

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**



**APLICACIÓN DE CRITERIOS DE ARQUITECTURA  
BIOCLIMÁTICA COMO RESPUESTA AL ANÁLISIS Y  
ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A EDIFICIO  
“FUNDACIÓN TELETÓN PRO REHABILITACIÓN”  
(FUNTER), PARA REDUCIR COSTOS ENERGÉTICOS Y  
MEJORAR EL CONFORT INTERNO**

PRESENTADO POR:

**GILMAR ANDRÉS RAMÍREZ AZAHAR**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE.**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL:**

**MSc. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**SECRETARIO:**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DIRECTOR:**

**MSc. MANUEL ROBERTO MONTEJO SANTOS**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:**

**MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE**

Título:

**APLICACIÓN DE CRITERIOS DE ARQUITECTURA  
BIOCLIMÁTICA COMO RESPUESTA AL ANÁLISIS Y ESTUDIO DE  
EFICIENCIA ENERGÉTICA A EDIFICIO “FUNDACIÓN TELETÓN  
PRO REHABILITACIÓN” (FUNTER), PARA REDUCIR COSTOS  
ENERGÉTICOS Y MEJORAR EL CONFORT INTERNO**

Presentado por:

**GILMAR ANDRÉS RAMÍREZ AZAHAR**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSc. ÁLVARO RENÉ FLAMENCO RAMOS**

SAN SALVADOR, ENERO 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSc. ÁLVARO RENÉ FLAMENCO RAMOS**

## Tabla de contenido

ABSTRACT .....	15
AGRADECIMIENTOS .....	16
INTRODUCCIÓN .....	17
CAPITULO I: GENERALIDADES .....	18
1.1 Antecedentes.....	18
1.2 Ubicación del Área de Estudio Investigación .....	19
1.3 Definición del Problema .....	19
1.4 Objetivo General.....	21
1.5 Objetivos Específicos.....	21
1.6 Justificación del Estudio .....	21
1.7 Alcances .....	22
1.8 Delimitaciones .....	23
1.9 Metodología de la Investigación.....	23
CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL .....	25
2.1 Importancia de la Gestión de la Energía .....	25
2.2 Eficiencia Energética .....	25
2.3 Fundamentos Físicos de la Eficiencia Energética .....	28
2.4 Programas para la Simulación Energética de Edificios .....	29
2.5 Arquitectura Bioclimática .....	30
2.5.1 Conceptos y Técnicas de Arquitectura Bioclimática.....	31
2.5.2 Ventajas de la Arquitectura Bioclimática .....	35
2.5.3 Pautas de Diseño en la Arquitectura bioclimática.....	36
2.5.4 La Arquitectura Bioclimática en El Salvador .....	36
2.5.5 Carta Bioclimática de Givoni .....	39
2.5.6 Iluminación Interna.....	41
2.5.7 Consideraciones para un Diagnóstico de Iluminación.....	42
2.6 Línea Base de Referencia y su Importancia según la Norma ISO 50001 .....	44
CAPITULO III: ANALISIS Y DIAGNOSTICO DEL AREA EN ESTUDIO .....	45
3.1 Descripción y Características de la edificación para Rehabilitaciones analizada .	45
3.1.1 Distribución de Espacios.....	46
3.1.2 Climatología en Antiguo Cuscatlán.....	48
3.1.3 Análisis de Irradiancia Solar .....	52
3.2 Antecedentes de la Edificación Analizada.....	54
3.3 Metodología de Campaña de Medición .....	55
3.3.1 Planificación de las Campañas de Mediciones.....	56
3.3.2 Desarrollo de la Campaña de Medición.....	56
3.3.3 Características de los Equipos de Medición.....	57
3.3.4 Reconocimiento de Espacio Analizado .....	64
3.3.5 Levantamiento Arquitectónico de la Edificación .....	65
3.4 Aplicación de Encuesta de Confort Interno .....	69
3.5 Campaña de Medición y Diagnóstico de Confort Térmico .....	73
3.5.1 Análisis de Resultados de Datos Medidos .....	78
3.5.2 Análisis de Irradiación Solar en Paredes y Cubiertas de Techo.....	81

3.6	Diagnóstico de Iluminación Media.....	83
3.7	Campaña de Medición y Diagnóstico de Sistema de Calentador Solar Para Piscina	
	86	
3.7.1	Medición de Parámetro Operativo de la Piscina .....	88
3.7.2	Cálculo de Energía Térmica para el Calentamiento de la Piscina.....	94
3.7.2.1	Balance de Energía de la Piscina.....	95
3.7.2.2	Cuantificación de Pérdidas Térmicas .....	98
3.7.3	Balance de Energía del Sistema Termosolar Existente.....	102
3.7.3.1	Conversión de la Radiación Solar a Energía Térmica .....	103
3.7.3.2	Cálculo de superficie de captación solar.....	104
3.7.4	Cálculo de Factor de Cobertura Solar.....	105
3.7.5	Validación de los Resultados .....	108
3.7.5.1	Resultado de la Simulación .....	109
3.8	Resultados y Análisis de la Calidad de Energía eléctrica Medida en Subtableros	
	111	
3.8.1	Análisis del Consumo de Energía Eléctrica .....	112
3.8.2	Propuesta de Eficiencia y Ahorro en Energía Eléctrica.....	114
3.8.3	Implementación de un Generador Fotovoltaico para Autoconsumo .....	115
3.8.4	Estimación de la Inversión para Desarrollar el Proyecto .....	119
3.9	Simulación Energética de la Edificación .....	119
3.9.1	Modelo Elegido de Confort Seleccionado para la Simulación.....	119
3.9.2.1	Lista de parámetros analizados.....	121
3.9.2	Análisis de las Condiciones Climáticas del Lugar .....	122
3.9.3	Estrategias para Alcanzar el Confort de acuerdo con ASHRAE 55-2004.....	123
3.9.4	Modelado Energético del Edificio .....	126
3.9.4.1	Metodología Seguida para la Simulación .....	127
3.9.4.2	Ajuste de modelo y Elaboración de Línea Base .....	127
3.9.4.3	Cálculo de carga térmica por acondicionamiento de aire .....	130
3.9.5	Simulación de las Propuestas Bioclimáticas .....	133
3.9.6	Simulación de Iluminación.....	135
<b>CAPITULO IV: DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS DE EFICIENCIA</b>		
<b>ENERGÉTICA Y CONFORT INTERNO.....</b>		
		137
4.1	Propuesta de Eficiencia para Iluminación.....	140
4.2	Propuesta de Eficiencia para Calentadores Solares de Agua en Área de Piscina	
	para Rehabilitación .....	141
4.3	Propuesta de Mejoramiento en el Consumo de energía Eléctrica .....	142
4.4	Presupuesto de las Propuestas de Eficiencia .....	143
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		
		144
5.1	<b>CONCLUSIONES.....</b>	144
5.1.1	Confort Térmico e Iluminación .....	144
5.1.2	Sistema Termosolar para Piscina:.....	145
5.1.3	Consumo de Energía Eléctrica .....	145
5.1.4	Presupuesto Estimado para el Proyecto de Eficiencia: .....	146
5.2	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	146
5.2.1	Eficiencia del Confort Térmico:.....	146
5.2.2	Eficiencia de la Iluminación:.....	146
5.2.3	Eficiencia de Calentadores Solares de Agua:.....	146

5.2.4 Consumo de Energía Eléctrica: .....	147
Referencias .....	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 . Ubicación del Centro de Rehabilitación Teletón Merliot. (13.677655, -89.258086) (referencia tomada de Global Solar Atlas v2.2).....	19
Figura 2 Ventajas de la eficiencia energética. (News Solicima , 2019).....	26
Figura 3 Esquema ejemplo de trayectoria solar. (Ezquerria, 2017).....	32
Figura 4 Trayectoria solar esquematizada, (Caballero, 2010).....	32
Figura 5 Formas de radiación solar. (Chintpowerlatinoamerica, 2017). .....	33
Figura 6 Diagrama de transmisión energía de calor por convección, conducción y radiación. (Deposiphotos, 2015).....	34
Figura 7 Edificio Avante. (Seisarquitectos, 2010).....	37
Figura 8 Vista del complejo de las Torres Campestre. (Bedout, 2008).....	38
Figura 9 Vivienda bioclimática de interés social. (Pineda, 2016).....	39
Figura 10 Diagrama psicrométrico propuesto por Givoni. (Hernández, 2014).....	40
Figura 11 Esquema del método de medición de lux. (Ledalmacen, 2016). .....	42
Figura 12 Temperatura de Color. (Lampara.es, 2017).....	42
Figura 13 Vista sur de volumetría del conjunto FUNTER Merliot (Teletón, 2020). .....	45
Figura 14 Diferentes niveles de topografía en FUNTER (Elaboración propia).....	46
Figura 15 Mobiliario rehabilitación física en edificio de hidroterapia (costado sur) (Elaboración propia). .....	47
Figura 16 Hidroterapia por inmersión total (Elaboración Propia, FUNTER,2018). .....	47
Figura 17 Área de Gimnasio. De fondo el costado sur de la nave, (Elaboración propia)....	48
Figura 18 Temperatura mínima (línea azul) y máxima (línea roja) promedio diario, (Weatherspark, 2019).....	49
Figura 19 Registro de humedad relativa (línea sólida) a lo largo del año (Elaboración propia con los datos climáticos empleado el software Cimate Consultan. ....	49
Figura 20 Gráfico de precipitación de agua por lluvias promedio (línea sólida), (Weatherspark, 2019).....	50
Figura 21 Variación de velocidad promedio (línea sólida) del viento a 10 m de altura. ....	51

Figura 22 Variación de la dirección de la velocidad del viento, (Weatherspark, 2019).....	51
Figura 23 Variación de la irradiación solar directa normal acumulada [Wh/m <sup>2</sup> -mes (GSA, s.f.)].	52
Figura 24 Perfil de obstáculo en el horizonte y trayectoria solar aparente del Sol, (GSA, s.f.).	53
Figura 25 Equipo multifunción con anemómetro, Barigo modelo 525.	58
Figura 26 Luxómetro Meter LX1330B	59
Figura 27 Termómetro e higrómetro digital con almacenamiento de datos.	60
Figura 28 Cámara termográfica FLIR i7	60
Figura 29 Área de terapia física. De fondo el ventanal sur (Elaboración propia).	65
Figura 30 Oficinas de terapeutas (Elaboración propia)	65
Figura 31 Medición con distanciómetro y toma de apuntes y elaboración de esquemas (Elaboración propia).	66
Figura 32 Planta arquitectónica del área de terapia física a intervenir, (Elaboración propia).	66
Figura 33 Desarrollo de volumetría del área de terapia física a intervenir en programa Revit.	67
Figura 34 Modelación digital de vista interna, dirección de norte a sur en área de gimnasio para adultos, FUNTER Merliot, (Elaboración propia).	68
Figura 35 Modelación digital de vista interna, dirección de suroeste a noreste en área de gimnasio para adultos, FUNTER Merliot, (Elaboración propia).	68
Figura 36 Modelación digital de piscina para hidroterapias, vista de ventanal en dirección de norte y pared en dirección noroeste, (Elaboración propia).	69
Figura 37 Pregunta N°1 de encuesta de confort interno, (Elaboración propia)	70
Figura 38 Pregunta N°2 de encuesta de confort interno, basado en el método de Fanger. (Elaboración propia).	70
Figura 39 Pregunta N°3 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).	71
Figura 40 Pregunta N°4 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).	71
Figura 41 Pregunta N°5 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).	72
Figura 42 Pregunta N°6 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).	72
Figura 43 Pregunta N°7 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).	73

Figura 44 Ubicación de los dispositivos medidores de temperatura y humedad relativa (Elaboración propia). .....	74
Figura 45 Gráfica de medidor THR01 (pared sur) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia. ....	74
Figura 46 Gráfica de medidor THR02 (pared sur) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia. ....	75
Figura 47 Gráfica de medidor THR03 (centro de gimnasio) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia. ....	75
Figura 48 Gráfica de medidor THR04 (pared este) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia. ....	76
Figura 49 Gráfica de medidor THR05 (piscina) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua). del ambiente exterior al edificio (Elaboración propia).....	76
Figura 50 Gráfica de medidor THR6 (exterior) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia. ....	77
Figura 51 Gráfica de medidor THR03 (centro del gimnasio) de registro de temperatura ambiente para los días no laborales (29 y 30 de junio), edificio cerrado, elaboración propia. ....	77
Figura 52 Diagrama de Givoni con la representación de las condiciones atmosféricas extremas (día 1 de julio de 2019), de temperatura y humedad relativa. ....	79
Figura 53 Medición de temperatura (15:40 horas) en techos y paredes de edificación tipo nave industrial.....	80
Figura 54 Medición de temperatura (15:52 horas) en lámina translúcida de techo de edificación tipo nave industrial.....	81
Figura 55 Incidencia solar elaborado en Revit para un horario de 10:00 AM a 3:00 PM (Elaboración propia). ....	82

Figura 56 Distribución de iluminación en área de terapias físicas (10:30). (Elaboración propia). .....	84
Figura 57 Distribución de iluminación en área de piscina para hidroterapias (10:30). (Elaboración propia). .....	85
Figura 58 Piscina climatizada para hidroterapia, (Elaboración propia).....	86
Figura 59 Sistema de calefacción de agua para piscina techada de hidroterapia, (Elaboración propia). .....	87
Figura 60 Ubicación de sensores de temperatura (S1 a S3) y sistema de registro y almacenamiento de datos (D1) y soporte (D2). .....	89
Figura 61 Arreglo de sistema de sensores de temperatura instalados en pasamanos de piscina. ....	90
Figura 62 Perfil de temperatura del agua de la piscina para hidroterapia (°C en eje vertical contra tiempo en hr), elaboración propia. ....	90
Figura 63 Perfil de temperatura del agua de la piscina y la temperatura ambiente para un fin de semana (sin atenciones).....	91
Figura 64 Perfil de temperatura del agua de la piscina y temperatura ambiente para un día de semana (con terapias), elaboración propia.....	92
Figura 65 Esquema de balance de energía desde y para la piscina (Elaboración propia)...	96
Figura 66 Equipamiento del sistema termosolar existente para producción de agua caliente (Elaboración propia, FUNTER 2019).....	103
Figura 67 Gráfico de área mínima requerida por mes considerando el recurso solar disponible y la demanda de energía térmica para compensar las pérdidas térmicas de la piscina (Elaboración propia).....	105
Figura 68 Modelo del sistema termosolar analizado (Elaboración propia en Polysun 11.3). ....	109
Figura 69 Variación anual de la temperatura para el agua de la piscina (color naranja) y de salida de captadores (espectro color gris), respecto a la nominal (34 °C)(Elaboración propia con Polysun 11.3). ....	109
Figura 70 Variación de temperatura con el sistema de calefacción termosolar apoyado por la caldera. La temperatura “Tubo 10” es la temperatura en la salida de la bancada de captadores (Elaboración propia con Polysun 11.3). ....	110

Figura 71 Gráfica de pérdidas térmicas (izquierda) y ganancias térmicas de los captadores (derecha). (Elaboración propia con Polysun 11.3). .....	110
Figura 72 Espectro de medición de voltaje por período de una semana (Elaboración propia, FUNTER 2019). .....	111
Figura 73 Espectro de medición de intensidad de corriente por período de una semana (Elaboración propia, FUNTER 2019). .....	112
Figura 74 Gráfico de demanda de energía eléctrica por mes, registro de medidor (NC 507696001), (Elaboración propia, FUNTER 2019). .....	113
Figura 75 Gráfico de demanda de energía eléctrica por mes, registro de medidor (NC 207066201), (Elaboración propia, FUNTER 2019). .....	113
Figura 76 distribución de paneles fotovoltaicos con potencia de 125 kWp sobre cubierta de techos de FUNTER (Elaboración propia con HelioScope). .....	117
Figura 77 Temperatura operativa y de confort para época húmeda y seca (franja gris) (Climate Consultan). .....	122
Figura 78 Diagrama de trayectoria solar aparente y su relación con de ambiente (elaboración propia con Climate Consultan 6.0). .....	123
Figura 79 Diagrama psicrométrico para el clima de FUNTER Merliot (Elaboración propia utilizando Climate Consultan, ASHRAE 55). .....	124
Figura 80 Tipo de estrategia e Impacto para conseguir el confort (Elaboración propia con datos climaticos del lugar y Climate Consultan, ASHRAE 55-2004). .....	125
Figura 81 Modelo del gimnasio para terapias en FUNTER: Los objetos en color morado representan paredes adyacentes al edificio, (elaboración propia con DesignBuilder).....	126
Figura 82 variaciones de las temperaturas y humedad relativa en el interior de la edificación (elaboración propia con DesignBuilder). .....	128
Figura 83 Balance de energía y ganancia de calor latente en la edificación (Elaboración propia con DesignBuilder). .....	129
Figura 84 Proyección de sombras para las 15:00 horas del día 27 de junio. Vista izq. fachada sur; Vista derecha: facha norte, (Elaboración propia en DesignBuilder).....	130
Figura 85 Evolución de las temperatura, humedad relativa y pótenica total de refrigeración necesaria para acondicionar el aire del recinto de la edificación, (Elaboración propia con DesignBuilder).....	131

Figura 86 Enfriadora Carrier AquaForce 30RB .....	132
Figura 87 Propuesta A: modelo de la edificación con la aplicación de pintura reflectiva en la cubierta de techo, proyección de sobras mediante alero (simulando la sombra de un muro verde) e instalación de sistema de extracción de aire en el techo (Elaboración propia)....	133
Figura 88 Propuesta B: modelo de la edificación con proyección de sombras mediante alero (simulando la sombra de un muro verde), sombras sobre cubierta con módulos fotovoltaicos e instalación de sistema de extracción de aire en el techo (Elaboración propia con DesignBuilder). .....	134
Figura 89 Resultado de la simulación de iluminación en el interior de la nave (Elaboración propia para la edificación existente).....	135
Figura 90 Propuesta arquitectónica vista desde fachada este, proyección de flujo de aire fresco exterior para circulación de aire interior. (Elaboración propia). .....	137
Figura 91 Sección A-A, sin escala, proyección de flujo de aire fresco exterior para circulación de aire interior. (Elaboración propio).....	138
Figura 92 Sección A-A, sin escala, proyección de irradiancia solar sobre pared verde, para reducción de calor en pared de fachada este, (Elaboración propia).....	138
Figura 93 Sección A-A, sin escala, proyección de ingreso de iluminación por medio de propuesta de remodelación arquitectónica, (Elaboración propia). .....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Ejemplo para presentación de resultado en medición de Iluminación. (Ramírez, 2019) .....	43
<i>Tabla 2</i> Irradiación promedio anual para FUNTER, (GSA, s.f.) .....	53
<i>Tabla 3</i> Resumen de los equipos utilizados en la campaña de medición.....	62
<i>Tabla 4</i> Resumen de las metodologías según parámetros y fechas de medición en FUNTER Merliot. (Ramírez, 2019).....	62
<i>Tabla 5</i> Características de los equipos de medición para medición del agua de piscina (Elaboración propia). .....	89
<i>Tabla 6</i> Curva de calentamiento y enfriamiento (fin de semana, 8 de febrero), Elaboración propia .....	92

<i>Tabla 7</i> Curva de calentamiento y enfriamiento (miércoles 12 de feb., con atención), Elaboración propia.....	93
<i>Tabla 8</i> Resumen de pérdidas térmicas de la piscina (Elaboración propia).....	102
<i>Tabla 9</i> Cálculo área mínima de captación (Elaboración propia) .....	104
<i>Tabla 10</i> Resumen de la aportación solar mensual y anual del sistema termosolar instalado (Elaboración propia) .....	108
<i>Tabla 11</i> Resumen de la demanda de energía (kWh/año) para 2018 (Elaboración propia con datos proporcionados por FUNTER).....	114
<i>Tabla 12</i> Tabla resumen con distribución de potencia por sector con módulos fotovoltaicos. (elaboración propia con HelioScope).....	118
<i>Tabla 13</i> Resumen de producción anual del generador fotovoltaico de 125.4 kWp, instalado en cubierta de techos de FUNTER, (Elaboración propia, con base a datos de HelioScope) .....	118
<i>Tabla 14</i> Estrategias para obtención de confort. ....	125
<i>Tabla 15</i> Comparación de temperaturas operativa medidas y simuladas en el interior del recinto (elaboración propia con DesignBuilder) .....	128
<i>Tabla 16</i> Resumen de resultados de la simulación (Elaboración propia).....	134
<i>Tabla 17</i> Resultado de medición de Iluminación en FUNTER. ....	140

## RESUMEN

El propósito de este proyecto fue realizar un estudio y análisis sobre las condiciones de confort térmico del área de gimnasia y piscina para hidroterapia de la Fundación Teletón Pro-Rehabilitación (FUNTER), mediante la ejecución de diferentes estrategias de adquisición de información como la aplicación de encuestas a los usuarios de la edificación, medición y registro de variables que definen el confort interno y calidad de energía eléctrica, todo con base a estándares como ASHRAE 55 y LEED V4.1, ISO 50001, entre otras. Con la información recopilada se construyó la línea base de la edificación, útil para el modelado energético de edificios como el DesignBuilder. Entre las variables medidas está la temperatura ambiente, humedad relativa e iluminación, temperatura en piscina de hidroterapia, y una encuesta de opinión basada en el método de FANGER. Parte del alcance de este trabajo fue el levantamiento de las características constructivas y arquitectónicas del edificio. Con la información recopilada se elaboraron gráficas de cada uno de los parámetros, se interpretaron y analizaron para definir qué tipo de alternativas de solución se podrían ofrecer que mejorara el confort térmico, así como se hizo un análisis del consumo energético general de las instalaciones, mostrando que los costos de los recibos por consumo de energía eléctrica para el año 2018 fueron elevados para un centro de atención que funciona a base de donaciones. Como respuesta a los resultados de medición de parámetros medioambientales fueron diseñadas propuestas de arquitectura bioclimática pasiva, además, se verificó que la fracción solar del sistema termosolar existente para calentamiento de agua de la piscina, supera el 100% de cobertura y se realizaron recomendaciones para el correcto uso de este. Por último, con base al análisis de la demanda de energía eléctrica, se propone la implementación de un sistema fotovoltaico (SFV) en las cubiertas de los techos, presentando resultados y el monto de inversión.

## **ABSTRACT**

The purpose of this project was to carry out a study and analysis of the thermal comfort conditions of the gymnastics area and hydrotherapy pool area of the Teletón Pro-Rehabilitation Foundation (FUNTER), by executing different information acquisition strategies such as conducting surveys to the users who work and visit the building, the measurement and processing of variables that define the internal comfort and quality of electrical energy, all based on standards such as ASHRAE 55 and LEED V4.1, ISO 50001, among others. With the information that was collected, the baseline of the building was built, useful for energy modeling of buildings such as DesignBuilder. Among the variables measured are the ambient temperature, relative humidity and lighting, temperature in the hydrotherapy pool, and an opinion survey based on the FANGER method. Part of the scope of this work was to obtain constructive and architectural characteristics of the building. With the information collected, graphs of each of the parameters were elaborated, the aforementioned graphs were interpreted and analyzed to define what type of solution alternatives could be offered that would improve thermal comfort and an analysis of the general energy consumption of the facilities was realized and this analysis showed that the costs of bills for electricity consumption for 2018 were high for a service center that operates on donations basis. In response to the measurement results of environmental parameters, proposals for passive bioclimatic architecture were designed, in addition, it was verified that the solar fraction of the existing thermo-solar system for heating water in the pool exceeds 100% coverage and recommendations were made for the correct use of this. In response to the measurement results of environmental parameters, proposals for passive bioclimatic architecture were designed, in addition, it was verified that the solar fraction of the existing thermo-solar system for heating water in the pool, exceeds 100% coverage, due to that, recommendations for the correct use of this were provided. To conclude, based on the analysis of the electricity demand, the implementation of a photovoltaic system (SFV) on the roofs was proposed, presenting results and the investment amount.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer y dedicar esta investigación a mis padres y especialmente a mi mamá Morena Azahar, por su arduo trabajo en forjarme de la mejor manera y haberme apoyado en todos los años de mi desarrollo profesional con sus palabras de aliento, siempre conmigo hasta el último instante de la carrera.

Agradezco al resto de mi familia que siempre estuvo pendiente de mi progreso académico, profesional y personal. A todos mis amigos que me motivaron con sus palabras y acciones.

Agradezco el valioso e incansable labor de mi asesor MSc. Álvaro Flamenco por su constante apoyo en el desarrollo de este trabajo de graduación. Así como al equipo técnico que me apoyaron con su conocimiento técnico y científico en esta investigación conformado por Eva Pineda Luna, Geovany Meléndez y Valeria Bermúdez.

A una persona muy especial en mi vida que me apoyo con su tiempo, conocimiento e incondicional colaboración para culminar este último proceso académico, Karina Sacasa.

A todos ellos con cariño les agradezco y dedico esta publicación.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, se está realizando proyectos de mejoras en edificaciones, a nivel internacional y nacional, para optimizar sus recursos energéticos y confort interno, remodelando su distribución arquitectónica, ventilación e iluminación natural, y cambiando equipos antiguos por otros más eficientes y mejorando el confort de los usuarios en dicho espacio. Al mismo tiempo, esto es una tarea no solo para reducir la factura de consumo energético, agua potable o mejoras en el confort humano, sino también con un propósito macro, aportando a la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, objetivo N°13 “Acción por el clima”, y que es parte del objetivo principal del acuerdo de París, firmado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Fundamentándonos en ello, tenemos una gran responsabilidad como país, como humanidad, para generar proyectos sostenibles, perdurables en el tiempo y que reduzcan el uso de energías no renovables para contribuir al legado de nuestra descendencia. Por tanto, se procedió a brindar un aporte técnico y práctico que podría ser replicado en otras instituciones dónde se pueda reducir el consumo de recursos energéticos.

Para ello se procedió a escoger una institución con alto consumo energético y que sea generadora de progreso social, para contribuir no sólo en el factor técnico y económico, sino también en el aspecto social. De esta manera, se aplicaron los conocimientos adquiridos en el proceso académico y desarrollar una investigación que involucre inspecciones “in situ”, diagnóstico de factores medioambientales como irradiancia solar, temperatura, humedad relativa e iluminación, satisfacción del usuario por medio de encuestas de opinión, así como análisis de los consumos energéticos. Con esto se procedió a generar propuestas de solución factibles técnica y económicamente, plasmando detalles arquitectónicos, recomendaciones de ahorro energético, gráficas de resultados de diagnóstico y de las propuestas, como el respectivo presupuesto del diseño.

De este modo, contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías en el país, que servirán como fundamento para futuros proyectos de eficiencia energética y uso de energías renovables.

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

Una de las principales soluciones para el progreso económico y social a nivel mundial ha sido el uso eficiente de la energía, por tanto, la mejora en la gestión energética de una organización, sin duda, tendrá un impacto directo y rápido tanto sobre el factor económico como medio ambiental. Recientemente, uno de los estándares de mayor aplicación en el tema de gestión de energía en una organización es la Norma ISO 50001, entre otras como las certificaciones internacionales LEED. En El Salvador se ha desarrollado un plan estratégico que generó un Consejo Nacional de Energía (CNE), y su estrategia nacional de energía tiene contemplado impulsar una serie de medidas de ahorro y eficiencia energética dentro de los diferentes sectores que conforman la sociedad salvadoreña, realizando para ello campañas de concientización sobre eficiencia energética en instituciones públicas y privadas, entre otras actividades que permitan lograr una gestión más eficiente de la energía que se consume.

Con base a lo anterior, varias instituciones públicas y privadas buscan realizar la mejora en la gestión del uso de la energía a través de la implementación de medidas de ahorro y eficiencia energética a través de la implementación de proyectos con demostrada viabilidad técnica y económica. En ese sentido, la Fundación FUNTER, que es una institución sin fines de lucro, dedicada desde hace 30 años a la rehabilitación integral de personas con discapacidad física a través de servicios clínicos especializados. Dicha institución permitió realizar estudio para evaluar su consumo energético en una zona del centro de rehabilitación principal ubicado en Merliot para diagnosticar y realizar diferentes propuestas de proyectos de mejora de la gestión del consumo interno de energía del edificio de FUNTER.

El estudio se centró en el edificio de rehabilitaciones con hidroterapias en una piscina, además de otra área inmediata a ella para terapias físicas; en dichos espacios se tuvo la oportunidad de estudiar el ambiente interno por medio de toma de parámetros medio ambientales, de esta manera generar un diagnóstico técnico y presentar propuestas de solución detalladas en el presente documento.



factible la regulación de temperatura del agua de la piscina, lo cual no permite su aprovechamiento, generando un alto consumo de gas mensualmente.

También, ubicados inmediatamente a la zona de la piscina, se encuentra otra zona de terapias con camas especiales para ello, todos dispuesto bajo una edificación tipo “nave industrial”, la cual posee un aislamiento bajo la cubierta de techo y una altura máxima en la cumbrera de 6.40 m. De acuerdo con entrevistas hechas al personal de planta de esa institución el lugar no es confortable, siendo la alta temperatura la principal afectación. La evidencia de lo anterior es la instalación de cuatro bioclimatizadores tipo evaporativos en la estructura del techo, no obstante, éstos ya no funcionan como cuando estaban recién instalados lo cual provoca poca ventilación natural generando la sensación térmica cálida de los usuarios.

Otra condición observada fue la iluminación, tomando en cuenta medición con luminarias apagadas, a simple vista parece tener una baja iluminación con respecto a un estándar para zonas de trabajo.

Por todo lo antes expuesto, se realizó una serie de acciones que buscaron identificar la fuente raíz de las condiciones ambientales y operativas (para el caso del sistema de la piscina), con el objetivo de desarrollar propuesta de mejora del confort dentro en el interior de las instalaciones.

Para lograr lo anterior, se ejecutaron diferentes actividades como levantamiento de encuestas de percepción de confort térmico, inspecciones y mediciones con equipo especial en el sitio, información que fue analizada para diagnosticar la razón de la condición actual y proponer posibles soluciones para generar beneficios como los ya mencionados y/o económicos a la institución por un posible ahorro del consumo de energía ya sea eléctrica o de otro tipo. El detalle de la metodología desarrollada se presenta a continuación.

## **1.4 Objetivo General**

Desarrollo de una propuesta para mejorar el confort térmico interno y mejorar la gestión de la energía utilizando criterios de arquitectura bioclimática como respuesta al estudio y análisis de eficiencia energética del edificio de gimnasia e hidroterapia de FUNTER.

## **1.5 Objetivos Específicos**

- Desarrollo de metodología de medición y análisis de datos registrados In-Situ en el interior del edificio objeto de estudio y que tienen relacionados con el consumo de energía y el confort térmico.
- Interpretación las necesidades de confort recopiladas mediante encuesta realizada a los usuarios del edificio citado.
- Diagnóstico de las necesidades de eficiencia energética de los equipos utilizados y para conseguir el confort de los usuarios del centro de rehabilitación.
- Proponer soluciones viables técnica y económicamente, como respuesta al análisis y estudio de eficiencia energética.

## **1.6 Justificación del Estudio**

Actualmente, se está promoviendo el uso más eficiente de todos los espacios diseñados para una edificación, que va desde las mejores alternativas de diseño arquitectónico para lograr un menor consumo energético, manejo de agua potable, grises y de lluvias, ventilación e iluminación adecuada para las zonas habitadas, uso de materiales de calidad amigables con el medio ambiente, entre otra variedad de aspectos. Esta tendencia de mejoras a las edificaciones aplica también en edificios construidos décadas atrás que, de acuerdo con nuevos indicadores, éstos demandan una cantidad importante de energía. Al realizar un proyecto de esta índole no solo se pretende lograr reducir la factura de energía eléctrica, agua potable y mejorar el confort humano dentro de la edificación, sino que también se reducen los Gases de Efecto Invernadero (GEI), resultados que se puede expresar en toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente reducidos que es uno de los objetivos (Nº 13) del milenio planteados por el programa de las Naciones Unidas (Acción por el clima), y que es parte del objetivo principal del acuerdo de París, firmado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Esta clase de mejoras a las edificaciones se está desarrollando en El Salvador por parte de algunas empresas privadas e instituciones gubernamentales, así como universidades que están dentro del clúster de energía; y cómo parte de promover precedentes y experiencias en cuanto a la metodología seguida para realizar este tipo de análisis.

### **1.7 Alcances**

Ejecutar mediciones, diagnóstico y elaboración de propuestas técnica y económica de mejora, respecto a una línea base, de la eficiencia energética y la calidad ambiental interior de la sala del gimnasio e hidroterapia de FUNTER, así como también:

- Levantamiento en planta y elevaciones de la infraestructura existente en el edificio de hidroterapia, con énfasis en los materiales empleados en su construcción.
- Registro de variables meteorológicas de temperatura y humedad relativa de la zona en estudio.
- Mapa de iluminación media de los ambientes de trabajo.
- Medición del consumo energético mediante analizador de redes de potencia eléctrica, y de manera básica, determinar si existe calidad de la energía eléctrica y eficiencia en su consumo.
- Proponer medidas de reducción del consumo de energía eléctrica según facturación anual.
- Análisis de ganancia térmica por irradiación solar en la edificación. Para lo anterior se elaboró un modelo digital del edificio en 3D.
- Realizar una simulación energética del edificio validándola con la línea base y a partir de esta realizar propuestas de mejora del confort (calidad ambiental interior).
- Presentar el diagnóstico de los resultados obtenidos con base a criterios de arquitectura bioclimática.
- Presentar una formulación de un presupuesto con un monto base de las propuestas por ejecutar.

## **1.8 Delimitaciones**

Para el estudio realizado fue necesario plantear una delimitación ya que el escenario del centro de rehabilitación de FUNTER es bastante amplio; para ello se tomará en cuenta lo siguiente:

- El análisis se realizará en el área de hidroterapias del centro de rehabilitación que está al sur oeste del inmueble, que es un área rectangular con una superficie aproximada de 815 m<sup>2</sup>.
- Los parámetros meteorológicos se midieron por un período de una semana de manera constante.
- La iluminación media se realizó generando una cuadrícula para poder generar curvas de iluminación en dos momentos: 10:00 am y 3:00 pm.
- El análisis de calidad de energía y cantidad de consumo de esta se realizó por el período de una semana normal de trabajo de FUNTER, en cada uno de los sub-tableros que tiene el centro de rehabilitación.
- Se realizó un levantamiento de equipos y diagnóstico de funcionamiento del sistema de calentadores solares de agua para la piscina de hidroterapias.
- Se realizó un diagnóstico de los cuatro bioclimatizadores en la zona de las terapias, que no poseen un funcionamiento óptimo.
- El levantamiento de la distribución arquitectónica de la zona en estudio se realizó para poder generar el volumen en un software (Revit), para poder realizar un análisis energético.

## **1.9 Metodología de la Investigación**

El desarrollo de la investigación en FUNTER se ejecutó mediante visitas técnicas para conocer toda la infraestructura y condiciones operativas en su interior. Con ese reconocimiento se definió cual es el área en la que más se puede obtener un resultado con mayor beneficio para la institución a la que se está colaborando. A partir de ello, se realizó campañas de medición de parámetros medioambientales tales como: temperatura ambiente, humedad relativa e iluminación, principalmente, así como también evaluar las características constructivas y la distribución de espacio en el edificio objeto de estudio y el consumo de

energía. La información recopilada sirvió para la construcción de una línea base de referencia para evaluar el impacto de las propuestas de cambio para lograr un mejor confort dentro del edificio y minimizar el consumo de energía.

Con la información recopilada se elaboraron gráficas con interpretación de temperatura y humedad relativa, mapas de distribución iluminación media, gráficas de consumo de energía eléctrica, entre otra información relevante analizada. Con lo anterior se presentan propuestas de mejora empleando criterios de arquitectura bioclimática, recomendaciones en el uso de equipos y mejoras en la cultura de ahorro de la energía para todas las actividades invertidas, logrando de esta manera un confort térmico de los ocupantes de la edificación y una mejor gestión de la energía que consume la edificación.

## CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL

### 2.1 Importancia de la Gestión de la Energía

La Certificación de Sistemas de Gestión Energética es una herramienta útil que contribuye a mejorar la eficiencia energética de forma sistemática, apostando por la mejora continua, a incrementar el aprovechamiento de energías renovables o excedentarias, así como al ahorro del recurso agua y de energía, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Recientemente, uno de los estándares de mayor aplicación en el tema de gestión de energía en una organización es la Norma ISO 50001 creada para contribuir a la situación actual del uso de las energías a nivel global ya que ayuda a la mejora del rendimiento energético de las organizaciones permitiendo una correcta gestión de la energía además de la ser un apoyo a los esfuerzos a largo plazo para mejorar las tecnologías del uso de la energía. Un elemento importante de la norma es la realización de la Línea Base para determinar el perfil de demanda de las cargas asociadas a un recinto llámese industria, residencia, oficinas, entre otros, fundamental para realizar cambios sustanciales traducidos en ahorros económicos.

