron los equipos de climatización, como las bombas de calor, ventiladores, bombas hidráulicas, etc. Ya que estos se consideran en el apartado 4.6.2. Para estimar el número de horas de funcionamiento de los equipos se consultó con los profesionales del CITEC, llegando a los siguientes valores:

- Computadores:

$$N^{\circ} \text{ horas} = 6 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 1320 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

- Proyector:

$$N^{\circ} \text{ horas} = 2 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 440 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

- Televisores, teléfonos, extractor :

$$N^{\circ} \text{ horas} = 1 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 220 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

- Horno microondas:

$$N^{\circ} \text{ horas} = 1 \frac{\text{hr}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{día}}{\text{mes}} * 11 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 220 \frac{\text{hr}}{\text{año}}$$

Tabla 4.10: Consumo anual de equipos eléctricos.

Equipo	Potencia total [kW]	Horas Anuales [h]	Energía anual [kWh]
Computadores 15x110 W	1.65	1320	2178
Proyectores 4x100 W	0.4	440	176
Televisores 7x150 W	1.05	220	
Teléfonos fijos 7x25 W	0.18	220	40
Horno microondas 1x800 W	0.8	220	176
Extractor 8x15W	0.12	220	26
<b>Total [kWh]</b>			<b>2827</b>

#### 4.6.4 Distribución de consumo anual por sectores.

Ya contabilizado el consumo de todos los sectores descritos anteriormente se elaborara una tabla resumen con las cantidades estimadas.

Tabla 4.11: Consumo anual total del edificio.

Sector de consumo	Consumo eléctrico anual [kWh]
Sector iluminación.	4.338
Sector climatización.	8.184
Sector equipos eléctricos.	2.827
<b>Total [kWh]</b>	<b>15.356</b>

Para un mejor entendimiento del consumo anual eléctrico, se realizara un gráfico de torta de la distribución de los 3 sectores de consumo eléctrico, como se muestra en la figura 4.15.

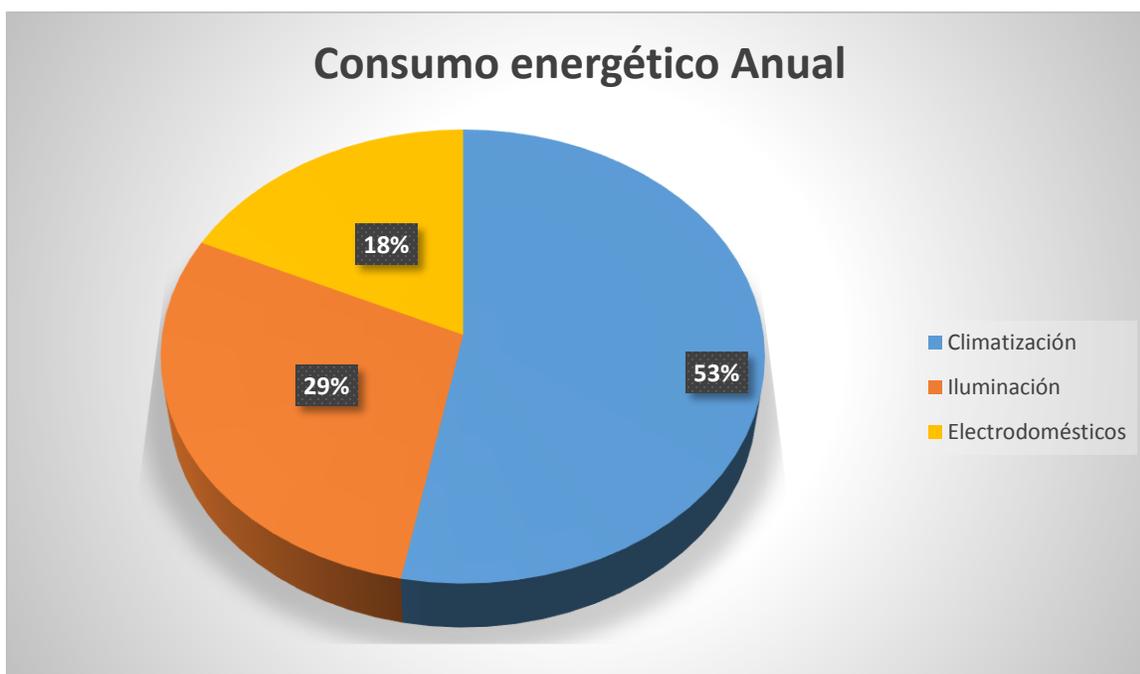


Figura 4.15: Consumo energético anual.

La distribución entregada por la figura 4.15 es muy representativa a lo que, se mencionó al principio del informe, en donde se comprobó que el consumo por climatización es el más elevado siendo un poco más de la mitad del consumo total, coincidiendo entre el rango que se estima para este sector en general (entre 40 y 60 % del total).

## **CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.**

### **5.1 Introducción.**

En el presente capítulo se desarrolla una propuesta para la reducción del consumo de energía del edificio. La cual consiste en una instalación fotovoltaica instalada en el techo. Esta propuesta consiste en entregar el 50% de la energía demandada por el edificio anualmente.

Para el dimensionamiento de la instalación de paneles fotovoltaicos se ocupan los valores de radiación solar entregados por el software *Autodesk Ecotect Analysis*, posteriormente se realiza un análisis espacial para determinar su mejor distribución en el techo.

Finalmente se analiza económicamente la propuesta estimando su periodo de recuperación.

### **5.2 Consideraciones de la propuesta.**

Se estima satisfacer el 50% del consumo eléctrico anual del edificio mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos.

### **5.3 Consideraciones generales.**

La energía que entrega el sistema fotovoltaico a lo largo de un periodo de funcionamiento, viene dado por la ecuación 5.1:

$$E = P * G_p * PR \quad (\text{ecuación 5.1})$$

Donde:

P: Es la potencia nominal del generador. (Adimensional)

$G_p$ : Es la irradiación incidente sobre él a lo largo de ese periodo. [kWh]

PR: Factor adimensional.

### 5.3.1 Potencia nominal del generador.

Es la máxima cantidad de energía (en corriente continua) que es capaz de entregar un generador fotovoltaico trabajando con las condiciones estándar de medida, las cuales son:

- Irradiancia,  $G^*=1000$  (W/m<sup>2</sup>), la cual es la densidad superficial de potencia de la radiación solar, es decir la relación entre la potencia y superficie.
- Incidencia normal
- Temperatura de la célula,  $T_c = 25^{\circ}C$
- Distribución espectral=AM1.5, la cual es el espesor relativo de la atmósfera, en el cual debe penetrar la radiación solar.

### 5.3.2 Radiación incidente sobre el generador.

La radiación incidente sobre un receptor depende, obviamente, de las características del clima del lugar donde esté ubicado, y de las peculiaridades de la disposición del generador; estático o dotado de algún tipo de movimiento para seguir la trayectoria del sol.

El clima solar de un lugar se caracteriza en términos de la radiación incidente sobre una superficie horizontal, que es precisamente el parámetro que, por convenio, se mide en las estaciones meteorológicas. Una de las prácticas más extendidas, consiste en utilizar el conjunto de los 12 valores medios mensuales de la radiación diaria,  $G_{dm}(0)$ .

Cada valor de  $G_{dm}(0)$  se utiliza para determinar, primero, las componentes directa y difusa de la radiación y, segundo, la distribución temporal de los componentes a lo largo del “día típico” del mes correspondiente. Esto permite disponer de dos valores, uno de la radiación directa horizontal,  $B(0)$ , y otro de radiación difusa horizontal,  $D(0)$ , para cualquier instante del “año típico” de un determinado lugar.

A partir de estos dos valores, se calculan y suman los valores de los tres componentes de la radiación incidente sobre la superficie del receptor: directo, es decir los rayos que inciden directamente de donde proviene el sol. Difuso, es decir los rayos que provienen de las otras direcciones del cielo y de albedo los cuales son los rayos reflejados por el suelo, como se puede apreciar en la ecuación 5.2:

$$G(\beta, \alpha) = B(\beta, \alpha) + D(\beta, \alpha) + AL(\beta, \alpha) \quad (\text{ecuación 5.2})$$

Donde:

- $\beta$  :Ángulo de inclinación
- $\alpha$  :Ángulo de azimut
- $G(\beta, \alpha)$  :Radiación global
- $B(\beta, \alpha)$  :Radiación directa
- $D(\beta, \alpha)$  :Radiación difusa
- $AL(\beta, \alpha)$  :Radiación de albedo

A su vez, y también mediante consideraciones geométricas, es posible calcular estos ángulos de incidencia, para cualquier momento del año, caracterizado por el valor de la declinación correspondiente al día, y por la hora solar del instante considerado.

Cabe destacar que para la propuesta de esta investigación se emplearon los datos de energía por radiación solar entregados por *Autodesk Ecotect Analysis*, los cuales son los valores acumulados anuales, en términos de cantidad de energía.

#### 5.4 Radiación anual del edificio.

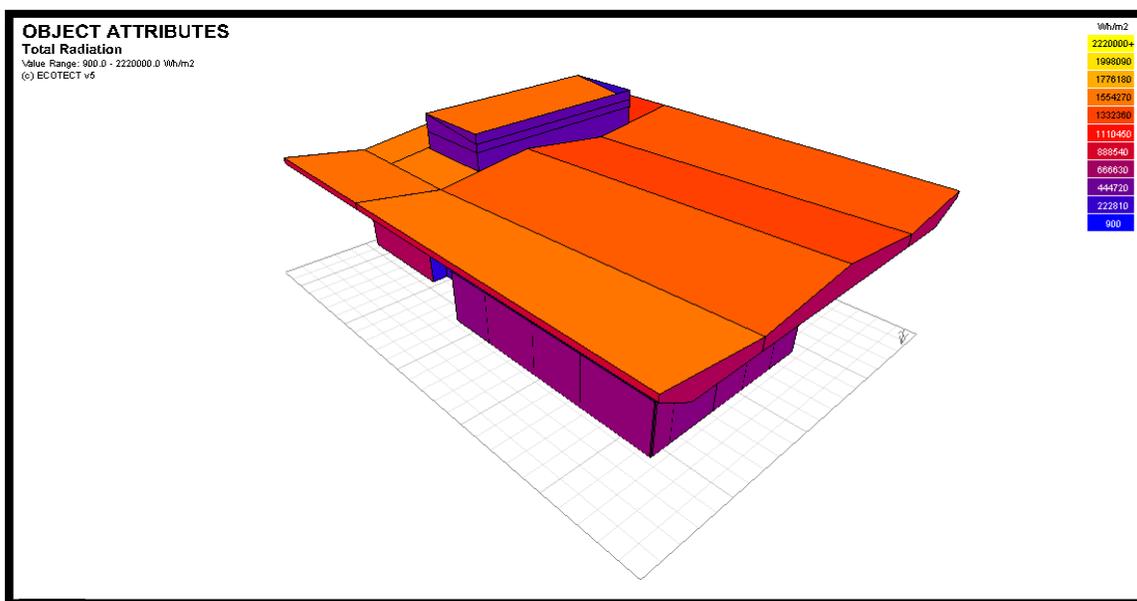


Figura 5.1: Energía por radiación solar acumulada anual en edificio CITEC UBB.

Como se puede apreciar en la figura 5.1 se presenta la energía por radiación solar acumulada anual en las fachadas y techo del edificio.

La energía por radiación solar sobre el techo del edificio tiene un potencial de 1554.2 [kWh/m<sup>2</sup>-año], con lo cual se podría fácilmente suplir las necesidades energéticas de éste.

Sin embargo para dimensionar la cantidad de paneles a seleccionar, se necesitará contabilizar, el rendimiento típico de una planta solar y las pérdidas energéticas, desde que llega la radiación al plano receptor hasta que se inyecta esta energía a la red.

### **5.5 Dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica.**

Para determinar la cantidad de paneles, y la potencia que deben tener estos se deben tener claros los factores que afectan al rendimiento de una instalación solar los cuales son:

- Orientación.
- Inclinación.
- Ventilación de las células solares.
- Sombras permanentes o de paso sobre los módulos.
- Pérdidas eléctricas.

La instalación solar se situara en el techo del edificio, este tiene una leve inclinación por lo tanto los paneles irán con una inclinación de 20° para lograr la máxima captación de la componente horizontal del sol.

Se espera que se pueda satisfacer la potencia instalada total del edificio (7 kW) por lo cual se dispondrán de 25 paneles de aprox. 2 [m<sup>2</sup>] de 310 [Wp] (Watts pico), conectadas en serie, generando un total de 7.75 [kWp].

#### **5.5.1 Pérdidas de energía.**

El tercer factor de la ecuación 5.1 se refiere a las pérdidas ocasionadas por la transformación de la energía del sol a electricidad y también por la pérdida de energía

para la distribución hacia la red, en la tabla 5.1 se puede apreciar como baja la energía suministrada a la red local.

Tabla 5.1: Pérdidas de los paneles solares.

Radiación global incidente sobre el plano receptor 1552.2 kWh/m <sup>2</sup> -año, con superficie neta de 48.51 m <sup>2</sup> Energía total 75297 kWh.	
<b>Pérdidas de conversión</b>	<b>Energía total kWh</b>
Transformación fotovoltaica -81.6%	13855
<b>Pérdidas en el panel</b>	<b>Energía total kWh</b>
Pérdidas por temperatura -7.5%	9297
Pérdidas por suciedad -5.3%	
Pérdida por nivel de Irradiancia -4.2%	
Pérdida por distribución -2.3%	
Pérdida calidad de celda -6.4	
Pérdidas factor sombras -7.2%	
<b>Pérdidas en el inversor</b>	<b>Energía total kWh</b>
Pérdidas por transformación -7.5%	8600
<b>Energía total inyectada a la red</b>	<b>8600</b>

## 5.6 Características de los componentes.

### 5.6.1 Generador solar fotovoltaico.

Se componen por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos, mediante el efecto fotoeléctrico.

Los generadores más conocidos se dividen en 2 tipos: los cristalinos y los amorfos, dentro de los cristalinos se encuentran los monocristalinos y los policristalinos los cuales están formados por silicio cristalizado. Estos paneles son los que presentan un mejor rendimiento en la actualidad acercándose en el mejor de los casos al 20%, luego vienen los amorfos los cuales están formados por silicio no cristalizado, y al contrario de los anteriores su rendimiento es el más bajo,

Por lo general un 10%. Por contraparte se puede decir que son los más baratos en el mercado.

El generador solar seleccionado está compuesto por 25 placas fotovoltaicas de 310 [Wp], marca *SOLAR KHUN* modelo KYL-310P.



Figura 5.2: Panel solar Khun KYL-310P.

Las conexiones de salida llevan incorporados diodos by-pass para protección en caso de mal funcionamiento de una de las placas. Las especificaciones eléctricas para una radiación de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  y  $25^\circ\text{C}$  de temperatura en la célula se muestran en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Especificaciones técnicas del panel solar.

<b>Peak de potencia (Wp)</b>	310
<b>Tensión en peak de potencia (V)</b>	36.3
<b>Intensidad en peak de potencia (A)</b>	8.53
<b>Tensión en vacío (V)</b>	45.6
<b>Intensidad de cortocircuito (A)</b>	8.99

En la tabla 5.3 se puede apreciar las características físicas de las placas.

Tabla 5.3: Características físicas del panel solar.

<b>Largo</b>	1960 (mm)
<b>Ancho</b>	990 (mm)
<b>Profundidad</b>	40 (mm)
<b>Dimensiones de la célula</b>	156x156 (mm)
<b>Células por panel</b>	72
<b>Tipo de conexión</b>	Tipo IV
<b>Peso</b>	22 (Kg)

### 5.6.2 Inversor.

Los paneles solares generan corriente continua, y una tensión que varía entre los 20 a 50 V por ello se necesitan inversores para transformar la corriente continua a corriente alterna, y el voltaje transformarlo a 220 o 380 V.

Dentro de la gama de inversores que ofrece el mercado hay de varios tipos y clasificaciones, están los *on-grid* los cuales funcionan inyectando energía directamente al sistema y los *off-grid* que funcionan almacenando la energía en baterías. El primero por lo general funciona con potencias instaladas más altas que el segundo por lo cual se pueden usar en sistemas trifásicos.

También están las clasificaciones por potencia, se tienen los inversores de baja potencia la cual varía entre 1 y 5 kW. Los de mediana potencia entre 5 y 10 kW. Y los de gran potencia sobre los 10 kW para aplicaciones industriales.

Para la instalación de 7.75 kWp se dispondrá de un inversor *ONGRID SMA TRIPOWER STP-10000*. La elección del inversor se ha sobredimensionado en el caso de futuras ampliaciones de la potencia instalada, además el edificio cuenta con conexión trifásica.



Figura 5.3: Inversor tripower STP-10000

En la tabla 5.4 aparecen sus principales datos técnicos.

Tabla 5.4: Especificaciones técnicas del inversor.

<b>Entrada corriente continua</b>	
<b>Potencia máxima CC (con <math>\cos(\phi)=1</math>)</b>	10250 W
<b>Tensión de entrada máxima</b>	1000 V
<b>Tensión de entrada mínima</b>	150 - 180 V
<b>Corriente máxima de entrada</b>	18 A
<b>Salida corriente alterna</b>	
<b>Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)</b>	10000 W
<b>Tension nominal de CA</b>	3/N/PE; 220/380 V
<b>Corriente máxima de salida</b>	14.5 A
<b>Factor de desfase ajustable</b>	0.8 inductivo y capacitivo

Tabla 5.5: Características físicas del inversor.

Datos generales	
<b>Dimensiones (ancho/alto/fondo)</b>	470/730/240 mm
<b>Peso</b>	37 kg
<b>Rango de temperaturas de funcionamiento</b>	-25°C a 60°C
<b>Emisión sonora</b>	40 dB
<b>Autoconsumo nocturno</b>	1 W

### 5.6.3 Estructura de soporte de los paneles solares.

La estructura de los paneles las proporciona el fabricante siendo de forma triangular con perfiles de aluminio. La sujeción del soporte al techo va con pernos de acero inoxidable para proporcionar una unión más permanente en el tiempo, ya que la vida útil de estos paneles es de 25 años.

El soporte puede resistir cargas de hasta 140 [kg/m<sup>2</sup>] y vientos de 140 [km/hr]. Su aspecto se puede apreciar en la figura 5.4.



Figura 5.4: Soporte de panel solar.

## 5.7 Análisis espacial.

Uno de los factores más determinantes en la generación de energía fotovoltaica es la ubicación física de los paneles, ya que dependiendo de su posición y orientación recibirán más, o menos irradiación del sol, por lo cual si existen sombras permanentes u ocasionales, es importante contabilizarlas para tener un valor más exacto en la generación de energía final. Para esta situación no existen sombras permanentes de parte del edificio, pero sí de las sombras que puede haber entre una fila de paneles y su siguiente.

### 5.7.1 Parámetros de la posición solar.

Para estimar la posición del sol en el horizonte existen 2 tipos de ángulos:

- Azimut: ángulo formado por la proyección de los rayos solares sobre el plano adyacente a la superficie terrestre y el eje que marca el norte geográfico. Por ejemplo el Azimut es de  $0^\circ$  cuando el sol está situado en la parte más alta del día, es decir a las 12 PM. En la figura 5.5 se puede apreciar representado por la letra  $\alpha$ .
- Altitud solar: ángulo formado por los rayos solares incidentes y el plano horizontal. En la figura 5.5 se aprecia representado por la letra  $\phi$

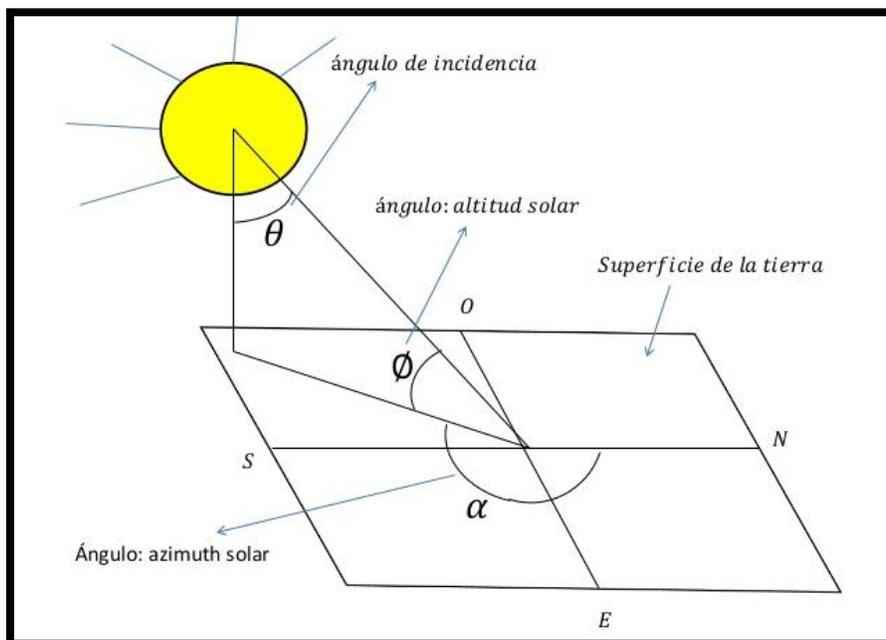


Figura 5.5: Ángulos de la posición del sol.

### 5.7.2 Distancia entre filas de paneles solares.

Para evitar que la sombra de los paneles de la fila delantera cubra a los paneles de la fila trasera es necesario calcular la distancia mínima que deben tener estos en el peor escenario posible. Este escenario ocurre cuando el sol se encuentra en su altura más baja del año.

En la figura 5.6 se puede apreciar la geometría del fenómeno de sombras producidas por el sol en los paneles solares.

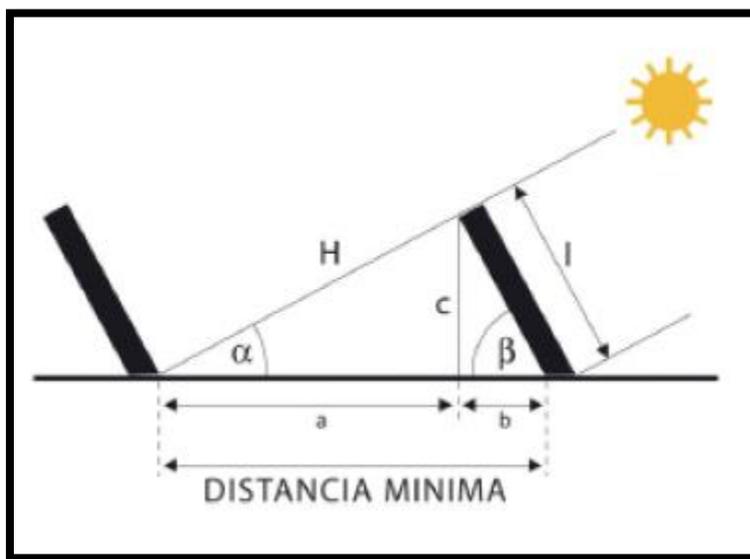


Figura 5.6: Distancia mínima entre filas de paneles.

Donde:

- $A+B$ = Distancia mínima entre fila de paneles.
- $L$ = largo del panel solar.
- $C$ = altura del panel con respecto al suelo.
- $\alpha$ = ángulo del azimut en su parte más baja del año.
- $\beta$ = ángulo de inclinación del panel con respecto al suelo

Por lo tanto se tiene que:

$$\text{Distancia mínima} = A + B \quad (\text{ecuacion 5.3})$$

Por trigonometría resulta lo siguiente:

$$A = \frac{C}{\tan \alpha} \quad (\text{ecuacion 5.4})$$

$$B = L * \cos \beta \quad (\text{ecuacion 5.5})$$

$$C = L * \sin \beta \quad (\text{ecuacion 5.6})$$

Despejando la distancia mínima queda como:

$$\text{Distancia mínima} = \frac{L * \sin \beta}{\tan \alpha} + L * \cos \beta \quad (\text{ecuacion 5.7})$$

El ángulo  $\beta$  Escogido será de  $20^\circ$  ya que los soportes de los paneles los diseñaron ajustables para una inclinación de  $20, 25$  o  $30^\circ$ .

Para determinar el ángulo  $\alpha$  se recurrirá al *Sun-path diagram* de *Autodesk Ecotect Analisis* en el cual se calcula dependiendo de la posición geográfica del proyecto, cuál será el ángulo de altitud del sol más bajo del año y por ende donde la sombra proyectada sea la mayor.

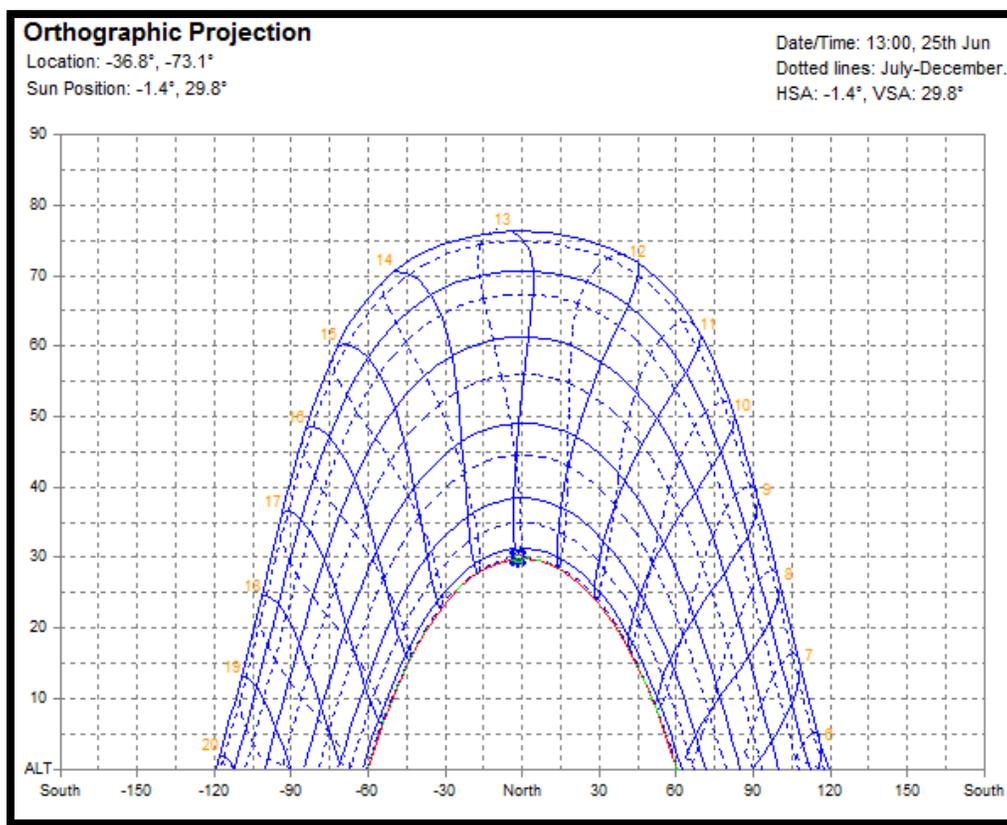


Figura 5.7: Trayectoria solar calculada por Autodesk Ecotect Analisis.

De acuerdo con el punto azul de la figura 5.7 el ángulo de altitud  $\alpha$  más bajo del año es de  $29.8^\circ$  que corresponde al día 25 de junio, coincidente con el solsticio de invierno en el hemisferio sur.