### 2.2 Eficiencia Energética

La eficiencia energética se define como: *“realizar una actividad o proceso eficazmente con la menor cantidad de energía requerida”* (Factorenergia, 2017). Una persona, servicio o producto eficiente comprometido con el medio ambiente, además de necesitar menos energía para realizar el mismo trabajo, también busca abastecerse, si no por completo, con la mayor cantidad posible de energías renovables o alternativas.

De acuerdo con (Martín, 2016), la eficiencia energética *“es poder obtener los mejores resultados utilizando la menor energía posible de forma sostenida en el tiempo, sin comprometer la disponibilidad o la calidad de la energía”*. En el mismo sentido, el Consejo Nacional de Energía (CNE, 2009), encargado de la política energética de El Salvador, respecto a la eficiencia energética dice lo siguiente: *“se entenderá por uso eficiente de la energía a todos los cambios que se traducen en la disminución de la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de actividad económica o para satisfacer las necesidades*

*energéticas, manteniendo un determinado nivel de bienestar o productividad; por lo que, incluye cambios tecnológicos, económicos y el comportamiento de la población”.*

Con base a lo anterior, en la figura 2.1 se presentan los principales objetivos de la eficiencia energética la cual busca proteger el medio ambiente mediante la reducción de la intensidad energética y habituando al usuario a consumir lo necesario y no más. Las emisiones de CO<sub>2</sub> que enviamos a la atmósfera son cada vez mayores y, por ese motivo, la eficiencia energética se ha convertido en una forma de cuidar al planeta ya que, no solo está en usar electrodomésticos que consuman menos, sino en que sean los usuarios quienes consuman menos y de forma más sostenible.



Figura 2 *Ventajas de la eficiencia energética. (News Solicima , 2019).*

### **Ventajas de la eficiencia energética:**

- Reducir el impacto de los Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- Reducir los gastos de energía en hogares y empresas.
- Disminuir la dependencia energética del exterior de la nación.
- Aumentar la seguridad del abastecimiento de energía.

- Disminuir el consumo de recursos naturales.
- Reducir los costos de producción, mejorando la competitividad de las empresas.
- Reducir el deterioro del medio ambiente, asociado a la explotación de recursos.
- Reducción del daño ambiental y la contaminación.

### **Beneficios para el país:**

- Ahorro directo de combustible en las plantas térmicas de generación de energía eléctrica, lo cual implica menores costos y una disminución en las importaciones de combustibles fósiles.
- Al utilizarse la energía en forma más eficiente se disminuye la necesidad de generar energía eléctrica en plantas térmicas y por lo tanto se reduce la utilización de combustibles derivados del petróleo o gas natural con tales efectos.
- También se disminuye la necesidad de realizar importaciones de energía eléctrica desde países vecinos.
- Postergación de las inversiones en infraestructura de suministro y generación de energía: las normas y etiquetas de Eficiencia Energética disminuyen la necesidad de inversiones futuras en construcción de costosas plantas de generación de energía eléctrica, permitiendo una disminución en el costo del servicio eléctrico.
- Mejoramiento de la eficiencia en la asignación de recursos en la economía del país: el uso eficiente de los recursos energéticos permite disminuir los costos de adquisición y generación de energía, liberando fondos para otros fines (educación, salud, seguridad, etc.); por lo tanto, hacen la economía más eficiente.
- Mercados más atractivos: la regulación permite a las empresas proveedoras y/ o fabricantes de equipos tener un mercado más atractivo ya que los consumidores buscan los beneficios de los nuevos equipamientos, generando nichos de mercado que brindan oportunidades para dichas empresas.

### 2.3 Fundamentos Físicos de la Eficiencia Energética

Según (Ayala, 2013), la eficiencia energética de un sistema, dispositivo o elemento se puede definir como la relación entre la energía útil suministrada y la energía suministrada, entendiendo por energía útil aquella que es necesaria para cumplir los objetivos para los cuales se ha diseñado el sistema, dispositivo o elemento.

$$\eta = \frac{\epsilon_{\text{útil}}}{\epsilon_{\text{sum}}}$$

La expresión que nos permite determinar la energía consumida es función del tipo de sistema, y de la fuente de energía primaria que se está utilizando como por ejemplo un derivado del petróleo.

Para poder establecer el valor de la eficiencia energética de un sistema, dispositivo o elemento hay que conocer el tipo de conversión energética que se produce, dado que los rendimientos de dichos procesos influyen de manera directa sobre la eficiencia energética. Hoy en día, la mayoría de los sistemas que utilizamos funcionan con tres tipos de fuente energética, corriente eléctrica, fuente de calor o energía mecánica; así pues, los tipos de conversión de energía se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Conversión directa.
- Conversión indirecta.

La conversión directa es aquella en la que la transformación de energía se realiza entre el mismo tipo de energía, por ejemplo, electricidad en electricidad, o cualquier otra del mismo tipo. La conversión indirecta se produce cuando la fuente primaria de energía y la transformada son de distinta naturaleza, por ejemplo, electricidad en calor.

En el caso de sistemas eléctricos de acondicionamiento de recintos en edificios de oficinas, la conversión es en sentido inverso, es decir, se consume energía eléctrica y se genera energía calorífica o frigorífica, según se pretenda calentar o enfriar el recinto.

Otra forma de conversión de energía es la iluminación eléctrica, donde el flujo luminoso es la medida de la potencia luminosa percibida y se determina a partir de la emitancia luminosa, que se mide con un luxómetro, a partir de la relación:

- Emitancia (lux) = Flujo luminoso (lumen)/superficie (m<sup>2</sup>)

Por otro lado, la iluminación en oficinas, desde el punto de vista de confort, es un parámetro muy importante para estudiar; pues la visión representa el 80% de nuestra percepción sensorial; tener una buena iluminación es una necesidad real pues de un adecuado confort visual dependen en cierta medida el bienestar físico y psicológico del trabajador y la productividad de la empresa. Por lo cual la iluminación de los ambientes de trabajo y en particular de la oficina moderna, conlleva condicionantes que inciden sobre el aspecto cuantitativo (nivel de iluminación, uniformidad, ahorro energético, y otros), y sobre el aspecto cualitativo que se refiere al confort.

Según lo planteado anteriormente, el concepto de eficiencia energética es muy amplio o abarca diferentes aspectos que contribuyen con el bienestar de los ocupantes de una edificación y con la reducción en el consumo de recursos; más, sin embargo, el objetivo de cualquier estudio es identificar las oportunidades de mejora de las condiciones existentes para conseguir una reducción importante en el consumo de energía en una edificación manteniendo o mejorando la calidad ambiental interior.

Lo anterior se puede lograr realizando los cambios oportunos en el diseño de nuevos edificios o realizando diferentes modificaciones en edificios existentes. Lo anterior se simplifica si se cuenta con herramientas de simulación energética de edificaciones que cumplan con la certificación LEED. En el presente estudio se utilizó dos programas los cuales serán detallados a continuación.

## **2.4 Programas para la Simulación Energética de Edificios**

Entre los programas de simulación energética que se encuentran actualmente en el mercado, que ofrecen información apegada a la realidad y con la mayor objetividad posible para brindarnos consumos energéticos de edificaciones se tienen los siguientes:

- *OpenStudio,*
- *DesignBuilder,*
- *Autodesk REVIT.*

Todos los programas listados permiten archivos elaborados en Sketch-Up y modelado con el motor de simulación de EnergyPlus. Entre las ventajas de usar una herramienta de simulación están las siguientes:

- Permite optimizar la demanda de energía que consumirá una edificación en su vida útil.
- Se puede modelar el efecto dinámico de las cargas térmicas por viendo, irradiación, inercia térmica de los materiales, iluminación, cargas acústicas, entre otras, y todo relacionado con el confort de los ocupantes de la edificación.
- Calcula el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio y determinar si cumplirá determinada certificación como la LEED, LIDER, CALENER, etc.

Para el caso de REVIT, entre la información de salida del análisis energético, mediante cifras y gráficos, se tiene:

- Factores de rendimiento de construcción,
- Emisiones de carbono anuales,
- Uso de energía: Consumo de electricidad mensual,
- Carga de calefacción y refrigeración mensual,
- Rosa de los vientos anual (distribución de velocidad),
- Rosa de los vientos anual (distribución de frecuencia),
- Distribución de temperatura y humedad relativa mensual y anual,
- Ahorro de energía, etc.

De la lista de programas, en el presente trabajo para la simulación fue empleado *DesignBuilder* y *Autodesk REVIT*, tanto para la validación de la línea base como para la elaboración de las propuestas de modificación.

## **2.5 Arquitectura Bioclimática**

Este tipo de arquitectura tiene en cuenta muchos factores relacionados con la eficiencia energética, el clima de la zona donde se reside, ahorro de agua y reducción en las emisiones contaminantes. La arquitectura bioclimática estudia las condiciones naturales del entorno para aprovechar los recursos y alcanzar el confort térmico.

Antes del desarrollo de tecnologías y materiales, las personas usaban los recursos que les ofrecía la naturaleza para protegerse del frío y el calor. Los árboles, montañas, ríos, vientos y el Sol, por mencionar algunos, eran los elementos que determinaban la climatización de sus hogares.

Muchos olvidaron estos conocimientos cuando la tecnología comenzó a ofrecer soluciones, las que pueden ser muy prácticas, pero usualmente utilizan muchos recursos y/o contaminan el medio ambiente.

La arquitectura bioclimática rescata algunos de los conocimientos de nuestros ancestros al considerar las condiciones del entorno para diseñar edificios que ofrecen un confort térmico aprovechando los recursos naturales.

### **2.5.1 Conceptos y Técnicas de Arquitectura Bioclimática**

Para alcanzar sus objetivos, la arquitectura bioclimática coordina el diseño del edificio, los detalles constructivos, los espacios arquitectónicos y los elementos del exterior, aplicando una serie de técnicas y manejando ciertos factores. Algunos de los más importantes son:

- Trayectoria solar

La trayectoria de la luz solar varía en las distintas estaciones, afectando la radiación que reciben las fachadas. Por ejemplo, en invierno el lado sur recibe casi toda la radiación, mientras que en verano las fachadas este y oeste reciben la mayor parte de la luz durante la mañana y la tarde.

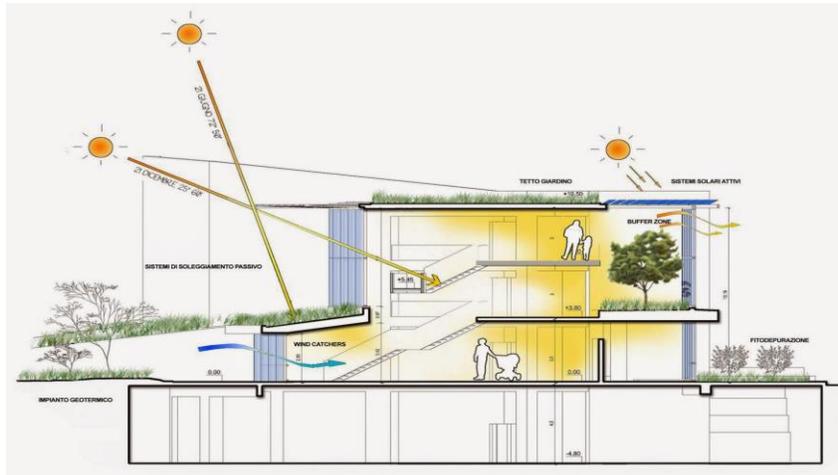


Figura 3 *Esquema ejemplo de trayectoria solar.* (Ezquerria, 2017).

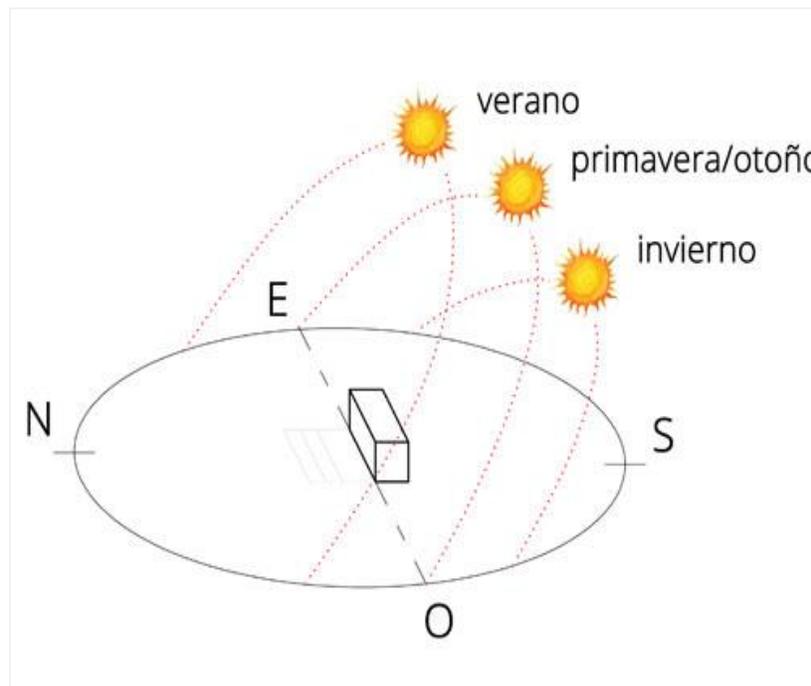


Figura 4 *Trayectoria solar esquematizada,* (Caballero, 2010)

- **Radiación Directa, Difusa Y Reflejada**

La manera en que la energía solar incidente en una superficie también tiene efectos sobre el edificio. Hay tres formas posibles:

- **Directa:** directamente del Sol.

- **Difusa:** es la energía dispersada por la atmósfera.
- **Reflejada:** es aquella reflejada por la superficie de la tierra (albedo).

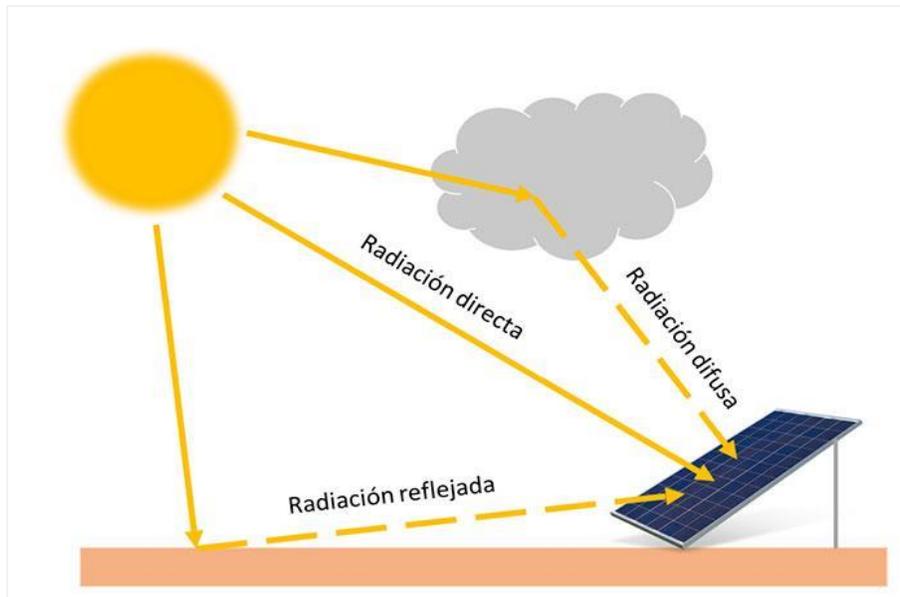


Figura 5 *Formas de radiación solar.* (Chintpowerlatinoamerica, 2017).

- **Formas de Transmisión del Calor**

Los mecanismos de transmisión del calor afectan el comportamiento térmico de un edificio de distintas formas:

- **Conducción:** La energía viaja por la masa de un cuerpo. Algunos edificios pueden perder calor durante el invierno si sus paredes son altamente conductoras. Para evitar esto se pueden usar aislantes.
- **Convección:** En materiales fluidos, la energía es transportada por el movimiento del propio material. La convección puede ser natural, como por ejemplo en el caso del aire caliente que sube, o forzada, como los ventiladores que mueven el aire.
- **Radiación:** La intensidad de la radiación electromagnética de un material depende de la temperatura a la que esté.

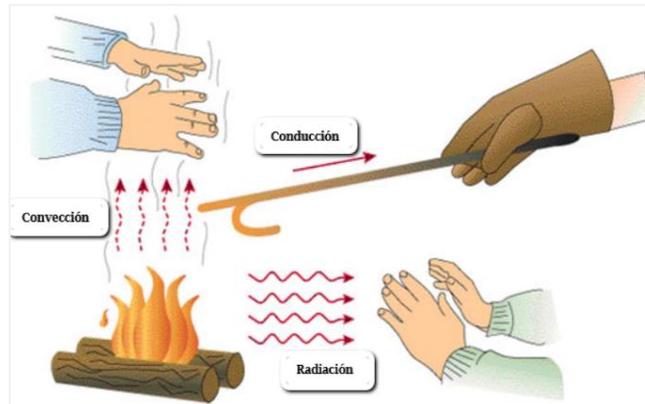


Figura 6 *Diagrama de transmisión energía de calor por convección, conducción y radiación.* (Deposiphotos, 2015).

- **Capacidad Calorífica e Inercia Térmica**

Una estructura tiene una alta capacidad calorífica cuando es capaz de almacenar mucha energía en forma de calor y mucha inercia térmica cuando sube o baja su temperatura lentamente. Idealmente, los edificios deben acumular y liberar calor lentamente para evitar los cambios bruscos de temperatura.

- **Ubicación y Clima**

Todos los elementos naturales y artificiales del entorno pueden influir en el comportamiento del edificio. El primer estudio que debe hacerse es sobre las condiciones climáticas y la ubicación, considerando:

- Variación de temperaturas ambiente.
- Radiación solar incidente.
- Dirección y velocidad promedio del viento.
- Pendientes del terreno.
- Elevaciones cercanas que puedan bloquear o reflejar la radiación.
- Influencia de ríos, lagos o mares cercanos.
- Influencia de bosques.
- Otros edificios o construcciones.

- También se debe considerar que es posible intervenir el entorno añadiendo o quitando vegetación, modificando elevaciones o creando lagos artificiales, por ejemplo.
- **Forma y Orientación**

La forma y la orientación del edificio determinarán la superficie de contacto con el exterior, la cantidad de luz solar que recibe y su respuesta frente a los vientos.

- **Aislamiento y Masa Térmica**

Los materiales aislantes y la masa térmica buscan optimizar el almacenamiento y liberación del calor, y reducir los cambios bruscos de temperatura. Idealmente, un edificio almacenará calor solar durante el día para liberarlo progresivamente durante la noche.

- **Aprovechamiento Climático del Suelo**

Los cambios de temperatura del suelo también deben ser considerados. Su inercia térmica hace que las oscilaciones exteriores se amortigüen, y alcanzada cierta profundidad, el calor se mantiene constante.

## 2.5.2 **Ventajas de la Arquitectura Bioclimática**

Como se es de esperar, una construcción bioclimática tiene bastantes ventajas con respecto a una edificación convencional. Las primeras ventajas son la autosuficiencia energética y el superávit. Esto es, poder satisfacer tu propia demanda energética e incluso generar beneficios si se tiene una infraestructura necesaria para la venta de los excedentes.

Para poder tener un superávit de energía y un autoconsumo se necesita emplear fuentes de energía renovable como la eólica, solar y geotérmica, entre otras según recurso disponible.

Otra ventaja de estas viviendas bioclimáticas es el aprovechamiento de los recursos naturales como los recursos nombrados anteriormente, la luz solar, la ubicación y distribución es ideal para disminuir el consumo eléctrico, entre otros beneficios. En los países con clima frío, si un hogar tiene una distribución interna y una ubicación acorde con el mayor número de horas de Sol al día, estaremos disminuyendo el uso de la electricidad.

Todos estos aspectos suman eficiencia a estas viviendas para disminuir el impacto ambiental. El objetivo de la arquitectura bioclimática es el de ahorrar energía y dinero de una forma ecológica, pero sin disminuir la calidad de vida de los usuarios. Es todo lo contrario, estaremos aumentándola gracias al uso de materiales optimizados.

### **2.5.3 Pautas de Diseño en la Arquitectura bioclimática**

Según (Tejada, 2015) en este momento se está viendo la necesidad cada vez mayor de que la arquitectura adopte criterios de diseño y construcción más sensibles y respetuosos con el medio ambiente natural, no sólo como postura ética “apropiada” para reducir los impactos negativos sobre todo en las ciudades, sino como una necesidad de actualizar sus competencias para estar en condiciones de responder a las normativas ambientales ya establecidas legalmente.

En este sentido las directrices generales para la implementación de criterios medioambientales en el proceso de diseño arquitectónico son:

- Partiendo del enfoque socio físico de la arquitectura se debe analizar la incorporación de criterios ambientales considerando todas sus dimensiones, ya sean éticas, estéticas o técnicas, que implican el desarrollo proyectual.
- Es necesario enfatizar la importancia de incorporar la temática ambiental como parte integral del proceso de diseño y no como un “agregado” legal, normativo, propagandístico o de moda.
- Es importante recalcar el papel fundamental que tienen las etapas de formación del arquitecto para desarrollar una conciencia tanto a nivel individual como colectivo.

### **2.5.4 La Arquitectura Bioclimática en El Salvador**

En El Salvador el término arquitectura bioclimática no es nada nuevo y puede ser apreciada en las edificaciones de más de 100 años en la ciudad y pueblos, así como también en el desarrollo de proyectos urbanísticos de los años 50 y 60, y prácticamente olvidado en lo sucesivo hasta la actualidad. No obstante, el tema ha venido teniendo resonancia en aquellos profesionales dedicados al arte de la construcción en búsqueda de nuevas técnicas que le permita ser amigables con el medio ambiente.

Sin embargo, en comparación con otros países, en El Salvador se está apenas iniciando el camino hacia la arquitectura con responsabilidad social y sobre todo con un respeto al medio ambiente, en donde la imaginación juega un papel importante ya que pone a funcionar la creatividad en función de materiales y técnicas ya existentes obteniendo al máximo provecho de los recursos naturales que nos brinda el entorno.

En país se están desarrollando proyectos ambiciosos donde se puede apreciar la influencia de la arquitectura moderna con una intención de aplicar los conceptos básicos de la arquitectura bioclimática, un ejemplo de ello es el edificio AVANTE (Seisarquitectos, 2010), considerado como la moderna mega construcción que ofrece a sus usuarios en su mayoría empresarios el confort ideal para hacer negocios.



Figura 7 Edificio Avante. (Seisarquitectos, 2010).

Otro proyecto significativo es el de las Torres 105 Campestre. Cuenta con las torres habitacionales más altas de El Salvador con un área de 37,000 m<sup>2</sup> de construcción. Estudios realizados para determinar el diseño: Inversiones Bolívar realizó varios estudios, que no suelen ser tomados en cuenta a la hora de realizar una construcción. Entre ellos están:

- Estudio bioclimático de asoleamiento, del cual resulta un diseño que busca ahorrar energía tanto en luz como en sistemas de aires acondicionado por medio del mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

- Comportamiento del viento. Cada detalle ha sido pensado y cuidado en este proyecto para obtener la máxima comodidad para sus habitantes.



Figura 8 *Vista del complejo de las Torres Campestre. (Bedout, 2008).*

Otro ejemplo es la vivienda de interés social bioclimática desarrollada por ITCA-FEPADE, con la participación de la Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Sede Central, Santa Tecla, quien formo una alianza estratégica con Hábitat para la Humanidad para desarrollar proyectos de investigación aplicada.

La Arquitecta Eva Margarita Pineda Docente Investigadora junto al Ing. Gilmar Andrés Ramirez coinvestigador de la Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura del ITCA, fueron invitados por Hábitat el 25 de octubre a participar en la inauguración de la entrega de la “1ra. Vivienda Bioclimática de Interés Social” construida en El Salvador, en el Caserío Chaparrastique, Cantón El Niño, San Miguel. El diseño de este tipo de vivienda se desarrolló como un proyecto de investigación, el cual tuvo como objetivo primordial brindar un ambiente más agradable, seguro, estable, así como utilizar materiales amigables con el medio

ambiente. El diseño aprovecha la luminosidad y el flujo de aire natural y minimiza el consumo de energía eléctrica. Se encuentra bajo un ambiente bioclimatizado; incluye una loza verde y un sistema de recolección de aguas lluvias.

ITCA-FEPADE seguirá colaborando con Hábitat para la Humanidad, proponiendo soluciones constructivas que sean amigables con el medio ambiente, a fin de contribuir al crecimiento de viviendas de interés social unifamiliares dignas.

El apoyo a los problemas que afectan el entorno social de muchas familias salvadoreñas se ve reflejado en las propuestas de solución de que aportan los proyectos de investigación de ITCA-FEPADE, los cuales se vinculan de forma directa con el Programa Institucional de Proyección Social en beneficio de la comunidad.



Figura 9 Vivienda bioclimática de interés social. (Pineda, 2016).

### 2.5.5 Carta Bioclimática de Givoni<sup>1</sup>

Entre las herramientas empleadas para evaluar el confort térmico en edificaciones está el diagrama bioclimático de Givoni “Building Bioclimatic Chart” que introduce como variable el efecto de la propia edificación sobre el ambiente interno. El objetivo fundamental de la carta bioclimática consiste en utilizar unos materiales y una estructura constructiva, cuya

---

<sup>1</sup> Hernández, P. (2014). *Diagrama Bioclimático de Givoni*. Recuperado de <https://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/>

respuesta ante unas determinadas condiciones exteriores, permita crear un ambiente interior comprendido dentro de la zona de bienestar térmico.

En términos prácticos, el diagrama de Givoni (*Figura 10*) es una carta que permite determinar las estrategias bioclimáticas a adoptar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una determinada época del año. En el diagrama se distinguen unas zonas asociadas a sus respectivas técnicas bioclimáticas que permiten alcanzar la zona de bienestar.

La carta se construye sobre un **diagrama psicrométrico** y en ella se distinguen una serie de zonas características:

- Una zona de bienestar térmico delimitada a partir de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa, sin tener en cuenta otros factores.
- Zona de bienestar ampliada por la acción de otros factores adicionales tales como:

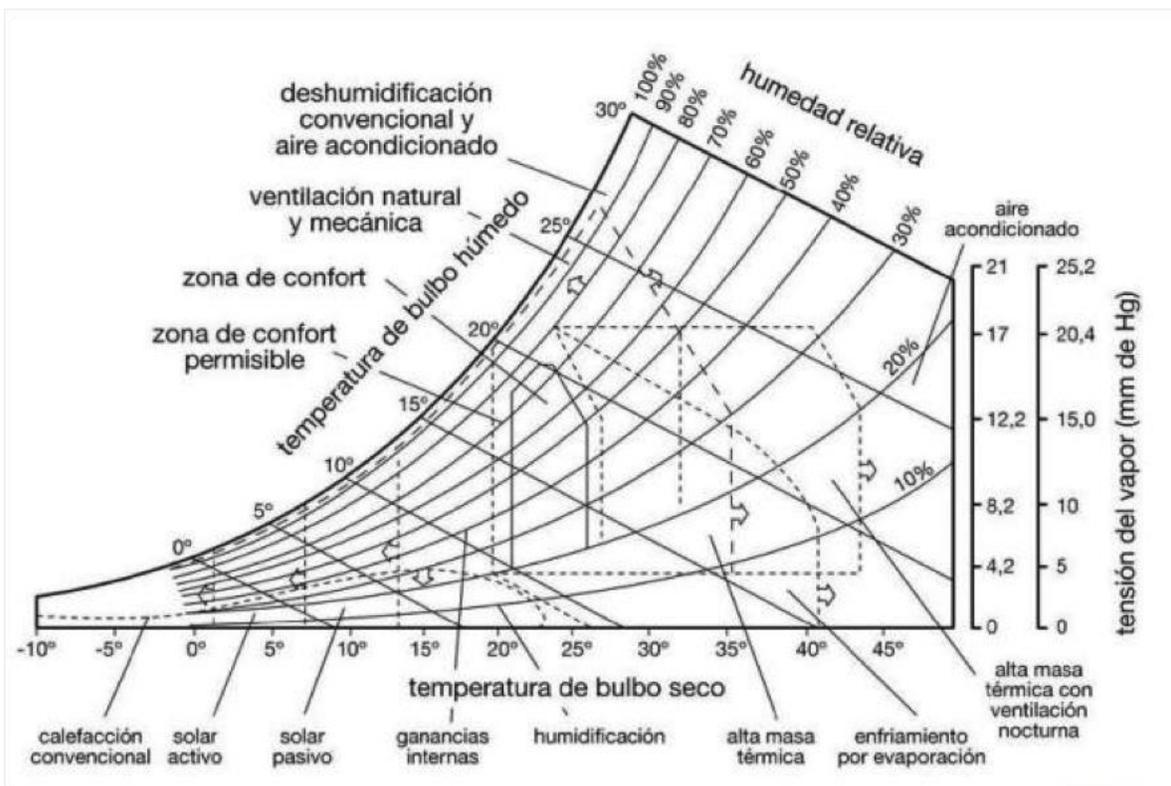


Figura 10 Diagrama psicrométrico propuesto por Givoni. (Hernández, 2014).

a) Hacia la derecha la zona de bienestar puede ampliarse en función de la masa térmica del edificio, representada por los tipos de materiales de la construcción; el enfriamiento evaporativo, que se produce cuando una corriente de aire seco y cálido pasa sobre una superficie de agua, parte de la cual se evapora produciendo un doble efecto positivo: descenso de la temperatura por la energía utilizada en el proceso de evaporación y aumento de la humedad ambiental. Fuera de estos límites y hacia la derecha del gráfico, solo se pueden conseguir las condiciones adecuadas con sistemas mecánicos de ventilación y deshumidificación.

b) Hacia la izquierda del gráfico la zona de confort se extiende siempre que se produzca calentamiento, que puede ser calentamiento pasivo, es decir, utilizando la radiación solar directa, durante el día, o el calor almacenado en acumuladores, durante la noche y calentamiento mecánico, mediante el uso de sistemas convencionales de calefacción.

El diagrama de Givoni será una de las herramientas a emplear junto al registro de datos meteorológicos para diagnosticar el confort interno en la edificación analizada.

#### **2.5.6 Iluminación Interna**

La iluminación es un rubro importante en el consumo energético y generación de confort. Existen dos tipos principales de iluminación, la luz natural procedente del Sol y la luz artificial que se genera mediante electricidad.

La luz natural es la de mejor calidad, sin embargo, su aprovechamiento está sujeto a factores como horas de luz solar efectivas, época del año, estado del tiempo, incremento de las ganancias térmicas en ventanas y construcción de las instalaciones.

La luz es una forma de energía que se puede medir, pero para ello es necesario tomar en cuenta dos conceptos: flujo luminoso; medido en lúmenes (lm) que es la energía emitida por la fuente luminosa, e iluminancia medido en lúmenes por metro cuadrado (lux). Este último término es el que se utiliza para la toma de mediciones y controles de calidad luminotécnica de zonas y plano de trabajo.

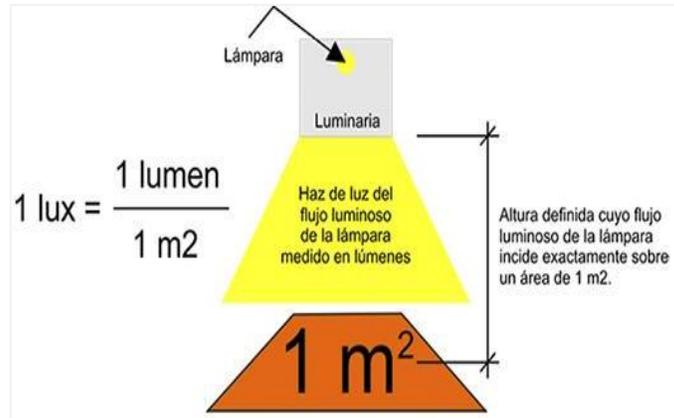


Figura 11 Esquema del método de medición de lux. (Ledalmacen, 2016).

Además, es importante tomar en cuenta otro factor llamado la temperatura de color, que hace referencia al color de la fuente luminosa, que es medido en Kelvin (K).

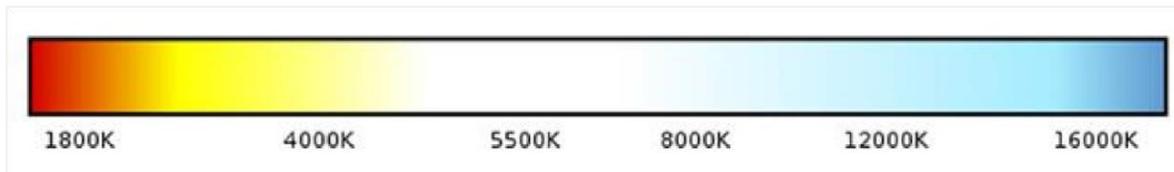


Figura 12 Temperatura de Color. (Lampara.es, 2017).

### 2.5.7 Consideraciones para un Diagnóstico de Iluminación

Para hacer un diagnóstico de la iluminación primero se deberá medir la iluminación con equipo especial (luxómetro), el cual permitiría establecer una base comparativa de la eficiencia con que los equipos de iluminación trabajan y si cumplen o no parámetros brindados como por ejemplo los brindados por el Ministerio de Trabajo de El Salvador. Como ejemplo, en la tabla 1 se presentan datos medidos de iluminación y la comparación con su respectivo valor de referencia o estándar. Similar actividad fue desarrollada en el recinto de FUNTER, el resultado de las mediciones se presenta más adelante en este documento.

Tabla 1 Ejemplo para presentación de resultado en medición de Iluminación. (Ramírez, 2019)

<b>Mediciones de Iluminación</b>					
<b>Ubicación</b>	<b>Actividad/Categoría</b>	<b>Medición de Iluminación en área de trabajo (lux)</b>	<b>Promedio (lux)</b>	<b>Valor Estándar (lux)</b>	<b>Cumplimiento de Estándar (si/no)</b>
Áreas estantes de exhibición	Exhibición de productos en estantes verticales	Min.: 966	1377	500	Si
		Máx.: 2166			
Mesas centrales de exhibición	Productos mostrados en mesas centrales del local	Min.: 126	243	500	No
		Máx.: 412			
Área de Caja	Donde se atiende a clientes para pagar productos	Min.: 538	775	500	Si
		Máx.: 878			

Nota: Valor estándar (lux), Decreto 89, *Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo. Sección II: Agentes Físicos.* (2010). Ministerio de Trabajo, El Salvador.

## 2.6 Línea Base de Referencia y su Importancia según la Norma ISO 50001

Como fue expuesto anteriormente, la LEED v4.1 permite hacer una mejor gestión de consumo de energía para lograr un bienestar de los ocupantes de una edificación. No obstante, esta certificación requiere del levantamiento de información del estado actual de los cinco criterios antes mencionados para formar la línea base energética (*LBE*) que proporcione una base de comparación del desempeño energético. Un LBE es una pieza clave en la implantación de un Sistema de Gestión Energético bajo la norma **ISO 50001**, ya que dentro del sistema de gestión energética es obligatorio evidenciar la mejora del desempeño energético.

La mejora del desempeño energético, que se puede considerar como rendimiento energético, debe establecerse de forma cuantificada y objetiva, de tal manera que es necesario disponer de un periodo de referencia de consumos ajustado a las condiciones de uso. Esta relación debe ser tomada como línea base de referencia.

La norma de gestión de la energía ISO 50001 se enmarca en un círculo de mejora continua del funcionamiento energético, en donde las actividades de planificación, ejecución, comprobación y evaluación forman parte fundamental en las políticas de eficiencia energética. Por ello, las auditorías de eficiencia energética se han convertido en un elemento imprescindible para determinar lo que se denomina “**Indicadores de Desempeño Energético y Línea Base**”, ya que éstos permiten conocer la evolución del consumo energético en el tiempo y la repercusión de los ahorros por las mejoras establecidas en el plan de acción.

Para el edificio analizado se realizó un plan de trabajo para realizar una campaña de medición de los tipos, usos y consumos de energía para construir los Indicadores de Desempeño Energético (IDE) en el edificio de hidroterapia. Entre la información recolectada está: calidad de energía, confort térmico, iluminación, cantidad de ocupantes y tipo de actividad dentro del edificio, en otros datos relevantes, que permitieron identificar oportunidades de mejora.