Una vez determinado el ángulo  $\alpha$  y  $\beta$  se procede a determinar la distancia mínima entre filas de los paneles solares.

A continuación se presenta una tabla resumen con todas las dimensiones señaladas en la figura 5.6.

Tabla 5.6: Resumen ubicación de paneles sobre techo.

<b>Distancia</b>	<b>Magnitud</b>
Ángulo $\alpha$	$29.8^\circ$
Ángulo $\beta$	$20^\circ$
Altura del panel con respecto al suelo C	0.68 m
Distancia mínima A+B	3.06 m
Superficie neta de paneles fotovoltaicos	$49 \text{ m}^2$
Superficie de techo ocupada por paneles fotovoltaicos	$161 \text{ m}^2$
Porcentaje de área ocupada por paneles fotovoltaicos	37 %

En la figura 5.8 se muestra un esquema global de la distribución de los paneles fotovoltaicos considerando el análisis espacial producto de las sombras permanentes u ocasionales elaborado en la tabla 5.6, cabe destacar que para este análisis se consideró el día 25 de junio a las 17 horas.

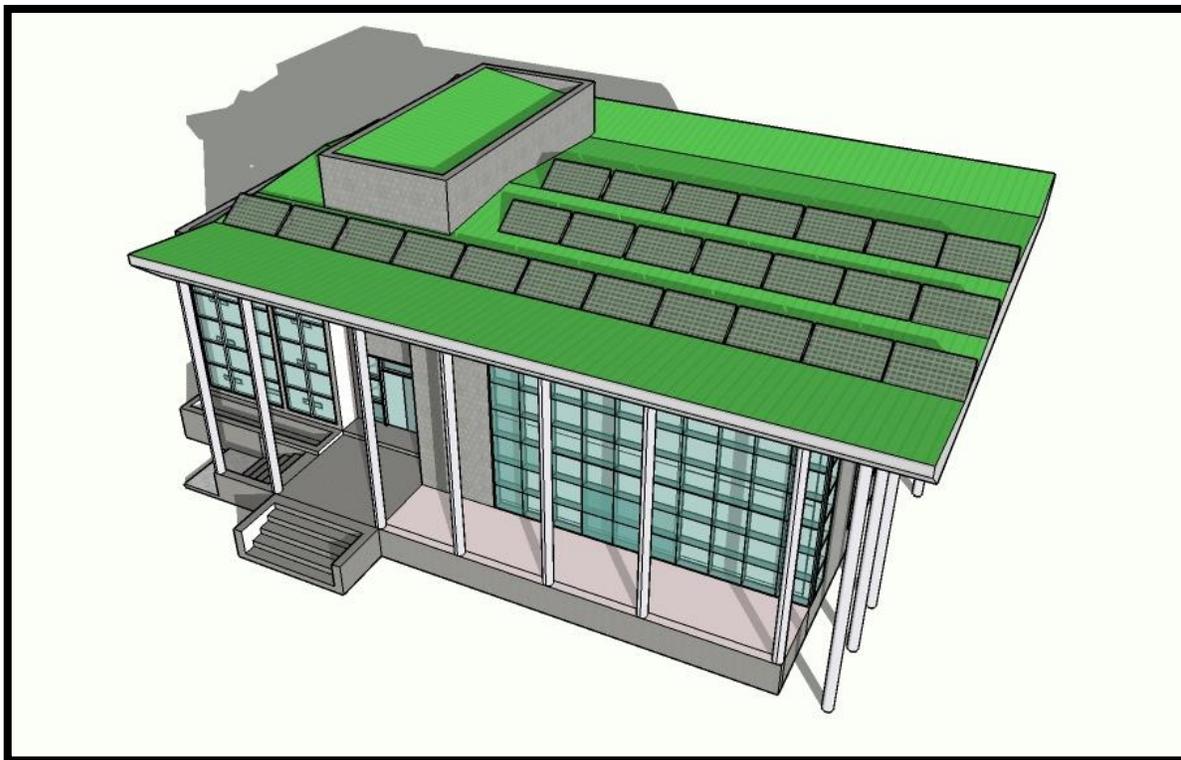


Figura 5.8: Distribución de paneles fotovoltaicos mediante software de modelado Sketchup.

## 5.8 Análisis económico de propuesta.

### 5.8.1 costo inversión.

Tabla 5.7: Cotización de instalación paneles solares.

Descripción	Precio	Cantidad	Subtotal
Paneles Fotovoltaico monocristalino <i>Solar Khun</i> modelo <i>PS-310MJ</i> .	\$148.840	25	\$3.721.000
Estructura para paneles solares con base triangular regulable (capacidad para 4 paneles).	\$177.145	6	\$1.062.870
Estructura de panel solar fija	\$27.250	1	\$27.250
Inversor <i>ONGRID SMA TRIPOWER STP-10000</i>	\$ 2.807.041	1	\$2.807.041
Instalación y puesta en marcha	\$1.460.190	1	\$1.460.190
<b>Total</b>			<b>\$9.078.351</b>

**Nota: Valores de productos con IVA incluido. Fuente: www.kuhn.cl**

### 5.8.2 Período de recuperación de la inversión.

El período de recuperación es vital al hacer un análisis económico, ya que se determina en cuanto tiempo se recupera la inversión, y por ende si es viable o no.

Por esta razón es que en la tabla 5.8 se muestran los costos de la tarifa que tiene la universidad, la cual es la CGE 3 sector 1 aéreo tarifa AT 4.3, con el fin de determinar el ahorro energético.

Tabla 5.8: Tarifa AT 4.3.

<b>Cargo fijo AT 4.3 (\$/cliente)</b>	<b>Cargo único por uso de sistema troncal (\$/kWh)</b>	<b>Energía (\$/kWh)</b>
1.494,00	1,479	80,987

Tabla 5.9: Periodo de recuperación de inversión.

<b>Potencia de la instalación fotovoltaica</b>	7.75 kWp
<b>Producción de energía anual</b>	8600 kWh
<b>Ahorro de energía anual</b>	\$ 696.488
<b>Costo de la instalación</b>	\$ 9.078.351
<b>Periodo de recuperación</b>	<b>13 años</b>
<b>Vida útil de los paneles solares</b>	25 años
<b>Rentabilidad del proyecto</b>	<b>\$ 8.357.856 (92% de la inversión)</b>

De la tabla 5.9 se puede concluir que el periodo de recuperación es relativamente largo, esto se debe principalmente a que la universidad paga un precio bajo de energía (80,9 pesos por kWh) a comparación de los hogares comunes que pagan alrededor de 126 pesos por kWh.

Pese a esto el proyecto arroja números positivos dejando una rentabilidad al término de este de aproximadamente 8.3 millones de pesos.

### 5.8.3 Período de recuperación de la inversión con tarifa residencial.

Como se comentó anteriormente, la universidad, paga un precio bajo de energía por poseer una tarifa de tipo industrial, por esta razón es que el periodo de recuperación es relativamente largo, en comparación con proyectos residenciales de este tipo en que la media no supera los 10 años de recuperación de la inversión. A continuación se presenta la tabla 5.10 en donde se estima el periodo de recuperación en el supuesto caso que el CITEC se encontrara fuera de la universidad y pagara una tarifa residencial.

Tabla 5.10: Período de recuperación con tarifa residencial.

<b>Potencia de la instalación fotovoltaica</b>	7.75 kWp
<b>Producción de energía anual</b>	8600 kWh
<b>Ahorro de energía anual</b>	\$ 1.083.600
<b>Costo de la instalación</b>	\$ 9.051.101
<b>Periodo de recuperación</b>	<b>8.35 años</b>
<b>Vida útil de los paneles solares</b>	25 años
<b>Rentabilidad del proyecto</b>	<b>\$ 18.041.940 (199% de la inversión)</b>

Como se puede apreciar de la tabla 5.10 el periodo de recuperación de la inversión baja drásticamente, ya que el ingreso por ahorro de energía eléctrica aumenta prácticamente al doble, que en el caso anterior.

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.**

De acuerdo a la evaluación energética realizada en el estudio se obtuvieron bajos valores de transmitancia térmica en muros, techos, ventanales y suelos, con lo cual se confirmó una muy buena envolvente, que le permite al edificio tener bajos consumos energéticos por climatización. Se concluyó que el consumo anual por concepto de climatización que representa el 53% del total fue de 17 [kWh/m<sup>2</sup>-año], indicador que da cuenta que el edificio posee una alta eficiencia energética. Una edificación comparable tradicional en Concepción, demanda entre 80 y 180 [kWh/m<sup>2</sup>-año].

Con respecto al análisis de ganancias y pérdidas térmicas entregado por el software se puede decir que entre el periodo de marzo a octubre las mayores pérdidas porcentuales, a pesar de ser pequeñas en magnitud, ocurren por conducción y convección, ya que el CITEC UBB dispone de una muy buena envolvente. Para la condición de verano que se estima entre, noviembre a febrero las mayores ganancias ocurren por efecto de la radiación directa y difusa del sol dado que el edificio tiene una importante área de superficies transparentes. Cabe destacar que el cálculo de las ganancias y pérdidas térmicas arrojaron valores muy cercanos en ambos métodos utilizados en el trabajo, a excepción de la ganancia interna que en el método manual fue un poco menos del doble que el método por software, esta variación se debió a que el criterio ocupado en el cálculo de la ganancia interna del método manual, no se considera el tiempo de funcionamiento, sino la potencia en sí, lo que causa una distorsión en la distribución del total, que según mi parecer lo corrige Autodesk Ecotect Analysis en su algoritmo.

El consumo de energía anual por calefacción calculada a través del método de los grados-día (método manual) fue de 4.587 [kWh/año], siendo muy concordantes con el determinado a través del software, el cual fue de 4.522 [kWh/año], concluyendo de esta manera una confiable información entregada por este.

Del análisis solar se puede extraer que el área que recibe más radiación del sol es el techo del edificio, seguido por las fachadas norte, este y oeste. Esto se puede explicar porque son los sectores que tienen un mayor contacto de luz solar directa, durante el día. Por lo cual se concluye que la orientación del muro trombe es la correcta ya que maximiza su funcionamiento de calefacción.

Con los resultados obtenidos por el software Autodesk Ecotect Analisis en cuanto a una buena radiación solar anual acumulada en el techo del edificio y teniendo presente que el edificio ya es eficiente en cuanto a su funcionamiento en climatización, se planteó la propuesta de una reducción del 50% del consumo eléctrico del edificio a través de una instalación solar de 7.75 [kWp] ubicada en el techo.

Este proyecto se espera que produzca 8600 [kWh] anuales, Teniendo 25 años de vida útil, generando un ahorro anual por concepto de factura de energía eléctrica de aproximadamente \$ 696.488 pesos.

El tiempo de recuperación del proyecto es relativamente largo teniendo un aproximado de 13 años, en donde la media es 10 años. Esto se debe particularmente a que el valor que cancela la universidad es 45 pesos menos por kWh, que la tarifa convencional ya que posee una tarifa AT 4.3 que es de tipo industrial. Si este edificio no se encontrara con esta tarifa industrial y contara con una tarifa convencional el ahorro por energía eléctrica sería prácticamente el doble llegando a un periodo de recuperación de 8.35 años.

A pesar de que el periodo de recuperación es relativamente largo el proyecto arroja números positivos, ya que después del año 13 comienza a rentar utilidades llegando al año 25 a un total de \$ 8.357.856 pesos, es decir el 92% de la inversión inicial.

Se concluye que es ventajoso la implementación del proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Cerda Miskulini Luis. (2015) Apuntes transferencia de calor. Escuela ing. Mecánica UBB.
2. Herrera Gastón. (2007) Curso de Autodesk Ecotect Analisis Archisoft.
3. Riofrio Herrera Juan Carlos. (2014) Manual Sketchup Pro. Universidad Politécnica Salesiana.
4. Bobadilla, Veas, Pascual, Gonzalez. (2012) Manual de gestión de la energía en edificios públicos. Proyecto Innova Chile Código: 09CN14-5706.
5. Carrier Air Conditionig Company (1999).MC Graw Hill.
6. Agencia chilena de eficiencia energética.
7. CURSO de Formación Energía Solar Fotovoltaica.(2012) ICAEN L'Institut Català d'Energia.
8. Explorador solar para el autoconsumo. (2016). Ministerio de energía. Chile.
9. Productos Khun (2017). <http://www.kuhn.cl/webstor>

**ANEXOS.****Anexo A-1: Tabla de temperaturas exteriores de cálculo, según norma Nch 1078.c73.**

A- 23 -

**NCh1078.c73****Temperatura exterior de cálculo de ciudades del país**

Lugar	Latitud S	Zona climática	Temperatura ext. de cálculo °C
Achao	42° 28'	F	5
Aisén	45° 24'	D	1
Algarrobo	33° 22'	F	7
Ancud	41° 52'	F	5
Angol	37° 48'	E	3
Antofagasta	23° 42'	F	9
Arica	18° 28'	F	13
Clama	22° 27'	F	5
Cladera	27° 03'	F	9
Cartagena	33° 33'	F	7
Castro	42° 29'	F	5
Cauquenes	35° 58'	E	3
Coyaique	45° 34'	B	-3
Combarbalá	31° 11'	E	3
Concepción	36° 50'	F	5
Constitución	35° 20'	F	5
Copiapó	27° 21'	F	7
Coquimbo	29° 56'	F	7
Coronel	37° 01'	F	5
Curacautín	38° 26'	D	1
Curicó	34° 59'	E	3
Chaitén	42° 54'	E	3
Chañaral	26° 20'	F	9
Chile chico	46° 34'	B	-3
Chillán	36° 36'	E	3
Huasco	28° 27'	F	9
Illapel	31° 37'	F	5
Iquique	20° 12'	F	11
Islas Juan F ernandez	33° 37'	F	9
La Calera	32° 48'	E	3
La ligua	32° 27'	F	7
La Serena	29° 55'	F	7
La Unión	40° 15'	E	3
Lautaro	38° 33'	E	3
Lebu	37° 37'	F	5
Limache	33° 01'	F	5
Linares	35° 51'	E	3
Loncoche	39° 23'	E	3
Lonquimay	38° 26'	B	-3

Lugar	Latitud S	Zona climatica	Temperatura ext. de cálculo °C
Los Andes	32° 50'	D	1
Los Angeles	37° 28'	E	3
Los Vilos	31° 54'	F	7
Lota	37° 05'	F	5
Lolleo	33° 38'	F	7
Melipilla	33° 42'	E	3
Molina	35° 05'	D	1
Navarino	55° 10'	C	-1
Nieva Imperial	38° 43'	E	3
Olmué	33° 00'	F	5
Osorno	40° 35'	E	3
Ovalle	30° 36'	F	5
Palena	43° 38'	C	-1
Panguipulli	39° 41'	D	1
Panimávida	35° 45'	E	3
Papudo	32° 30'	F	7
Parral	36° 09'	E	3
Pichidangui	32° 07'	F	7
Pichilemu	34° 24'	F	5
Pisagua	19° 34'	F	11
Pitrufquén	38° 59'	E	3
Potrerillos	26° 30'	F	5
Pucón	39° 16'	D	1
Puerto Montt	41° 28'	E	3
Puerto Natales	51° 44'	B	-3
Puerto varas	41° 20'	E	3
Punta Arenas	53° 10'	C	-1
Quilpué	33° 04'	F	5
Quillota	32° 54'	F	5
Quintero	32° 47'	F	7
Rancagua	34° 10'	D	1
Rengo	34° 25'	E	3
San Antonio	33° 34'	F	7
San Felipe	32° 45'	E	3
San Fernando	34° 35'	E	3
San José de Maipo	33° 39'	D	1
Santiago	33° 27'	E	3
Santo Domingo	33° 39'	F	7
Talagante	33° 40'	F	5

Lugar	Latitud S	Zona climatica	Temperatura ext. de cálculo °C
Talca	35° 26'	E	3
Talcahuano	36° 43'	F	5
Taltal	25° 22'	F	9
Temuco	38° 45'	E	3
Tocopilla	22° 06'	F	11
Tomé	36° 37'	F	5
Traiguén	38° 15'	E	3
Valdivia	39° 48'	E	3
Valparaíso	33° 02'	F	7
Vallenar	28° 34'	F	5
Victoria	38° 14'	E	3
Vicuña	30° 02'	F	5
Villa Alemana	33° 04'	F	5
Villarrica	39° 17'	C	1
Viña del Mar	33° 01'	F	7
Yumbel	37° 09'	E	3
Zapallar	32° 32'	F	7

**Anexo A-2: Tabla de temperaturas de locales no calefaccionados, según norma Nch 1078.c73.**

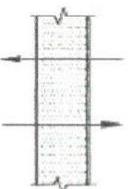
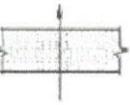
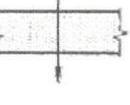
**Nch1078.c73  
Tabla 3  
Temperatura de locales no calefaccionados**

Local	Temperatura exterior de cálculo				
	+3	+1	-1	-3	-5
Local no calefaccionado, rodeado de otro calefaccionado.	12	11	10	9	8
Sotanos no calefaccionados	13	12	11	11	10
Terreno debajo del suelo del sótano	12	11	10	10	9
Suelo a nivel del terreno	8	6	5	3	2
Atico no calefaccionado, inmediatamente debajo del tejado provisto de aislación térmica.	13	12	11	11	10
Atico no calefaccionado, inmediatamente debajo del tejado sin protección térmica.	8	6	4	2	0
Local auxiliar comunicado directamente con el aire exterior.	6	4	2	0	-2

**Anexo A-3: Tabla de resistencia a la convección interior, según norma Nch 853-2007.**

En Tabla 2 se dan los valores  $R_{si}$ ,  $R_{se}$  y  $(R_{si} + R_{se})$  que se deben considerar para los cálculos señalados en esta norma, según el sentido del flujo de calor, la posición y situación del elemento separador y la velocidad del viento.

Tabla 2

Resistencias térmicas de superficie en m <sup>2</sup> x K/W							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

NOTAS

- 1) Estos valores se han obtenido experimentalmente por el método de NCh851.
- 2) Los valores de esta tabla corresponden a velocidades del viento en el exterior menores que 10 km/h. Para velocidades superiores se debe considerar  $R_{se} = 0$ .
- 3) Bajo condiciones de pérdidas térmicas por parte del local (invierno), en general, el flujo de calor es ascendente a través de techumbres y descendente a través de los pisos.
- 4) Bajo condiciones de ganancias térmicas por parte del local (verano), en general, el flujo de calor es ascendente a través de los pisos y descendente a través de las techumbres.

**Anexo A-4: Tabla de conductividad térmica y densidad aparente de materiales constructivos, según la norma Nch 853-2007.**

Material	Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, λ W/(m x K)
Agua líquida a 0°C	1 000	0,59
Agua líquida a 94°C	1 000	0,69
Aire quieto a 0°C	0,0012	0,024
Aire quieto a 100°C	-	0,031
Adobe	1 100 - 1 800	0,90
Aluminio	2 700	210
Arcilla	2 100	0,93
Arcilla expandida	300	0,09
Arcilla expandida	450	0,11
Arena	1 500	0,58
Asemín de madera	190	0,06
Asfaltos	1 700	0,7
Azulejos	-	1,05
Baldosas cerámicas	-	1,75
Betón	1 050	0,16
Bronce	8 500	64
Cascote de ladrillo	1 300	0,41
Capotillo de arroz	117	0,06
Cebada	470	0,07
Cobre	8 930	380
Escorias	800	0,25
	1 000	0,29
	1 200	0,34
	1 400	0,41
Enlucido de yeso	800	0,35
	1 000	0,44
	1 200	0,56
Enlucido de yeso con perlita	570	0,18
Fibro-cemento	920	0,22
	1 000	0,23
	1 135	0,23
Fundición y acero	7 850	58
Grava rodada o de machaqueo	1 700	0,81
Hormigón armado (normal)	2 400	1,63
Hormigón con áridos ligeros	1 000	0,33

Material	Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $\lambda$ W/(m x K)
Hormigón con áridos ligeros	1 400	0,55
Hormigón celular con áridos silíceos	600	0,34
Hormigón celular con áridos silíceos	1 000	0,67
Hormigón celular con áridos silíceos	1 400	1,09
Hormigón celular sin áridos	305	0,09
Hormigón en masa con grava normal:		
- con áridos ligeros	1 600	0,73
- con áridos ordinarios, sin vibrar	2 000	1,16
- con áridos ordinarios, vibrados	2 400	1,63
Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,12
Hormigón en masa con arcilla expandida	1 500	0,55
Hormigón con cenizas	1 000	0,41
Hormigón con escorias de altos hornos	600	0,17
	800	0,22
	1 000	0,30
Hormigón normal, con áridos silíceos	600	0,34
	800	0,49
	1 000	0,67
Hormigón de viruta de madera	450 - 650	0,26
Hormigón de fibras de madera	300 - 400	0,12
	400 - 500	0,14
	500 - 600	0,16
Hormigón liviano a base de cascanilla de arroz	570	0,128
	780	0,186
	850	0,209
	1 200	0,326
Hormigón liviano a base de poliestireno expandido	260	0,088
	320	0,105
	430	0,134
	640	0,214
	840	0,269
	1 100	0,387
Ladrillo macizo hecho a máquina	1 000	0,46
	1 200	0,52
	1 400	0,60
	1 800	0,79
	2 000	1,0

Material	Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $\lambda$ W/(m x K)
Ladrillo hecho a mano	-	0,5
Láminas bituminosas	1 100	0,19
Lana de amianto	100	0,061
	200	0,063
	400	0,12
Lana mineral, cojchoneta libre	40	0,042
	50	0,041
	70	0,038
	90	0,037
	110	0,040
	120	0,042
Lana mineral granulada	20	0,069
	30	0,060
	40	0,055
	60	0,048
	80	0,044
	100	0,041
	120	0,042
	140	0,042
Lindero	1 200	0,19
Maderas		
- alamo	380	0,091
- alerce	560	0,134
- coigue	670	0,145
- lingue	640	0,136
- pino insigne	410	0,104
- raulí	580	0,121
- roble	800	0,157
Maderas, tableros aglomerados de partículas	400	0,095
	420	0,094
	460	0,098
	560	0,102
	600	0,103
	620	0,105
	650	0,106
Maderas, tableros de fibra	850	0,23
	930	0,26
	1 030	0,28
Mármol	2 500 - 2 850	2,0 - 3,5

Material	Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, $\lambda$ W/(m x K)
Moquetas, alfombras	1 000	0,05
Morteros de cal y bastardos	1 600	0,87
Mortero de cemento	2 000	1,40
Papel	1 000	0,13
Perlita expandida	90	0,050
Plancha de corcho	100	0,040
	200	0,047
	300	0,058
	400	0,066
	500	0,074
Plomo	11 300	35
Poliestireno expandido	10	0,0430
	15	0,0413
	20	0,0384
	30	0,0361
Poliuretano expandido	25	0,0272
	30	0,0262
	40	0,0250
	45	0,0245
	60	0,0254
Productos minerales en polvo (kieselgur, polvo mineral)	70	0,0274
	200	0,08
	400	0,12
	600	0,16
	800	0,21
	1 000	0,27
	1 200	0,34
1 400	0,40	
Rocas compactadas	2 500 - 3 000	3,50
Rocas porosas	1 700 - 2 500	2,33
Vermiculita en partículas	99	0,047
Vermiculita expandida	100	0,070
Vidrio plano	2 500	1,2
Yeso-cartón	650	0,24
	700	0,26
	870	0,31

**Anexo A-5: Tabla de resistencias térmicas para espacios no ventilados (cámaras de aire) verticales y flujo de calor horizontal, según norma Nch 853-of71.**

NCh853.EOF71 24.

**TABLA 4 (ver Nota 7)**  
RESISTENCIA TÉRMICA VÁLIDA POR UNIDAD DE SUPERFICIE,  $R_a$ , DE ESPACIOS NO VENTILADOS (CÁMARAS DE AIRE) VERTICALES; (flujo térmico horizontal)

Espesor del espacio (e) mm	Factor $a'$			
	0,62	0,20	0,1	0,05
Resistencia térmica válida, $R_a, m^2.K/w$				
5	0,105	0,17	0,20	0,20
10	0,14	0,28	0,32	0,38
15	0,155	0,35	0,43	0,51
20	0,165	0,37	0,45	0,55
25	0,165	0,37	0,46	0,55
30	0,16	0,35	0,45	0,53
35	0,155	0,35	0,44	0,51
$e \geq 40$	0,155 - 0,2	0,35	0,43	0,50

Nota 7 - Las Tablas 4.5 y 6 indican la resistencia térmica,  $R_a$ , válida de espacios continuos no ventilados (cámaras de aire) en función de los parámetros siguientes:  
 a) sentido de flujo térmico  
 b) espesor del espacio (de la cámara de aire)  
 c) factor  $a'$ , dado por la fórmula:

$$\frac{1}{a'} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} - 1$$

en que:  
 $a_1, a_2$  = absorptividades de las superficies en contacto con el espacio considerado.  
 $a = 0,9$  superficie de albañilería, maderas, papel, vidrio o pinturas no metálicas.  
 $a = 0,2$  superficie de papel de aluminio, fierro galvanizado brillante.  
 $a = 0,05$  superficie de lámina de aluminio brillante.  
 Se distinguen los 4 casos característicos siguientes:  
 a) Caso general:  $a_1 = a_2 = 0,9$  de donde:  $a' = 0,62$   
 b) Una superficie absorbe poco:  $a_1 = 0,2; a_2 = 0,9$ , de donde:  $a' = 0,20$   
 c) Ambas superficies absorben poco:  $a_1 = a_2 = 0,2$ , de donde:  $a' = 0,11$ .  
 d) Una absorbe muy poco:  $a_1 = 0,05; a_2 = 0,9$ , de donde:  $a' = 0,05$ .

**Anexo A-6: Tabla de valores N°RH para el cálculo de aire infiltrado.**

CLASE DE HABITACIÓN O EDIFICIO	N° renovaciones hora N°RH
Habitaciones sin ventanas exteriores	0,5
Habitaciones con ventanas o puertas exteriores por 1 lado	0,5 - 1,0
Habitaciones con ventanas o puertas exteriores en 2 lados	1,0 - 1,5
Habitaciones con ventanas o puertas exteriores en 3 lados	1,5 - 2,0
Recibidores de entrada o Hall	≈ 2,0

**Anexo A-7: Tabla de valores de suplemento S<sub>o</sub>, según norma Nch 1078.c73.**

NCh1078.c73

**Tabla 6  
Suplemento S<sub>o</sub>.**

Modo del servicio de calefacción	Valores del suplemento S <sub>o</sub>			
	Permeabilidad térmica media, P <sub>m</sub> , W/(m <sup>2</sup> K)			
	0,11 a 0,34	0,35 a 0,81	0,82 a 1,74	> 1,75
1.- Reducción de la potencia durante la noche	0,07	0,07	0,07	0,07
2.- Interrupción durante 9 a 12 h.	0,20	0,15	0,15	0,15
3.- Interrupción durante 12 a 16 h.	0,30	0,25	0,20	0,15

**Anexo A-8: Tabla de valores de suplemento  $S_1$ , según norma Nch 1078.c73.**

Orientación	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Suplemento $S_1$	-0,05	-0,05	0	+0,05	+0,05	+0,05	0	-0,05

**Anexo A-9: Tabla de valores del factor R, según norma Nch 1078.c73.**

NCh1078.c73

**Tabla 9**  
**Factor característico de local, locales con ventanas y puertas normales**

Ventanas de	Puertas interiores		R
	no hermáticas	herméticas	
madera y material sintético	$\frac{A_v}{A_p} < 3$ *)	$\frac{A_v}{A_p} < 1,5$ *)	0,9
	$3 \leq \frac{A_v}{A_p} \leq 9$ *)	$1,5 \leq \frac{A_v}{A_p} \leq 3$ *)	0,7
metal	$\frac{A_v}{A_p} < 6$ *)	$\frac{A_v}{A_p} < 2,5$ *)	0,9
	$6 \leq \frac{A_v}{A_p} \leq 20$	$2,5 \leq \frac{A_v}{A_p} \leq 6$	0,7

\*)  $A_v$ : superficie, m<sup>2</sup>, de ventanas exteriores

\*)  $A_p$ : superficie, m<sup>2</sup>, de puertas interiores.