## CAPITULO III: ANALISIS Y DIAGNOSTICO DEL AREA EN ESTUDIO

### 3.1 Descripción y Características de la edificación para Rehabilitaciones analizada

FUNTER, desde su fundación en 1987 ha evolucionado a través de los años, inicialmente atendiendo a víctimas del conflicto armado que sufrió el país, especialmente personas con amputaciones; hasta en la actualidad personas con discapacidades neuromusculoesqueléticas de todas las edades, razas, creencias y nivel socioeconómico.

El modelo de atención actual es integral y centrado en la persona y su familia, buscando su rehabilitación física y emocional, así como su incorporación a la vida social y familiar.

Cuenta con tres centros de atención estratégicamente ubicados en las zonas paracentral, occidental y oriental del país, lo cual nos permite recibir a usuarios desde zonas urbanas y rurales. De ellos, es el Centro Merliot el que se considera de más alta complejidad por su equipo tecnológico, personal y servicios especializados, que son prestados a los usuarios que los necesitan. Para la construcción de la primera etapa se recolectaron fondos mediante Teletones entre el año 1990 al 1998.



Figura 13 Vista sur de volumetría del conjunto FUNTER Merliot (Teletón, 2020).

La intención principal del conjunto volumétrico se encuentra en proporcionar accesibilidad a todos los espacios y que la circulación se presente cómoda y sin dificultad. Su conjunto presenta una composición volumétrica horizontal, la cual posee un acento en la parte central de la fachada, que no solo resalta en altura, sino también en la fuerza del color y el uso de diferentes elementos como lo son las columnas. Aunque en el interior se encuentran diferentes niveles, los elementos de circulación y el buen manejo de la topografía del terreno han permitido disimularlos.



Figura 14 *Diferentes niveles de topografía en FUNTER (Elaboración propia).*

### **3.1.1 Distribución de Espacios**

El edificio de FUNTER está dividido en diferentes zonas, nombradas según las actividades o servicios que se realizan en la institución:

- Consulta médica,
- Evaluaciones psicométricas,
- Psicología,
- Trabajo social,
- Apoyo laboratorio de marcha y movimiento,
- Fabricación de órtesis y prótesis,
- Tratamiento Terapia ocupacional,
- Terapia de lenguaje, y
- Edificio de gimnasia e hidroterapia (objeto de estudio), donde se tiene lo siguiente:

- **Terapia física para niños y adultos:** Lugar en que se desarrollan las habilidades físicas y funcionales a través de diversos tratamientos: electroterapia, mecanoterapia, hidroterapia, piscina terapéutica, masoterapia, estimulación temprana y multisensorial, mesa de tracción cervicolumbar, tritón dts y la unidad de rehabilitación del equilibrio.



Figura 15 *Mobiliario rehabilitación física en edificio de hidroterapia (costado sur)*  
(Elaboración propia).

En esta misma área está la piscina climatizada para hidroterapia que tiene una profundidad aproximada de 1.10 m, en la cual reciben terapia niños y adultos; y el cuarto de hidroterapia cuenta con la instalación de agua fría y caliente, duchas para niños, y una mesa para vestir a los niños más pequeños.

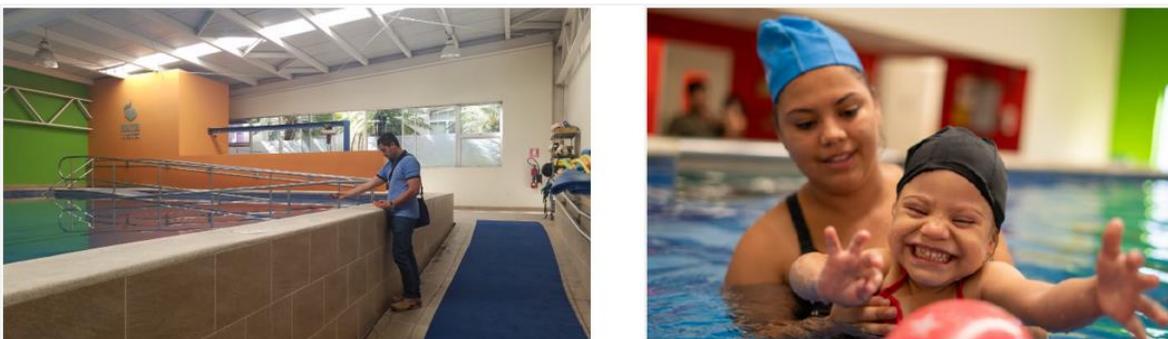


Figura 16 *Hidroterapia por inmersión total* (Elaboración Propia, FUNTER,2018).

El área de gimnasio o talleres cuenta con un área aproximada de 1,500.0 m<sup>2</sup> los cuales pueden albergar de 15 a 20 personas, dependiendo del tipo de atención que se brinda. Las mesas de

terapia están adaptadas para que puedan ser usadas por las personas desde sus sillas de ruedas; así mismo, todos los espacios están adaptados para que las personas puedan circular con sus sillas de ruedas o cualquier aparato ortopédico.



Figura 17 Área de Gimnasio. De fondo el costado sur de la nave, (Elaboración propia).

### 3.1.2 Climatología en Antigua Cuscatlán

De acuerdo con (Weatherspark, s.f.), el municipio de Antigua Cuscatlán ubicado a una altura de 800 m s.n.m., no posee un clima uniforme según se aprecia en las gráficas siguientes resumen:

- **Temperatura de ambiente (bulbo seco)**

La temperatura máxima promedio diaria es de 28 °C y el mes más caluroso del año es marzo con una temperatura promedio de 29 °C.

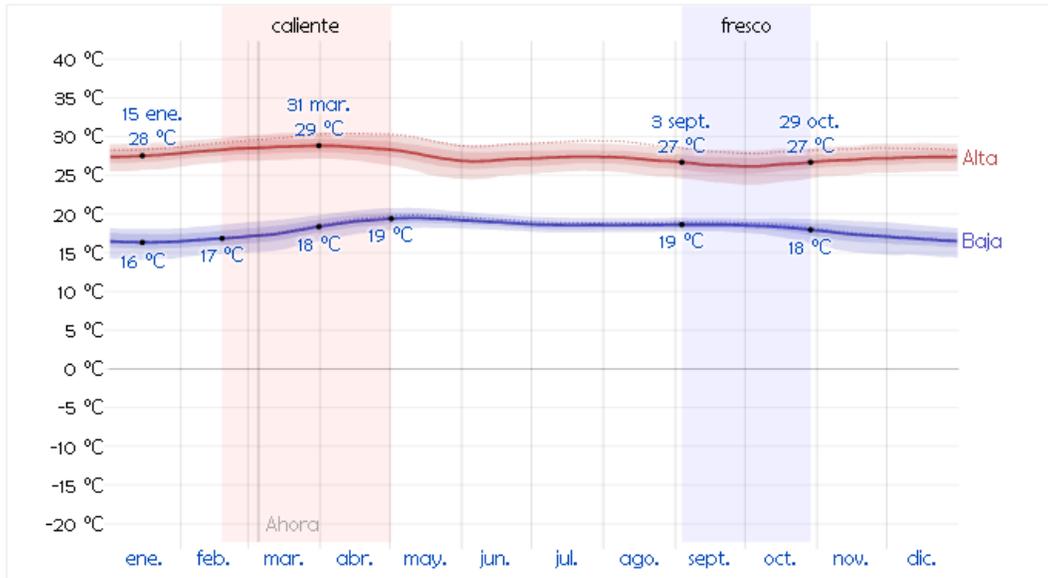


Figura 18 *Temperatura mínima (línea azul) y máxima (línea roja) promedio diario, (Weatherspark, 2019).*

- **Humedad relativa (HR en %)**

La humedad relativa se define como el cociente entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de saturación a la temperatura ambiente. En la figura 21 se observa un gráfico 3D con la variación de la humedad relativa. De acuerdo con el gráfico, para los meses entre mayo y septiembre, la HR varía entre 60 y 80%, representando un 37% del año.

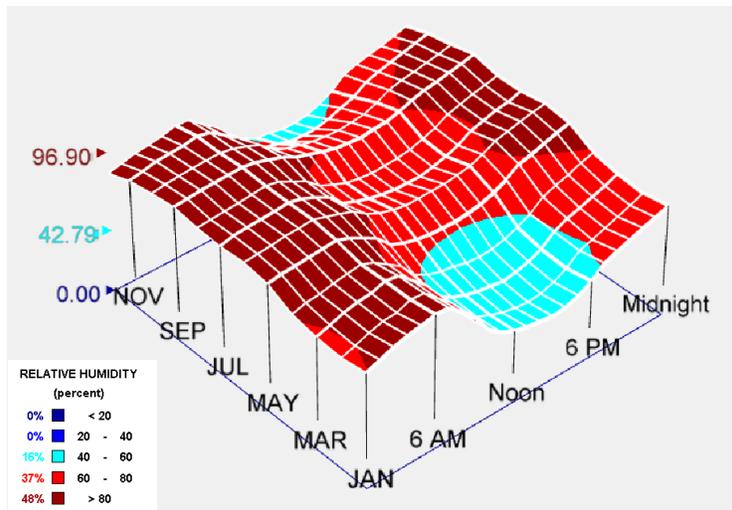


Figura 19 *Registro de humedad relativa (línea sólida) a lo largo del año (Elaboración propia con los datos climáticos empleado el software Cimate Consultan).*

- **Precipitación por lluvias**

Para el caso de lluvia, en la **Figura 20** se presenta el acumulado en un periodo móvil de 31 días centrado en el en cuestión, con las bandas de percentil del 25 al 75 y del 10 al 90.

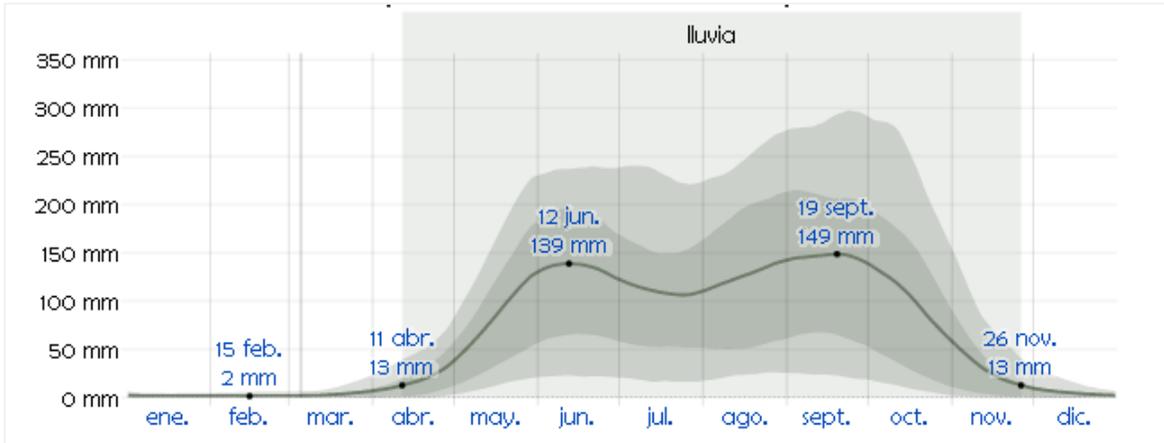


Figura 20 *Gráfico de precipitación de agua por lluvias promedio (línea sólida), (Weatherspark, 2019).*

Lo anterior sugiere que existe un potencial aprovechamiento de agua lluvia mediante almacenamiento, esta propuesta será desarrollada más adelante.

- **Velocidad de viento**

La magnitud del vector de velocidad del viento (medido a 10 m de altura) se presenta en la gráfica siguiente. De acuerdo con ésta, los meses con menor velocidad de viento se da mayoritariamente entre mayo y octubre de la época húmeda.

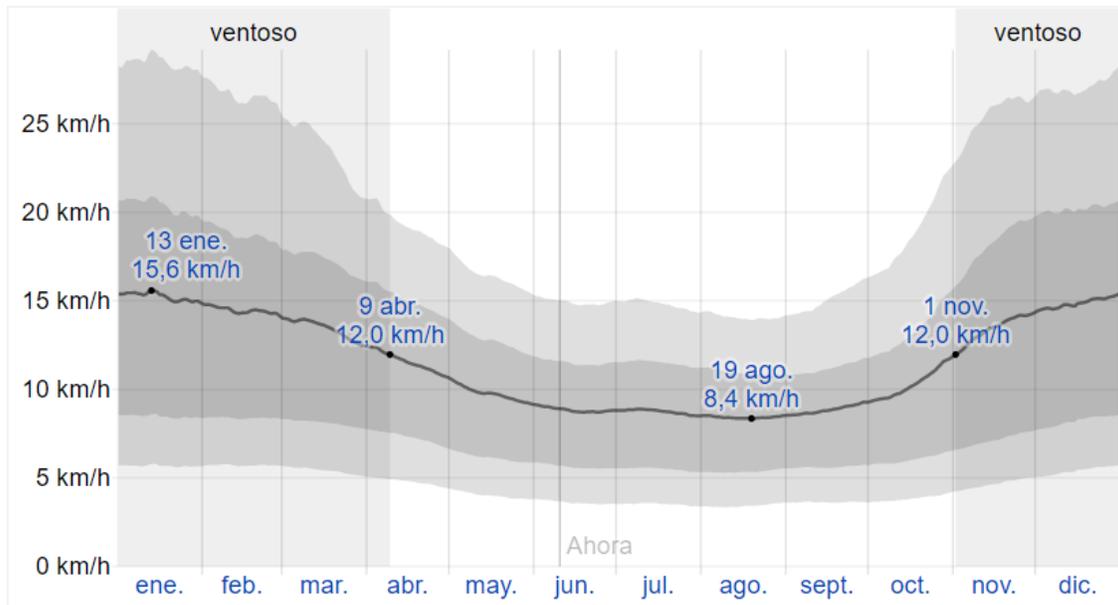


Figura 21 Variación de velocidad promedio (línea sólida) del viento a 10 m de altura.

- **Dirección del viento**

Ésta varía a lo largo del año, siendo predominante el que viene desde el norte (desde el nueve de octubre hasta el cuatro de abril), siendo sur la dirección predominante para el resto de los meses del año.

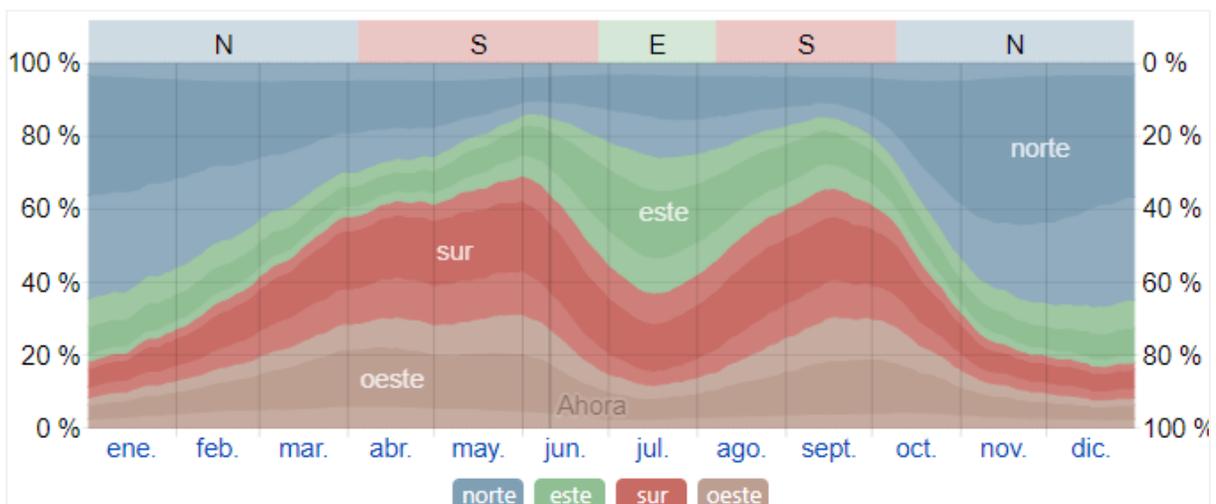


Figura 22 Variación de la dirección de la velocidad del viento, (Weatherspark, 2019).

### 3.1.3 Análisis de Irradiancia Solar

Como parte de los datos meteorológicos considerados para el área de FUNTER, también se investigó sobre los datos de radiación solar que incide sobre la superficie expuesta del edificio de hidroterapia. Lo datos de radiación fueron tomados de la base del Global Solar Atlas (GSA, s.f.) y la variación de la irradiancia es como se muestra en la Figura 23, en ésta se aprecia una disminución en los meses de mayo a octubre, meses de la época húmeda.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6				8	9	13	9	8	7			
6 - 7	124	130	175	187	146	186	201	189	173	220	248	163
7 - 8	543	525	486	363	275	308	362	361	324	381	540	566
8 - 9	706	678	592	453	337	367	467	465	402	455	652	708
9 - 10	783	724	624	463	355	384	526	504	405	490	703	783
10 - 11	805	737	618	474	354	379	558	516	382	486	714	811
11 - 12	803	729	611	462	332	348	535	497	342	440	688	787
12 - 13	774	701	597	442	351	373	522	452	301	383	637	753
13 - 14	738	680	586	436	313	352	469	404	276	358	581	709
14 - 15	700	682	595	433	298	298	396	382	279	326	546	661
15 - 16	653	643	561	377	259	250	317	331	237	300	487	601
16 - 17	545	551	466	295	190	181	240	256	176	228	352	468
17 - 18	164	242	251	153	109	119	139	144	70	48	22	50
18 - 19						7	7					
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	7339	7021	6162	4546	3328	3563	4749	4508	3374	4115	6169	7060

Figura 23 Variación de la irradiancia solar directa normal acumulada [Wh/m<sup>2</sup>-mes (GSA, s.f.)].

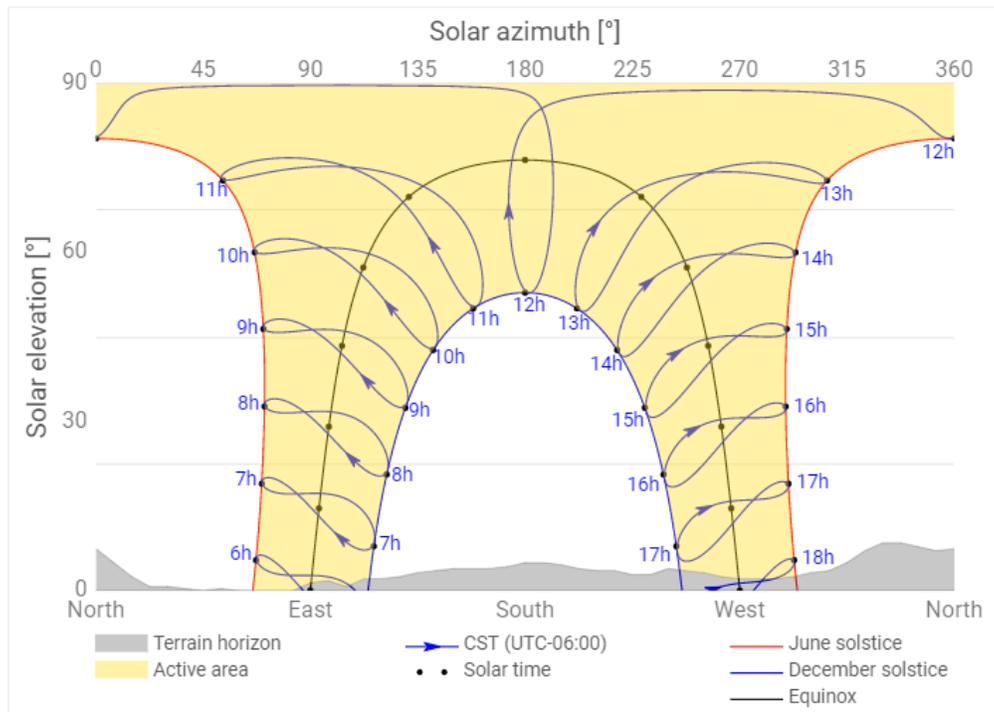
De acuerdo con la misma fuente, el promedio de las tres componentes de la radiación solar anteriormente citadas son las que se presenta en la tabla siguiente.

*Tabla 2* Irradiación promedio anual para FUNTER, (GSA, s.f.)

Parámetro	Magnitud	Magnitud	Unidades
Irradiación Directa Normal	DNI	1877	kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación Global Horizontal	GHI	2051	kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación Difusa Horizontal	DIF	791	kWh/m <sup>2</sup>
Potencia específica fotovoltaica	PVout	1698	kWh/kWp

Como puede ser apreciado en la *Tabla 2*, el lugar cuenta con un recurso de irradiación importante para ser aprovechado ya sea con tecnología fotovoltaica como termosolar.

En la *Figura 24* se muestra la trayectoria aparente del Sol y un posible perfil de obstáculos (contorno color gris), en el horizonte (Cordillera del Bálsamo al suroeste).



*Figura 24* Perfil de obstáculo en el horizonte y trayectoria solar aparente del Sol, (GSA, s.f.).

De acuerdo con la *Figura 24* y según los obstáculos en el horizonte cercano, el recurso solar está disponible desde las 6:00 hasta las 17:00 horas del día, un horizonte muy amplio para aprovechar el recurso.

La información presentada hasta el momento influye directamente en el confort térmico en el interior de la edificación la cual fue corroborada mediante una simulación energética. Dicha información, para el caso de una nueva edificación, debería ser tomada como insumo para lograr un diseño sustentable y que provea bienestar de sus ocupantes. No obstante, y dado que el proyecto se trata de un edificio existente, el análisis realizado consistió en determinar cuál de los parámetros climáticos tienen mayor influencia en las condiciones de confort en la edificación y su respectiva propuesta de mitigación, así como también, determinar qué proyectos pueden ejecutarse para hacer más sustentable la operación y mantenimiento de la edificación.

Para lo anterior, se procedió con una campaña de mediciones de variables ambientales y evaluación cualitativa de los sistemas de climatización del agua para piscina y confort en espacios de trabajo, iluminación, calidad de energía eléctrica, entre otras, muchas de estas rutinas son consideradas en los sistemas de certificaciones de edificaciones LEED v4.1, en el interior de la edificación, la metodología que se siguió es detallada con sigue.

### **3.2 Antecedentes de la Edificación Analizada**

Entre las acciones realizadas por la Administración del FUNTER para mejorar la eficiencia de energía o mejorar el confort de los usuarios de la edificación, se tienen los siguientes:

- Cambio de cubierta de lámina del edificio por una con sistema de aislante de calor.
- Instalación de bioclimatizadores de acondicionamiento de aire por efecto evaporativo. Inicialmente trabajaron en óptimo desempeño, pero ahora funcionan parcialmente.
- Sistema de colectores solares de polipropileno para calentamiento del agua de la piscina para las hidroterapias. Según el operador del sistema, su uso es mínimo o nulo por falta de un efectivo control de la temperatura de operación, el sistema solar tiende a sobrecalentamiento del agua de la piscina, su temperatura supera los 42 °C.

Por otro lado, en la edificación también se aprecia lo siguiente:

- Poseen láminas traslúcidas en cubierta de techo para obtener iluminación natural.
- La ventilación natural, no fue diseñada adecuadamente, existe poca área de para flujo de aire entrante y saliente.

A partir de esto, se tomó como base para identificar el tipo de mediciones y dónde implementarlas.

### **3.3 Metodología de Campaña de Medición**

Para realizar un diagnóstico de la situación actual del edificio y proponer soluciones apropiadas según la necesidad y al alcance del presupuesto, lo primero que se hizo fue elaborar una lista de información a requerir para determinar una línea base de las condiciones actuales de operación de la edificación. Información como el histórico del consumo de energía eléctrica y ubicación de subestaciones junto con un detalle de sus equipos; Jornada de trabajo con el detalle de las atenciones programadas para los usuarios; inventario de equipo eléctrico de oficina y de climatización tanto del agua de la piscina como del espacio ocupado por el personal encargado de las terapias; detalle de equipos instalados recientemente o modificaciones en infraestructura detallando el objetivo perseguido; solicitud de planos “como construidos” de las obras civiles, mecánicas y eléctricos de la edificación, entre otra información relevante para estudio.

Mucha de esta información, en formato impreso, fue proporcionada por el encargado de dicho centro, a la cual se le hizo una digitalización para su posterior revisión y análisis.

Para el caso del consumo de energía y confort (térmico y de iluminación), se procedió de acuerdo con lo recomendado por la LEED v4.1, realizando mediciones con equipos especiales en un periodo de tiempo en promedio de una semana.

Con la información recopilada, se elaboró un modelo digital de la infraestructura en *Autodesk REVIT* y un posterior análisis energético en *DesignBuilder*. La simulación energética fue contrastada con las mediciones hechas de las variables atmosféricas, calibrando así el modelo digital para luego realizar la simulación de las propuestas de mejora.

Un aspecto importante en el estudio fue investigar sobre los proyectos de eficiencia energética desarrolladas en el edificio, así como también el impacto de estos en su Operación y Mantenimiento.

### **3.3.1 Planificación de las Campañas de Mediciones**

El equipo para desarrollar las mediciones y futuras propuestas tuvo la colaboración de personal de la escuela Especializada en Ingeniería de ITCA-FEPADE con especialidad en arquitectura y electricidad, así como también el asesoramiento del catedrático de la maestría en Energías Renovables y Medio Ambiente de la Universidad de El Salvador, tutor de este documento.

Las mediciones se realizaron en puntos estratégicos para obtener la mayor representatividad de acuerdo con las inspecciones realizadas previamente por todo el centro FUNTER, estableciendo las ubicaciones para la toma de lectura de datos, así como la delimitación de las actividades. De esta forma, se propuso la ubicación de los medidores de energía, medidores de humedad relativa y temperatura ambiente e iluminación media sobre el plano de trabajo de los usuarios.

Para completar el análisis de confort térmicos se diseñó una encuesta adaptada del índice de valoración de medio de Fanger que, de acuerdo con el sitio web "[ergonautas](#)", uno de los métodos más extendidos para la estimación del confort térmico, que califica a grupos de personas expuestas a una determinada situación atribuidas a su grado de confort según las condiciones climáticas que las rodean. A la misma encuesta, se le agregó opiniones sobre los aspectos subjetivos de la salud según grados de confort percibidos en función de la temperatura, iluminación, recomendaciones del tema de conservación de energía, entre otros. Tomando en cuenta estos parámetros y la capacidad de cada equipo de medición, se determinaron los períodos de estudio, que serán presentados más adelante.

### **3.3.2 Desarrollo de la Campaña de Medición**

La Campaña de medición se realizaron entre los meses de abril y septiembre de 2019, según el programa siguiente:

- Medición de calidad de energía: cuatro mediciones de una semana cada una distribuidas durante el periodo citado para medir y almacenar datos tanto en la época seca como húmeda.
- Medición de datos climáticos en el interior del edificio de hidroterapia: tres campañas de medición y almacenamiento de una semana cada una, distribuidas en todo el periodo. El objetivo fue tener más de una réplica de las mediciones.
- Medición de iluminación: Esta se realizan en ocho sesiones distribuidas en el periodo de medición, realizando cuatro por la mañana (10:00) y el resto a las 15:00 para la medición se realizó una cuadrícula 2 x 2 m en toda el área de interés, registrando los valores para luego ser analizados.
- Medición de la temperatura del agua de la piscina: se realizaron dos sesiones de medición de 9 y 11 días, respectivamente, durante todo el periodo de medición.

### **3.3.3 Características de los Equipos de Medición**

Para escoger los equipos de medición se tomó en cuenta el patrón de uso de las instalaciones, el diseño arquitectónico, distribución de espacios ocupado para realizar las actividades propias del centro de rehabilitación, así como el tiempo requerido para dichas actividades, determinando valores de confort como temperatura ambiental, humedad relativa, iluminación, consumos de energía, las cargas energéticas de los equipos utilizados para sus trabajos diarios. A continuación, se presenta una descripción y características de cada equipo.

- **Anemómetro**

Según (PCE-instruments, 2020), el caudal de aire en los edificios se mide a menudo en pies cúbicos por minuto (CFM) utilizando un anemómetro para evaluar el rendimiento de los sistemas y equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC).

Para las mediciones puntuales de la velocidad del viento dentro de las áreas de estudio en el edificio de FUNTER, se utilizó el anemómetro BARRIGO Model No 525. El cual tiene las funciones de medición de la velocidad del viento, barómetro, altímetro, humedad relativa y termómetro. Este aparato no cuenta con memoria de almacenamiento de datos, solamente se muestra las capturas en tiempo real.



Figura 25 *Equipo multifunción con anemómetro, Barigo modelo 525.*

La medición instantánea fue realizada en las ventanas y principales puntos para ventilación, verificando la magnitud de la velocidad de viento para diferentes horas en el día y meses del año durante el periodo de medición.

- **Luxómetro**

También llamado light meter, este equipo contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz (natural o artificial) y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representados digitalmente en un display con la correspondiente escala de Lux, y es utilizado para medir la intensidad de luz en los puesto de trabajo.

Para la medición de la luz en las áreas de trabajo de FUNTER, se utilizó el luxómetro Dr. Meter LX1330B, si imagen se muestra en la figura.



*Figura 26 Luxómetro Meter LX1330B*

Este equipo no dispone de un sistema de almacenamiento por lo que las mediciones registradas alimentaron una hoja de cálculo en Excel especialmente diseñado para ello para su posterior análisis.

- **Termómetro Digital y Medidor de Humedad Relativa**

Para la campaña de mediciones en FUNTER, se utilizó el equipo marca EasyLog EL-USB-1, el cual registra y almacena datos (*Data Logger*) que, según su hoja de fabricante, tiene la capacidad de almacenar más de 16000 lecturas de temperatura y humedad relativa en el rango de  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-31\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $176\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Dicho equipo cuenta con un puerto de comunicación de datos USB, mediante el cual se comunica con una computadora, permitiendo el análisis de las mediciones de humedad relativa y temperatura en su software, este registro de datos se realiza con estampa de tiempo por lo que facilita el análisis del comportamiento de las variables físicas en el tiempo.



Figura 27 *Termómetro e higrómetro digital con almacenamiento de datos.*

- **Cámara termográfica**

Una cámara termográfica es un dispositivo para medir la temperatura sin necesidad de contacto. Las cámaras termográficas detectan la energía infrarroja emitida, transmitida o reflejada por todos los materiales a temperaturas superiores al cero absoluto (0 Kelvin) y convierten el factor de energía en una imagen térmica del objeto que está emitiendo, transmitiendo o reflejando la energía infrarroja, mostrada por la cámara.

La cámara termográfica utilizada en el estudio fue una FLIR i7, con un diseño ergonómico con botones intuitivos, que posee una microSD para la descarga de las imágenes.



Figura 28 *Cámara termográfica FLIR i7*

El principal uso de la cámara fue para la medición de temperatura de paredes soleadas.

- **Analizador de Redes Trifásicas**

El analizador de redes (Fluke AR5-L) utilizado en FUNTER dispone de alta tecnología y valora diferentes parámetros eléctricos con el fin de facilitar la gestión y el control de las instalaciones, posibilitando la mejora de la eficiencia energética. El equipo posee una memoria interna en la que se archivan los parámetros de medición además de un programa informático con diferentes aplicaciones para cada tipo de análisis.

Entre los beneficios que pueden ser obtenidos están:

- Ahorro de energía eléctrica.
- Descubrir y evitar los excesos de consumo (kWh).
- Análisis de curvas de carga para localizar los puntos de máxima demanda energética.
- Detección de necesidades en la instalación, como la necesidad de una batería de condensadores.
- Detección de fraude en contadores energéticos.

Los parámetros que se midieron con el analizador de redes son:

- *Flickers*: variación rápida de tensión que se presenta de forma repetitiva y permanente.
- *Armónicos*: distorsión en la forma de onda senoidal de la corriente eléctrica provocada por un aparato que consume energía de forma no lineal.
- *Distorsión armónica (THD) de corriente y tensión*: suma de la distorsión producida por todos los armónicos.
- *Valor eficaz*: el valor eficaz de una corriente alterna es el valor que tendría una corriente continua que produjera la misma potencia al aplicarla sobre la misma resistencia.
- *Potencia y factor de potencia*: la potencia es la cantidad de energía eléctrica que transporta el circuito por unidad de tiempo, y el factor de potencia permite comparar la energía extraída de la red con la energía útil que obtenemos tras su paso por la red.

El resumen de los equipos utilizados en el estudio se detalla en la tabla siguiente.

*Tabla 3* Resumen de los equipos utilizados en la campaña de medición

<b>Cantidad</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción de equipo</b>	<b>Aplicación</b>
1	UES-L01	Luxómetro	Confort
1	UES-AR01	Analizador de red Fluke AR5-L	Medición de carga y consumos energéticos
1	UES-A01	anemómetro	Climatización y confort
1	UES-T01	Cámara Termográfica	Climatización y confort
6	UES-THR01	Medidor de Temperatura y Humedad Relativa Lascar	Climatización y confort
1	UES-RD01	Registrador de datos	Climatización y confort

A continuación, se presenta la tabla resumen utilizada en la campaña de medición de la zona en estudio:

*Tabla 4* Resumen de las metodologías según parámetros y fechas de medición en FUNTER Merliot. (Ramírez, 2019)

<b>Parámetro medido y equipo.</b>	<b>Metodología.</b>	<b>Período de medición.</b>	<b>Tipo de datos obtenidos</b>
Iluminación	Distribución de puntos de acuerdo con el tamaño del área y por zona de estudio.	13 de mayo al 03 junio de 2019	Dos mediciones al día (10:00 a.m. y 15:00)

<b>Parámetro medido y equipo.</b>	<b>Metodología.</b>	<b>Período de medición.</b>	<b>Tipo de datos obtenidos</b>
	Mediciones por la mañana y tarde con y sin luz natural y artificial.		
	Elaboración de iso-contornos de distribución de iluminancia por cada puesto de trabajo.		
Calidad de energía con Analizador de red.	Conexión de equipo de medición en tablero general y subtablero eléctrico en piscina. Por el período mínimo de una semana.	15 al 19 de Julio 2019	Medición de carga y consumos energéticos.
Velocidad de viento con anemómetro.	Medición de la ventilación natural en los puntos de acceso: puerta y ventanas.	28 de julio al 08 agosto de 2019	Climatización y confort.
Toma de imágenes de temperatura para analizar la conductividad térmica de las paredes.		19 al 21 junio 2019	Climatización y confort
Medidor de Temperatura y	Medición interna y externa de zona de	24 Junio a 02 julio 2019	Climatización y confort.

<b>Parámetro medido y equipo.</b>	<b>Metodología.</b>	<b>Período de medición.</b>	<b>Tipo de datos obtenidos</b>
Humedad Relativa Lascar.	gimnasio, piscina, y exterior, para obtener gráficas de temperatura y humedad relativa, por el período mínimos de una semana.		
Medición de temperatura con Registrador de datos.	Medición de temperatura en agua de piscina para hidroterapias.	07 a 17 febrero 2020	Climatización y confort

### **3.3.4 Reconocimiento de Espacio Analizado**

En esta fase, junto a un grupo de estudiantes de ITCA de apoyo, se realizaron diferentes visitas para reconocimiento de las áreas que posee la zona de terapia física, el mobiliario asignado, utilidad de cada espacio, ventilación e iluminación natural y mecánica. A partir de estas visitas se desarrollaron planos y volumen de la situación actual de la edificación.

Los insumos obtenidos fueron la base para desarrollar las propuestas de diseño y remodelación de la zona de terapias. A continuación, se muestran algunas imágenes de la primera visita de identificación de área a intervenir.



Figura 29 Área de terapia física. De fondo el ventanal sur (Elaboración propia).

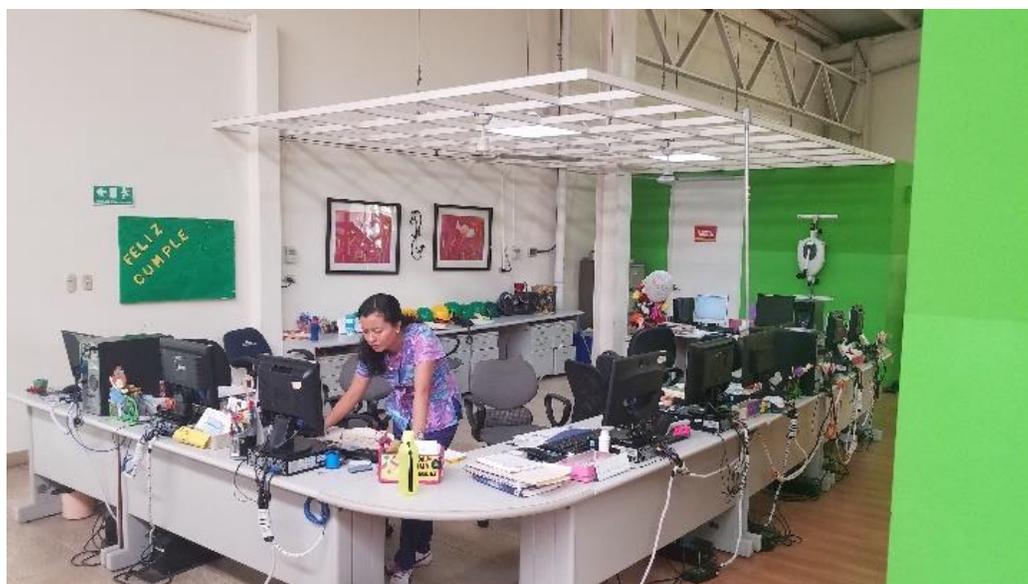


Figura 30 Oficinas de terapeutas (Elaboración propia).