**Anexo A-10: Tabla de valores del factor H, según norma 1078.c73.**

NCh1078.c73

**Tabla 10**  
**Factor cracteristico de casa H**

Localidad	situación	casa de fila *)	Casa independiente
Normal	Protegida	0,24	0,34
	Despejada	0,41	0,58
	Extraordinariamente despejada	0,60	0,84
De vientos intensos	Protejida	0,41	0,58
	Despejada	0,60	0,84
	Extraordinariamente despejada	0,82	1,13

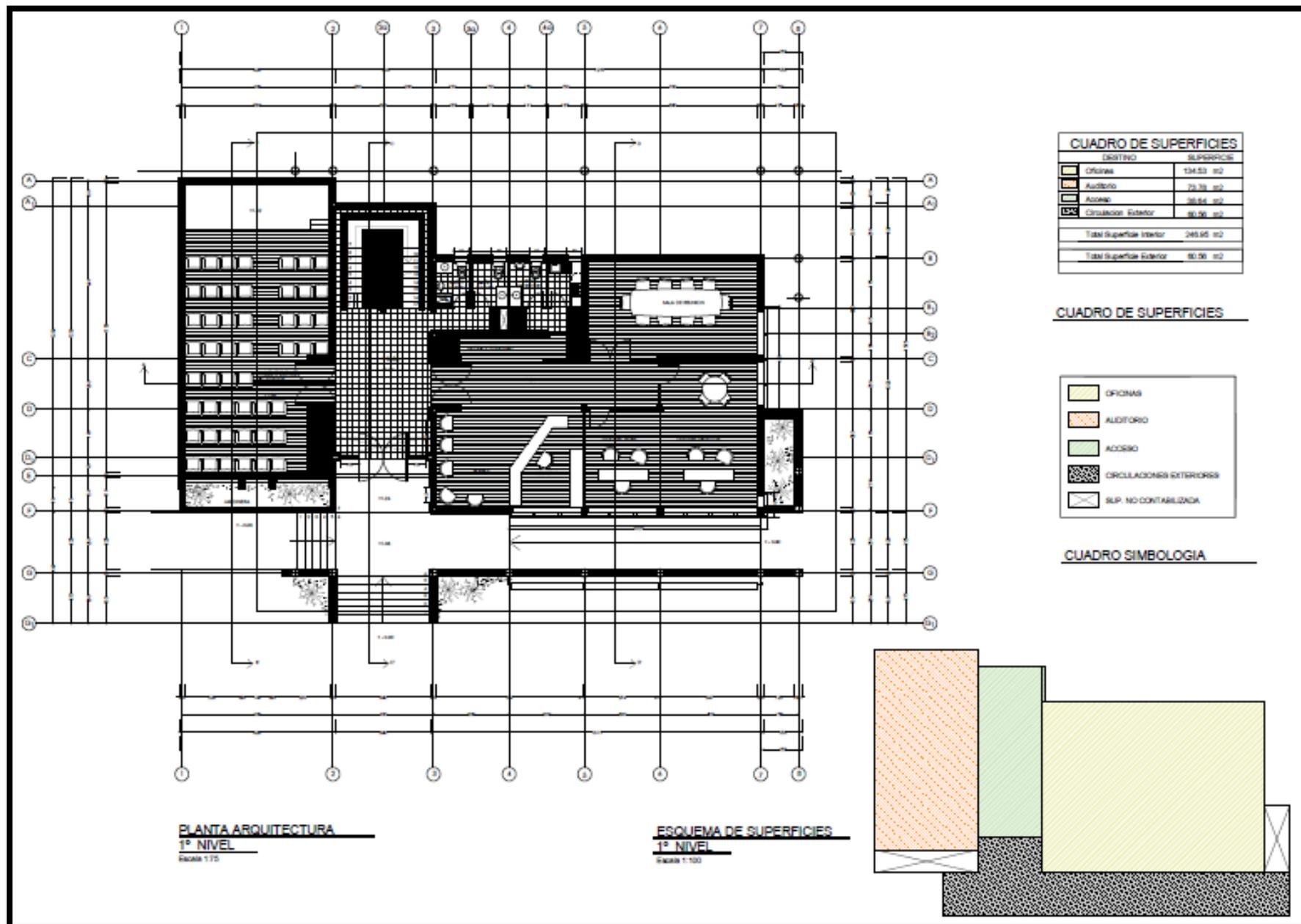
\*) además , las casa con varias viviendas, los grupos de locales , viviendas de esquina de dichas casa y las casas pareadas.

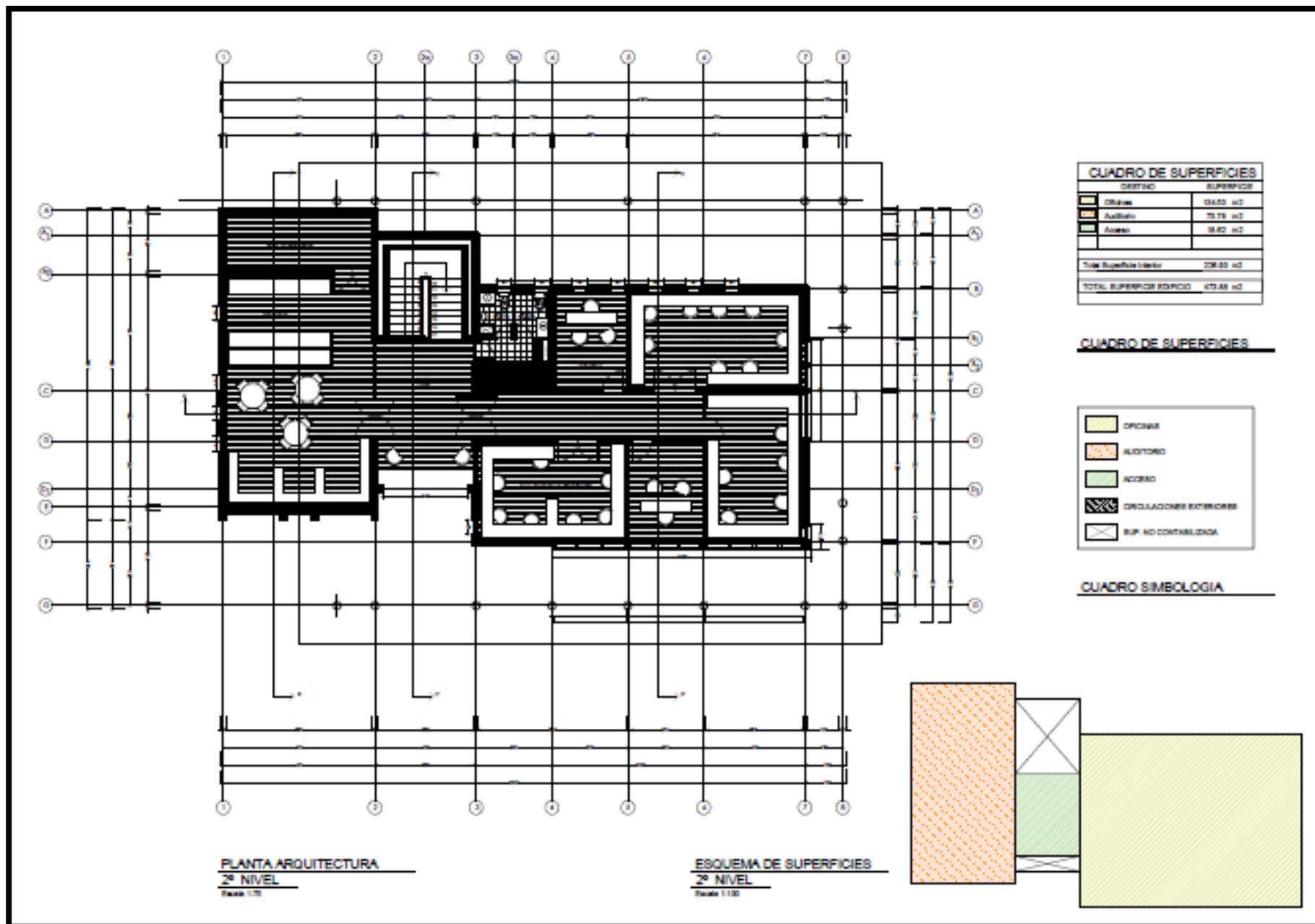
**Anexo A-11: Tabla de transmitancia térmica lineal, según resistencia térmica total medidos en [m<sup>2</sup>-°C/W].**

Tabla 4 - Transmitancia térmica lineal, según aislación del piso considerado

Aislación del piso o radier	Resistencia térmica total, $R_T$ m <sup>2</sup> x °C/W	Transmitancia térmica lineal, $K_L$ W/(m x K)
Corriente	0,15 - 0,25	1,4
Medianamente aislado	0,26 - 0,60	1,2
Aislado	> 0,60	1,0

Anexo A-12: Áreas y volúmenes del edificio.





**Anexo B-1: Tabla de corrección de las diferencias equivalentes de temperatura (a)**

**TABLA 20 A. CORRECCIONES DE LAS DIFERENCIAS EQUIVALENTES DE TEMPERATURA (°C)**

Temperatura exterior a las 15 h para el mes considerado menos temperatura interior	VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EXTERIOR EN 24 h																	
	5	6	7	8	9	-10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
-16	-21,2	-21,7	-22,3	-22,8	-23,3	-23,8	-24,2	-24,7	-25,1	-25,6	-26,0	-26,5	-27,0	-27,4	-27,9	-28,8	-29,3	-29,8
-12	-17,2	-17,7	-18,3	-18,8	-19,3	-19,8	-20,2	-20,7	-21,1	-21,6	-22,0	-22,5	-23,0	-23,4	-23,9	-24,8	-25,3	-25,8
-8	-13,2	-13,7	-14,3	-14,8	-15,3	-15,8	-16,2	-16,7	-17,1	-17,6	-18,0	-18,5	-19,0	-19,4	-19,9	-20,8	-21,3	-21,8
-4	-9,2	-9,7	-10,3	-10,8	-11,3	-11,8	-12,2	-12,7	-13,1	-13,6	-14,0	-14,5	-15,0	-15,4	-15,9	-16,8	-17,3	-17,8
0	-5,0	-5,5	-6,1	-6,6	-7,1	-7,6	-8,0	-8,5	-8,9	-9,4	-9,8	-10,3	-10,8	-11,2	-11,7	-12,6	-13,1	-13,6
+2	-3,1	-3,6	-4,2	-4,7	-5,2	-5,6	-6,1	-6,6	-7,0	-7,5	-7,9	-8,4	-8,9	-9,3	-9,8	-10,6	-11,1	-11,7
+4	-1,1	-1,6	-2,2	-2,7	-3,2	-3,6	-4,1	-4,6	-5,0	-5,5	-5,9	-6,4	-6,9	-7,3	-7,8	-8,6	-9,1	-9,7
+6	0,8	0,3	-0,3	-0,8	-1,3	-1,7	-2,2	-2,7	-3,1	-3,6	-4,0	-4,5	-5,0	-5,4	-5,9	-6,7	-7,2	-7,8
+8	2,8	2,3	1,7	1,2	0,7	0,3	0	-0,7	-1,1	-1,6	-2,0	-2,5	-3,0	-3,4	-3,9	-4,7	-5,2	-5,8
+10	4,7	4,2	3,6	3,1	2,6	2,2	1,7	1,2	0,8	0,3	-0,1	-0,6	-1,1	-1,5	-2,0	-2,8	-3,3	-3,9
+12	6,8	6,3	5,7	5,2	4,7	4,3	3,8	3,3	2,9	2,4	1,8	1,3	0,8	0,4	-0,1	-0,7	-1,2	-1,8
+14	8,8	8,3	7,7	7,2	6,7	6,3	5,8	5,3	4,9	4,4	3,8	3,3	2,8	2,4	1,9	1,3	0,8	0,2
+16	10,8	10,3	9,7	9,2	8,7	8,3	7,8	7,3	6,9	6,4	5,8	5,3	4,8	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2
+18	12,8	12,3	11,7	11,2	10,7	10,3	9,8	9,3	8,9	8,4	7,8	7,3	6,8	6,4	5,9	5,3	4,8	4,2
+20	14,8	14,3	13,7	13,2	12,7	12,3	11,8	11,3	10,9	10,4	9,8	9,3	8,8	8,4	7,9	7,3	6,8	6,2
+22	16,9	16,4	15,8	15,3	14,8	14,4	13,9	13,4	13,0	12,5	11,9	11,4	10,9	10,5	10,0	9,4	8,9	8,3

**Anexo B-2: Tabla equivalente de temperaturas para muros soleados o en sombra ( $\Delta t_{es}$  y  $\Delta t_{em}$ ).**

**TABLA 19. DIFERENCIA EQUIVALENTE DE TEMPERATURA (°C)**

Muros soleados o en sombra\*

Valedero para muros de color oscuro, 35 °C de temperatura exterior, 27 °C de temperatura interior, 11 °C de variación de la temperatura exterior en 24 h. mes de Julio y 40° de latitud Norte\*\*