### 3.3.5 Levantamiento Arquitectónico de la Edificación

Con apoyo de personal calificado, se midieron las instalaciones de la zona para terapia, las áreas que la compone, la ubicación y tamaños de ventanas, dimensiones y tipo de puertas, servicios sanitarios, áreas de terapias, entre otros espacios, tomando todas las mediciones y realizando un bosquejo a mano de los espacios.



Figura 31 *Medición con distanciómetro y toma de apuntes y elaboración de esquemas (Elaboración propia).*

- **Elaboración del modelo digital 3D de la edificación**

Siguiendo con el proceso, los bosquejos realizados a mano por el levantamiento de información fueron digitalizados en AutoCAD. Para obtener exactitud con las medidas obtenidas e información de materiales constructivos, el plano creado fue pasado Autodesk Revit y ahí se realizó la volumetría del espacio, tanto interno como externo, según obra existente. La información sirvió para el análisis energético del edificio en este documento, así como también a FUNTER que no poseían ese tipo de información arquitectónica.

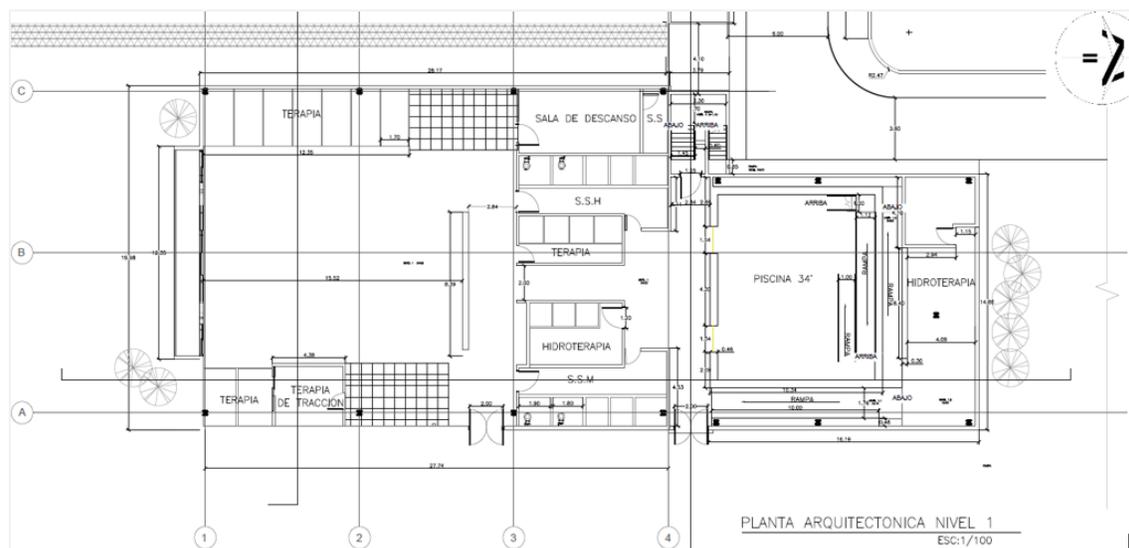


Figura 32 *Planta arquitectónica del área de terapia física a intervenir, (Elaboración propia).*

Tomando como base los numerales de la Figura 32, la identificación de las zonas para terapia son las siguientes:

1. Equipo de electroterapia,
2. Terapia de mano,
3. Hidroterapia de miembros y corporal,
4. Piscina climatizada para hidroterapia,
5. Terapia individual,
6. Terapia de tracción,
7. Terapia de máquinas ejercicio,
8. Camas de terapias,
9. Oficinas, y
10. Sala de descanso.

En la *Figura 33* presenta parcialmente el resultado del modelo digital en el cual se observan los cerramientos y divisiones internas, así como también la fachada sur y oeste. El modelo no solo tiene la geometría del edificio, sino también los atributos de materiales de construcción de este, el cual servirá de base para el análisis energético realizado posteriormente.

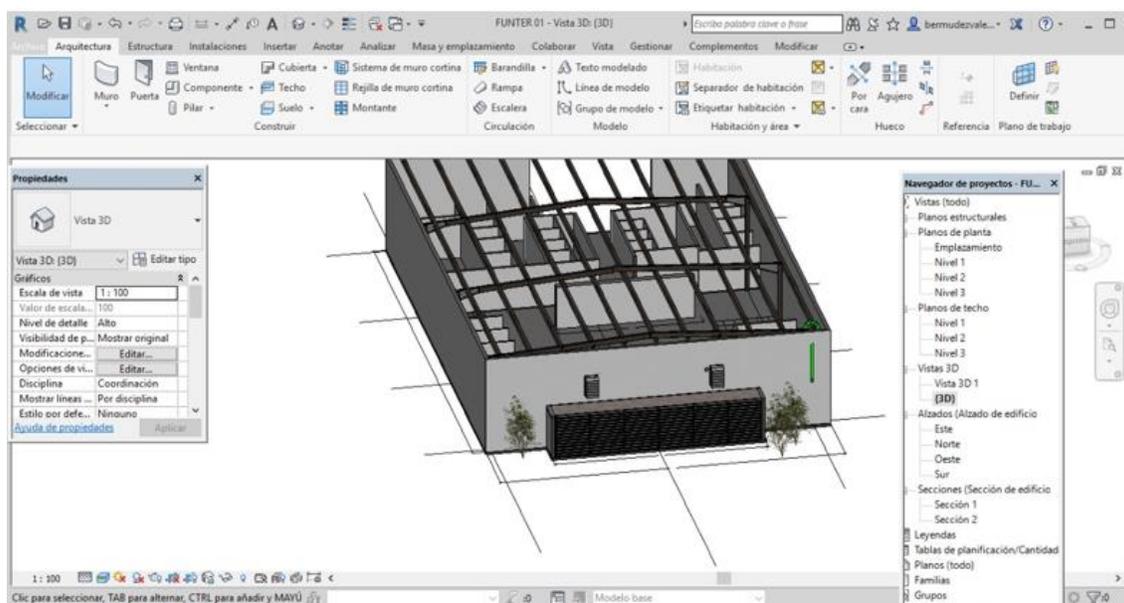


Figura 33 *Desarrollo de volumetría del área de terapia física a intervenir en programa*

*Revit.*

Una vista interna del edificio modelado de su pared interna sur y este se muestra en las figuras siguientes.



Figura 34 *Modelación digital de vista interna, dirección de norte a sur en área de gimnasio para adultos, FUNTER Merliot, (Elaboración propia).*

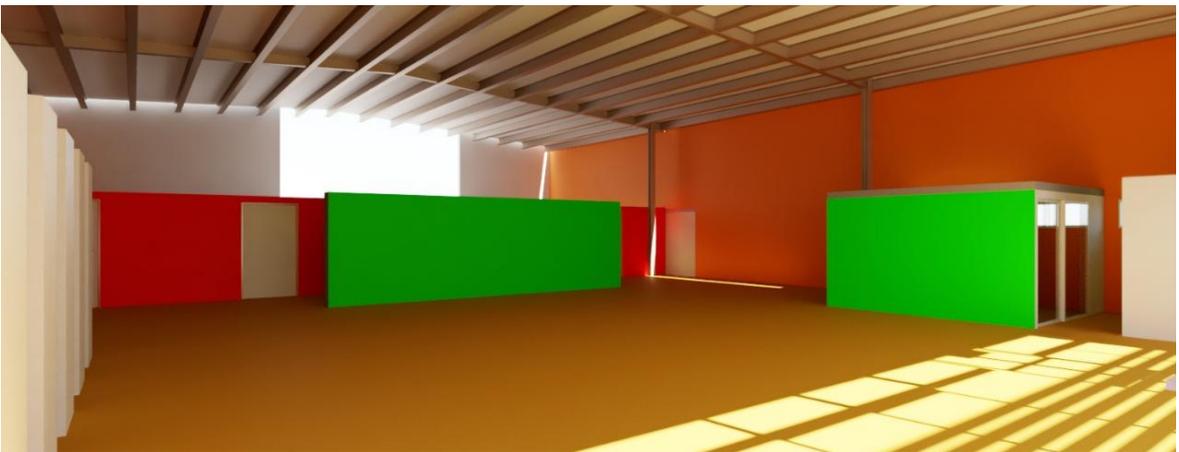


Figura 35 *Modelación digital de vista interna, dirección de suroeste a noreste en área de gimnasio para adultos, FUNTER Merliot, (Elaboración propia).*



Figura 36 *Modelación digital de piscina para hidroterapias, vista de ventanal en dirección de norte y pared en dirección noroeste, (Elaboración propia).*

### **3.4 Aplicación de Encuesta de Confort Interno**

El objetivo de la encuesta es identificar la percepción térmica de los usuarios internos de la zona de trabajo en el área de terapias del edificio de gimnasio para adultos y piscina para hidroterapia. En las encuestas toman en cuenta los factores ambientales de temperatura, iluminación y ventilación, así como actitud personal hacia la conservación de energía, y determinar posibles soluciones ante la situación actual de la zona en estudio. La información recopilada se presenta en los gráficos siguientes:

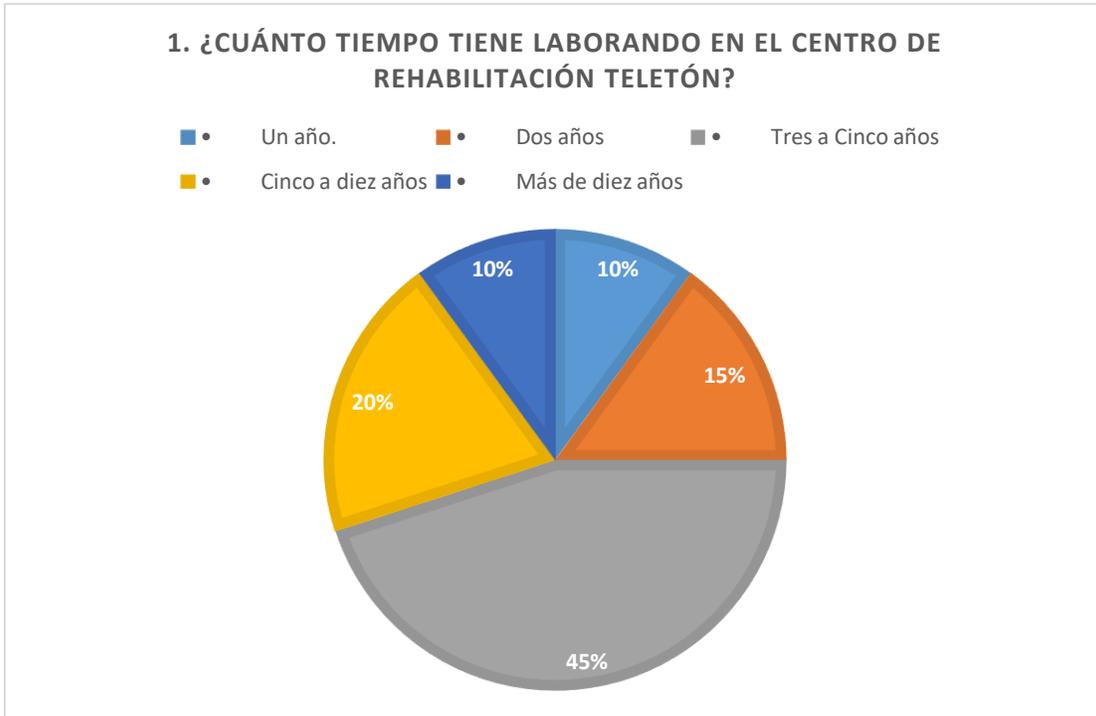


Figura 37 *Pregunta N°1 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).*

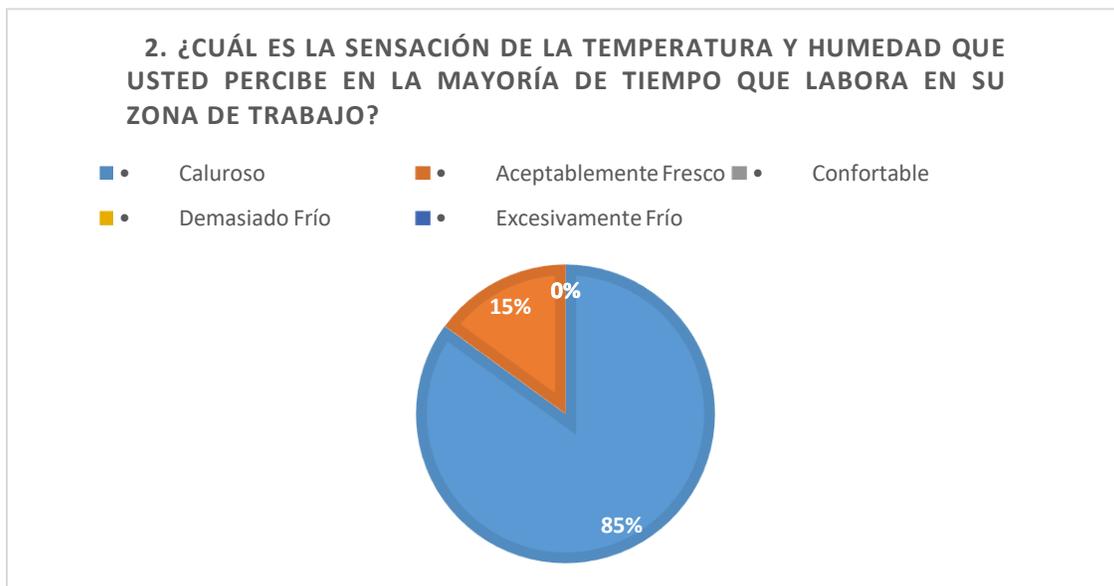


Figura 38 *Pregunta N°2 de encuesta de confort interno, basado en el método de Fanger. (Elaboración propia).*

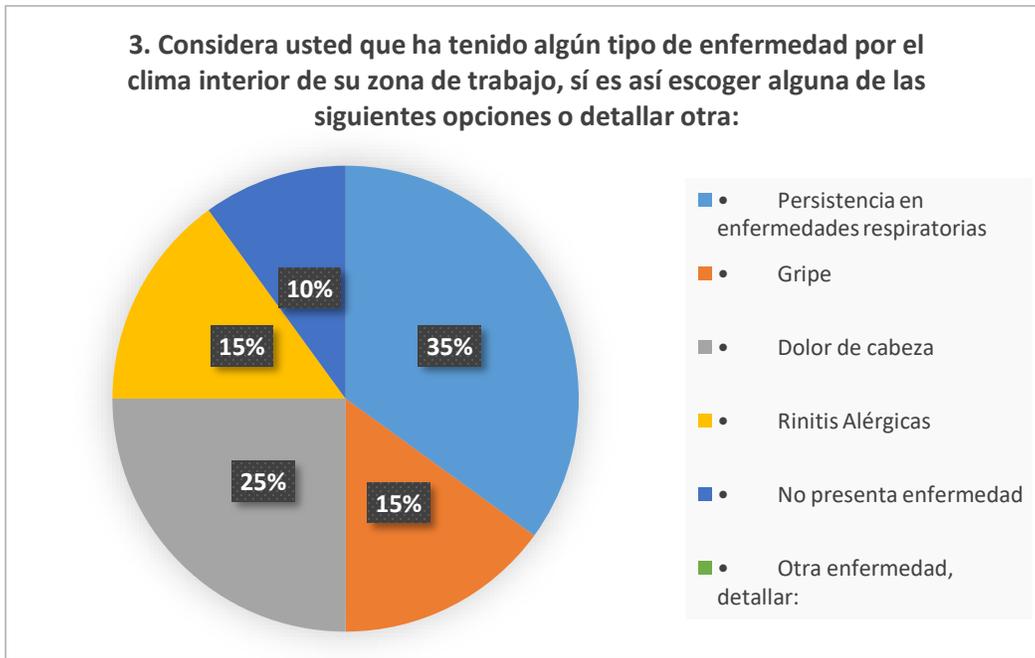


Figura 39 Pregunta N°3 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).

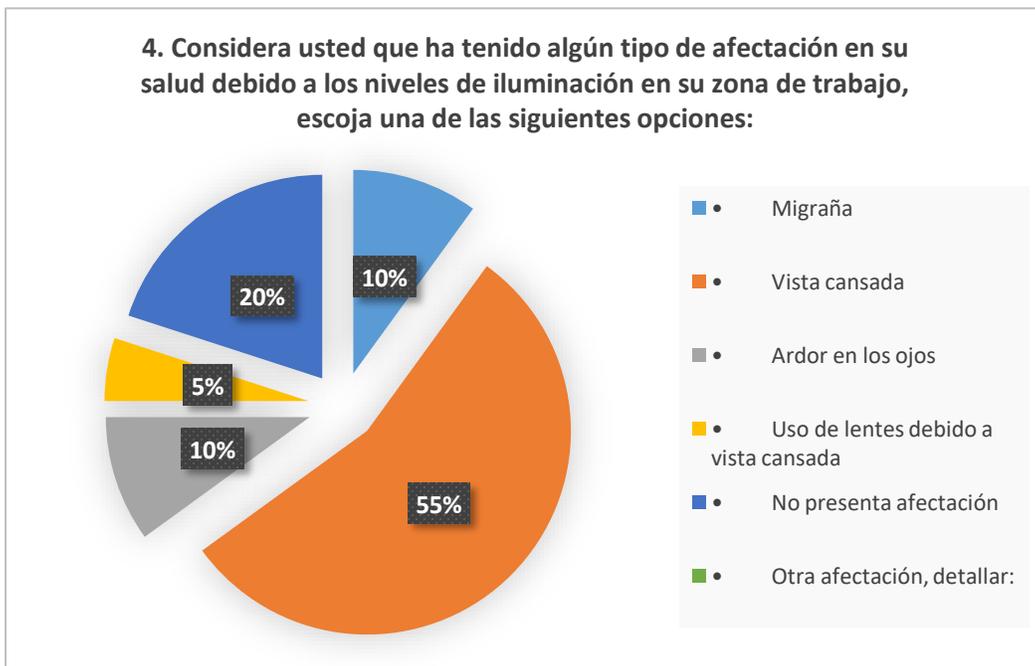


Figura 40 Pregunta N°4 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).

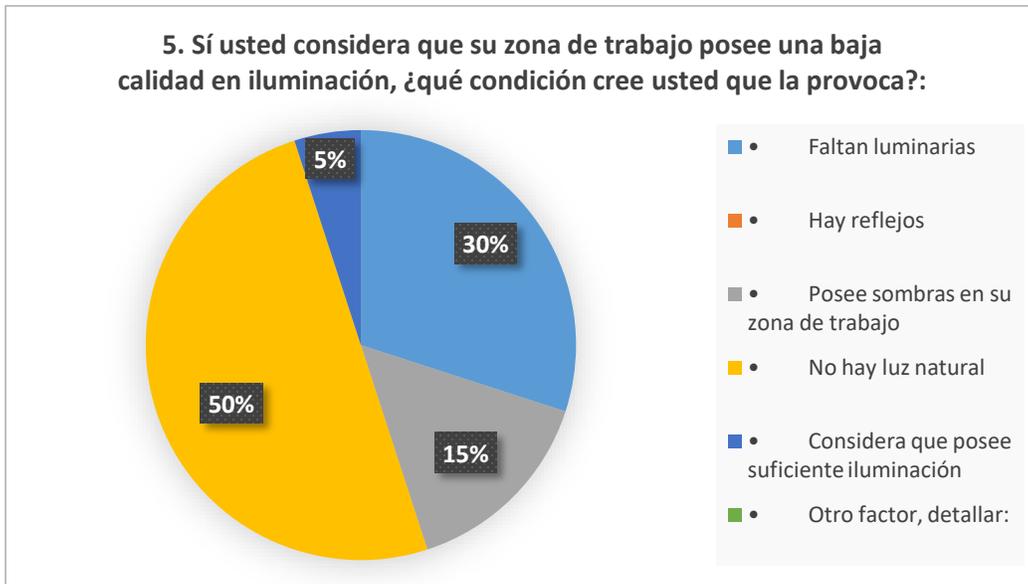


Figura 41 *Pregunta N°5 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).*

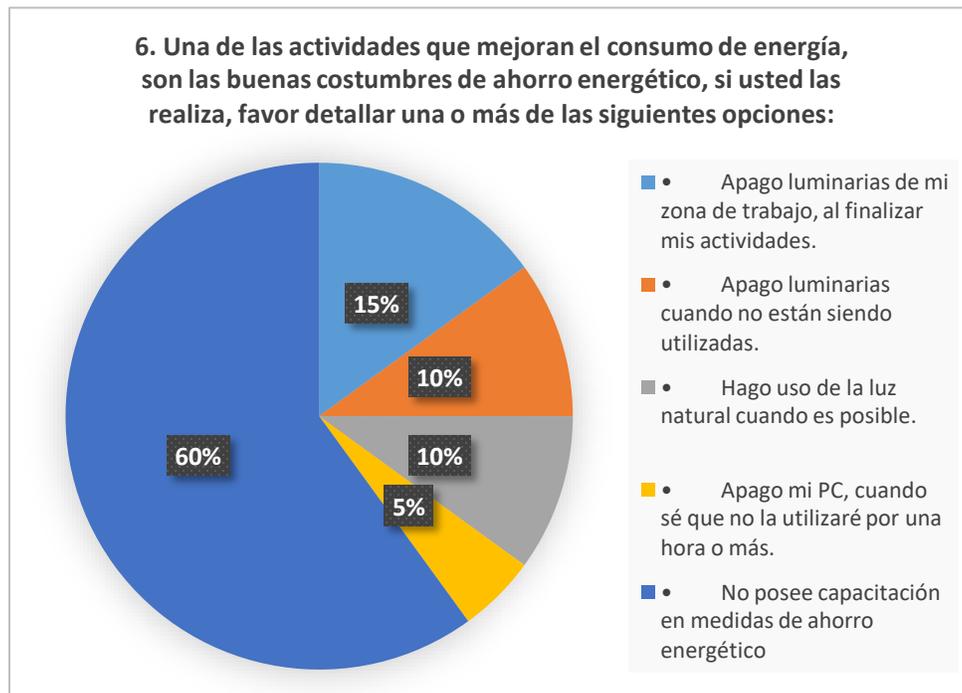


Figura 42 *Pregunta N°6 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).*

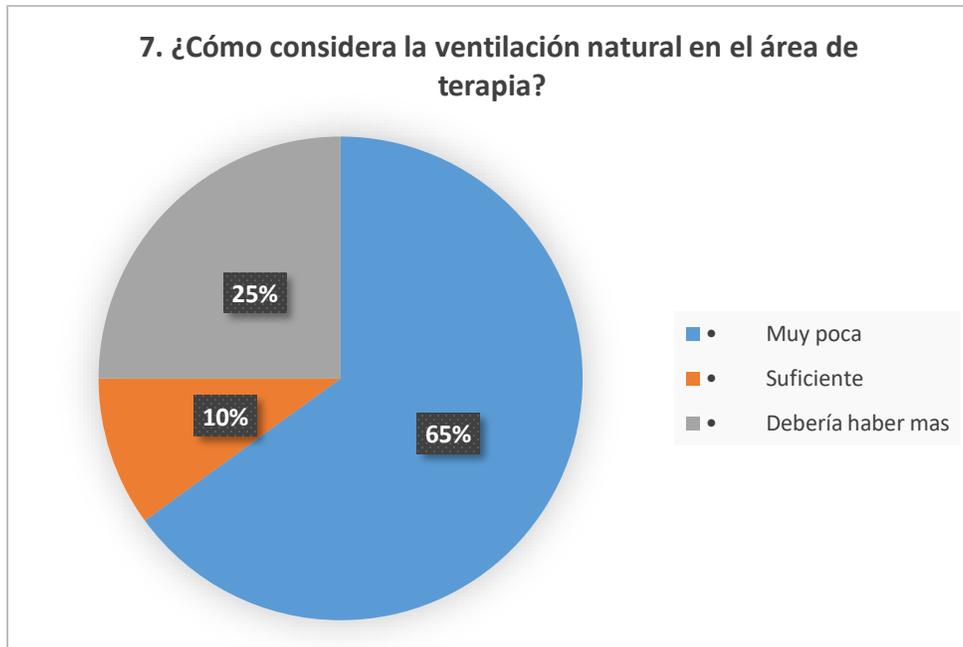


Figura 43 *Pregunta N°7 de encuesta de confort interno (Elaboración propia).*

Los resultados obtenidos se tomarán como base para realizar un diagnóstico del confort interno del recinto y plantear propuestas de mejora.

### **3.5 Campaña de Medición y Diagnóstico de Confort Térmico**

Para conocer el confort de los usuarios internos de la edificación fue necesario colocar seis medidores de temperatura y humedad relativa en puntos estratégicos en el área interno del espacio en estudio, incluyendo cuatro en el gimnasio, uno en la piscina y uno en el área circundante exterior, este último con el fin de obtener una referencia de las condiciones ambientales externas. A continuación, se muestran la ubicación de los dispositivos medidores utilizados denominados *THROX*.

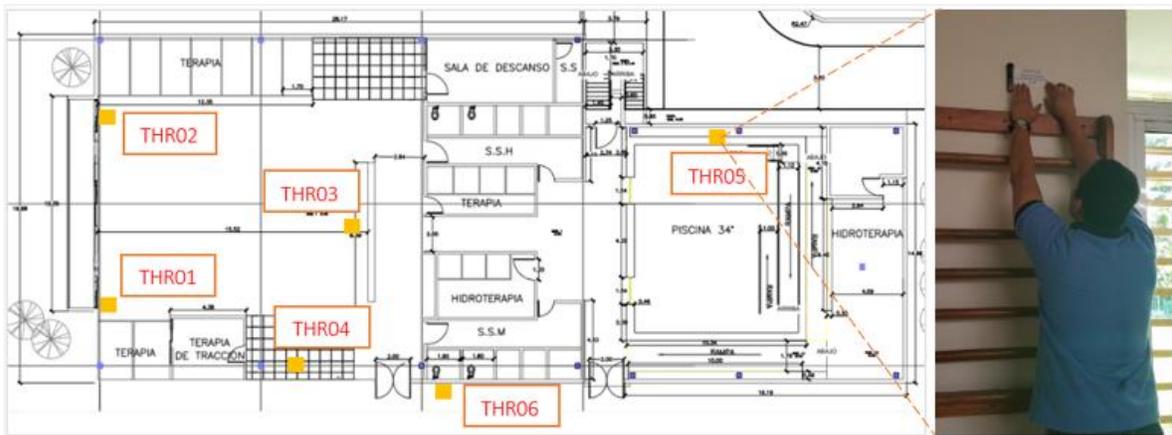


Figura 44 *Ubicación de los dispositivos medidores de temperatura y humedad relativa (Elaboración propia).*

El periodo de medición inició el 24 de junio y finalizó el 2 de julio de 2019, obteniendo datos para días tanto laborales como no laborales (fines de semana). El resultado de las gráficas se presenta a continuación, correspondiendo a los días laborales 26 y 27 de junio.

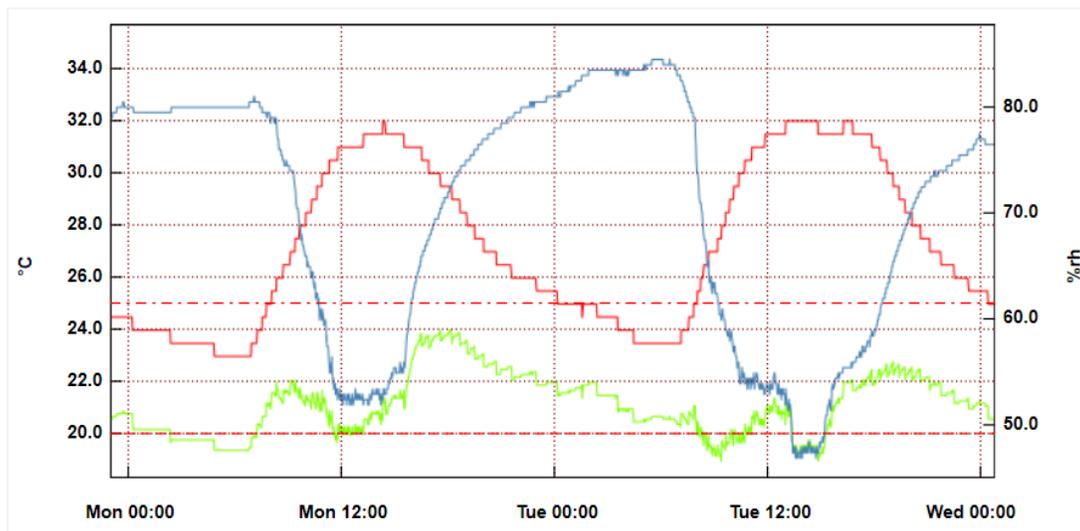


Figura 45 *Gráfica de medidor THR01 (pared sur) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia.*

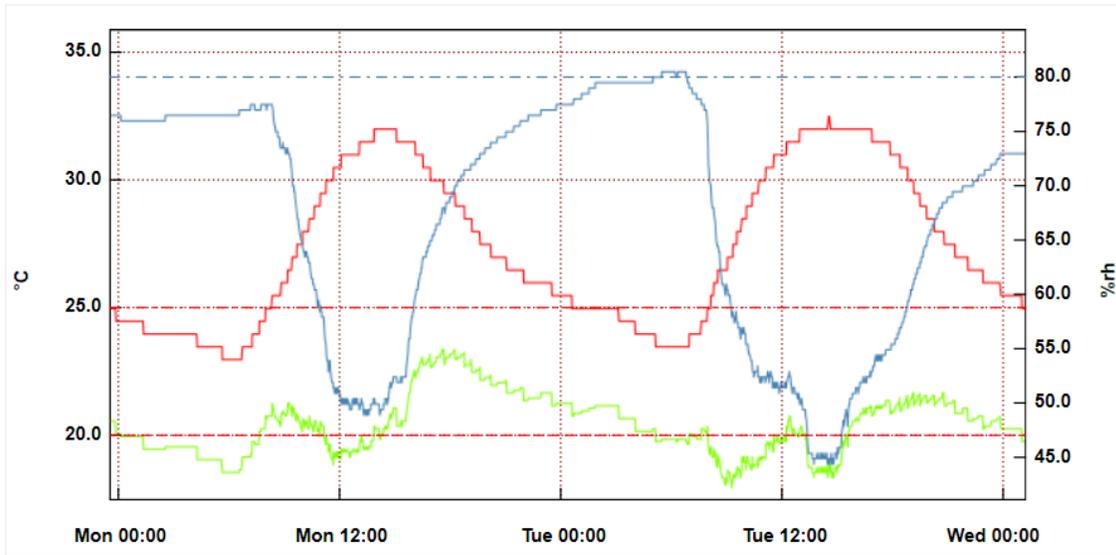


Figura 46 Gráfica de medidor THR02 (pared sur) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia.

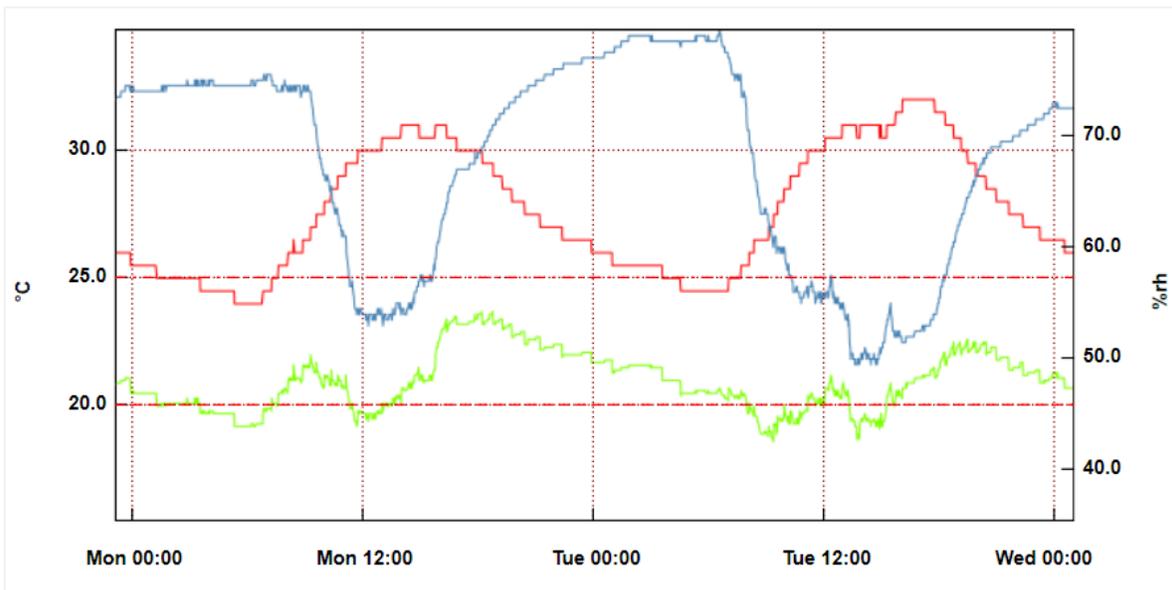


Figura 47 Gráfica de medidor THR03 (centro de gimnasio) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia.

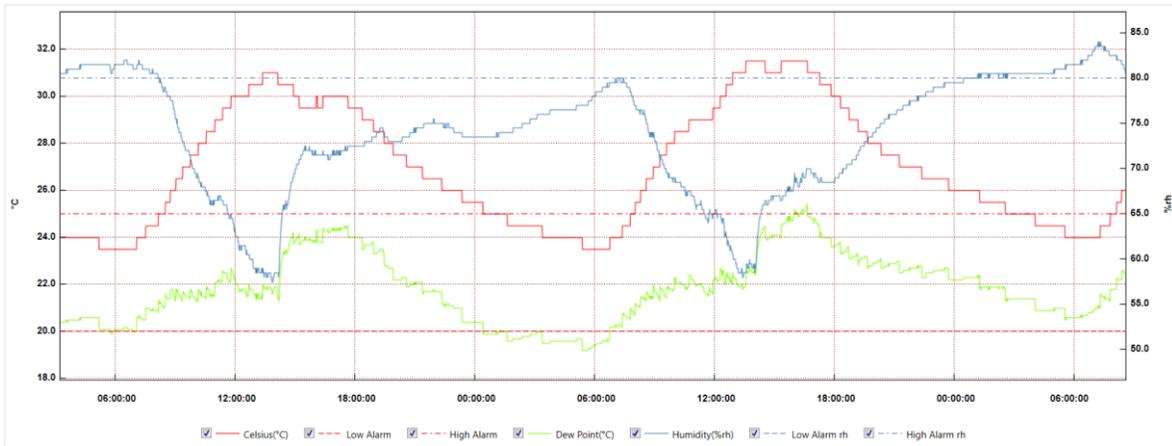


Figura 48 Gráfica de medidor THR04 (pared este) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia.

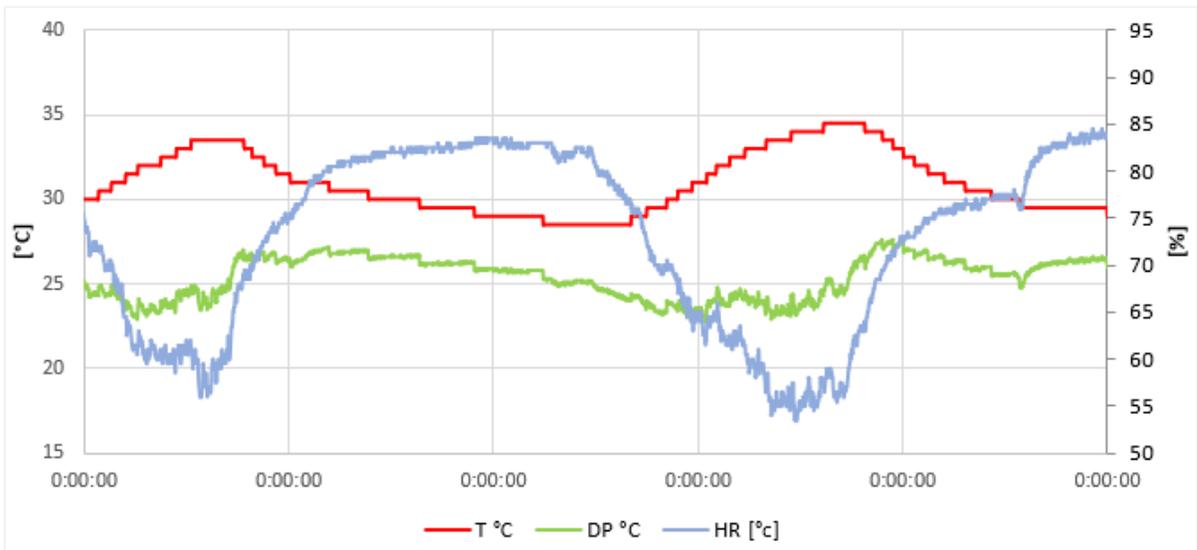


Figura 49 Gráfica de medidor THR05 (piscina) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), del ambiente exterior al edificio (Elaboración propia).

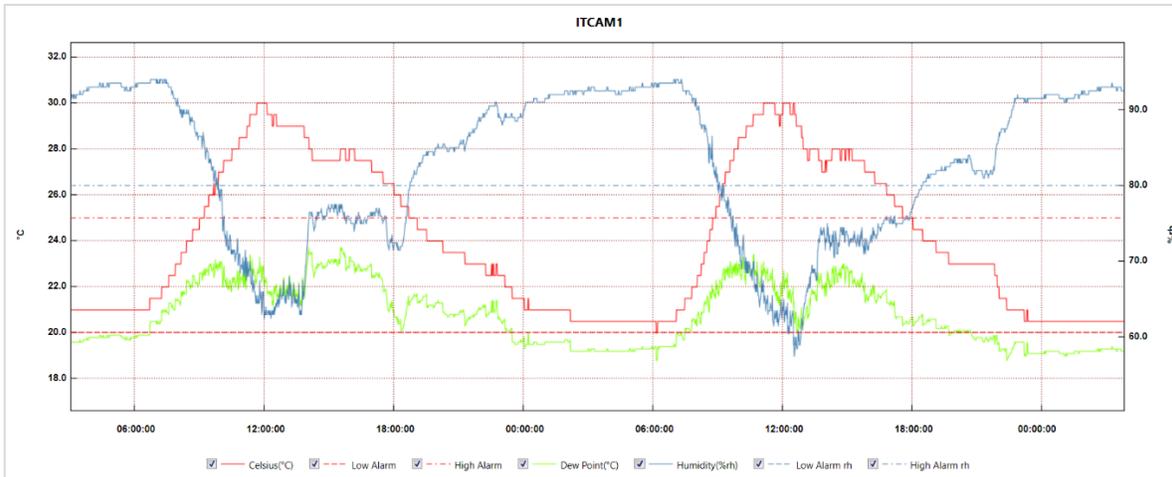


Figura 50 Gráfica de medidor THR6 (exterior) de registro de temperatura ambiente (rojo); humedad relativa (color azul) y punto de rocío (color verde) y los límites de temperatura de confort (línea roja discontinua), elaboración propia.

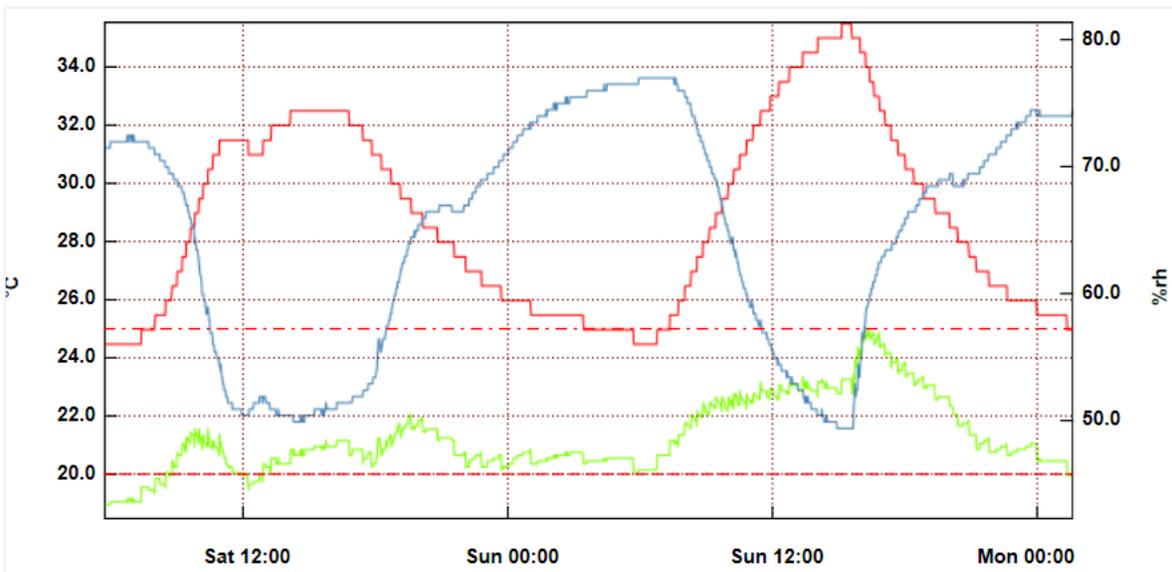


Figura 51 Gráfica de medidor THR03 (centro del gimnasio) de registro de temperatura ambiente para los días no laborales (29 y 30 de junio), edificio cerrado, elaboración propia.

### 3.5.1 Análisis de Resultados de Datos Medidos

Con la información recopilada en la campaña de medición y empleado el diagrama de confort de Givoni, cuyos indicadores de confort se sitúa entre 20 a 25 °C y entre 20 a 80% de humedad relativa, preliminarmente se concluye lo siguiente.

- 1) En área de oficinas se tiene una temperatura mayor a 25 °C, a partir de las 9:00 y llegando a su cúspide, entre 14:00 a 16:00, en el que oscila entre 31 y 32 °C, disminuyendo por las noches para continuar su ciclo. Para el caso del porcentaje de saturación del vapor de agua en el aire (humedad relativa, HR), ésta varía inversamente con la temperatura ya que la HR baja en el horario en que aumenta la temperatura, aun así, se encuentra dentro del rango normal.
- 2) Como es de esperar, el área de piscina tiene en todo momento una temperatura mayor a 25 °C, oscilando entre 27 a 35 °C. manteniendo este comportamiento hasta en fin de semana ya que el equipo está programado para funcionar sábado y domingo, inclusive. La HR mantiene el comportamiento de disminuir a medida que la temperatura ambiental aumenta, y se encuentra dentro del rango normal según diagrama de confort de Givoni.
- 3) Se observa que entre las 11:00 a las 16:00, la temperatura exterior es relativamente constante de 30 °C versus la temperatura del ambiente interior que está en aumento y puede llegar a 32°C en horarios de 12 mediodía a 16:00. La humedad relativa en el horario laboral está dentro de los parámetros de confort.

Las temperaturas extremas en el gimnasio (líneas color naranja), piscina para hidroterapia (línea color rojo) y externas a la edificación (color celeste), son representadas en el diagrama de la Figura 52, y de acuerdo con el diagrama de Givoni, en el interior del recinto no existen condiciones de bienestar térmico lo cual concuerda mucho con la información recopilada de los usuarios del recinto analizado.

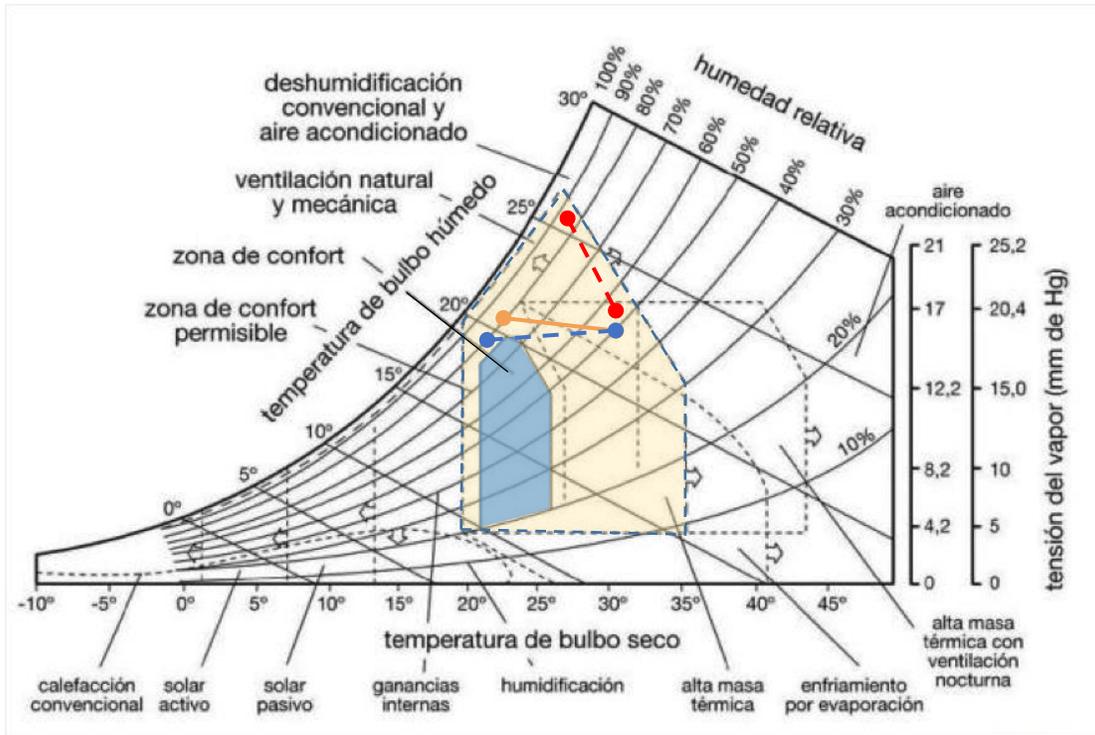


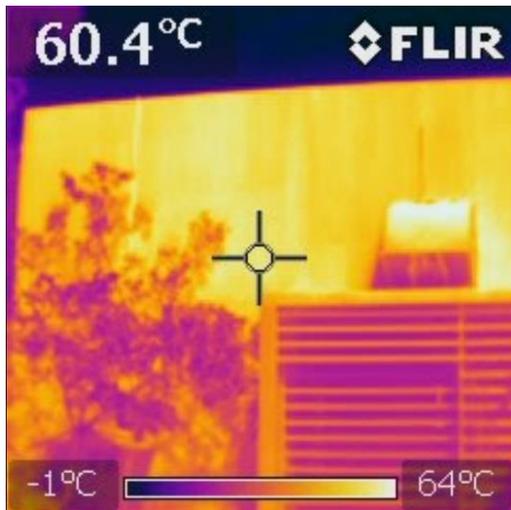
Figura 52 Diagrama de Givoni con la representación de las condiciones atmosféricas extremas (día 1 de julio de 2019), de temperatura y humedad relativa.

Al observar la Figura 52, las condiciones de temperatura y humedad relativa en el interior del recinto hace que las condiciones climáticas internas (línea color naranja) estén dentro de la una zona denominada: “zona de confort extendida”, y para obtener un mejor confort, la carta de Givoni sigue un incremento en la ventilación de tipo mecánica y/o natural o incrementar la inercia térmica de la edificación, lo cual se puede lograr agregando aislamiento térmico en las paredes y cubiertas de techos. El análisis será complementará más adelante empleando los criterios indicados en el estándar ASHRAE 55-2004.

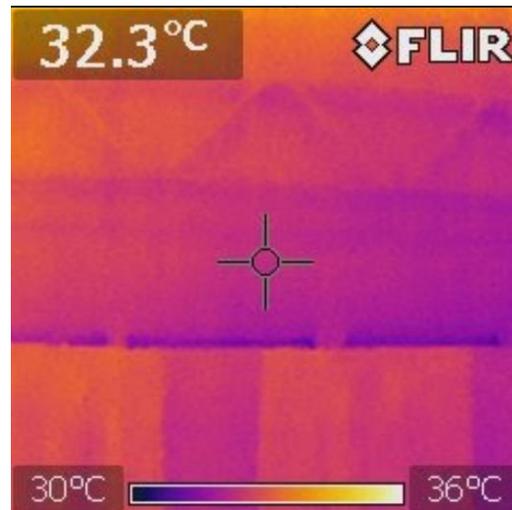
Por otro lado, el efecto de la inercia térmica puede ser apreciado comparando la línea color azul la cual representa las condiciones ambientales extremas externas al recinto para el día en cuestión, observando que dicha línea está más cerca de la zona de confort térmico.

No obstante, a través de las imágenes de termografía realizada se pudo medir la temperatura interna de las paredes y cubierta de techo de la nave industrial, siendo esta entre 36 °C y 40 °C para la pared Este, mientras que en el exterior (costado sur), la temperatura de la pared era de 60 °C, aproximadamente. Como consecuencia de la diferencia que existe entre la

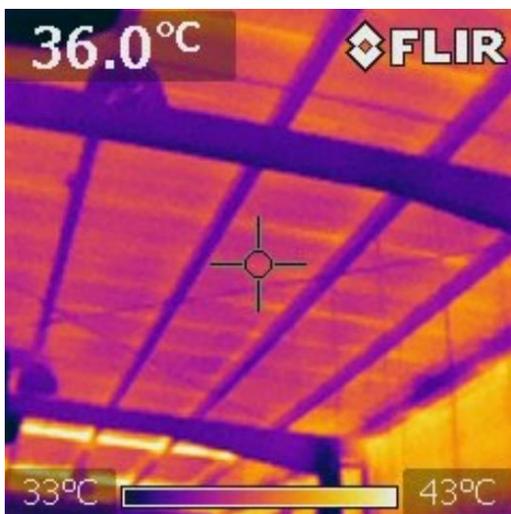
temperatura corporal de los usuarios (entre 36 y 37 °C) y las paredes y techo, existirá un flujo de energía térmica por radiación hacia los usuarios, esto se incrementará hacia la tarde debido a las ganancias.



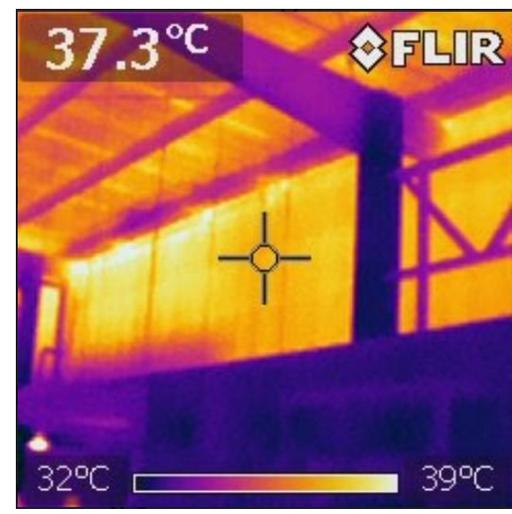
A) Pared externa (fachada sur)



B) Pared interna (fachada Oeste)

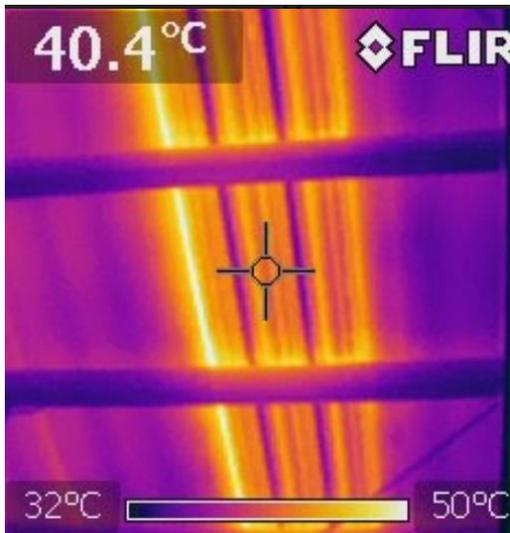


C) Cubierta metálica interna

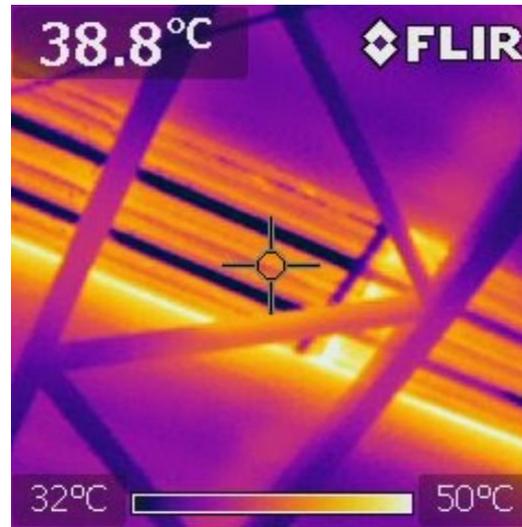


D) Fachada interna de muro (costado Este).

Figura 53 *Medición de temperatura (15:40 horas) en techos y paredes de edificación tipo nave industrial.*



A) Cubierta traslúcida.



B) Cubierta traslúcida

Figura 54 *Medición de temperatura (15:52 horas) en lámina traslúcida de techo de edificación tipo nave industrial.*

### 3.5.2 Análisis de Irradiación Solar en Paredes y Cubiertas de Techo

El estudio de incidencia solar realizado plantea el análisis crítico del comportamiento solar de distintas partes del edificio, en diferentes horas del día y su posible mejora gracias al diseño y caracterización constructiva. Inicialmente se estudia la radiación en el techo del edificio, las posiciones de los ventanales, la vegetación en los jardines y, finalmente, los acabados que componen el envoltorio del edificio y su comportamiento respecto al control solar y las ganancias y pérdidas energéticas. En función del cálculo de la incidencia solar del edificio, se determina la necesidad de control lumínico y de deslumbramiento en aquellos ventanales o vanos, así como la alternativa de una intervención para la propuesta de una remodelación o reordenamiento del lugar. Teniendo en cuenta el uso que tiene el edificio, el cual es utilizado de manera muy específica, es necesario controlar sobre todo el aspecto de confort interno, refiriéndose con esto a la temperatura que debe manejarse en ciertas zonas del edificio donde es necesario que los pacientes sean capaces de realizar sus terapias sin dificultades.

El análisis se realizó con el programa Autodesk REVIT, el cual permite hacer un estudio solar de todas las superficies que sea necesario determinar para el correcto análisis de un edificio, así como el tipo de resultados de cálculo, que pueden ser:

- Asoleamiento acumulado.
- Asoleamiento máximo.
- Asoleamiento medio.

Para objetos del estudio se realizó el análisis de asoleamiento medio, el cual pretende determinar la radiación solar media que recibe el edificio FUNTER en el periodo de un día.

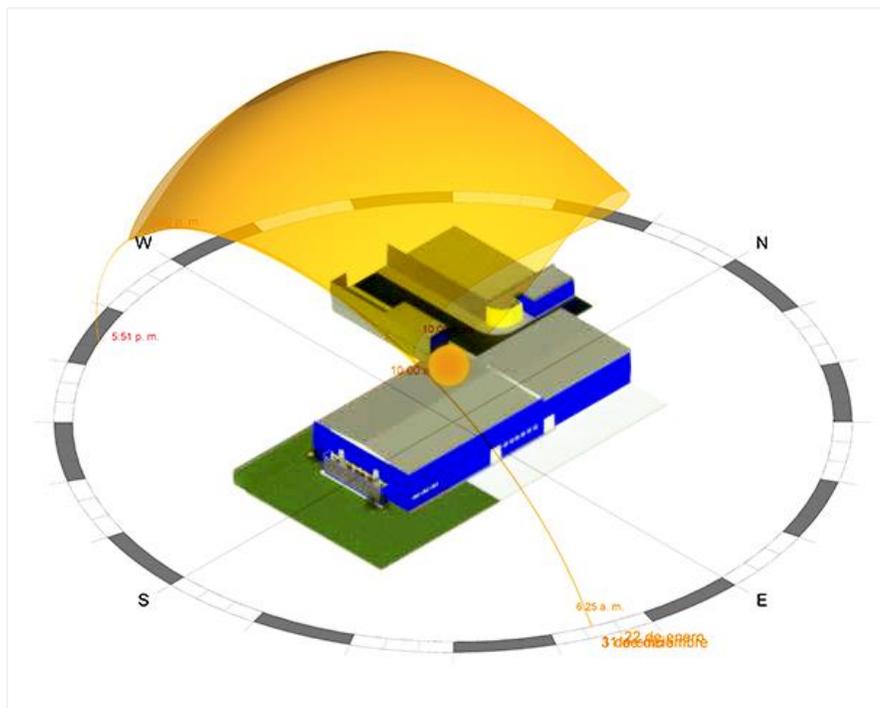


Figura 55 *Incidencia solar elaborado en Revit para un horario de 10:00 AM a 3:00 PM (Elaboración propia).*

Con base a los cálculos anteriores es posible determinar qué, la cubierta de techo sobre la piscina (la cual posee los colectores solares) capta su mayor punto de incidencia a partir del mediodía hasta casi finalizar la tarde, en este aspecto la homogeneidad en la diferencia de niveles de techo es de gran ayuda para evitar que estos generen sombras e interrumpir la

captación de energía por parte de los paneles. Sin embargo, también se puede observar como el efecto de deslumbramiento afecta este mismo espacio.

En el transcurso de la mañana, los ventanales ubicados en la piscina reciben la luz solar de forma lateral, lo cual, según lo observado previamente en la investigación es una problemática previamente solucionada con vegetación, lo cual deja restante únicamente el aspecto de la temperatura interior.

Al lado de la piscina se ubica el gimnasio para terapia de movilidad de niños y adultos, el cual, tiene un ventanal en dirección este-oeste, en específico no recibe grandes cantidades de radiación solar más que al finalizar la tarde, es decir, alrededor de las 17:00. Sin embargo, posee el mismo problema con relación a la temperatura interna que en la actualidad se trató de solucionar con la abertura del ventanal mencionado anteriormente, sin tener éxito, optando por la colocación de ventiladores en el intento para tratar de regular la temperatura interna si un efecto significativo.

### **3.6 Diagnóstico de Iluminación Media**

Con el fin de realizar un diagnóstico de la iluminación interna en el interior del recinto, se hizo una campaña de mediciones con un luxómetro en horario de 10:30 y 15:00. Siguiendo el procedimiento descrito en (INSST, 2015), primero se procedió a realizar una cuadrícula imaginaria, realizando tres mediciones de iluminación (lux) en cada una, a una altura de un metro o en el plano de trabajo de los escritorios en las áreas de interés (ver Figura 32). Con los datos medidos y tabulados se procedió a generar gráficos de isocontornos de iluminación obteniendo los resultados que se presentan en las figuras siguientes, tomando en cuenta la condición típica de uso de luminarias en esa área, que es con luces apagadas, utilizando solamente luz natural por medio de láminas traslúcidas de policarbonato.

De acuerdo con los resultados de la Figura 56, la iluminación medida oscila en el rango desde los 40 lux hasta los 2,800 lux, siendo predominante los valores interiores a 420 lux. Lo anterior se debe a que, en el costado sur, a la izquierda del gráfico, no se poseen láminas traslúcidas en la cubierta de techo, mientras que, en el costado norte, lado derecho del gráfico, sí hay, dando como resultado niveles bastante altos de iluminación por metro cuadrado.

De acuerdo con la normativa vigente del Ministerio de Trabajo del El Salvador, el cual fija el nivel de iluminación según el lugar de trabajo, el área de la Figura 32 necesita mayor iluminación dado que el mínimo exigido es de 500 Lux.

Los datos obtenidos revelan un déficit de iluminación en buena parte de las áreas para terapia (ver Figura 56), para lo cual se propondrá el incremento de láminas traslúcidas y ventanales, entre otras acciones, y el detalle de dicha propuesta se presentará más adelante.

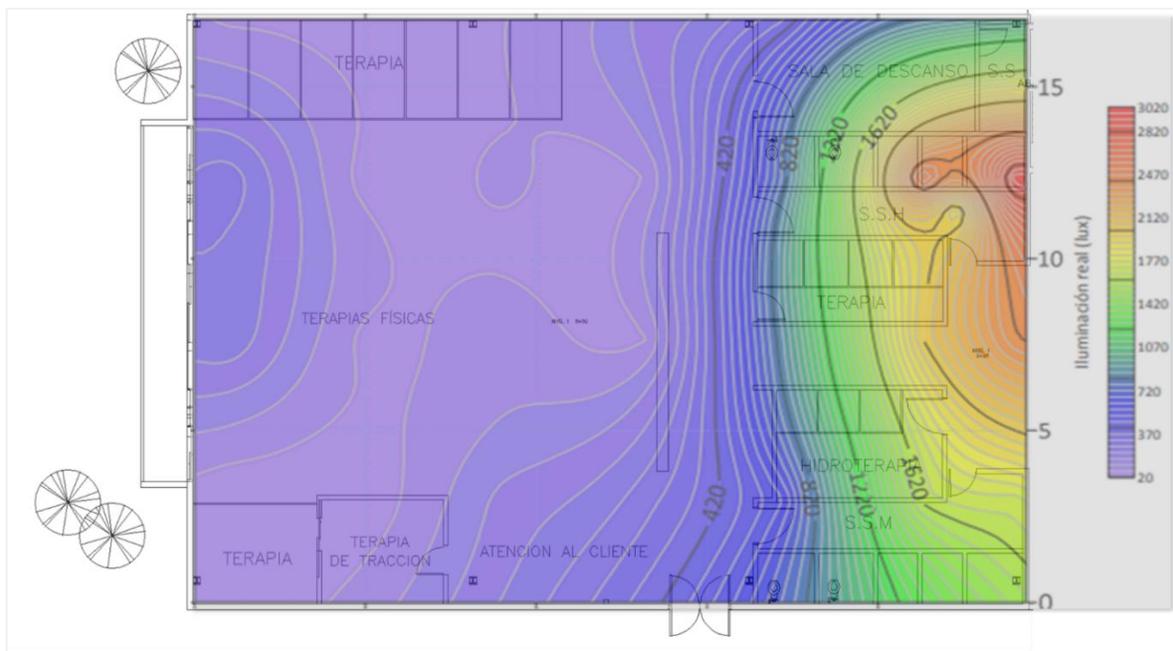


Figura 56 *Distribución de iluminación en área de terapias físicas (10:30). (Elaboración propia).*

El efecto de baja iluminación mostrada en la Figura 56 puede ser explicado por la falta de ventanas en las paredes este y oeste, como de lámina traslúcida en a la cubierta del techo. Lo anterior puede ser confirmado en la figura 34, 35 y 36, en donde se puede apreciar una vista interior del recinto. El costado sur (Figura 34), presenta la fachada interna de la pared por donde debería ingresar la mayor cantidad de irradiancia solar, no obstante, dicha entrada, además de permanecer parcialmente cerrada por puertas de vidrio, esta tiene a su entrada un conjunto de lama tipo persiana que bloquean parcialmente el ingreso de radiación solar (ver Figura 14). En la Figura 35 se muestra una línea de ventanas sobre la pared exterior que

conecta con los cubículos de cada servicio sanitario que bloquean en ingreso de radiación difusa al interior del lugar.

En la Figura 57 se puede observar una iluminación en el orden desde los 600 lux hasta los 2,900 lux, sólo con iluminación natural, por medio de láminas traslúcidas en la cubierta de techo.

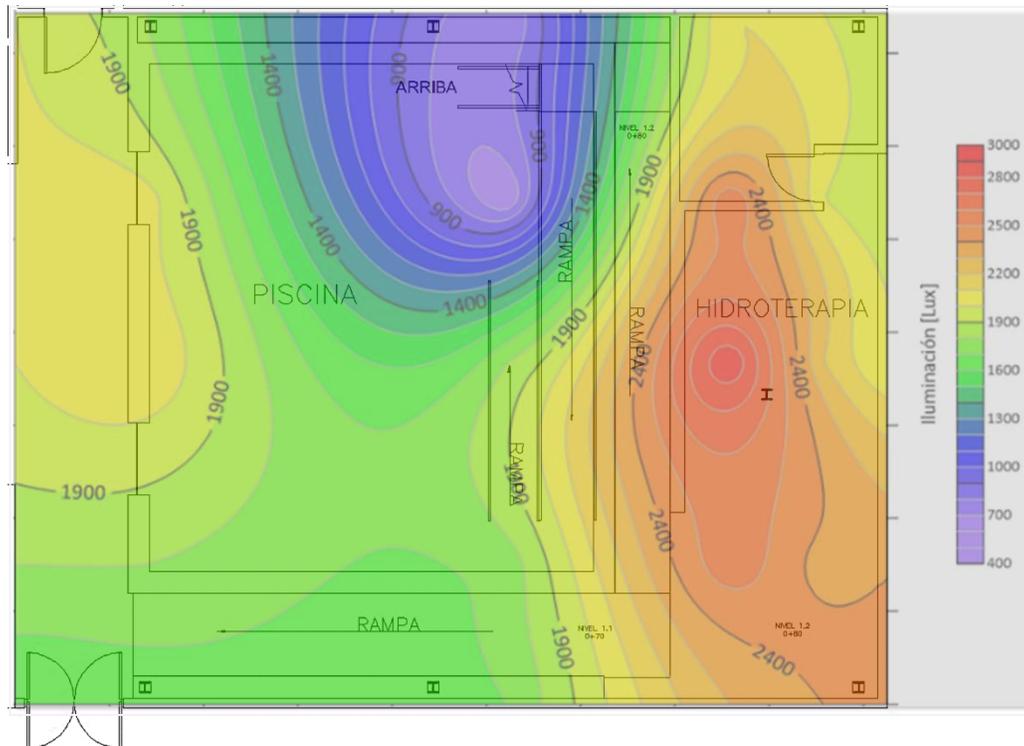


Figura 57 Distribución de iluminación en área de piscina para hidroterapias (10:30). (Elaboración propia).

El gráfico de la Figura 57 es congruente con la imagen interna del área de piscina que se presentó en la Figura 36, en cuyo costado norte (derecho en la Figura 57) está ubicada una ventaja corrediza que permite el ingreso de luz y aire exterior.

Más adelante se complementará el análisis mediante la simulación de la línea base de la edificación y su comparación con las propuestas de modificación empleando el software DesignBuilder.

### 3.7 Campaña de Medición y Diagnóstico de Sistema de Calentador Solar Para Piscina

Uno de los servicios más atractivos que presta FUNTER es la rehabilitación a través de la hidro-termoterapia impartida en una piscina climatizada (Figura 58) la cual tiene una superficie de  $104.5 \text{ m}^2$  y un volumen de  $135.85 \text{ m}^3$ .

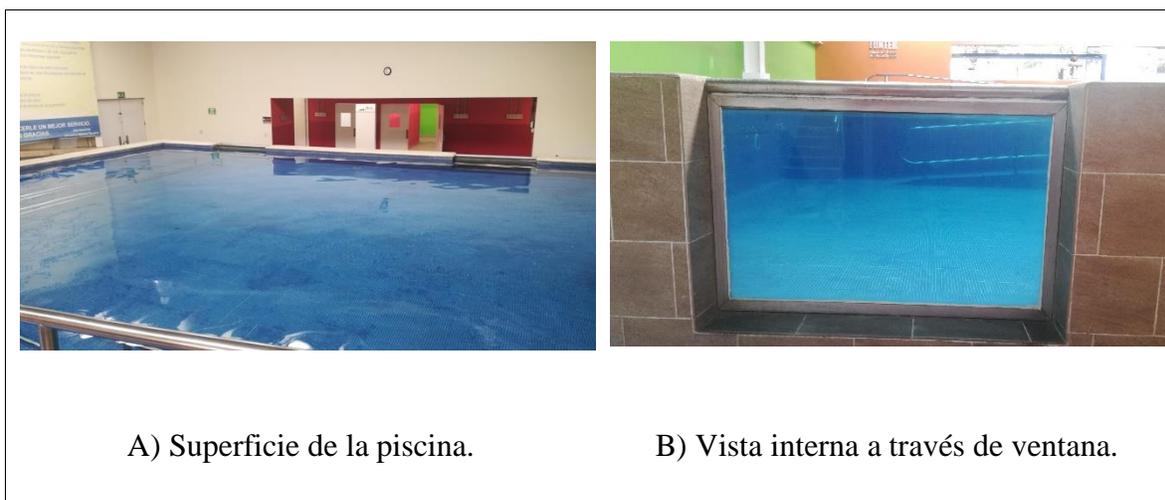


Figura 58 *Piscina climatizada para hidroterapia, (Elaboración propia).*

La terapia se imparte de lunes a viernes en cinco horarios de atención para pacientes de diferentes edades, siendo los niños con capacidades espaciales los que más demandan dicho servicio.

En un inicio, el agua de la piscina era climatizada únicamente por una caldera a gas propano, luego, en 2015 y a un costo aproximado de US \$50,000, se implementó un proyecto de instalación completa de un sistema de captadores solares conectado como apoyo al sistema de calefacción existente, todo patrocinado por una empresa privada.

De forma simplificada, la Figura 59 muestra el esquema hidráulico con los componentes principales del sistema termosolar instalado cuyo detalle es el que se describe a continuación:

- **Subsistema de captación solar:** Consiste en 44 captadores de polipropileno marca Heliocol, modelo HC-40 con  $3.85 \text{ m}^2$  ( $169.4 \text{ m}^2$  de superficie de captación total), con una eficiencia máxima de 0.828 y pérdidas lineales de  $18.52 \text{ W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- **Subsistema de transporte:** tubería CPVC de 1-1/2” para conexión entre bancada y PVC 3” para conexión principal; dos (2) bombas hidráulicas marca Pentair de 2 HP, 3450 rpm y dos (2) set de filtros de arena, capacidad 147 gpm.
- **Subsistema de apoyo:** Caldera a base de gas propano marca HAYWARD.
- **Subsistema de control:** Marca SUNTOUCH de PENTAIR, con dos sensores de temperatura para monitorear la temperatura del aire y la temperatura del agua.

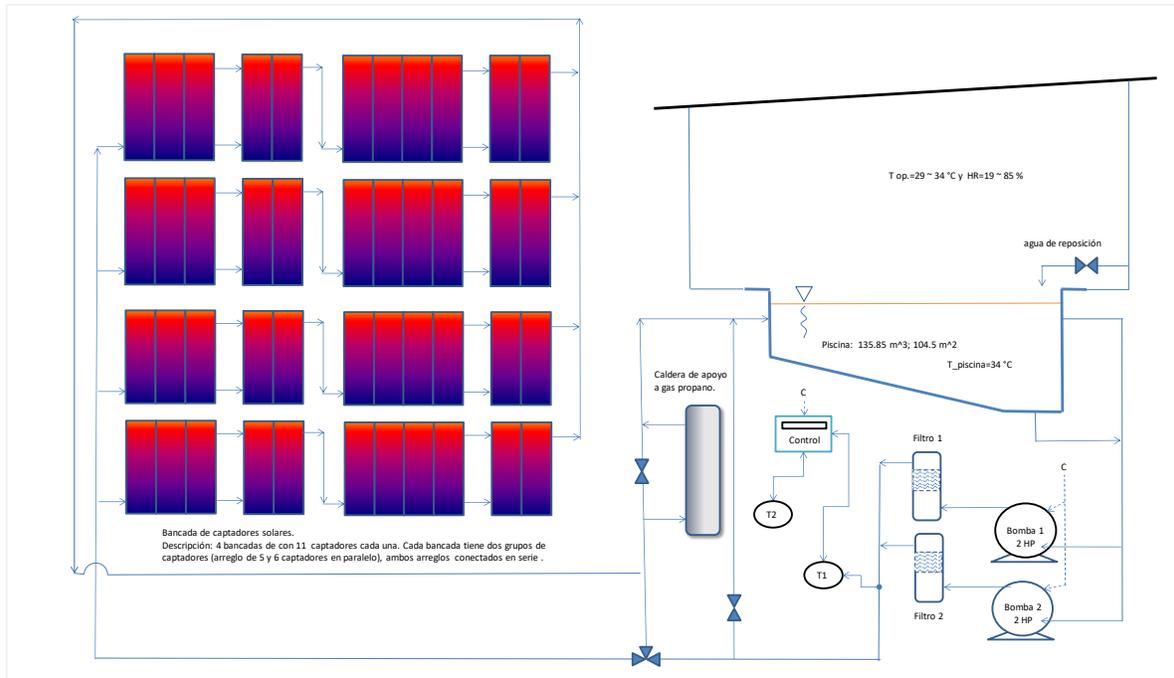


Figura 59 Sistema de calefacción de agua para piscina techada de hidroterapia, (Elaboración propia).