ORIENTACIÓN	PESO DEL MURO *** (kg/m²)	HORA SOLAR																							
		MAÑANA												TARDE										MAÑANA	
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
NE	100	2,8	8,3	12,2	12,8	13,3	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1
	300	-0,5	-1,1	-1,1	2,8	13,3	12,2	11,1	8,3	5,5	6,1	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5
	500	2,2	1,7	2,2	2,2	2,2	5,5	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	6,1	6,7	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8	2,8	
	700	2,8	2,8	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	5,5	7,8	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	3,9
E	100	0,5	9,4	16,7	18,3	20,0	19,4	17,8	11,1	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-1,1	-1,7	-1,7
	300	-0,5	-0,5	0	11,7	16,7	17,2	17,2	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	2,8	2,2	1,7	0,5	0,5	0
	500	2,8	2,8	3,3	4,4	7,8	11,1	13,3	13,9	13,3	11,1	10,0	8,9	7,8	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,9	3,9	3,3
	700	6,1	5,5	5,5	5,0	4,4	5,0	5,5	8,3	10,0	10,6	10,0	9,4	8,9	7,8	6,7	7,2	7,8	7,8	7,2	7,2	7,2	6,7	6,7	6,7
SE	100	5,5	3,3	7,2	10,6	14,4	15,0	15,6	14,4	13,3	10,6	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1
	300	0,5	0,5	0	7,2	11,1	13,3	15,6	14,4	13,9	11,7	10,0	8,3	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	6,1	8,9	9,4	10,0	10,6	10,0	9,4	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	4,4	3,9	3,9
	700	5,0	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	6,1	7,8	8,3	8,9	10,0	8,9	8,3	7,8	7,2	6,7	6,7	6,7	6,1	6,1	5,5	5,5	5,0
S	100	-0,5	-1,1	-2,2	0,5	2,2	7,8	12,2	15,0	16,7	15,6	14,4	11,1	8,9	6,7	5,5	3,9	3,3	1,7	1,1	0,5	0,5	0	0	-0,5
	300	-0,5	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	3,9	6,7	11,1	13,3	13,9	14,4	12,8	11,1	8,3	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5
	500	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,7	2,2	4,4	6,7	8,3	8,9	10,0	10,0	8,3	7,8	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8
	700	3,9	3,3	3,3	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,9	5,5	7,2	7,8	8,3	8,9	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9
SO	100	-1,1	-2,2	-2,2	-1,1	0	2,2	3,3	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	23,3	16,7	13,3	6,7	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5	-0,5
	300	1,1	0,5	0	0	0	0,5	1,1	4,4	6,7	13,3	17,8	19,4	20,0	19,4	18,9	11,1	5,5	3,9	3,3	2,8	2,2	2,2	1,7	1,7
	500	3,9	2,8	3,3	2,8	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	6,7	7,8	10,6	12,2	12,8	13,3	12,8	12,2	8,3	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9
	700	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	8,3	10,0	10,6	11,1	7,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
O	100	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	7,8	11,1	17,8	22,2	25,0	26,7	18,9	12,2	7,8	4,4	2,8	1,1	0,5	0	0	-0,5	-0,5
	300	1,1	0,5	0	0	0	1,1	2,2	3,9	5,5	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	20,0	15,6	8,9	5,5	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,5	6,7	9,4	11,1	13,9	15,6	15,0	14,4	10,6	7,8	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4
	700	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	4,4	5,0	5,5	5,5	5,5	6,1	6,7	7,8	8,9	11,7	12,2	12,8	12,2	11,1	10,6	8,9	8,3	7,2
NO	100	-1,7	-2,2	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	5,5	6,7	10,6	13,3	18,3	22,2	20,6	18,9	10,0	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1
	300	-1,1	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0	1,1	3,3	4,4	5,5	6,7	11,7	16,7	17,2	17,8	11,7	6,7	4,4	3,3	2,2	1,7	0,5	0	-0,5
	500	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,8	3,3	5,0	6,7	9,4	11,1	11,7	12,2	7,8	4,4	3,9	3,9	3,3	3,3	2,8
	700	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	7,8	10,0	10,6	11,1	8,9	7,2	6,1	5,5	5,0
N (en la sombra)	100	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0,5	2,2	4,4	5,5	6,7	7,8	7,2	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1
	300	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	-0,5	0	1,7	3,3	4,4	5,5	6,1	6,7	6,7	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1
	500	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	2,8	2,8	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1	1,1	0,5
	700	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	2,8	3,3	3,9	4,4	3,9	3,3	2,2	1,7	1,1	1,1	0,5
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
		MAÑANA												TARDE										MAÑANA	
		HORA SOLAR																							

**Anexo B-3: Tabla equivalente de temperaturas para techos ( $\Delta t_{em}$ ).**

**TABLA 20. DIFERENCIA EQUIVALENTE DE TEMPERATURA (°C)  
TECHO SOLEADO O EN SOMBRA \***

Valedero para techos de color oscuro, 35 °C de temperatura exterior, 27 °C de temperatura interior, 11 °C de variación de la temperatura exterior en 24 h., mes de Julio y 40° de latitud Norte\*\*

CONDICIONES	PESO DEL TECHO *** (kg/m²)	HORA SOLAR																								
		MAÑANA										TARDE										MAÑANA				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	
Soleado	50	-2,2	-3,3	-3,9	-2,8	-0,5	3,9	8,3	13,3	17,8	21,1	23,9	25,6	25,0	22,8	19,4	15,6	12,2	8,9	5,5	3,9	1,7	0,5	-0,5	-1,7	
	100	0	-0,5	-1,1	-0,5	1,1	5,0	8,9	12,8	16,7	20,0	22,8	23,9	23,9	22,2	19,4	16,7	13,9	11,1	8,3	6,7	4,4	3,3	2,2	1,1	
	200	2,2	1,7	1,1	1,7	3,3	5,5	8,9	12,8	15,6	18,3	21,1	22,2	22,8	21,7	19,4	17,8	15,6	13,3	11,1	9,4	7,2	6,1	5,0	3,3	
	300	5,0	4,4	3,3	3,9	4,4	6,1	8,9	12,2	15,0	17,2	19,4	21,1	21,7	21,1	20,0	18,9	17,2	15,6	13,9	12,2	10,0	8,9	7,2	6,1	
Cubierto de agua	100	-2,8	-1,1	0	1,1	2,2	5,5	8,9	10,6	12,2	11,1	10,0	8,9	7,8	6,7	5,5	3,3	1,1	0,5	0,5	-0,5	-1,1	-1,7	-2,2	-2,8	
	200	-1,7	-1,1	-0,5	-0,5	0	2,8	5,5	7,2	8,3	8,3	8,9	8,3	8,3	7,8	6,7	5,5	3,9	2,8	1,7	0,5	-0,5	-1,1	-1,7	-1,7	
	300	-0,5	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	1,1	2,8	3,9	5,5	6,7	7,8	8,3	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,7	1,1	0,5	0	
	Rociado	100	-2,2	-1,1	0	1,1	2,2	4,4	6,7	8,3	10,0	9,4	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	3,3	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1	-1,1	-1,7	-1,7
200		-1,1	-1,1	-0,5	-0,5	0	1,1	2,8	5,0	7,2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,2	6,7	5,0	3,9	2,8	1,7	0,5	0	0	-0,5	-0,5	
300		-0,5	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	0	1,1	2,8	4,4	5,5	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	
(en la sombra)		100	-2,8	-2,8	-2,2	-1,1	0	1,1	3,3	5,0	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	5,5	4,4	2,8	1,1	0,5	0	-0,5	-1,7	-2,2	-2,8	-2,8
	200	-2,8	-2,8	-2,2	-1,7	-1,1	0	1,1	2,8	4,4	5,5	6,7	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-1,7	-2,2	-2,8	
	300	-1,7	-1,7	-1,1	-1,1	-1,1	-0,5	0	1,1	2,2	3,3	4,4	5,0	5,5	5,5	5,5	5,0	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1	
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
		MAÑANA										TARDE										MAÑANA				
		HORA SOLAR																								

Anexo B-4: Tabla de aportaciones solares a través de vidrio sencillo ( $R_m$  y  $R_s$ ).

TABLA 15. APORTACIONES SOLARES A TRAVÉS DE VIDRIO SENCILLO (Cont.)

kcal/h × (m² de abertura)

40°

40°

0° LATITUD NORTE		HORA SOLAR												0° LATITUD SUR		
Época	Orientación	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Orientación	Época
21 Junio	N	87	54	32	35	38	38	38	38	38	35	32	54	86	22 Diciembre	S
	NE	320	360	303	198	81	38	38	38	38	35	32	27	16		SE
	E	341	436	439	385	257	119	38	38	38	35	32	27	16		E
	SE	138	238	295	301	268	192	92	38	38	35	32	27	16		NE
	S	16	27	32	51	94	119	146	119	94	51	32	27	16		N
SO	16	27	32	35	38	38	38	92	192	268	301	295	238	138	NO	
O	16	27	32	35	38	38	38	119	257	385	439	436	341	O		
NO	16	27	32	35	38	38	38	38	81	198	303	360	320	SO		
Horizontal	84	222	363	485	569	629	642	629	569	485	363	222	84	Horizontal		
22 Julio y 21 Mayo	N	65	38	32	35	38	38	38	38	38	35	32	38	65	21 Enero y 21 Noviembre	S
	NE	287	344	284	179	70	38	38	38	38	35	32	27	13		SE
	E	320	436	444	390	265	116	38	38	38	35	32	27	13		E
	SE	146	260	322	339	298	222	113	40	38	35	32	27	13		NE
	S	13	27	35	70	119	170	187	170	119	70	35	27	13		N
SO	13	27	32	35	38	40	113	222	298	339	322	260	146	NO		
O	13	27	32	35	38	38	38	116	265	390	444	436	320	O		
NO	13	27	32	35	38	38	38	38	70	179	284	344	287	SO		
Horizontal	65	198	341	463	550	610	631	610	550	463	341	198	65	Horizontal		
24 Agosto y 20 Abril	N	19	21	29	35	38	38	38	38	38	35	29	21	19	20 Febrero y 23 Octubre	S
	NE	184	276	222	124	43	38	38	38	38	35	29	21	8		SE
	E	227	398	439	393	273	122	38	38	38	35	29	21	8		E
	SE	130	284	374	396	377	290	179	67	38	35	29	21	8		NE
	S	8	21	65	138	241	263	276	263	241	138	65	21	8		N
SO	8	21	29	35	38	67	179	290	377	396	374	284	130	NO		
O	8	21	29	35	38	38	38	122	273	393	439	398	227	O		
NO	8	21	29	35	38	38	38	38	43	124	222	276	184	SO		
Horizontal	24	127	271	406	501	556	580	556	501	406	271	127	24	Horizontal		
22 Septiembre y 22 Marzo	N	0	13	24	32	35	35	38	35	35	32	24	13	0	22 Marzo y 22 Septiembre	S
	NE	0	138	157	70	35	35	38	35	35	32	24	13	0		SE
	E	0	314	404	377	268	122	38	35	35	32	24	13	0		E
	SE	0	257	390	439	425	360	244	111	38	32	24	13	0		NE
	S	0	32	119	219	298	330	379	330	298	219	119	32	0		N
SO	0	13	24	32	38	111	244	360	425	439	390	257	0	NO		
O	0	13	24	32	35	35	38	122	268	377	404	314	0	O		
NO	0	13	24	32	35	35	38	38	35	35	32	24	13	SO		
Horizontal	0	57	181	336	414	477	496	477	414	336	181	57	0	Horizontal		
23 Octubre y 20 Febrero	N	0	5	16	27	29	32	32	32	29	27	16	5	0	20 Abril y 24 Agosto	S
	NE	0	94	89	32	29	32	32	32	29	27	16	5	0		SE
	E	0	230	317	330	238	105	32	32	29	27	16	5	0		E
	SE	0	219	358	336	442	390	290	170	54	27	16	5	0		NE
	S	0	57	160	282	371	417	439	417	371	282	160	57	0		N
SO	0	5	16	27	54	170	290	390	442	336	358	219	0	NO		
O	0	5	16	27	29	32	32	105	238	330	317	230	0	O		
NO	0	5	16	27	29	32	32	32	29	27	16	5	0	SO		
Horizontal	0	21	78	173	273	333	349	333	273	173	78	21	0	Horizontal		
21 Noviembre y 21 Enero	N	0	0	8	19	24	27	27	27	24	19	8	0	0	21 Mayo y 23 Julio	S
	NE	0	0	32	19	24	27	27	27	24	19	8	0	0		SE
	E	0	0	246	271	200	89	29	27	24	19	8	0	0		E
	SE	0	0	295	390	423	390	314	189	73	19	8	0	0		NE
	S	0	0	160	282	377	428	450	428	377	282	160	0	0		N
SO	0	0	8	19	73	189	314	390	423	390	295	0	0	NO		
O	0	0	8	19	24	27	27	29	89	200	271	246	0	0	O	
NO	0	0	8	19	24	27	27	27	24	19	8	0	0	SO		
Horizontal	0	0	43	116	198	249	279	249	198	116	43	0	0	Horizontal		
22 Diciembre	N	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0	21 Junio	S
	NE	0	0	19	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0		SE
	E	0	0	195	233	184	84	27	27	24	16	5	0	0		E
	SE	0	0	238	363	401	385	311	198	81	19	5	0	0		NE
	S	0	0	138	268	363	428	447	428	363	268	138	0	0		N
SO	0	0	5	19	81	198	311	385	401	363	238	0	0	NO		
O	0	0	5	16	24	27	27	84	184	233	195	0	0	O		
NO	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0	SO		
Horizontal	0	0	21	86	149	206	230	206	149	86	21	0	0	Horizontal		

Correcciones	Marco metálico o ningún marco × 1,0,85 ó 1,17	Defecto de limpieza 15 % máx.	Altitud + 0,7 % por 300 m	Punto de rocío superior a 19,5 °C - 14 % por 10 °C	Punto de rocío superior a 19,5 °C + 14 % por 10 °C	Latitud sur Dic. o Enero + 7 %
--------------	---	-------------------------------	---------------------------	--	--	--------------------------------





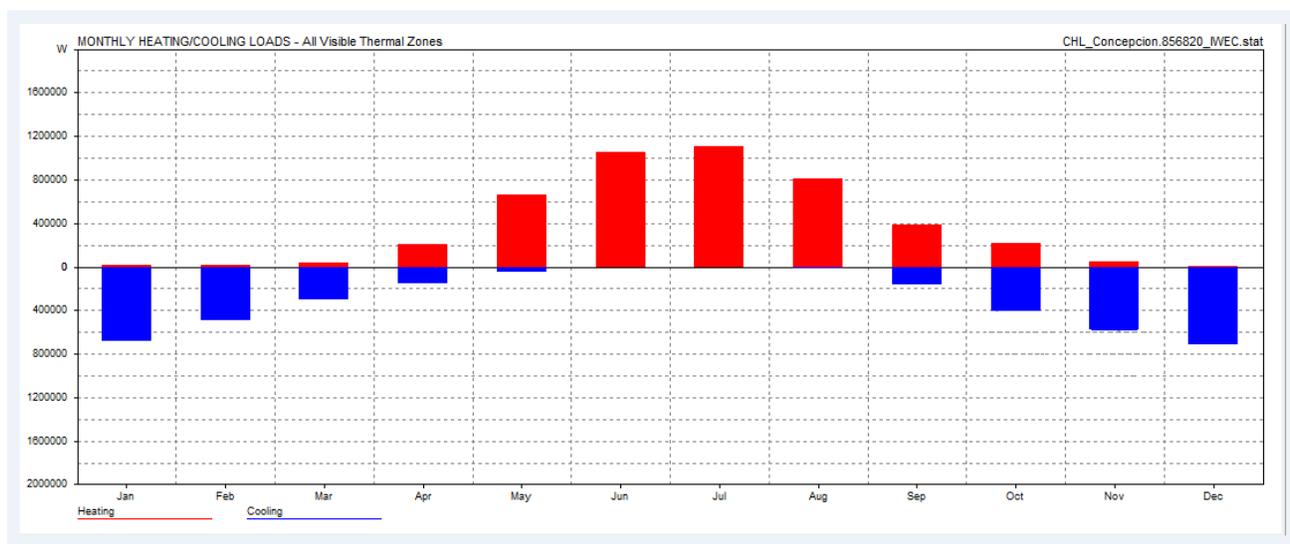


**Anexo B-9: Tabla grados día Concepción.**

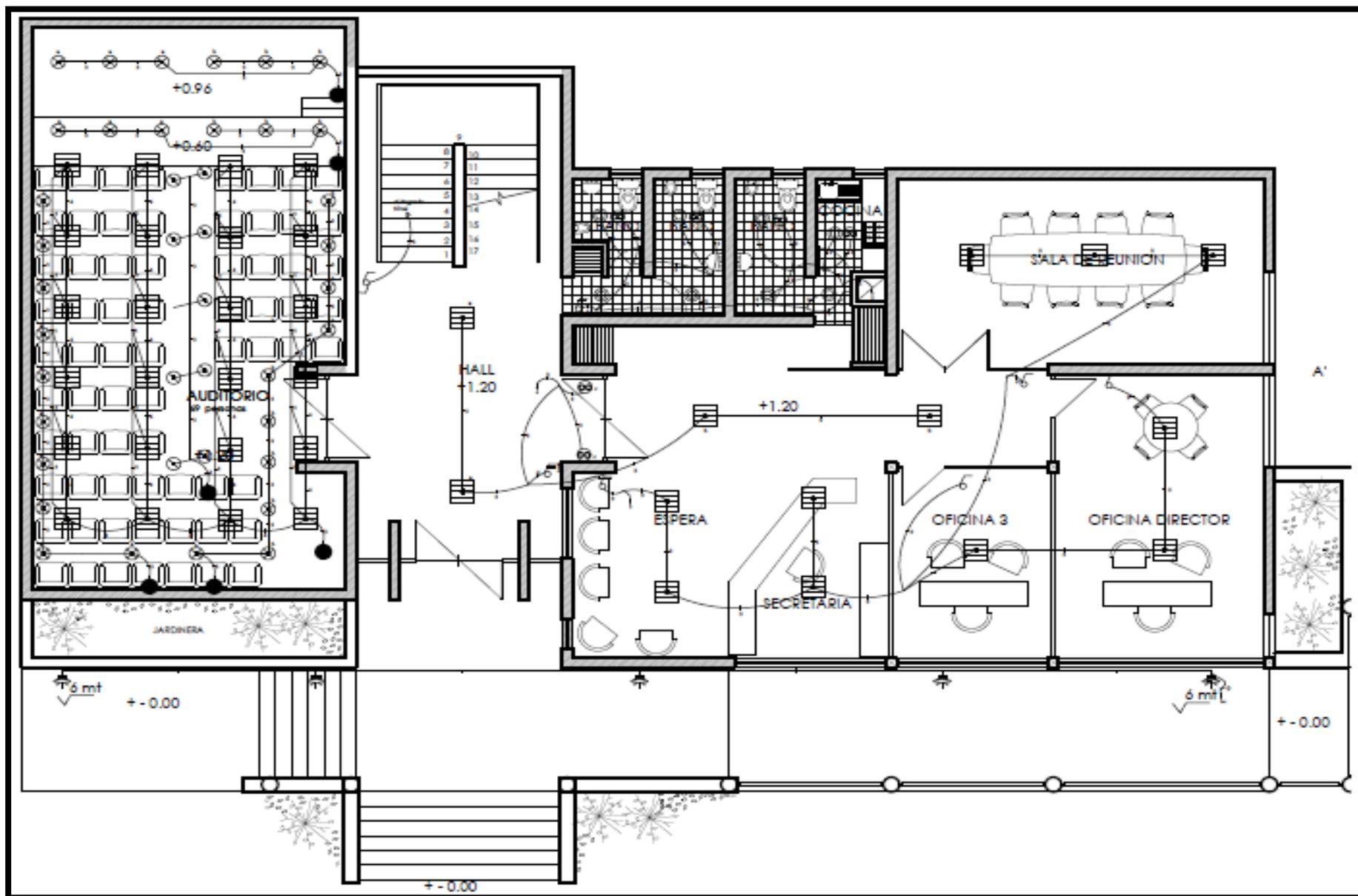
**GRADOS DIA CONCEPCION**

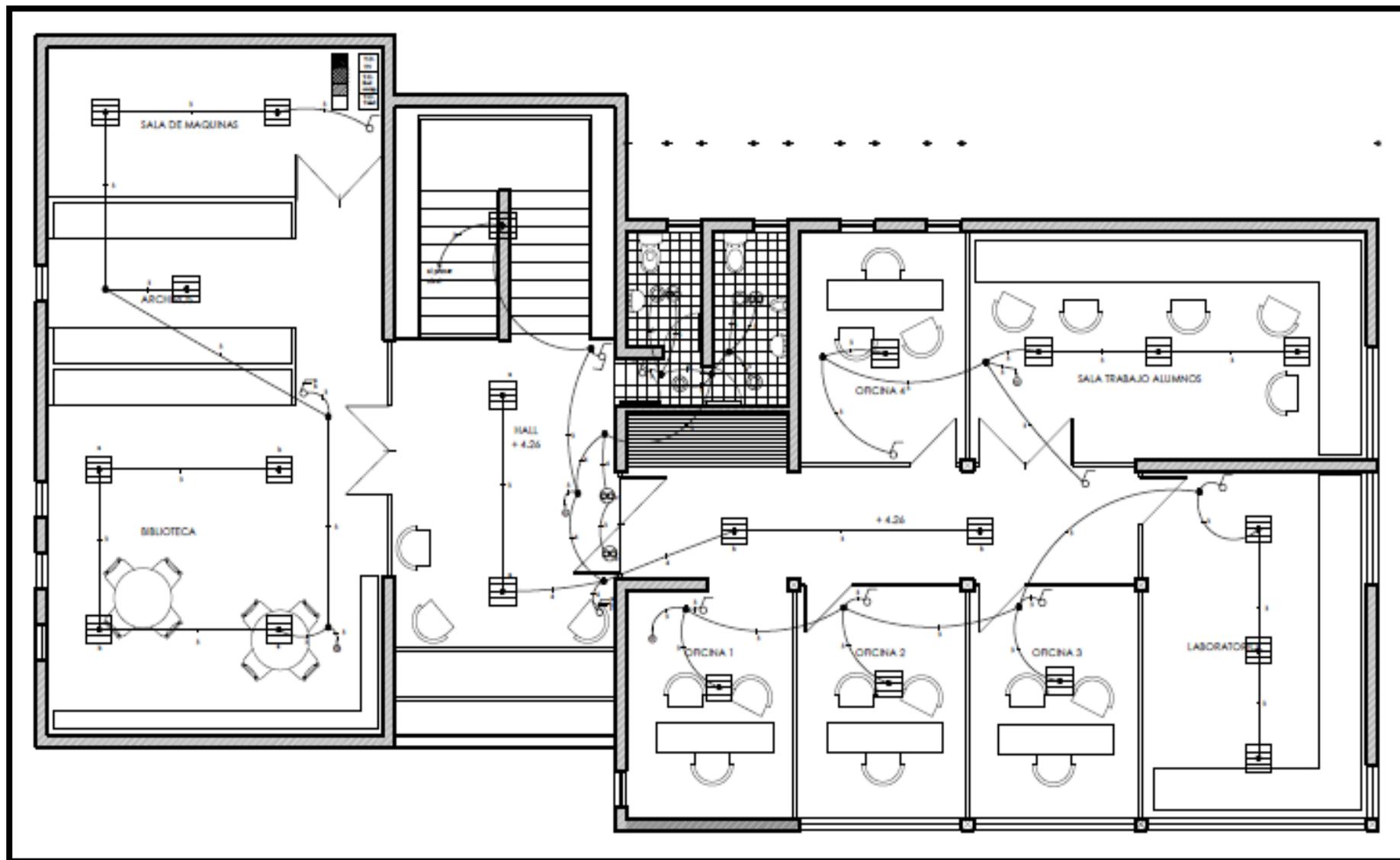
	Calefacción	Refrigeración	Temp Media aire
Enero	51.4	14.0	17
Febrero	55.5	9.4	16.2
Marzo	91.5	2.4	13.8
Abril	131.3	0.3	11.2
Mayo	162.8	0.1	9.4
Junio	208.0	0.0	7.4
Julio	222.5	0.0	7
Agosto	214.4	0.0	7.7
Septiembre	195.8	0.0	9.2
Octubre	145.2	0.0	11.4
Noviembre	96.8	0.8	13.9
Diciembre	63.2	8.6	16.2
	1638.4	35.6	11.7

**Anexo C-1: Respaldo consumo anual de calefacción y refrigeración anual entregada por Autodesk Ecotect Analisis.**



Anexo C-2: planimetría eléctrica primer y segundo nivel del CITEC UBB.





### Simbología planimetría eléctrica del CITEC UBB.

Item	Simbologia	Descripcion	Cantidad
1		Plafon 2x40w	12 unid.
2		Extractor	6 unid.
3		Lampara de Emergencia	6 unid.
4		FOCO DICROICO EMBUTIDO, 50W, 220V, 50HZ	1 unid.
5		LAMPARA HALOGENA 50W	3 unid.
6		Pagoda Exterior 3x60w	6 unid.
7		Equipo Fluor. 4x18w	9 unid.
8		Interruptor de comando 9/32	18 unid.
9		Interruptor de comando 9/24	6 unid.
10		Interruptor de comando 9/15	10 unid.
11		Interruptor de comando 9/12	3 unid.
12		Tablero Distribucion Fuerza Alumbrado Calefaccion y Computacion.	1 unid.
13		Tablero Distribucion Alumbrado y Fuerza	2 unid.
14		Tablero control de luces	1 unid.

## Anexo D-1: Especificaciones técnicas paneles solares KYL-310P.

**KYL  
72 CELL  
SERIES**

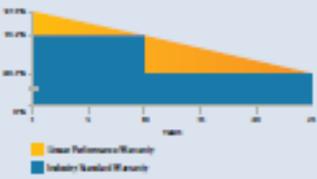


**18.4%**  
CELL EFFICIENCY

**10 YEAR**  
PRODUCT WARRANTY

**0 - 5W**  
POWER TOLERANCE

**25 Years Linear Warranty**



Mod: KYL-310P  
Cod: 73101289



**PROVEN  
PERFORMANCE  
AND VERSATILITY**

**Durability**  
Durable PV modules, independently tested for harsh environmental conditions such as exposure to salt mist, ammonia and known PID risk factors.

**Advanced Glass**  
Our high-transmission glass features a unique anti-reflective coating that directs more light on the solar cells, resulting in a higher energy yield.

**Extended Size**  
Our large-format module facilitates system-level cost savings through reduced handling and installation times.

**PID Resistant**  
Tested in accordance to the standard IEC 62804, our PV modules have demonstrated resistance against PID (Potential Induced Degradation), which translates to security for your investment.