En cuanto a la lógica de funcionamiento del sistema de calefacción híbrido gas/solar, su funcionamiento debería seguir la lógica siguiente:

1. **Calentador a base de gas:** iniciará operación si la temperatura del agua está por debajo de la temperatura de consigna y no hay radiación solar. Por ejemplo, el calentamiento de agua que inicia a las 3:45 de la madrugada, que permite tener una temperatura de operación para impartir la primera sesión de terapia programada para las 7:30 de la mañana.

2. **Uso de calentador solar:** útil durante el resto del día (a partir de las 7:30. hasta las 16:30, aproximadamente) siempre que existe radiación solar global que supere el umbral de  $400 \text{ W/m}^2$ .

En todo momento el sistema electrónico de control de operación deberá hacer el cambio entre ambos sistemas para mantener la temperatura adecuada de la piscina según el recurso disponible (gas, Sol o ambos).

De acuerdo con la lógica típica con la que se dimensionan las instalaciones termosolares como la analizada, este sistema no se diseña para cubrir un 100% de la demanda de energía, sino como apoyo del sistema convencional para calefacción; no obstante, el sistema termosolar instalado en FUNTER no está en operación dado que, según el operador a cargo del sistema, éste provoca sobrecalentamiento del agua de la piscina.

De forma preliminar, si el sistema termosolar provoca sobrecalentamiento del agua de la piscina, es porque éste aporta más energía de la necesaria para la cubrir las necesidades de calefacción, es decir, el sistema termosolar está sobre dimensionado; por lo que el problema se puede solventar implementando mejoras en el sistema de control que gestione de mejor manera el aporte de energía del sistema termosolar. No obstante, lo anterior deberá ser verificado mediante un cálculo de la superficie de captación solar mínima requerida y determinar el factor de cobertura solar del sistema existente e identificar si existen oportunidades de mejora para poder brindar las recomendaciones oportunamente.

### **3.7.1 Medición de Parámetro Operativo de la Piscina**

Con base a información proporcionada por el personal técnico que imparte las termoterapias, el agua de la piscina debe tener una temperatura constante de  $34 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para determinar si lo anterior se está cumpliendo se procedió con la medición de la temperatura del agua de la piscina a lo largo de una semana, instalando para ello dos sensores (S1 y S2) del tipo termopar “K” a diferente profundidad como se indica en la Figura 60, mientras un tercero (S3, no indicado) se instaló fuera para medir la temperatura ambiente del recinto. Como ya bien se ha indicado, el objetivo fue medir el perfil y evolución de la temperatura tanto de calentamiento como enfriamiento a lo largo de varios días y así poder relacionar y

cuantificar la curva de calentamiento con la demanda de energía térmica requerida por la piscina.

Como se observa en la Figura 60, los sensores fueron instalados a diferente profundidad (S1 fue instalado a 30% de la profundidad total (1.3 m) mientras que S2 a un 70%), respecto al fondo de la piscina con lo cual se comprobó la estratificación térmica.

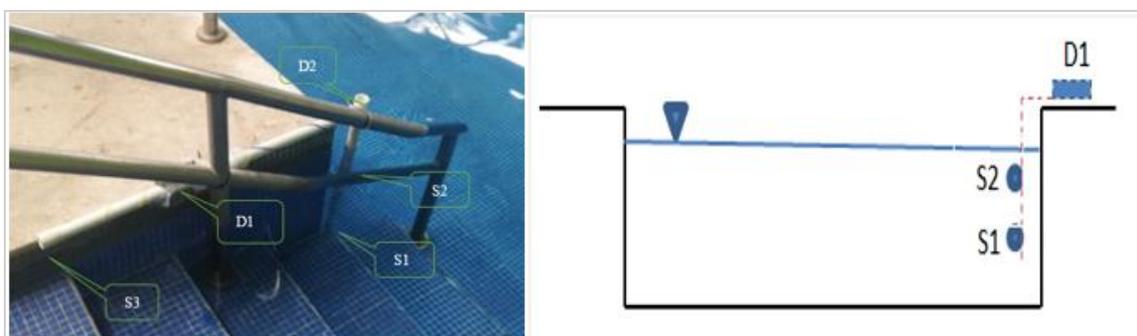


Figura 60 *Ubicación de sensores de temperatura (S1 a S3) y sistema de registro y almacenamiento de datos (D1) y soporte (D2).*

Las características de los dispositivos empleados para la medición son las siguientes:

Tabla 5 *Características de los equipos de medición para medición del agua de piscina (Elaboración propia).*

Ítem	Especificación técnica	Cantidad	Figura de referencia
1	Sensor de temperatura tipo de termopar K, rango de temperatura: -50 a 200 °C	3	
2	Data Logger XR5, fabricado por Pace Scientific. Periodo de registro: cada 2 min.	1	
3	Estructura de soporte de PVC para fijación de equipos.	1	

El conjunto de dispositivos dentro de la piscina se muestra en la Figura 61, instalados desde el 7 al 17 de febrero del 2020.



Figura 61 Arreglo de sistema de sensores de temperatura instalados en pasamano de piscina.

El espectro de temperatura medido se muestra en la Figura 62, en ésta se aprecia la rampa de calentamiento y enfriamiento para cada uno de los días registrados.

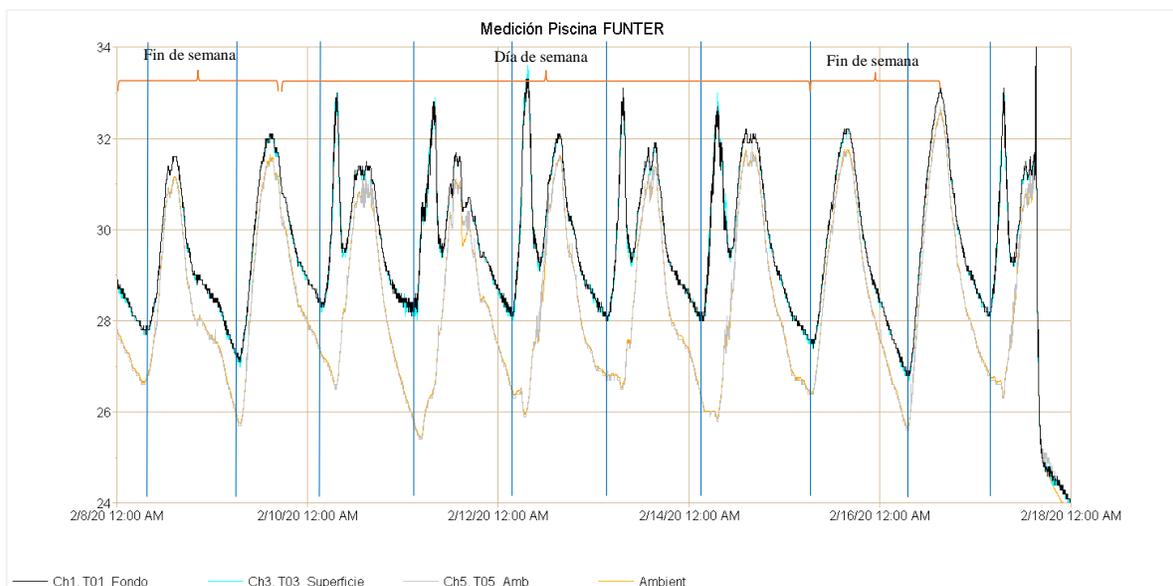


Figura 62 Perfil de temperatura del agua de la piscina para hidroterapia ( $^{\circ}\text{C}$  en eje vertical contra tiempo en horas), elaboración propia.

Del perfil de operación es evidente que el calentamiento inicial es únicamente a base de gas propano, e inicia, generalmente, a las 3:45 (ver punto A). En la Figura 63 se observa una

diferencia en el perfil de calentamiento en fin de semana (sin terapias) y día de semana (con terapias); el perfil de cada uno de los días se muestra en la Figura 63 y Figura 64.

En ambas gráficas se observa la existencia de patrones de calentamiento y enfriamiento, mismo que son analizados a continuación.

Patrón para fin de semana:

- A-B: Calentamiento desde las 7:16 hasta las 14:34, alcanzando una temperatura máxima de 31.58 °C, 0.46 °C por encima de la temperatura ambiente en el interior del recinto (ver *Figura 49*).

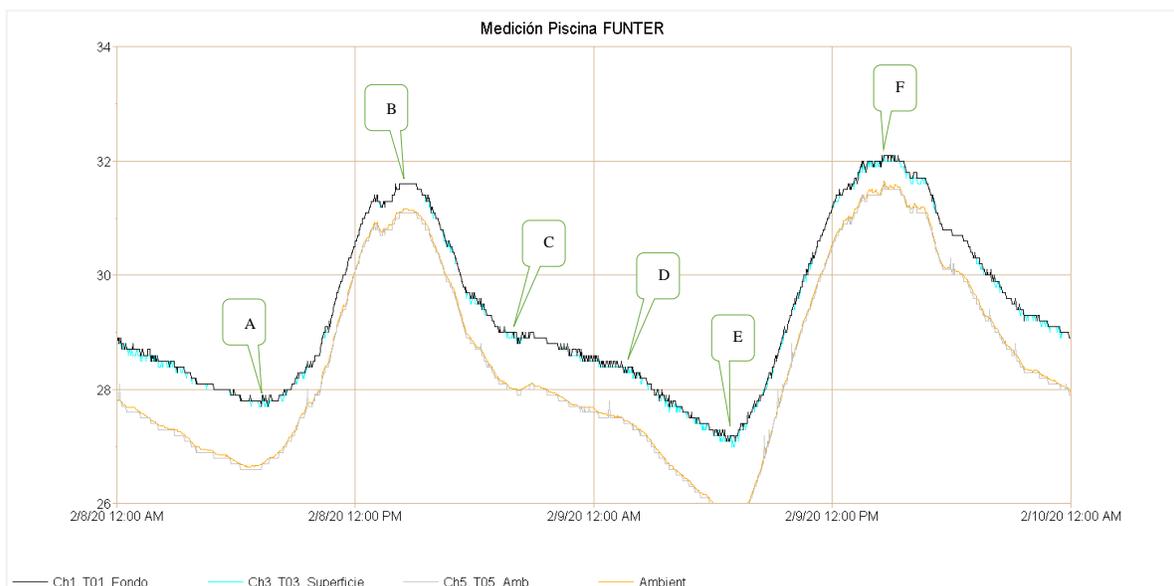


Figura 63 Perfil de temperatura del agua de la piscina y la temperatura ambiente para un fin de semana (sin atenciones).

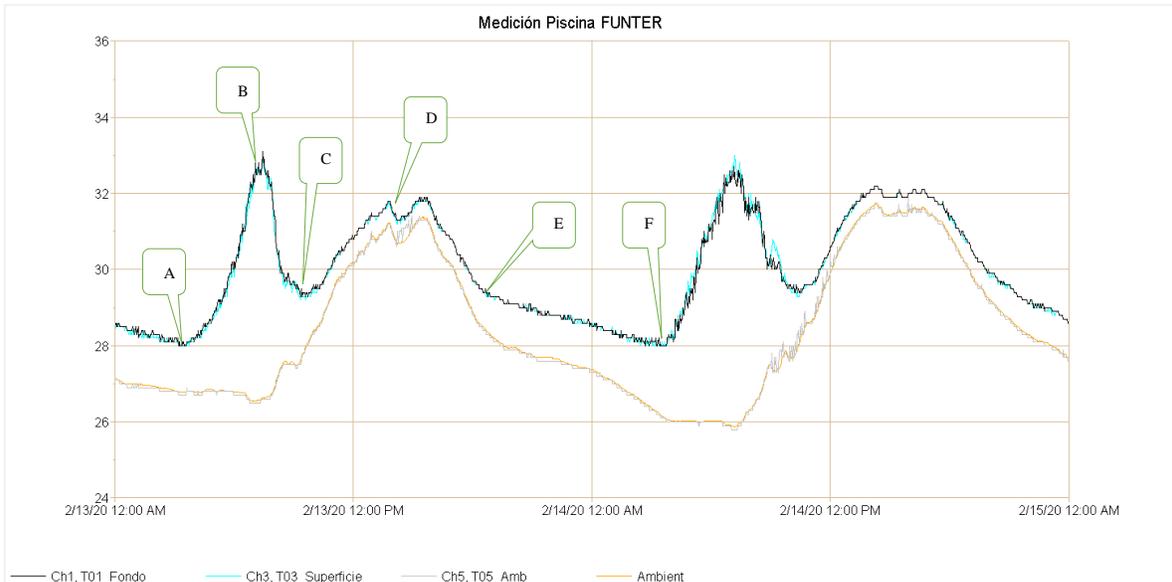


Figura 64 Perfil de temperatura del agua de la piscina y temperatura ambiente para un día de semana (con terapias), elaboración propia.

- B-E: proceso de enfriamiento. En este proceso también la caldera aporta energía para evitar que la temperatura del agua de piscina sea inferior que la temperatura ambiente. El efecto de la inercia térmica de la masa de agua se aprecia en el cambio de pendiente de enfriamiento entre los literales C-D y D-E.

En cuanto al gradiente de temperatura ( $\nabla T$ ) para un día en específico, éstos quedan definidos por la ecuación siguiente:

$$\nabla T = \frac{T_f - T_i}{t_f - t_i} \left[ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{hr}} \right] \quad \text{Ec. 01}$$

Tabla 6 Curva de calentamiento y enfriamiento (fin de semana, 8 de febrero), Elaboración propia

	A-B	B-C	C-D	D-E
<b>Parámetro</b>	<b>Temperatura, T [°C]</b>			
<b>Ti</b>	27.79	31.58	29.04	28.47
<b>Tf</b>	31.58	29.04	28.47	27.14

	<b>A-B</b>	<b>B-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>
<b>DT</b>	3.79	-2.54	-0.57	-1.33
<b>Tiempo, t [Hora]</b>				
<b>ti</b>	7:28 AM	2:16 PM	8:40 PM	1:50 AM
<b>tf</b>	2:16 PM	8:40 PM	1:50 AM	6:49 AM
<b>Dt</b>	6.8	6.4	5.2	5.0
<b>Gradiente de temperatura, <math>\nabla T</math> [°C/hr]</b>				
<b>m</b>	0.56	-0.40	-0.11	-0.27

*Tabla 7* Curva de calentamiento y enfriamiento (miércoles 12 de febrero). Elaboración propia

	<b>A-B</b>	<b>B-C</b>	<b>C-D</b>	<b>D-E</b>	<b>E-F</b>
<b>Parámetro</b>	<b>Temperatura, T [°C]</b>				
<b>Ti</b>	28.134	33.074	29.364	31.681	29.491
<b>Tf</b>	33.074	29.364	31.681	29.491	28.151
<b>DT</b>	4.94	-3.71	2.317	-2.19	-1.34
<b>tiempo, t [Hora]</b>					
<b>ti</b>	3:38 AM	7:16 AM	9:32 AM	2:42 PM	6:23 PM
<b>tf</b>	7:16 AM	9:32 AM	2:42 PM	6:23 PM	3:38 AM
<b>Dt</b>	3.63	2.27	5.17	3.68	9.23
<b>Gradiente de temperatura, <math>\nabla T</math> [°C/hr]</b>					
<b>m</b>	1.36	-1.64	0.45	-0.59	-0.15

Descripción del patrón de calentamiento para días con terapias:

- **A-B:** Calentamiento observado desde las 3:38 hasta las 19:16, alcanzando una temperatura máxima de 33.074 °C, 6 °C por encima de la temperatura ambiente en el interior del recinto. La pendiente de calentamiento es 1.36 °C/hr.
- **B-C:** entre las 7:00 y las 9:30 se da un proceso de enfriamiento producto principalmente por el uso de los bañistas de la piscina. La pendiente de enfriamiento es -1.64 °C/hr.
- **C-D:** este proceso es también de calentamiento, pero a diferencia del anterior, éste implica un menor consumo de energía ya que el objetivo es mantener el agua, aproximadamente, 0.5 °C por encima ambiente. La pendiente de calentamiento es 0.45 °C/hr.
- **D-E:** Este proceso es un enfriamiento controlado puesto que la caldera aportará energía si la temperatura del agua de enfriamiento tiene a ser menor que la temperatura ambiente. La pendiente de enfriamiento es -0.59 °C/hr.
- **E-F:** igual que el caso anterior, no obstante, en este proceso se da un enfriamiento natural por pérdidas térmicas en la superficie de agua expuesta al aire circundante. El enfriamiento sigue hasta que nuevamente inicie el proceso de calentamiento con la caldera. La pendiente de enfriamiento del tramo E-F es -0.15 °C/hr.

El ciclo anterior se repite para todos los días con terapias.

### **3.7.2 Cálculo de Energía Térmica para el Calentamiento de la Piscina**

Para calentar el agua de la piscina y mantener dicha masa de agua a la temperatura de régimen para las terapias ( $34 \pm 0.5$  °C), se necesita una cantidad apreciable de energía térmica la cual es provista en su totalidad, según las condiciones actuales de operación, por la caldera auxiliar a gas propano, sobre todo por el requerimiento de uso de la piscina a primera hora de la mañana (7:30).

Como ya se indicó anteriormente, en el lugar existen dos sistemas para calentamiento, sin embargo, es la caldera auxiliar la que opera de forma continua a pesar de que existe un sistema termosolar perfectamente operativo y la razón principal por la cual no se utiliza, de

acuerdo con el operador responsable del área técnica, es la “dificultad” de cómo controlar la temperatura de calentamiento del agua de la piscina, llegando a superar en ocasiones valores entre 40 °C y 45 °C.

Lo anterior confirma preliminarmente que existe la capacidad instalada del sistema de termosolar suficiente para suplir la demanda de energía térmica necesaria para mantener la temperatura de la piscina sin necesidad o minimizando el uso de la caldera de auxiliar. Para confirmar lo anterior, se procedió a realizar un balance de energía térmica en los límites de la piscina (superficie de agua en contacto con las paredes verticales y el suelo de la piscina, así como también, la lámina de agua en contacto con aire del recinto), el detalle de las pérdidas térmicas se describe a continuación

#### **3.7.2.1 Balance de Energía de la Piscina**

Para (Kalogirou, 2009), una piscina climatizada necesita diferentes cantidades de energía para poder conseguir una adecuada temperatura de uso, entre éstas está la requerida para lograr una temperatura de régimen (energía de puesta en marcha por primera vez) y la necesaria para mantener un valor de temperatura de consigna (energía para suplir las diferentes pérdidas térmicas). Gráficamente en la Figura 65 se presenta un balance de energía en la piscina.

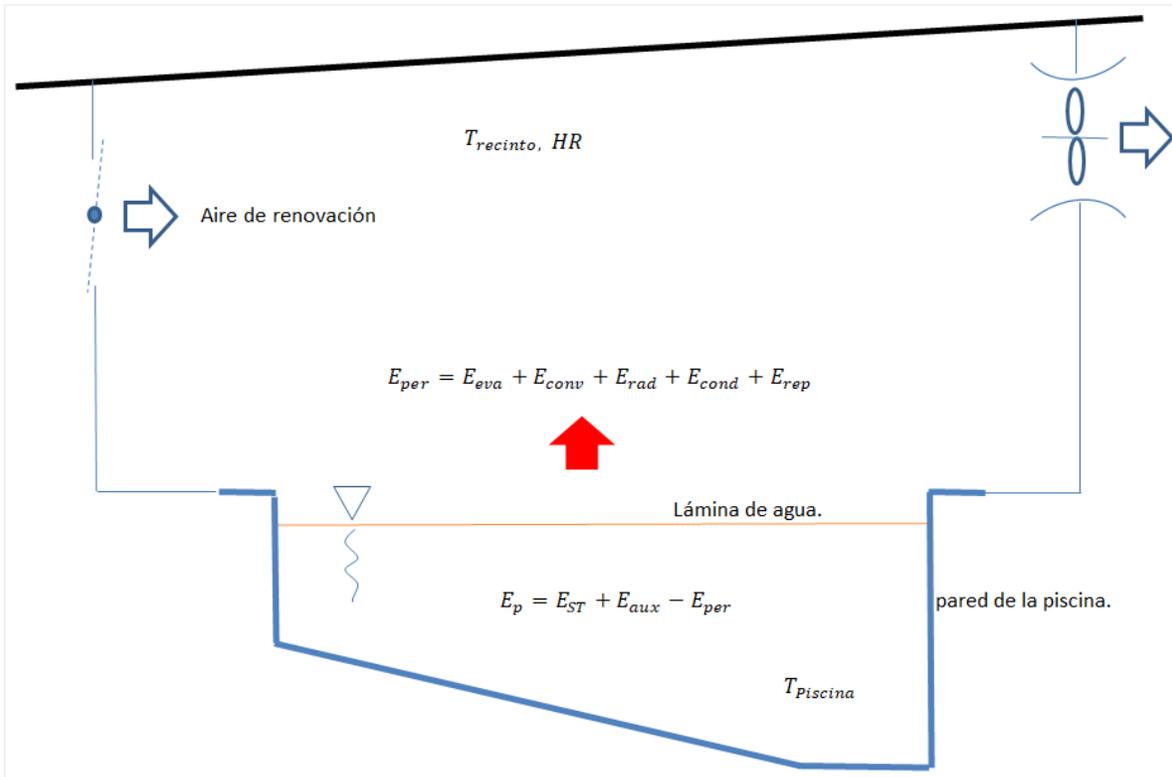


Figura 65 Esquema de balance de energía desde y para la piscina (Elaboración propia).

De acuerdo con el esquema, la energía interna aportada o cedida a la masa de agua de la piscina puede ser expresada mediante la ecuación siguiente:

$$E_p = E_{entrada} - E_{salida} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$E_p = E_{ST} + E_{aux} - \sum E_{per} \quad (\text{Ec.1a})$$

$$E_p = E_{ST} + E_{aux} - (E_{eva} + E_{conv} + E_{rad} + E_{cond} + E_{rep}) \quad (\text{Ec. 1b})$$

Donde:

- $E_p$  : energía interna de la masa de agua de la piscina.
- $E_{ST}$ : energía térmica aportada por el sistema termosolar.
- $E_{aux}$ : energía térmica aportada por el sistema auxiliar o caldera.
- $E_{eva}$ : pérdidas de energía térmicas por evaporación de agua.
- $E_{conv}$ : pérdidas de energía por transferencia de calor por convección entre el agua y aire.

- $E_{rad}$ : energía de pérdidas por transferencia de calor por radiación entre el agua-aire y las superficies del recinto.
- $E_{cond}$ : energía de pérdidas por transferencia de calor por conducción entre el agua y las superficies que confinan el agua de la piscina.
- $E_{rep}$ : consumo de energía para calentar agua de reposición (make up) desde la temperatura de red hasta la de consigna de la piscina.

Generalmente las magnitudes antes presentadas tienen unidades de MJ o kWh y el periodo de integración es de un mes o año, por lo que es común encontrar, como es el caso de este documento, unidades de MJ/mes o kWh/mes o MJ/año o kWh/año.

De acuerdo con la Ec. 1, la temperatura del agua de la piscina depende del aporte de energía del sistema termosolar y la caldera auxiliar, pero también de la magnitud de pérdidas térmicas del sistema. Una buena práctica de dimensionamiento de los sistemas antes citados es la siguiente: la caldera auxiliar, operando como sistema único o principal, deberá tener la capacidad de aportar el 100 % de energía necesaria para alcanzar la temperatura de consigna, luego deberá modular su potencia supliendo únicamente la energía equivalente a las pérdidas térmicas de la piscina. En cuanto al sistema termosolar, la potencia térmica aportada depende de la disponibilidad de la radiación solar en la superficie de captación; por lo tanto, se busca dimensionar la superficie de captación para que la energía de la radiación solar, convertida en energía térmica útil, cubra parcial o totalmente las pérdidas de energía térmicas de la piscina.

Conforme a lo anterior, ambos sistemas operan de forma combinada, es decir, mientras la caldera auxiliar es útil para la puesta en marcha inicial o en época de baja radiación, el sistema termosolar aporta energía para cubrir un porcentaje importante de la energía necesaria para mantener la temperatura de consigna de la piscina, reduciendo la demanda de energía aportada por la caldera auxiliar.

Con base a lo anterior, como primer paso para cuantificar el porcentaje de cobertura solar del sistema actual, primero se calculó la magnitud de pérdidas térmicas de la piscina, el procedimiento ejecutado se detalla a continuación.

### 3.7.2.2 Cuantificación de Pérdidas Térmicas

#### a) Pérdidas por evaporación

De acuerdo con (Gacía & Sancho, 2016), en todas las interfaces agua-aire existe un fenómeno de transferencia de masa en la cual la capa superficial de agua en contacto con el aire se evapora, proceso que consume energía térmica lo que se ve reflejado en una disminución de la temperatura de la piscina. Con base en lo anterior, existirá una mayor o menor evaporación en función de la sequedad (contenido de humedad del aire), la temperatura del aire del recinto y el agua de la piscina, así como también la velocidad del viento en la lámina de agua.

Otro factor que también incrementa la cantidad de evaporación es la ocupación de bañistas ( $n$ ) ya que éstos, al nadar y salir de la piscina, exponen al aire una mayor cantidad de agua. Adicionalmente, también la cantidad de ocupantes o público ( $N$ ) en el recinto, pues éstos modifican la cantidad de humedad y por lo tanto la carga de calor latente del recinto. Todo lo anterior es considerado en la ecuación de Bernier para pérdida de flujo (kg/h) por evaporación en piscinas tal como se presenta a continuación.

$$M_e = (S \cdot [16] + 133 \cdot n) \cdot (w_e - G_a \cdot w_{as}) + 0.1 \cdot N \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

1.  $M_e$ : Flujo másico de agua evaporada [kg/h].
2.  $S$ : superficie de agua de la piscina en contacto con aire [104.5 m<sup>2</sup>].
3.  $n$ : Número de bañistas en la piscina (se asumió un total de 15 bañistas por día).
4.  $w_e$ : Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua [kg de agua/kg de aire]. Dato variable, como ejemplo, para  $T=34$  °C,  $HR=1$  (aire saturado) y  $P=99.8$  kPa,  $w_e = 0.03501$  kg de agua/kg de aire.
5.  $w_{as}$ : Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del recinto [kg de agua/kg de aire], (variable).
6.  $G_a$ : Humedad relativa en el recinto (variable).
7.  $N$ : cantidad de asistentes o acompañantes de los bañistas. Para cuantificar este término se definió una ocupación máxima ( $O$ ) de personas en el recinto. Por lo tanto, si la ocupación máxima es de 25 personas y 15 son bañistas, la cantidad de acompañantes ( $N$ ) es:  $N=25-15=10$ .

De la Ec. 2 se destacan las constantes “16” y “133”, la primera considera la evaporación por agua en reposo, mientras que la segunda la causada por los bañistas dentro de la piscina.

Por lo anterior, la Ec. 2 puede ser reescrita de la manera siguiente:

$$M_e = M_{ep} + M_{eb} + M_{ea} \quad (\text{Ec. 2a})$$

Donde:

- $M_{ep}$ : es la masa de agua evaporada (en kg/h) de la piscina en reposo para un periodo de tiempo,  $t_{ep}$ , de 24 horas por día, no obstante, para el cálculo se considera la evaporación durante el periodo de horas de Sol, es decir 8 horas en promedio y es solo esta fracción de tiempo en la que el sistema termosolar compensarán las pérdidas por evaporación.
- $M_{eb}$ : es la masa de agua evaporada (en kg/h) por acción de los bañistas según horario o número de sesiones de terapia ( $t_{eb} = 5$  terapias de una hora en un día)
- $M_{ea}$ : es la masa de agua evaporada (en kg/h) por los acompañantes de los bañistas como padres de familia que asisten a la terapia ( $t_{ea} = 5$  terapias de una hora en un día)

Por lo tanto, la ecuación para calcular la masa total de agua evaporada queda de la manera siguiente:

$$M_{eT} = M_{ep} \cdot t_{ep} + M_{eb} \cdot t_{eb} + M_{ea} \cdot t_{ea} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] \quad (\text{Ec. 2b})$$

Con el cálculo de flujo total de agua evaporada por día, la cantidad de energía que se da a la piscina por evaporación queda definida con la ecuación siguiente:

$$\dot{Q}_e = (M_{eT} \cdot h_{fg})/1000 \left[ \frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right] \quad (\text{Ec 3})$$

Donde

- $h_{fg}$  Es la entalpía de evaporación del agua a la temperatura de la piscina y presión del recinto; para  $T_{\text{pool}}=34$  °C y  $P=99.8$  kPa,  $h_{fg} = 2420$  kJ/kg.

#### **b) Pérdidas por convección**

A la base de este proceso de transferencia de calor está nuevamente la interacción aire-agua en la cual las capas circundantes de aire remueven calor a la superficie de agua de la piscina. Este proceso se incrementa con el aumento de la velocidad del aire. De acuerdo con (Kalogirou, 2009), las pérdidas de calor por convección se pueden predecir con la (Ec 3).

$$\dot{Q}_c = (t_{pr}) \cdot (3600/10^6) \cdot (3.1 + 4.1 \cdot v_s) \cdot (T_{pool} - T_{rec}) \left[ \frac{MJ}{día} \right] \quad (Ec.4)$$

Donde:

- $v_s$  : es la velocidad del viento en la superficie de la piscina [0.05 m/s para una piscina techada]
- $T_{pool}$  : Temperatura de consigna para el agua de a la piscina (34 °C)
- $T_{rec}$  : Temperatura del recinto (27 °C)
- $t_{pr}$ : Tiempo en horas en que se cuantifica las pérdidas por convección (8 horas) para la demanda térmica del sistema termosolar.

### c) Pérdidas por radiación

Estas pérdidas son las causadas por la emisión y absorción de radiación de onda larga (infrarrojo) que emiten todos los cuerpos en virtud de su temperatura. Empleando la ecuación recomendada por (Kalogirou, 2009), la pérdida o ganancia de calor queda definida en la ecuación siguiente:

$$\dot{Q}_r = (t_{pr}) \cdot (3600/10^6) \cdot F_f \cdot (\varepsilon) \cdot (\sigma) \cdot (T_{pool}^4 - T_{rec}^4) \left[ \frac{MJ}{día} \right] \quad (Ec.5)$$

$$\varepsilon = 0.711 + 0.56 \left( \frac{T_{rec}}{100} \right) + 0.73 \left( \frac{T_{rec}}{100} \right)^2 \quad (Ec. 6)$$

Donde:

- $F_f$ : Factor de vista o forma, se asumió de 1, ya que la piscina intercambia energía de forma hemisférica con los alrededores o recinto.
- $\varepsilon$ : Emisividad del cuerpo de agua a la temperatura de la piscina en °C.
- $\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 - K^4$ )

Para el cálculo de la emisividad ( $\varepsilon$ ) se empleó la temperatura en °C, mientras que en grados “K” para la potencia por radiación ( $Q_r$ ).

### d) Pérdidas por agua de reposición (Make-Up)

En operación normal, la piscina pierde continuamente una masa de agua como producto de la evaporada, por fugas en el proceso de filtrado, la que se lleva en los pies los bañistas,

renovaciones programadas, etc. Por tal razón, el efecto directo es una disminución progresiva del nivel de agua de la piscina.

Esta pérdida de agua, que no debe superar el 5 % del volumen total de la piscina, por razones higiénicas deberá renovarse (Make-Up) con agua fresca que por lo general estará a una temperatura inferior a la temperatura de consigna de la piscina. El aporte de este volumen de agua de reposición reducirá la temperatura del agua de la piscina. La magnitud de la cantidad de energía pérdidas se calcula con la ecuación siguiente.

$$\dot{Q}_{muw} = M_{eT} \cdot c_p \cdot (T_{pool} - T_{red})/1000 \left[ \frac{MJ}{día} \right] \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

- $\dot{Q}_{muw}$ : Pérdida de calor por calentamiento de agua de reposición [MJ/día]
- $M_{eT}$ : Flujo másico de agua de reposición [kg/día]
- $c_p$ : Calor específico para el agua [4.18 kJ/kg °C]
- $T_{red}$ : Temperatura del agua de reposición [°C]

#### e) Pérdidas por conducción

Estas pérdidas se dan por el flujo de calor a través de las paredes de la piscina. Su magnitud es mayor durante la puesta en marcha de la piscina la cual gradualmente se reduce en condiciones estacionarias (diferencia finita entre la temperatura del agua y las paredes de la piscina). Por lo anterior, esta pérdida se considera despreciable y en todo caso deberá ser absorbida por la caldera auxiliar.

En la Tabla 8 se presenta el resultado de las pérdidas térmicas generadas en la piscina por día, mes y año.

El resultado mensual de la Tabla 8 es la demanda de energía térmica mínima que el sistema termosolar deberá aportar para mantener la temperatura de régimen del agua de la piscina.

Tabla 8 Resumen de pérdidas térmicas de la piscina (Elaboración propia)

Mes(i)	Días(j)	$T_{rec}$	$T_{pool}$	HR	$Q_e$	$Q_c$	$Q_r$	$Q_{muw}$	$\Sigma Q_j$	$\Sigma Q_i$
		[°C]	[°C]	[-]	MJ/d	MJ/d	MJ/d	MJ/d	MJ/d	GJ/mes
1	31	28.3	34	58.6	1165.0	56.70	12.35	45.98	1280.0	39.7
2	29	28.9	34	57.7	1148.0	50.73	11.08	42.75	1252.6	36.3
3	31	29.2	34	58.9	1115.0	47.74	10.45	40.27	1213.5	37.6
4	30	29.3	34	63.5	1041.0	46.75	10.23	37.20	1135.2	34.1
5	31	28.2	34	74	954.8	57.69	12.56	37.97	1063.0	33.0
6	30	27.6	34	78.8	927.0	63.66	13.82	38.91	1043.4	31.3
7	31	28.6	34	73.1	942.4	53.71	11.72	36.09	1043.9	32.4
8	31	28.5	34	74.4	930.2	54.71	11.93	35.96	1032.8	32.0
9	30	27.3	34	79.4	938.3	66.64	14.44	40.43	1059.8	31.8
10	31	27.5	34	75.6	976.4	64.65	14.03	41.36	1096.4	34.0
11	30	28.2	34	66.7	1057.0	57.69	12.56	42.07	1169.3	35.1
12	31	28.5	34	61.4	1116.0	54.71	11.93	43.17	1225.8	38.0
Total					12311.1	675.4	147.1	482.16	13615.74	415.18
[%]					90%	5%	1%	4%	100%	

### 3.7.3 Balance de Energía del Sistema Termosolar Existente

Los equipos existentes para producción de agua caliente de la piscina se muestran en la Figura 66. El sistema de impulsión se comparte para la recirculación y filtrado como para el sistema termosolar, el esquema completo fue presentado en la Figura 59.



A) Captadores solares de polipropileno.



B) Caldera auxiliar a gas propano.



C) Sistema de impulsión (bombas).



D) Sistema de filtración de arena.

Figura 66 *Equipamiento del sistema termosolar existente para producción de agua caliente (Elaboración propia, FUNTER 2019).*

### 3.7.3.1 Conversión de la Radiación Solar a Energía Térmica

La energía de la radiación solar global horizontal es convertida en energía térmica a través de los 44 captadores solares instalados en el techo del edificio de la piscina. La conexión hidráulica del arreglo de captadores se presentó en la Figura 59.

La conversión de energía del sistema Sol a colector y de este al fluido, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$\bar{E}_{cap-fluido} = \bar{H}_{\gamma\beta} \cdot \eta \cdot C_o \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\eta = \eta_o \cdot \left[ 1 - 0.1 \cdot \left( \frac{1}{\cos(\theta)} - 1 \right) \right] - c1 \cdot \frac{[T_{pool} - T_{amb}]}{G_{\gamma\beta}} \quad (\text{Ec. 5a})$$

Donde

- $\bar{E}_{cap-fluido}$ : es la densidad de energía térmica promedio mensual en el fluido (kWh/m<sup>2</sup>-mes).
- $\bar{H}_{\gamma\beta}$ : Irradiación promedio mensual en la superficie de captación [el techo tiene un acimut ( $\gamma = 270^\circ$  o *Oeste*) e inclinada respecto a la horizontal ( $\beta = 15^\circ$ )].
- $\eta$ : Eficiencia de conversión de energía de la radiación solar a térmica.
- $C_o$ : Factor de ajuste de los datos (0.85).
- $\eta_o$ : eficiencia máxima de conversión (0.828 para un captador HC-40).
- $\theta$ : ángulo de incidencia promedio mensual del vector solar respecto a la superficie de captación.
- $c1$ : Coeficiente de pérdidas lineales del captador (18.52 W/m<sup>2</sup>-°C para un captador HC-40).
- $G_{\gamma\beta}$ : Irradiancia promedio mensual sobre la superficie de captación (W/m<sup>2</sup>).