[www.kuhn.cl](http://www.kuhn.cl)

# KYL 72 CELL SERIES

## ELECTRICAL PERFORMANCE

### Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module type			KYL 720P (60W - P <sub>max</sub> )					
			320	320	315	310	305	300
Power output	P <sub>max</sub>	W	320	320	315	310	305	300
Power output tolerance	ΔP <sub>max</sub>	W	0% ± 3					
Module efficiency	η <sub>m</sub>	%	16,7	16,5	16,2	16,0	15,7	15,5
Voltage at P <sub>max</sub>	V <sub>mp</sub>	V	31,3	31,0	30,8	30,5	30,3	30,0
Current at P <sub>max</sub>	I <sub>mp</sub>	A	8,72	8,69	8,66	8,53	8,50	8,37
Open-circuit voltage	V <sub>oc</sub>	V	46,3	46,0	45,7	45,6	45,4	45,2
Short-circuit current	I <sub>sc</sub>	A	9,24	9,18	9,12	8,99	8,93	8,86

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C module temperature, AMF 1.5 spectrum according to IEC 60904-2  
Average relative efficiency reduction of 3.1% at 1100W/m<sup>2</sup> according to IEC 60904-2

### Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Module type			KYL 720P (60W - P <sub>max</sub> )					
			320	320	315	310	305	300
Power output	P <sub>max</sub>	W	233,5	233,4	229,8	226,5	223,3	218,8
Voltage at P <sub>max</sub>	V <sub>mp</sub>	V	31,0	30,8	30,6	30,5	30,3	30,2
Current at P <sub>max</sub>	I <sub>mp</sub>	A	6,98	6,91	6,85	6,82	6,76	6,70
Open-circuit voltage	V <sub>oc</sub>	V	43,8	43,5	43,2	43,1	42,9	42,7
Short-circuit current	I <sub>sc</sub>	A	9,17	9,10	9,07	8,97	8,92	8,86

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C ambient temperature, 1m/s wind speed

## THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	96 ± 2
Temperature coefficient of P <sub>max</sub>	γ	10°C	-0,43
Temperature coefficient of V <sub>oc</sub>	β <sub>oc</sub>	10°C	-0,33
Temperature coefficient of I <sub>sc</sub>	α <sub>sc</sub>	10°C	0,03

## OPERATING CONDITIONS

Max. series voltage	1000V <sub>DC</sub>
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (p.g., snow)	2000Pa
Max. static load, back (p.g., wind)	2000Pa
Max. hailstone impact (plumets / velocity)	20mm / 23m/s

## CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 4mm
Cell quantity / material / dimensions / number of busbars	72 / monocrystalline silicon / 166mm x 166mm / 3 or 4
Frame (material)	anodized aluminum alloy
Junction box protection degree	> IP65
Cable length / cross-sectional area	1000mm / 4mm <sup>2</sup>
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / Plug or Plug-in / Plug or Anphered H4 / Plug or Phoenix Contact SUNCI-DV-Plug

- Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may fluctuate slightly and are not guaranteed.
- The data do not refer to a single module and they are not part of the offer; they only serve for comparison to different module types.

## QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, CE, MCS, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS-EN-50518:2007, PV Cycle, SA 8000



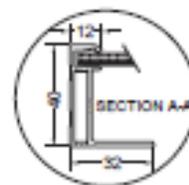
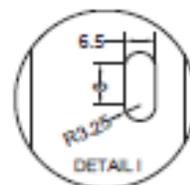
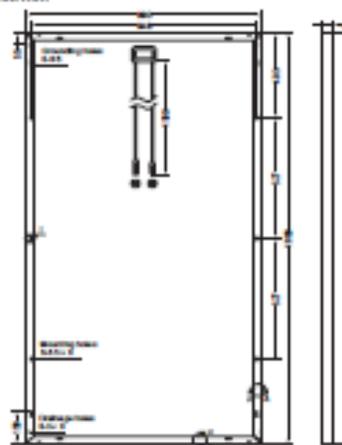
## GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1660mm / 1660mm / 40mm
Weight	20kg

## PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	26
Number of pallets per 40' container	21
Packaging box dimensions (L / W / H)	1660mm / 1140mm / 1140mm
Box weight	200kg

Unit: mm



Warning: Read the Installation and User Manual in its entirety before handling, installing, and operating modules.

Our Partners:

## Anexo D-2: Especificaciones técnicas inversor **TRIPOWER STP-10000**.



SUNNY TRIPOWER  
5000TL – 12000TL



NOVEDAD: Está disponible en las variantes de 10 kVA y 12 kVA

### Rentable

- Rendimiento máximo del 98,3 %
- Gestión de sombras mediante OptiTrac Global Peak
- Gestión activa de la temperatura gracias al sistema de refrigeración OptiCool

### Flexible

- Tensión de entrada de CC hasta 1 000 V
- Funciones integradas de gestión de red
- Inyección de potencia reactiva
- Diseño de plantas adaptada a cada módulo con Optiflex

### Comunicación

- SMA Webconnect
- Comunicación con Sunny Portal
- Comunicación Bluetooth
- Fácil configuración por países
- Relé multifunción de serie

### Sencillo

- Inyección trifásica
- Conexión del cableado sin herramientas
- Sistema de conexión de CC SUNCLIX
- Seccionador de potencia de CC integrado ESS
- Sencillo montaje mural

## SUNNY TRIPOWER 5000TL – 12000TL

El trifásico: no solo para el hogar

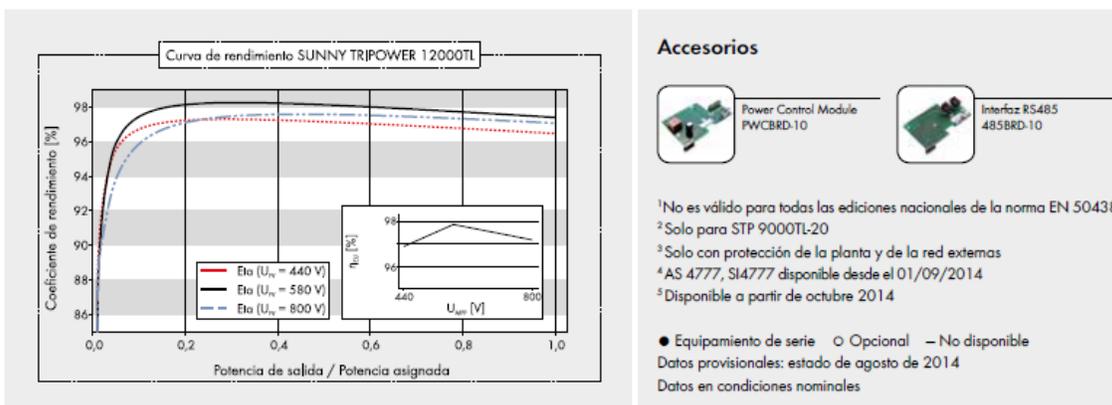
Resulta ideal para diseñar desde la clásica planta en un tejado de una vivienda hasta plantas con rangos de potencia mayores. La gama de productos Sunny Tripower cubre una gran variedad de aplicaciones gracias a la ampliación de la cartera de productos con las nuevas versiones de 10 kVA y 12 kVA. Los usuarios se benefician de múltiples funciones probadas: su alta flexibilidad gracias a la acreditada tecnología Optiflex y al multistring asimétrico, combinada con un rendimiento máximo y OptiTrac Global Peak, garantiza máximas ganancias. Además de la comunicación a través de Bluetooth también es posible la conexión directa a Sunny Portal mediante SMA Webconnect de serie. De manera estándar también dispone de funciones integradas para gestionar la red y de inyección de potencia reactiva, y puede utilizarse con un diferencial de 30 mA. En suma, cuando se trata del diseño de plantas en las clases de potencia de 5 a 12 kW, el Sunny Tripower es la solución ideal tanto para su aplicación en el hogar como para plantas de mayor tamaño sobre el tejado así como para la construcción de pequeños parques fotovoltaicos.

# SUNNY TRIPOWER

## 5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL / 10000TL / 12000TL

Datos técnicos	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
<b>Entrada (CC)</b>		
Potencia máxima de CC (con $\cos \phi = 1$ )	5 100 W	6 125 W
Tensión de entrada máx.	1 000 V	1 000 V
Rango de tensión MPP / tensión asignada de entrada	245 V - 800 V / 580 V	295 V - 800 V / 580 V
Tensión de entrada mín. / de inicio	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Corriente máx. de entrada, entradas: A / B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Corriente máx. de entrada por string, entradas: A / B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Número de entradas de MPP independientes / strings por entrada de MPP	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
<b>Salida (CA)</b>		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	5 000 W	6 000 W
Potencia máx. aparente de CA	5 000 VA	6 000 VA
Tensión nominal de CA	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Rango de tensión nominal de CA	160 V - 280 V	160 V - 280 V
Frecuencia de red de CA / rango	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz
Frecuencia / tensión asignada de red	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Corriente máx. de salida	7,3 A	8,7 A
Factor de potencia a potencia asignada	1	1
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
Fases de inyección / conexión	3 / 3	3 / 3
<b>Rendimiento</b>		
Rendimiento máx. / europeo	98 % / 97,1 %	98 % / 97,4 %
<b>Dispositivos de protección</b>		
Punto de desconexión en el lado de entrada	●	●
Monitorización de toma a tierra / de red	● / ●	● / ●
Protección contra polarización inversa de CC / resistencia al cortocircuito de CA / con separación galvánica	● / ● / -	● / ● / -
Unidad de seguimiento de la corriente residual integrada	●	●
Clase de protección (según IEC 62103) / categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>Datos generales</b>		
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)	470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)
Peso	37 kg (81,6 lb)	37 kg (81,6 lb)
Rango de temperatura de servicio	-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]	-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]
Emisión sonora, típica	40 dB(A)	40 dB(A)
Autoconsumo nocturno	1 W	1 W
Topología / principio de refrigeración	Sin transformador / OptiCool	Sin transformador / OptiCool
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65	IP65
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %	100 %
<b>Equipamiento</b>		
Conexión de CC / CA	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte
Pantalla	Gráfico	Gráfico
Interfaces: RS485, Bluetooth, Speedwire / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Relé multifunción / Power Control Module	● / ○	● / ○
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS 4777, CE, CEI 0-21 <sup>3</sup> , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 <sup>1</sup> , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA <sup>2</sup> , IEC 61727/PEA <sup>3</sup> , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPD5, RD 661/2007, RD 1699-2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014	
Modelo comercial	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20

Sunny Tripower 7000TL	Sunny Tripower 8000TL	Sunny Tripower 9000TL
7 175 W	8 200 W	9 225 W
1 000 V	1 000 V	1 000 V
290 V - 800 V / 580 V	330 V - 800 V / 580 V	370 V - 800 V / 580 V
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
7 000 W	8 000 W	9 000 W
7 000 VA	8 000 VA	9 000 VA
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V
160 V - 280 V	160 V - 280 V	160 V - 280 V
50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
10,2 A	11,6 A	13,1 A
1	1	1
0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
3 / 3	3 / 3	3 / 3
98 % / 97,5 %	98 % / 97,6 %	98 % / 97,6 %
1 / III	1 / III	1 / III
470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)	470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)	470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)
37 kg (81,6 lb)	37 kg (81,6 lb)	37 kg (81,6 lb)
-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]	-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]	-25 °C ... +60 °C [-13 °F ... +140 °F]
40 dB(A)	40 dB(A)	40 dB(A)
1 W	1 W	1 W
Sin transformador / OptiCool	Sin transformador / OptiCool	Sin transformador / OptiCool
IP65	IP65	IP65
4K4H	4K4H	4K4H
100 %	100 %	100 %
SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte
Gráfico	Gráfico	Gráfico
AS 4777, CE, CEI 0-21 <sup>3</sup> , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 <sup>1</sup> , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA <sup>2</sup> , IEC 61727/PEA <sup>2</sup> , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777, UTE C.15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014		
STP 7000TL-20	STP 8000TL-20	STP 9000TL-20



**Accesorios**



Power Control Module  
PWCBRD-10



Interfaz RS485  
485BRD-10

- <sup>1</sup>No es válido para todas las ediciones nacionales de la norma EN 50438
- <sup>2</sup>Solo para STP 9000TL-20
- <sup>3</sup>Solo con protección de la planta y de la red externas
- <sup>4</sup>AS 4777, SI4777 disponible desde el 01/09/2014
- <sup>5</sup>Disponible a partir de octubre 2014

● Equipamiento de serie ○ Opcional — No disponible  
 Datos provisionales: estado de agosto de 2014  
 Datos en condiciones nominales

Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL <sup>5</sup>	
10 250 W	12 275 W	
1 000 V	1 000 V	
370 V - 800 V / 580 V	440 V - 800 V / 580 V	
150 V / 188 V	150 V / 188 V	
18 A / 10 A	18 A / 10 A	
18 A / 10 A	18 A / 10 A	
2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	
10 000 W	12 000 W	
10 000 VA	12 000 VA	
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	
160 V - 280 V	160 V - 280 V	
50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz/-5 Hz ... +5 Hz	
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	
14,5 A	17,4 A	
1	1	
0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	
3 / 3	3 / 3	
98 % / 97,6 %	98,3 % / 97,9 %	
● ● / ● ● / ● / - ● I / III	● ● / ● ● / ● / - ● I / III	
470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)	470 / 730 / 240 mm (18,5 / 28,7 / 9,5 in)	
37 kg (81,6 lb)	38 kg (84 lb)	
-25°C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25°C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	
40 dB(A)	40 dB(A)	
1 W	1 W	
Sin transformador / OptiCool	Sin transformador / OptiCool	
IP65	IP65	
4K4H	4K4H	
100 %	100 %	
SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	
Gráfico ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○	Gráfico ○ / ● / ● ● / ○ ● / ○ / ○ / ○ / ○	
AS 4777 <sup>4</sup> , CE, CEI 0-21 <sup>3</sup> , C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438 <sup>1</sup> , G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA <sup>2</sup> , IEC 61727/PEA <sup>2</sup> , IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI4777 <sup>4</sup> , UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014		
STP 10000TL-20	STP 12000TL-20	