### 3.7.3.2 Cálculo de superficie de captación solar

La superficie mínima necesaria para cubrir la demanda de energía térmica de la piscina (pérdidas térmicas), se calcula con el cociente entre las pérdidas térmicas promedio mensual y la energía térmica aportada por el sistema de captación. Lo anterior se expresa con la Ec. 6.

$$A_{cap,j} = \frac{\sum Q_j}{\bar{E}_{cap-fluido,j}} \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{Ec.6})$$

Tabla 9 Cálculo área mínima de captación (Elaboración propia)

mes	día	$H_{\gamma\beta}$ [kWh/m <sup>2</sup> -d]	HS hora	$T_{amb}$ [°C]	$T_{pool}$ [°C]	$\theta$ [°]	$E_{\gamma\beta}$ [kWh/m <sup>2</sup> -mes]	$A_{cap,j}$ m <sup>2</sup>	$A_{cap,inst.}$ m <sup>2</sup>	relación de área [-]
1	31	6.67	8	28.3	34	19.64	122.4	90.11	169.4	1.88
2	29	6.46	8.2	28.9	34	11.67	112.5	89.72	169.4	1.89
3	31	5.8	8.3	29.2	34	1.138	107.1	97.56	169.4	1.74
4	30	5.98	8	29.3	34	10.69	108.3	87.35	169.4	1.94
5	31	4.42	7	28.2	34	20.07	76	120.5	169.4	1.41
6	30	3.99	6	27.6	34	24.37	65.29	133.2	169.4	1.27
7	31	4.59	6.3	28.6	34	22.46	82.72	108.7	169.4	1.56
8	31	4.55	6.5	28.5	34	14.74	81.49	109.1	169.4	1.55
9	30	3.88	6	27.3	34	3.095	62.93	140.4	169.4	1.21
10	31	4.88	6.8	27.5	34	8.319	84.79	111.4	169.4	1.52
11	30	5.8	7	28.2	34	17.63	102.7	94.9	169.4	1.79
12	31	6.5	7.2	28.5	34	38.57	118.5	89.02	169.4	1.90

Los datos meteorológico-empleados en la tabla 9 fueron calculados empleando la base de datos meteorológicos de Meteonorm, versión 7.3.

La Tabla 9 también incluye el resultado del cálculo para el área mínima de captación por mes respecto al área instalada ( $165.4 \text{ m}^2$ ), según el resultado, existe un exceso de área que va desde un mínimo de 27% para el mes de junio, hasta un máximo de 90% para el mes de diciembre. El resultado del cálculo se muestra gráficamente en la Figura 67.

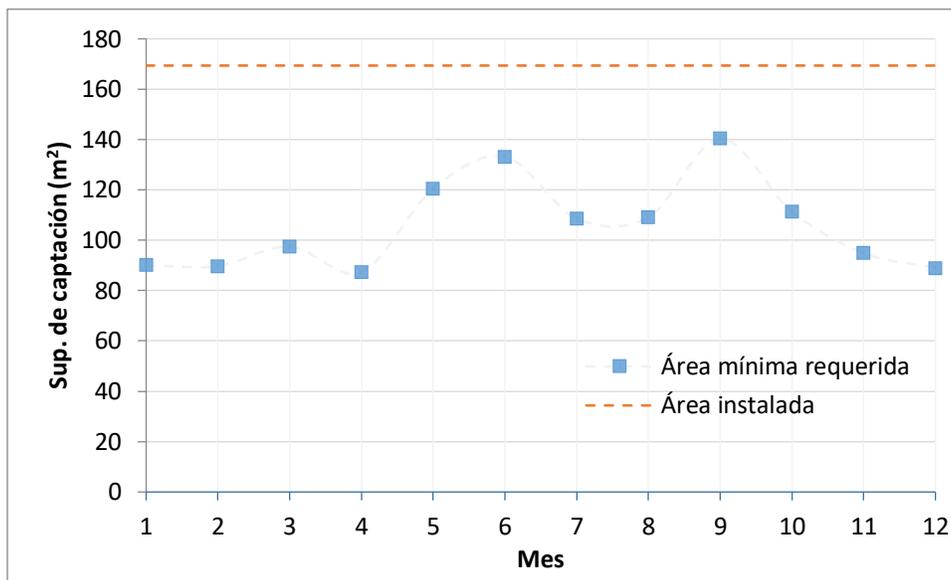


Figura 67 Gráfico de área mínima requerida por mes considerando el recurso solar disponible y la demanda de energía térmica para compensar las pérdidas térmicas de la piscina (Elaboración propia).

Según el resultado obtenido, la capacidad instalada de superficie de captación excede las mínimas necesarias por cada mes, por lo cual, de no haber una efectiva gestión de la demanda y oferta de energía, efectivamente se podría presentar sobrecalentamiento del agua.

Para confirmar el resultado se procedió con el cálculo de la fracción de cobertura solar promedio anual de la instalación para lo cual se empleó el método F-Chart como se detalla a continuación.

### 3.7.4 Cálculo de Factor de Cobertura Solar

Este factor, calculado empleando el método f-Chart, es un número entre 0 y 1 el cual, como su nombre lo indica, permite cuantificar qué porcentaje de la carga térmica que será cubierta con el aporte de energía del sistema termosolar. Considerando la ecuación de (Kalogirou, 2009) la fracción solar del mes  $i$  es dada por la proporción siguiente:

$$f_i = \frac{L_i - L_{AUX,i}}{L_i} = \frac{Q_{s,i}}{L_i} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde

- $f_i$ : Factor de cobertura solar del mes  $i$  (valor entre 0 y 1).
- $L_i$ : Demanda total de energía térmica para el mes  $i$  (perdidas térmicas de la piscina)
- $L_{AUX,i}$ : Energía para el mes  $i$  aportada por sistema auxiliar (caldera a base de gas propano)
- $Q_{s,i}$ : Energía aportada por el sistema termosolar para el mes  $i$ .

El factor de cobertura de la Ec. 7, de acuerdo con (Duffie & Beckman, 2013), también puede ser expresado mediante un polinomio de la ecuación Ec.8, el cual fue determinado de forma experimental analizando el comportamiento de múltiples instalaciones solares; ésta ecuación es función de los parámetros  $X$  y  $Y$ , el primero ( $X$ ) relaciona las pérdidas térmicas del subsistema de captación respecto a la demanda de energía térmica ( $L$ ) durante un periodo de tiempo ( $\Delta t$ ), mientras que el parámetro  $Y$  representa la proporción entre la energía de la radiación solar total absorbida respecto de la demanda total de energía ( $L$ ), en el mismo periodo de tiempo. Las ecuaciones para líquidos que definen ambos parámetros se muestran a continuación.

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (\text{Ec.8})$$

$$X = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot (T_{ref} - \bar{T}_{amb}) \cdot \Delta t \frac{A_c}{L} \quad (\text{Ec.9})$$

$$Y = F_R (\tau\alpha) \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot \left[ \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot (H_t) \cdot N \cdot \frac{A_c}{L} \quad (\text{Ec.10})$$

Donde

- $A_c$ : Área de captación (m<sup>2</sup>)
- $F_R U_L$  o  $C_1$ : Factor de pérdidas lineales de temperatura del captador, para el colector HC-40,  $F_R U_L = 18.52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ .
- $\frac{F'_R}{F_R}$ : Factor de corrección por pérdida de temperatura entre el colector y almacenamiento.
- $T_{ref}$ : Temperatura del agua de la piscina (34 °C).

- $T_{amb}$ : Temperatura ambiente promedio mensual (°C).
- $\Delta t$ : Número total de Segundo en un mes.
- $L$ : Demanda de energía térmica mensual de la piscina (MJ/mes).
- $F_R(\tau\alpha)$  o  $n_o$ : Factor de eficiencia máxima del captador, para el colector HC-40,  $F_R(\tau\alpha)=0.828$
- $\frac{\overline{(\tau\alpha)}}{(\tau\alpha)_n}$ : Factor de corrección por ángulo de incidencia de la irradiación solar, se sumirá 0.96.
- $\overline{H_t}$ : Irradiación solar promedio diaria en superficie de los captadores (MJ/m<sup>2</sup>/d )
- $N$ : número de día del mes  $i$ .

El factor  $X$  fue corregido con un valor de 0.7 [ver gráfica 20.3.3 en página 666 de Duffie & Beckman] ya que la razón de captación y volumen de agua almacenada supera el valor de 75 L/m<sup>2</sup> recomendado por (Duffie & Beckman, 2013).

Como se muestran en la Ec. 8, los parámetros  $X$  y  $Y$  definen la fracción solar promedio mensual ( $f_i$ ). El aporte mensual de energía es el producto de la fracción solar ( $f_i$ ) por la demanda de energía ( $L_i$ ) para el mismo mes. La fracción anual de cobertura solar ( $F$ ) es el cociente entre la suma del aporte solar mensual y la demanda anual. Lo anterior se expresa con la Ec.11 cómo sigue.

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} \quad (\text{Ec.11})$$

En la tabla siguiente se presenta el resultado para cada mes y anual de la fracción solar del sistema analizado.

Tabla 10 Resumen de la aportación solar mensual y anual del sistema termosolar instalado (Elaboración propia)

Mes	día	H <sub>γβ</sub> [kWh/m <sup>2</sup> -d]	H <sub>γβ</sub> [kWh/m <sup>2</sup> -mes]	Carga (L) [J/mes]	Captadores	A <sub>cap, inst.</sub> [m <sup>2</sup> ]	Xi	Yi	fi	fi*Li=Qi [J/mes]
1	31	6.67	206.8	3.97E+10	44	169.4	0.82	2.45	1.31	5.22E+10
2	29	6.46	187.3	3.63E+10	44	169.4	0.72	2.34	1.30	4.71E+10
3	31	5.80	179.8	3.76E+10	44	169.4	0.73	2.25	1.27	4.79E+10
4	30	5.98	179.4	3.41E+10	44	169.4	0.76	2.48	1.32	4.51E+10
5	31	4.42	137	3.30E+10	44	169.4	1.00	1.96	1.17	3.86E+10
6	30	3.99	119.7	3.13E+10	44	169.4	1.13	1.80	1.11	3.48E+10
7	31	4.59	142.3	3.24E+10	44	169.4	0.95	2.07	1.21	3.92E+10
8	31	4.55	141.1	3.20E+10	44	169.4	0.98	2.07	1.21	3.87E+10
9	30	3.88	116.4	3.18E+10	44	169.4	1.16	1.72	1.08	3.44E+10
10	31	4.88	151.3	3.40E+10	44	169.4	1.09	2.09	1.21	4.11E+10
11	30	5.80	174	3.51E+10	44	169.4	0.91	2.33	1.28	4.50E+10
12	31	6.50	201.5	3.80E+10	44	169.4	0.83	2.49	1.32	5.03E+10
Total			1936.6	4.15E+11						5.14E+11

Como era de esperar, la fracción solar mensual ( $f_i$ ) supera en todos los meses el 100% de cobertura, llegando a obtener hasta un 32% de excedente para el mes de abril y diciembre, en cuyos meses existe el riesgo sobrepasar el valor de temperatura de consigna de la piscina. A pesar de que ( $f_i$ ) supera el valor de 1 ó 100% en todos los meses, de acuerdo con (Kalogirou, 2009), la fracción solar anual de cobertura solar para la estimación de la cantidad de energía solar a emplear será de 100 %.

### 3.7.5 Validación de los Resultados

Los datos de superficie de captación y de cobertura solar obtenidos han sido calculados con datos promedios mensuales, lo cual es válido para el dimensionamiento de este tipo de instalaciones. No obstante, existen herramientas informáticas como *T\*Sol*, *Polysun*, entre otros, que permiten realizar simulaciones de sistema térmicos como el analizado, obteniendo resultados más precisos. Para la verificación se empleó la versión demo del programa *Polysun 11.3*, iniciando con la construcción de un modelo del sistema existente al cual se le aplicaron las condiciones de frontera como temperaturas y condiciones climatológicas del lugar.

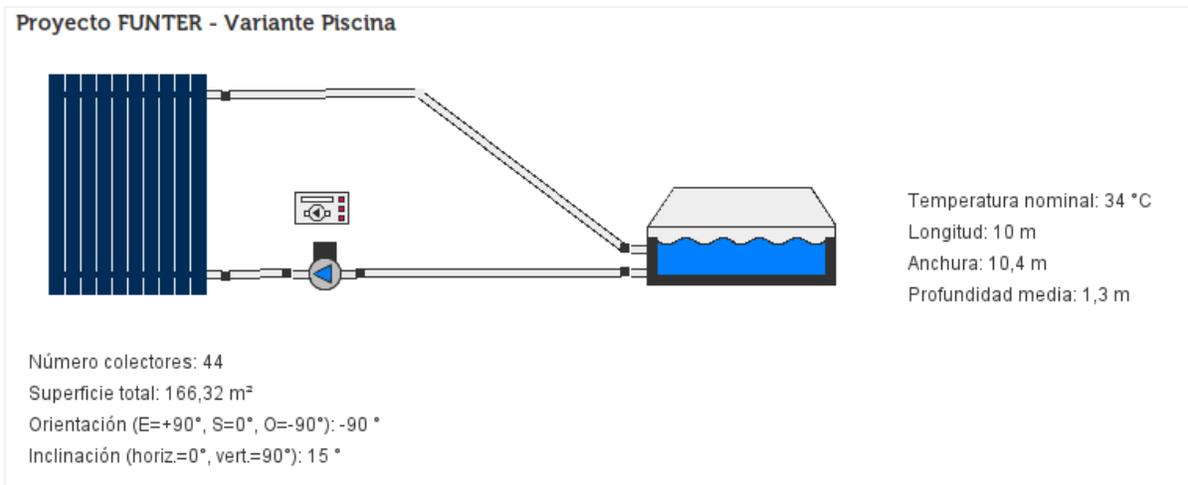


Figura 68 Modelo del sistema termosolar analizado (Elaboración propia en Polysun 11.3).

### 3.7.5.1 Resultado de la Simulación

Los resultados de la simulación confirman nuevamente que el sistema existente tiene la capacidad instalada para suministrar más de la energía necesaria para compensar las pérdidas térmicas de la piscina. Por ejemplo, en la Figura 69 se puede observar que la temperatura de la piscina se mantendrá en promedio más de 4 °C por encima de la temperatura de consigna (34 °C), la temperatura media de la piscina se mantendrá en, aproximadamente, 38 °C.

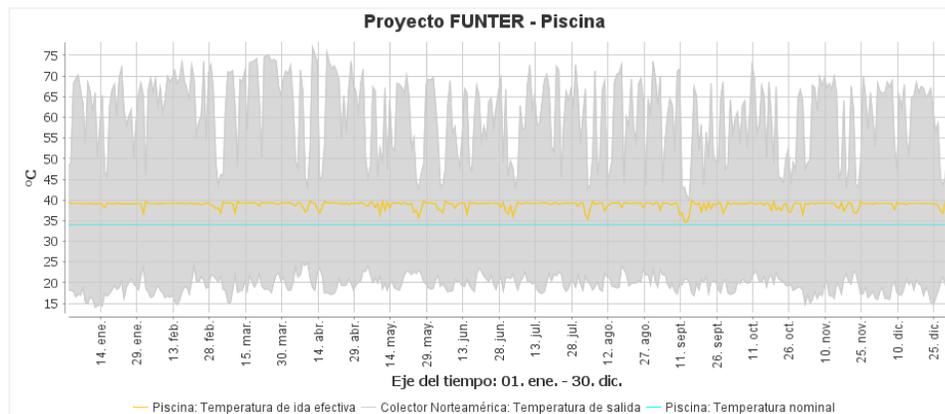


Figura 69 Variación anual de la temperatura para el agua de la piscina (color naranja) y de salida de captadores (espectro color gris), respecto a la nominal (34 °C) (Elaboración propia con Polysun 11.3).

La temperatura a la salida de los captadores es la representada por el espectro en color gris de la Figura 69, la cual en todo momento supera los 40 °C y en ocasiones alcanza los 75°C.

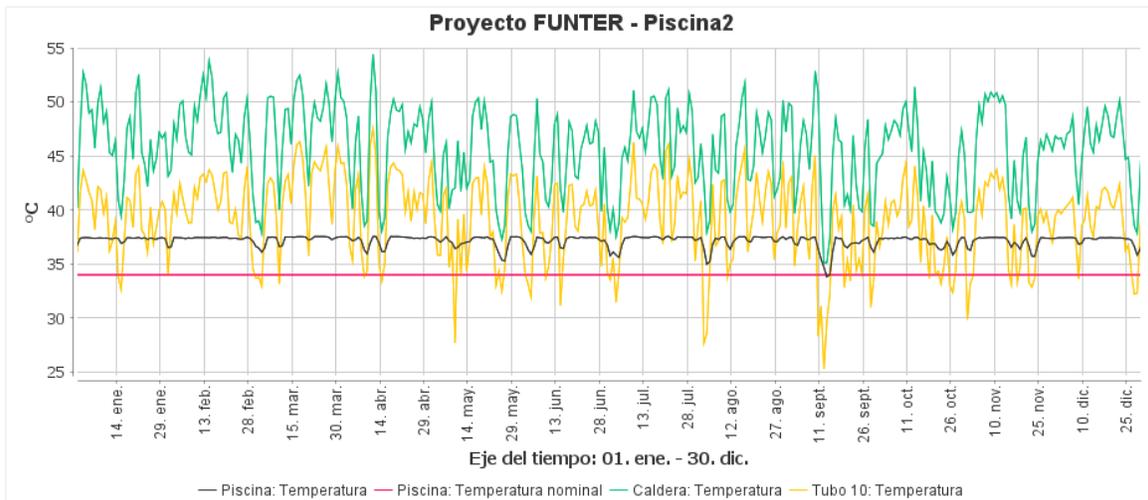


Figura 70 Variación de temperatura con el sistema de calefacción termosolar apoyado por la caldera. La temperatura “Tubo 10” es la temperatura en la salida de la bancada de captadores (Elaboración propia con Polysun 11.3).

Con base a la gráficas de temperatura de la Figura 69y Figura 70, nuevamente se confirma que la fracción solar supera el 100 % de cobertura y que, de no tener un control inteligente del sistema termosolar, éste podría provocar sobrecalentamiento.

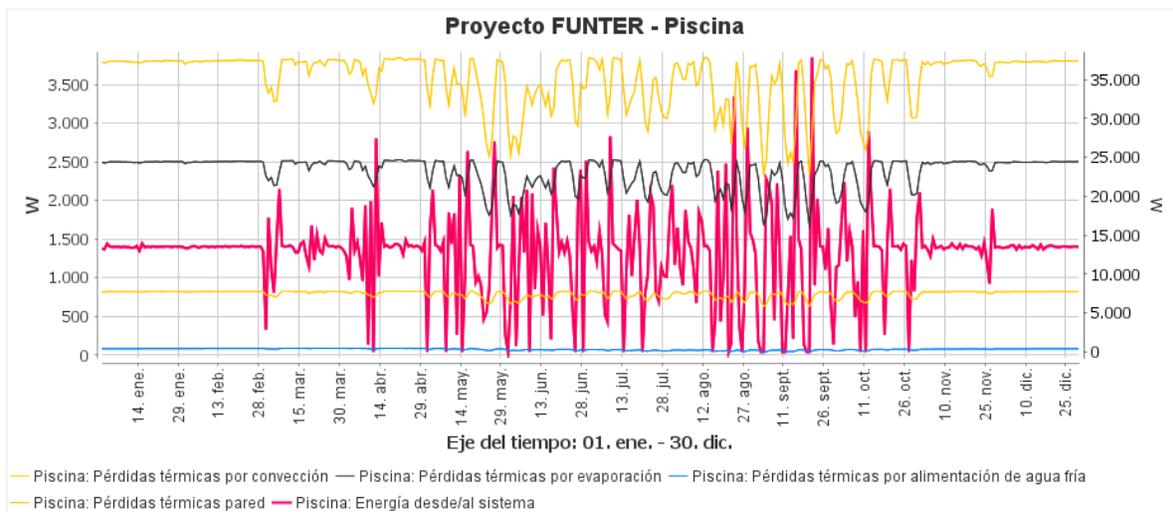


Figura 71 Gráfica de pérdidas térmicas (izquierda) y ganancias térmicas de los captadores (derecha). (Elaboración propia con Polysun 11.3).

En la Figura 71 se observa una mayor variación de la potencia aportada por los captadores en los meses de la época húmeda, causado principalmente por una mayor nubosidad o reducción de la radiación solar.

### 3.8 Resultados y Análisis de la Calidad de Energía eléctrica Medida en Subtableros

El análisis del consumo y calidad de energía eléctrica de FUNTER se instalaron medidores de energía en las líneas eléctricas trifásicas de los sub-tableros (NC 507696001 y NC 207066201) ubicados en el acceso vehicular norte y oeste de la Fundación.

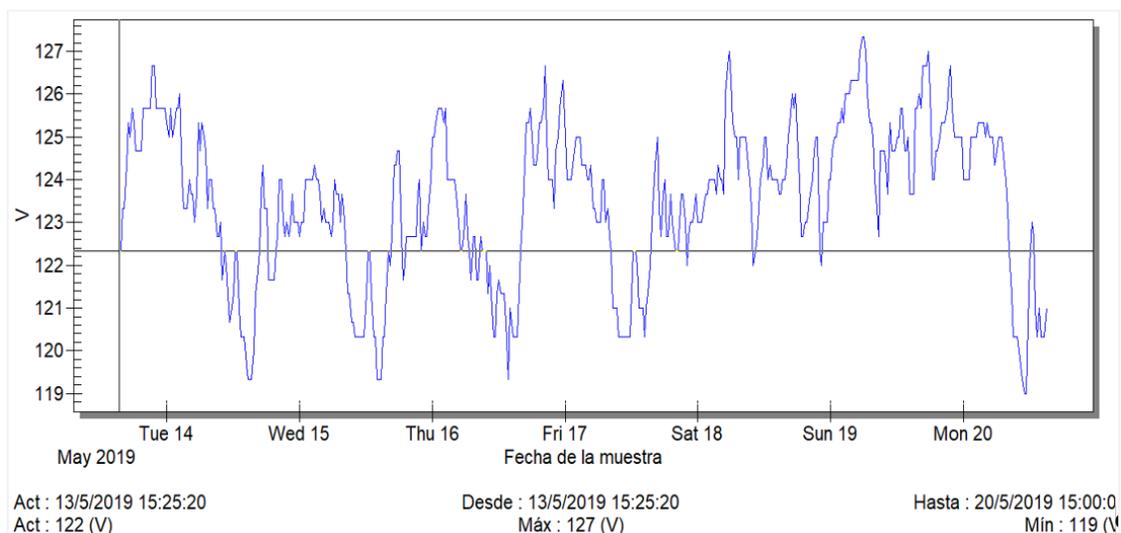
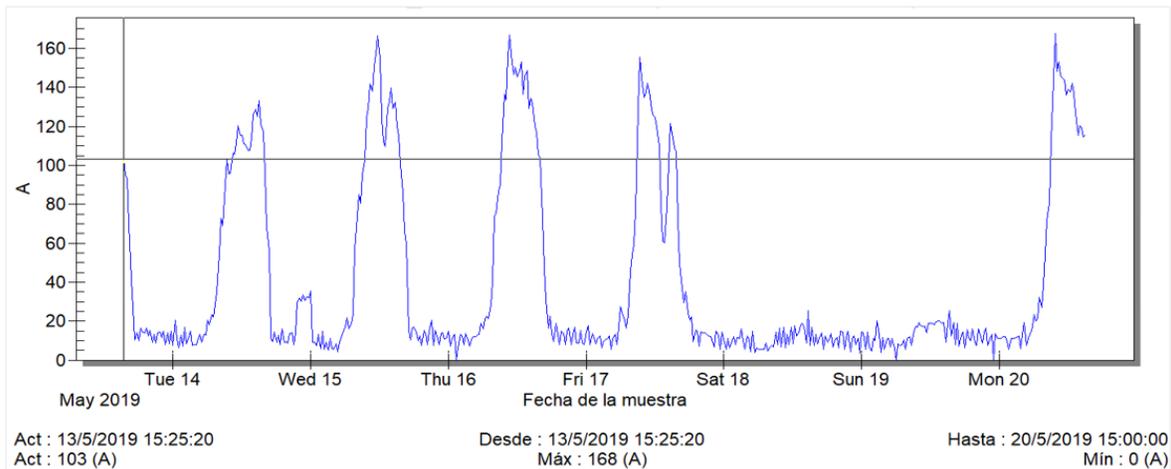


Figura 72 Espectro de medición de voltaje por período de una semana (Elaboración propia, FUNTER 2019).

El perfil de voltaje como resultado de la medición de las redes refleja que hay una importante variación de la tensión, la cual oscila entre 119 a 127 V, sin embargo, todas las lecturas están dentro de los estándares estipulados por la SIGET, de acuerdo con Norma Técnica de Conexiones y Reconexiones Eléctricas en Redes, Capítulo V.



*Figura 73 Espectro de medición de intensidad de corriente por período de una semana (Elaboración propia, FUNTER 2019).*

El perfil de corriente muestra que la carga del edificio es constante salvo el martes donde se logra apreciar un pico de corriente de 30 A posiblemente provocado por el accionamiento de un sistema de aire acondicionado fuera de la jornada de trabajo. No obstante, el perfil es coherente para todos los días, disminuyendo la intensidad de corriente para los días no laborales (sábado y domingo).

### **3.8.1 Análisis del Consumo de Energía Eléctrica**

Adicionalmente a los datos de mediciones eléctricas puntuales realizadas también se analizó el consumo anual de energía y sobre todo las horas del día en que se presenta el mayor consumo. Al respecto se muestran dos graficas de consumo (una por subestaciones eléctricas existentes) en las que se detalla la demanda tanto en las horas valle (23:00 a 04:59), resto (05:00 a 17:59) y Punta (18:00 a 22:59). Ambos gráficos han sido elaborados a partir de información reportada en los recibos de consumo de energía proporcionados por la compañía distribuidora de la zona (DELSUR S.A. de C.V.)

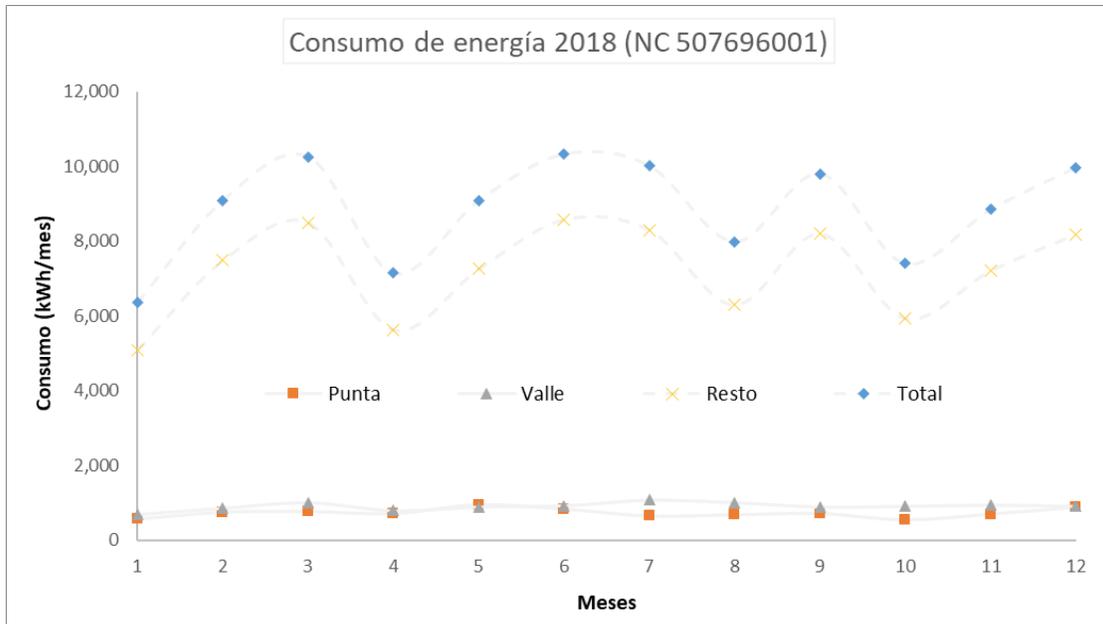


Figura 74 Gráfico de demanda de energía eléctrica por mes, registro de medidor (NC 507696001), (Elaboración propia, FUNTER 2019).

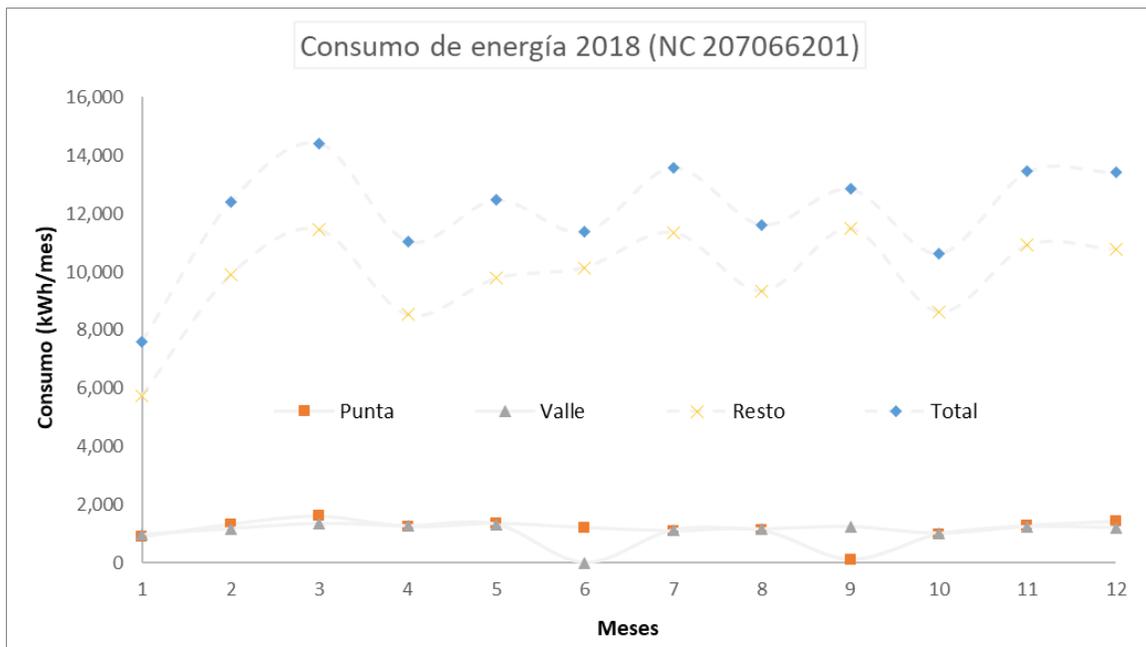


Figura 75 Gráfico de demanda de energía eléctrica por mes, registro de medidor (NC 207066201), (Elaboración propia, FUNTER 2019).

El resumen del consumo de energía se presenta en la tabla siguiente, separando el horario en el que se presenta la demanda de energía.

*Tabla 11* Resumen de la demanda de energía (kWh/año) para 2018 (Elaboración propia con datos proporcionados por FUNTER)

	NC 507696001	[%]	NC 207066201	[%]	Total	[%]
Valle	10,913.28	10%	13,199.55	9%	24,112.83	10%
Resto	86,688.12	82%	117,999.24	81%	204,687.36	81%
Punta	8,737.12	8%	13,705.92	9%	22,443.04	9%
Total	106,338.52	100%	144,904.71	100%	251,243.23	100%

Los datos de la Tabla 11 son coherentes con el horario de atención del Centro de Rehabilitación, el cual es diurno, y por lo tanto la demanda corresponde a la hora “Resto”, siendo ésta un poco más del 80 % (204,687.36 kWh/año) del consumo total (251,243.23 kWh/año) en un año normal de operaciones.

De acuerdo con información recopilada de los recibos por consumo de energía eléctrica, para 2018 FUNTER pagó a DELSUR un monto de \$52,637.05 USD, una suma alta de dinero para un Centro de Atención, cuyo presupuesto operativo se basa, principalmente, de donaciones.

### **3.8.2 Propuesta de Eficiencia y Ahorro en Energía Eléctrica**

En general, las acciones a considerar para reducir el consumo de energía eléctrica en FUNTER están relacionadas con el uso apropiado de los equipos eléctrico de oficina y/o terapia; tipo y cantidad de iluminación diurna y nocturna de espacios; y tipo, cantidad y eficiencia de equipos para aire acondicionado, entre otra relevantes.

El edificio de FUNTER tiene más de 20 años de operación, por lo que vale la pena hacer una evaluación más profunda del estado mecánico y eléctrico de los equipos antes citados, identificando así los equipos que necesitan remplazo por otro de tecnología más eficiente.

Un caso práctico es el cambio de luminaria fluorescente por tipo led de bajo consumo o de balastro electrónico; instalación de más lámina traslúcida para procurar mayor iluminación natural; cambio de compresores de equipos para aire acondicionado y refrigeración por uno más eficiente de tipo Inverter, etc. Cada propuesta deberá ser considerada como un proyecto independiente con su justificación técnica y económica, además de unos objetivos y beneficios a alcanzar.

Juntamente con el proyecto de actualización tecnológica antes expuesto, también se propone realizar un proyecto de instalación de un generador fotovoltaico en la cubierta de los techos; la justificación de la propuesta se detalla en el siguiente apartado.

### 3.8.3 Implementación de un Generador Fotovoltaico para Autoconsumo

Con base al análisis de la demanda de energía presentado anteriormente, ésta se presenta principalmente en horario “Resto”, desde las 07:00 hasta las 17:00 horas del día. El horario de atención de FUNTER coincide con las horas de disponibilidad de irradiación solar, por lo tanto, se ha planteado la implementación de un sistema fotovoltaico (SFV) en las cubiertas de los techos de todo el Centro de Atención o donde sea más factible.

El SFV planteado es del tipo conectado a la red eléctrica de distribución y bajo la Norma para Usuario Finales Productores de Energía Eléctrica con Recursos Renovables (UPR) de (SIGET,2017).

Para el dimensionamiento del SFV, según la UPR, se deberá tomar en cuenta el consumo histórico mensual de energía y potencia de al menos los últimos seis meses. Para este estudio se tomará como ejemplo la producción anual de 2018 puesto que son los datos disponibles.

Por otro lado, el SFV se dimensionará de tal forma que se inyecte lo menos posible a la red (solo días no laborales como fines de semana y asuetos) por lo que únicamente se consideró la demanda en horario “Resto” con lo cual se busca no sobredimensionar el sistema y generar excedentes de energía cuyo valor del kWh inyectado es inferior al kWh suministrado por la distribuidora de energía, generando por cuanto un déficit desfavorable para el proyecto.

Tomando en consideración el planteamiento anterior, la cantidad de potencia nominal mínima necesaria cuya producción anual de energía eléctrica iguale a la demanda en hora “Resto”, se calcula de la manera siguiente:

$$kW_p = E/RP \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

- $kW_p$ : Es la potencia nominal mínima para instalar de paneles fotovoltaicos

- E: Demanda de energía a cubrir con energía fotovoltaica (kWh) y en un periodo determinado. Para el caso en cuestión, la demanda resto es 204,687.36 kWh/año
- RP: Relación de energía de salida del SFV con respecto a la potencia nominal o de placa de paneles fotovoltaicos, asumiendo un “Performance Ratio” igual o superior a 78%. Para una instalación en El Salvador, este valor debería oscilar (anualmente) entre 1600 y 1700 kWh/kWp.

Empleando un RP de 1650 kWh/kWp y la Ec. 12, la cantidad de potencia pico del SFV es la siguiente:

$$kW_p = (204,687.36 \text{ kWh}) / (1650 \text{ kWh/kW}_p) = 124 \text{ kW}_p$$

Para calcular el área mínima necesaria para instalar la potencia pico calculada, primero se seleccionó un panel fotovoltaico con las características técnicas detalladas a continuación:

- Fabricante: Trina Solar
- Modelo: TSM-PD14 320
- Potencia pico [ $W_p$ ]: 320 W
- Tecnología: Silicio policristalino de 72 células
- Dimensiones: 1.94 m<sup>2</sup> (0.992 m x 1.956 m)
- Voltaje de circuito abierto [ $V_{oc}$ ]: 45.8 V
- Intensidad de corto circuito [ $I_{sc}$ ]: 9.1 A

Con la información de la potencia total del SFV y la potencia pico de un panel, la cantidad de paneles ( $N_p$ ) y área mínima de paneles ( $A_p$ ) requerida queda de manera siguiente:

$$N_p = (124 \text{ kW}_p) / (0.320 \text{ kW}_p/\text{panel}) = 387.5 \approx 388 \text{ paneles}$$

$$A_p = (388 \text{ paneles}) * \left( \frac{1.94 \text{ m}^2}{\text{panel}} \right) = 752.72 \text{ m}^2$$

Con la estimación del área mínima necesaria ocupada por los paneles, se procedió a verificar si esta puede ser instalada en las cubiertas de techos existentes de FUNTER. Para ello se

utilizó la versión demostración de la aplicación web “*HelioScope*” para diseño avanzado de instalaciones fotovoltaicas.

De acuerdo con el resultado obtenido con la distribución de paneles mostrada en la Figura 76, para una potencia pico de 125.4 kWp del SFV, similar a la potencia de 124 kWp calculada anteriormente, el área a cubrir con paneles es la indicada en la figura, la cual representa, aproximadamente, un 60 % del total de superficie de techos. No obstante, las áreas ocupadas presentan una orientación más favorable (sur o con poca sombra) para el aprovechamiento del recurso solar.



Figura 76 *distribución de paneles fotovoltaicos con potencia de 125 kWp sobre cubierta de techos de FUNTER (Elaboración propia con HelioScope).*

En la distribución por potencia por cada sector con paneles que se muestra en la Figura 76 es detallada en la Tabla 12.

*Tabla 12* Tabla resumen con distribución de potencia por sector con módulos fotovoltaicos. (elaboración propia con HelioScope)

Descripción	Fijación en techo	Orientación	Inclinación	Azimuth	Espaciamiento	Frame Size	Frames	Modulos	Potencia Pico
SF-5	Inclinación fija	Horizontal	5°	176.5°	0.2 m	1x1	104	96	30.7 kW
SF-6	Inclinación fija	Horizontal	5°	176.5°	0.2 m	1x1	123	105	33.6 kW
SF-7	Inclinación fija	Horizontal	5°	86.5°	0.2 m	1x1	18	18	5.76 kW
SF-8	Inclinación fija	Horizontal	5°	266.5°	0.2 m	1x1	21	21	6.72 kW
SF-4	Inclinación fija	Horizontal	5°	176°	0.2 m	1x1	54	36	11.5 kW
SF 1	Inclinación fija	Horizontal	5°	86.5°	0.2 m	1x1	72	66	21.1 kW
SF-2	Inclinación fija	Horizontal	5°	265°	0.2 m	1x1	30	30	9.60 kW
SF-3	Inclinación fija	Horizontal	5°	265°	0.2 m	1x1	20	20	6.40 kW

*Tabla 13* Resumen de producción anual del generador fotovoltaico de 125.4 kWp, instalado en cubierta de techos de FUNTER, (Elaboración propia, con base a datos de HelioScope)

Mes	GHI <sup>2</sup>	POA <sup>3</sup>	Sombras	E <sub>dc</sub>	E <sub>ac</sub>
	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> ]	[kWh/mes]	[kWh/mes]
Ene	169.8	176.3	175.5	20,897.80	18,041.80
Feb	167.2	171.7	171.1	20,417.30	17,582.70
Mar	197	199.6	199	23,795.10	20,300.40
Abr	192.7	192.9	192.5	23,037.70	19,627.80
May	171.8	170.7	170.3	20,302.50	17,489.00
Jun	151.4	150	149.6	17,809.30	15,452.60
Jul	174.8	173.3	172.9	20,632.30	17,820.60
Ago	171.5	171.2	170.8	20,387.70	17,587.80
Sept	146.1	147.2	146.8	17,491.10	15,215.20
Oct	145.8	148.5	148.1	17,635.50	15,355.80
Nov	152.4	157.6	157	18,685.20	16,298.40
Dic	154.8	161.1	160.4	19,052.60	16,597.80
Total (kWh/año)				240,144.10	<b>207,369.90</b>

<sup>2</sup> GHI: Irradiancia global en plano horizontal (kWh/m<sup>2</sup>/mes).

<sup>3</sup> POA: Irradiación en el plano del arreglo (Plane of array) en kWh/m<sup>2</sup>/mes).

### **3.8.4 Estimación de la Inversión para Desarrollar el Proyecto**

Para la estimación del presupuesto del proyecto se tomó como base el costo por instalación, gestión de permisos, pruebas y puesta en operación de un SFV en cubierta de techo, cuyo costo actual es de entre 1.1 y 1.3 \$/Wp. Por lo tanto, considerando un costo medio, el presupuesto para implementar el proyecto deberá ser de al menos \$150,000.0 USD.

A menos que se presente algún impedimento como obras adicionales para refuerzo de estructuras de techos o similares, el proyecto es factible técnica y económicamente ya que, por ejemplo, si se gestiona un préstamo de hasta un 90% del valor del monto de la inversión, a una tasa de interés no mayor que 6% y 10 años plazo, el VAN y TIR del proyecto es de US\$110,968.94 y 42.8%, respectivamente. El tiempo de recuperación de la inversión se estima en al menos 3.5 años.

### **3.9 Simulación Energética de la Edificación**

Con los datos de las campañas de medición, así como también las encuestas de opinión del confort térmico en el interior de la edificación, se procedió con la simulación energética del edificio haciendo uso de los programas informáticos: *Meteonorm 7.2*, *Climate Consultan 6.0* y *DesignBuilder v6.10.6*. El primer programa fue utilizado para obtener un archivo con los datos climáticos para la ubicación del proyecto (FUNTER Merliot), con este se generó un archivo con extensión \*.epw (*Energy Plus Weather*) necesario para analizar los datos con *Climate Consultan*, así como también modelar y simular el edificio con *DesignBuilder*, tal como se describe a continuación.

#### **3.9.1 Modelo Elegido de Confort Seleccionado para la Simulación**

De acuerdo con (Butera, 2017), el confort térmico depende de seis factores de los cuales dos se atribuyen a las personas y el resto al ambiente circundante. Dichos factores son los siguientes:

- Factores personales:
  - tipo de actividad física desarrollada (*Metabolic Activity*, medida en “met”), y
  - vestimenta de la persona (*Clothing level*, medida en “clo”).
- Factores ambientales:

- Temperatura ambiente (*Dry Bulb Air Temperature*),
- Humedad relativa ambiente (*Air Relative Humidity*),
- Velocidad del aire (*Air Relative Velocity*), y
- Temperatura media radiante del recinto (*Mean Radiant Temperature*).

De acuerdo con estos factores, el análisis de confort se hace con base a diferentes estándares y su elección es en función de las condiciones propias del lugar de estudio. Para el caso, el lugar de estudio es un gimnasio donde se imparte terapia física y por tanto el estándar que más aplica es ASHRAE 55, el cual especifica que el confort térmico se basa en los seis factores antes citados, pero, además, define que la zona de confort es calculada usando el modelo PMV (*Predictive Mean Vote*) y que el rango de confort puede ser alcanzado si sus ocupantes ajustan su vestuario según el clima e inclusive mediante sistemas centralizados de aire acondicionado.

Según (Butera, 2017), el confort térmico puede ser alcanzado si el balance de energía (BE) entre el calor que genera una persona por su metabolismo tiene la misma magnitud que el calor cedido al ambiente, es decir:

$$BE = E_{generada} - E_{perdida} = 0$$

La ecuación anterior es para condiciones estacionarias, no obstante, siempre que la temperatura ambiente en el interior del recinto sea algunos grados más baja que la temperatura corporal (entre 36 y 38 °C), las personas tendrán una sensación de confort. Sin embargo, el cuerpo no solo responde a la temperatura ambiente o de bulbo seco, sino a un conjunto de condiciones (humedad relativa, presión ambiente, temperatura de rocío, etc.), a todo lo anterior se le conoce como sensación térmica, y la tasa de pérdidas o ganancias de calor entre una persona y el ambiente están condicionadas por los procesos de convección, radiación, evaporación y conducción. De acuerdo con lo anterior, toda región en la tierra tendrá un clima específico y las edificaciones deberán estar adaptadas a estos climas para conseguir el confort de sus ocupantes con el menor consumo de energía. Lo anterior no solo aplica para nuevas edificaciones pues también se pueden tomar acciones correctivas realizando análisis energéticos para determinar las mejores estrategias por implementar para lograr ampliar el bienestar según el punto de vista de los ocupantes (PMV).

### 3.9.2.1 Lista de parámetros analizados

A continuación, se lista una serie de parámetros considerados en el análisis energético de la edificación, el detalle como sigue:

- *La actividad física (Metabolic Rate)*, es la energía interna generada por una actividad física de una persona en la cual una persona produce un trabajo y genera calor que se pierde. Por definición, la actividad física se define como “met” que equivale a  $58.1 \text{ W/m}^2$  o vatios por metro cuadrado de superficie corporal ( $\sim 1.8 \text{ m}^2$ ). Una persona acostada tendrá un met de 1, 0.8 si está sentada y 1 si está caminando.
- *El vestuario de la persona (Clothing)*: este actúa como aislamiento térmico el cual, por un lado, reduce la pérdida de calor corporal, muy útil en climas fríos, pero no adecuado para climas tropicales o cálidos. Dicha resistencia se expresa en “clo”, y equivale a  $0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Por ejemplo, una persona sin ropa tendrá un clo de 0, entre 0.8 y 1 para una persona con ropa liviana que cubra pies y brazos, y 3 para una persona abrigada en climas fríos.
- *Temperatura Media Radiante*: esta es la temperatura promedio de los alrededores (paredes, objetos, personas, etc.) con la cual el cuerpo de una persona intercambia energía. Esta es más intensa en la medida que la distancia entre los cuerpos se reduce. Relacionada con este parámetro está el Factor de Vista (*View Factor*), que depende la proporción de las superficies que interactúan y la temperatura media de estas.
- *Temperatura Operativa (Operative Temperature)*: esta es la temperatura promedio entre la temperatura radiante y la ambiente, y es la temperatura más representativa del recinto analizado. Es con base a esta temperatura que, por ejemplo, se define el tipo de ropa o “clo” más apropiado en función del clima de un lugar y actividad realizada.
- *Horas de discomfort (Discomfort hrs)*: es el tiempo en una zona ocupada que no tienen las condiciones de confort (humedad relativa y temperatura operativa según ASHRAE 55-2004).

### 3.9.2 Análisis de las Condiciones Climáticas del Lugar

Con los datos climáticos del lugar y el estándar ASHRAE 55-2004, se obtuvo el gráfico de barras de la Figura 77 que relaciona las condiciones climáticas y el confort.

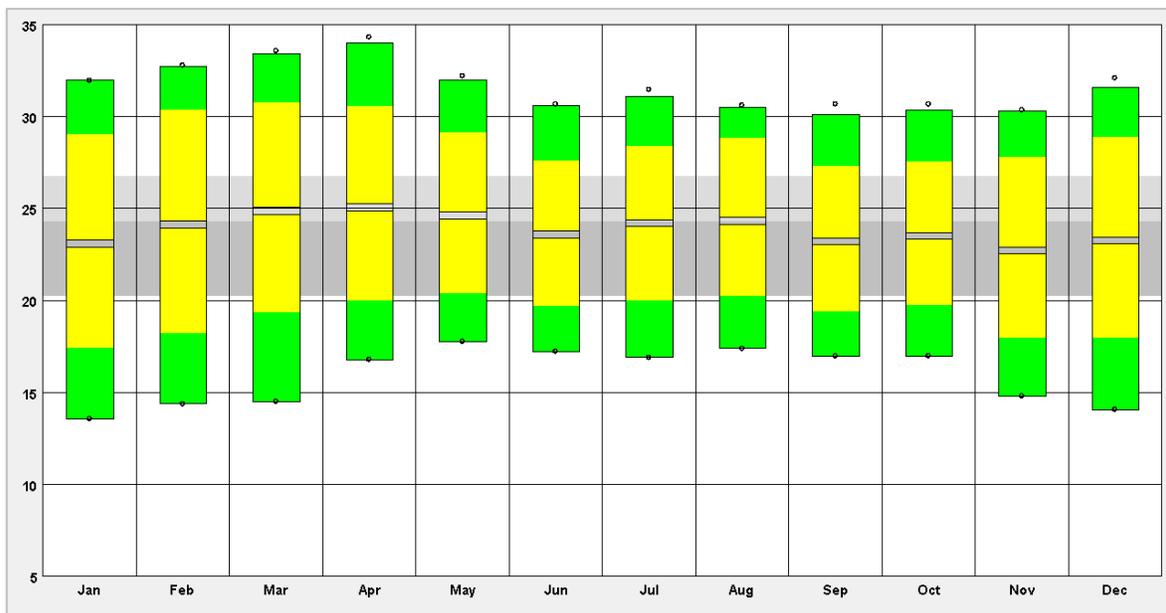


Figura 77 *Temperatura operativa y de confort para época húmeda y seca (franja gris)*  
(Elaboración propia empleando el software Climate Consultan 6.0).

De acuerdo con la gráfica, las barras de temperatura sobrepasan la banda de confort establecida por lo que este no será alcanzado de forma espontánea o natural, requiriendo acondicionamiento de aire durante las horas que el personal ocupa la edificación.

Lo anterior es representado en el gráfico de la Figura 78 en la cual se relaciona la posición del Sol (altura y acimut) con la temperatura para la ubicación de la edificación. Los puntos en color azul representan temperaturas inferiores a 20 °C, el color naranja entre 20 y 27 °C y rojo para temperaturas mayores a 27 °C.

Como era de esperar, la temperaturas de confort solo se obtiene en las primeras horas de los días de diciembre a febrero y de octubre a diciembre.

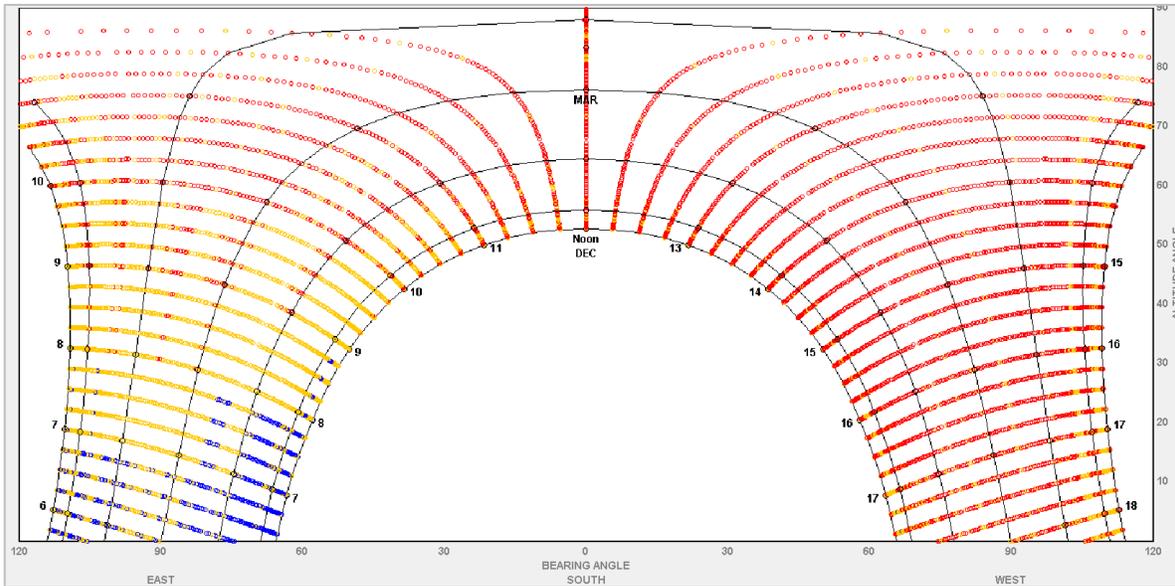


Figura 78 Diagrama de trayectoria solar aparente y su relación con el ambiente (elaboración propia con *Climate Consultan 6.0*).

De acuerdo con ASHRAE, para las condiciones climáticas del lugar, el “clo” recomendado para el confort está entre 0.5 y 1.

### 3.9.3 Estrategias para Alcanzar el Confort de acuerdo con ASHRAE 55-2004

Empleando *Climate Consult 6.0* se generó un diagrama psicrométrico del lugar estudiado, en el cual se grafica la temperatura ambiente y humedad relativa para cada hora del año (8760 datos). Al igual que se hizo con el diagrama de Givoni, los datos graficados son comparados con los polígonos de confort según estándar de ASHRAE y así determinar las mejores estrategias para lograr extender las horas de confort a lo largo del año.

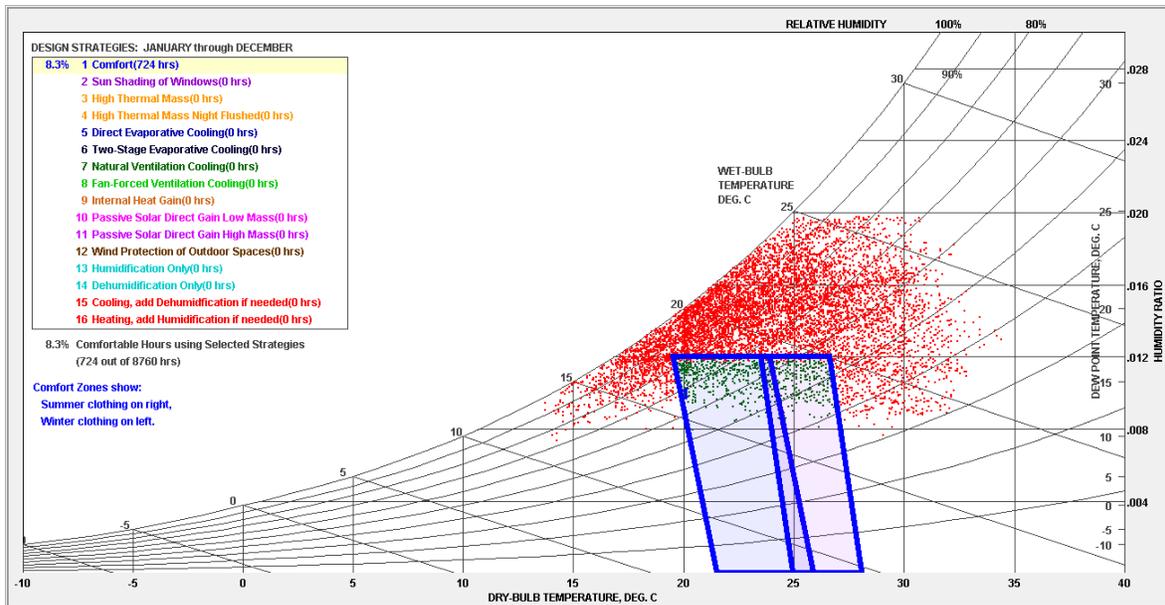


Figura 79 Diagrama psicrométrico para el clima de FUNTER Merliot (Elaboración propia utilizando datos del proyecto y Climate Consultan, ASHRAE 55).

Según la gráfica de la Figura 79, solo 724 hr (8.3%), representada mediante los puntos color verde, de las horas del año se obtienen condiciones dentro de la zona de confort (polígonos color azul). Para el resto de las horas (8036 puntos de color rojo), se deberá realizar algunas de las acciones recomendadas que se listan en la esquina superior izquierda de la Figura 79, el impacto de cada una es mostrada en la Figura 80.

La Tabla 14 presenta el impacto de las estrategias y las medidas a tomar para conseguir el confort interno. Cabe destacar que adoptar estrategias como el enfriamiento evaporativo y forzada no representan una mejora significativa del confort.

Con base al diagrama psicrométrico del lugar, la principal estrategia a implementar es la deshumidificación del recinto, y para conseguirla se puede enfriar el aire ambiente por debajo de su punto de rocío empleando un sistema de aire acondicionado lo cual implicaría un consumo de energía. Por otro lado, está la renovación del aire interior a través de un sistema eficiente que permita la entrada de aire fresco al interior del recinto y la salida del aire cálido.

Tabla 14 Estrategias para obtención de confort.

Tipo de estrategia	Porcentaje de efectividad	Horas al año	Medida sugerida
Minimizar las ganancias solares	27.9 %	2442 hr	Instalación de aleros en ventanas.
Deshumidificación	51.7%	4625 hr	Renovación de aire por ventilación forzada y/o natural.
Enfriamiento sensible	24.7 %	2168 hr	Aire acondicionado.
Ganancias internas	11.8 %	1035 hr	Cerrar ventanas y uso de abrigos en época de clima fresco.
<b>Total:</b>	<b>100 %</b>	<b>8760 hr</b>	

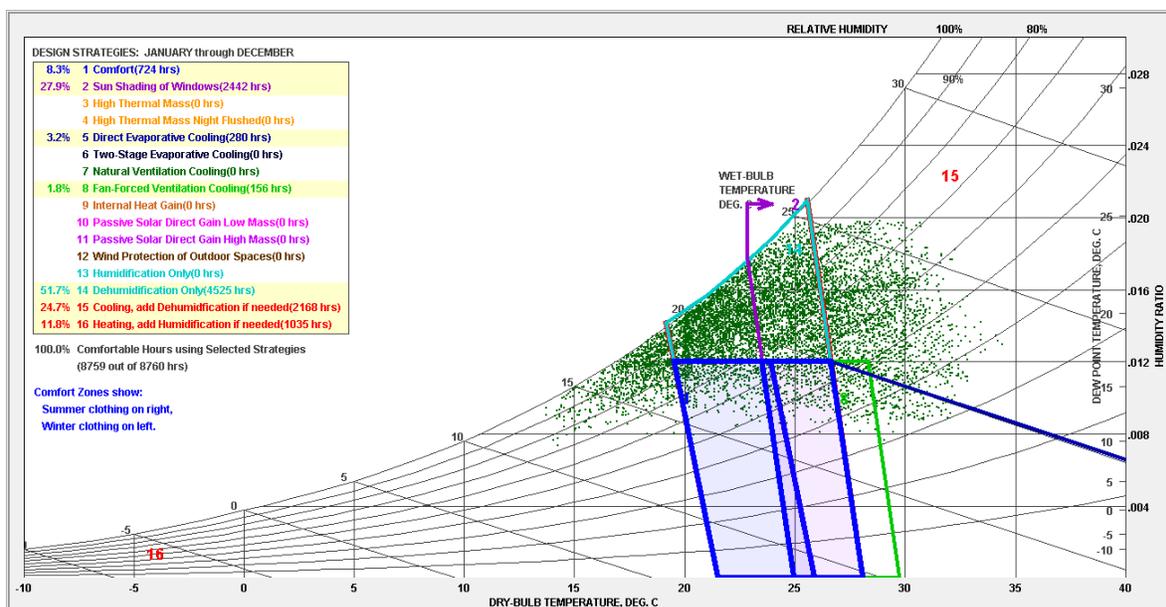


Figura 80 Tipo de estrategia e Impacto para conseguir el confort (Elaboración propia con datos climaticos del lugar y Climate Consultan, ASHRAE 55-2004).

### 3.9.4 Modelado Energético del Edificio

Como ya fue mencionado anteriormente, el modelo, con todos sus atributos de materiales de construcción y condiciones operativas fue simulado energéticamente en *DesignBuilder* y empleando el estándar ASHRAE 55-2004 para verificar las condiciones de confort interno. El modelo del edificio es el presentado en la Figura 81.

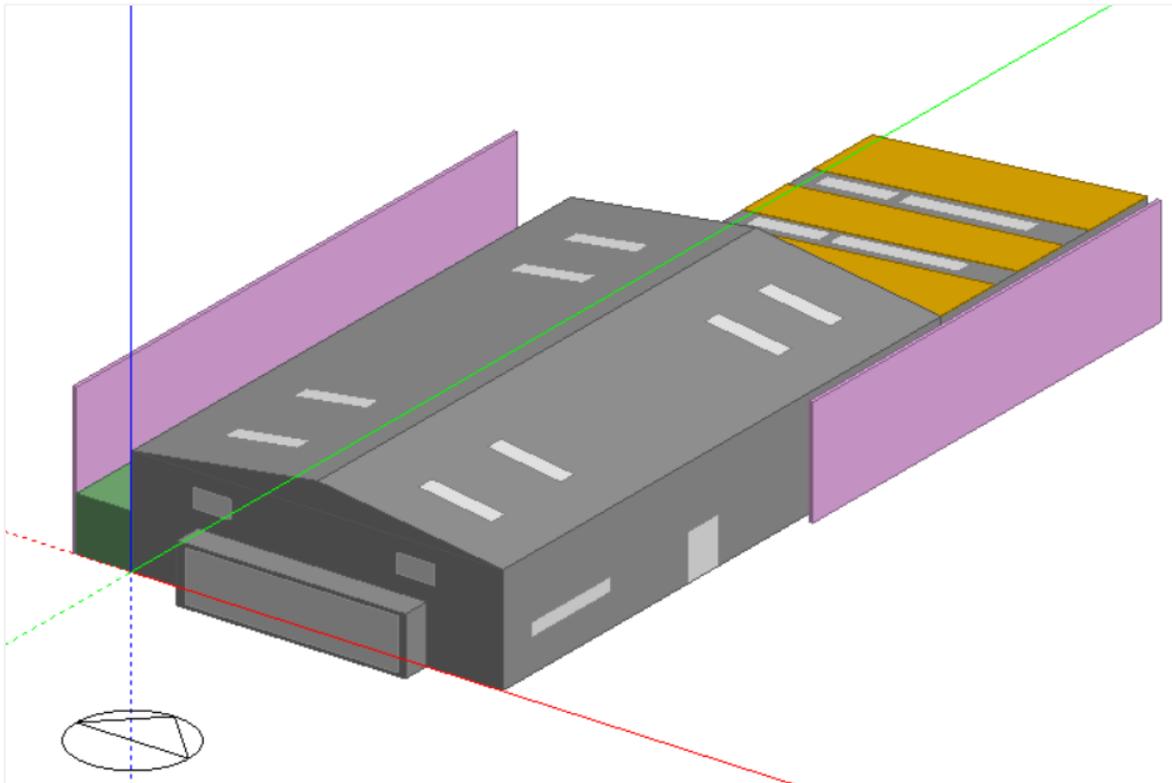


Figura 81 *Modelo del gimnasio para terapias en FUNTER: Los objetos en color morado representan paredes adyacentes al edificio, (elaboración propia con DesignBuilder).*

El modelo geométrico tiene los atributos de materiales siguientes:

- Paredes externas: hechas de bloque de hormigón 200 mm con acabado de mampostería de repello a ambos lados de 1.5 mm de espesor.
- Ventanas: tipo corredizas de un solo cristal de 3 mm.
- Cubierta de techo: cubierta de lámina galvanizada compuesta tipo Sandwich de 50.8 mm de aislamiento de poliuretano.
- Piso: sola de concreto con ladrillo de piso.

- Uso del edificio: espacio abierto para oficina y gimnasio para terapia física con área de hidroterapia.

Para los datos climáticos (\*.epw y \*.stat) del lugar, estos fue generada con el programa *Meteonorm 7.2* convertidos con *Weather Converter*.

#### **3.9.4.1 Metodología Seguida para la Simulación**

Con el modelo digital de la edificación y archivo de las condiciones climáticas del lugar, se procedió a simular energéticamente la edificación tipo nave industrial en sus condiciones actuales para recrear las condiciones de operación de confort interno medidas durante la campaña de medición. Lo anterior sirvió para calibrar el modelo y generar una línea base de referencia para poder cuantificar el impacto en confort interno que tengan las propuestas de cambio en la infraestructura de la edificación. Al mismo tiempo, se realizó análisis de iluminación natural. En este documento únicamente se ha elaborado un análisis de iluminación en términos absolutos (lux), factor de iluminación (DF) y de autonomía de luz de día (sDA), sus resultados son presentados más adelante.

#### **3.9.4.2 Ajuste de modelo y Elaboración de Línea Base**

Con la información antes mencionada, se procedió con el análisis energético de la edificación, el resultado de este (temperaturas, humedad relativa y “*discomfort*”), según ASHRAE 55-2004, se presentan en la Figura 82.

Comparando los resultados de los datos calculados en la Figura 82 y las temperaturas medias en el interior del recinto (ver figura de la 47 a la 53), se concluye que el modelo del edificio reproduce satisfactoriamente las condiciones de confort térmico en el interior, confirmando una vez más que no se alcanzan las condiciones mínimas de confort.

En la tabla siguiente se presenta la comparación entre la temperatura operativa máxima medida y simulada.

Tabla 15 Comparación de temperaturas operativa medidas y simuladas en el interior del recinto (elaboración propia con DesignBuilder)

T_op medida	T_op simulada	Diferencia	Dif [%]
31.4 °C	31.28 °C	0.012 °C	0.38 %

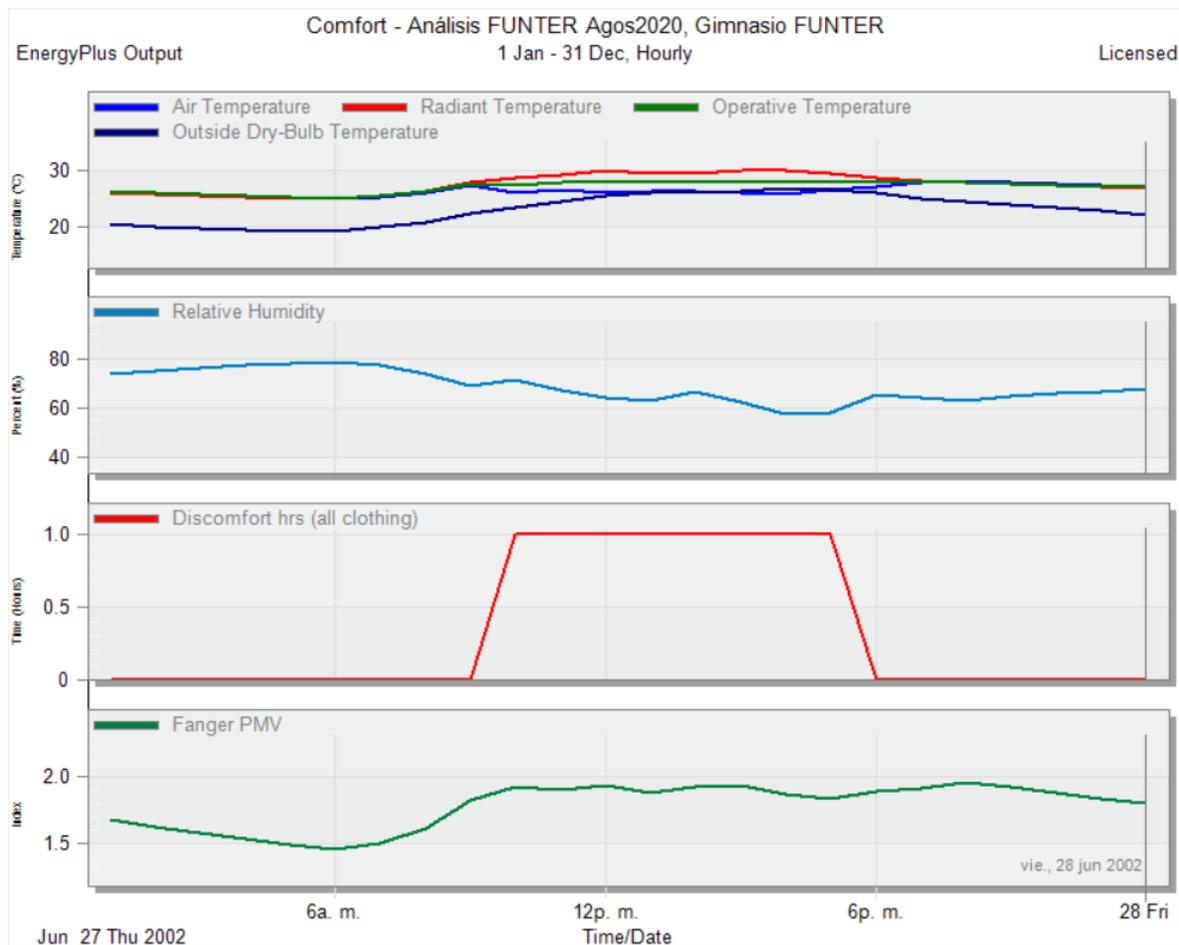


Figura 82 variaciones de las temperaturas y humedad relativa en el interior de la edificación (elaboración propia con DesignBuilder).

La figura anterior también incluye un gráfico de “discomfort” provocado por las ganancias de calor tanto por la actividad desarrollada internamente por los usuarios como las ganancias solares, uso de equipos eléctricos, temperatura del agua de la piscina, principalmente. En la gráfica de la Figura 832 se presenta el balance de energía para el día 27 de junio (día de diseño) y la ganancia de calor latente a lo largo del día. De acuerdo con el resultado, las ganancias principales son las producidas por la irradiancia solar en cubiertas y tragaluces. Al

mismo tiempo, existe una pérdida de calor por ventilación natural y flujo de calor en las paredes que no reciben radiación directa y por tanto su superficie externa está más fría que la interna.

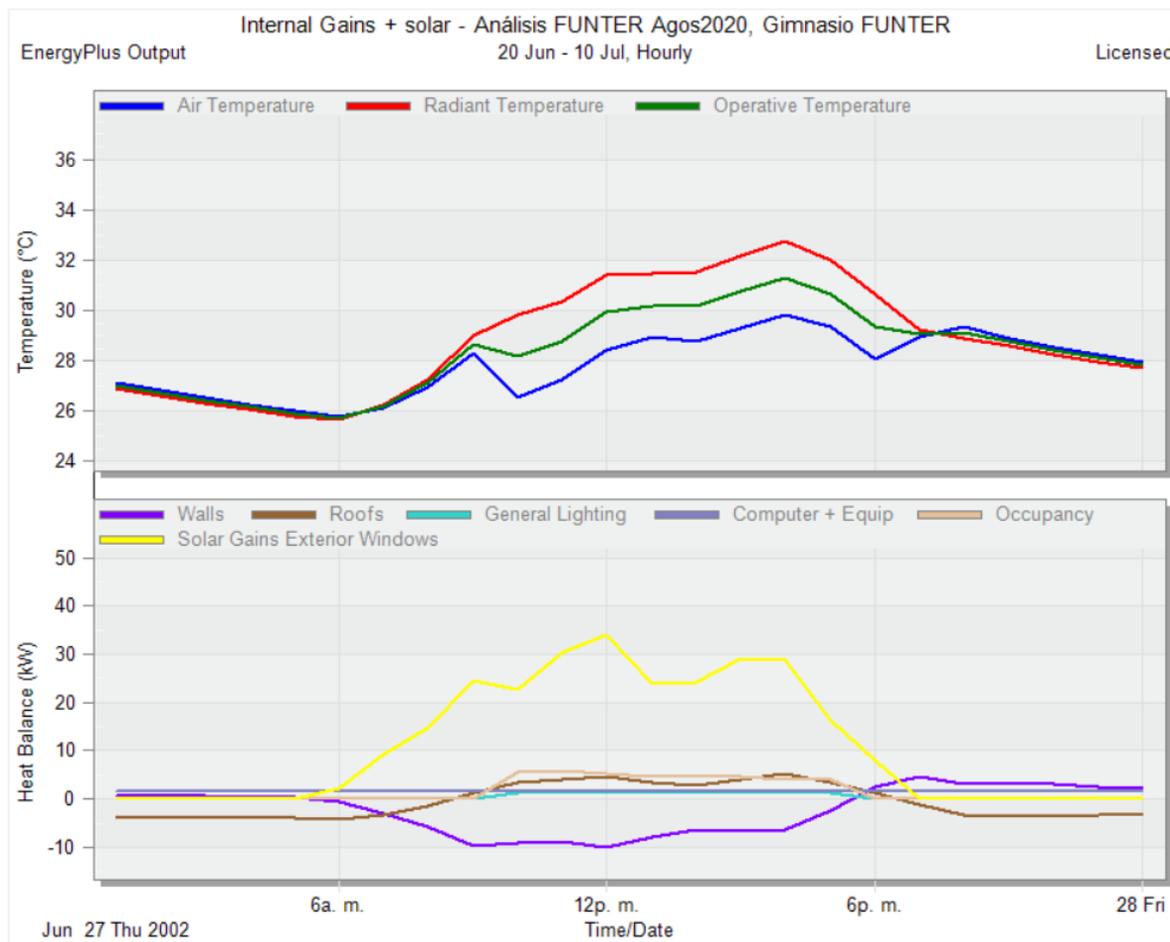


Figura 83 Balance de energía y ganancia de calor latente en la edificación (Elaboración propia con DesignBuilder).

La Figura 82 también incluye una gráfica del índice de FANGER sobre la percepción de confort del usuario en el edificio. Este índice tiene una escala de clasificación que va desde -3 para un clima muy frío; -2 para frío; -1 ligeramente frío; 0 para neutro o confortable; +1 Ligeramente caluroso; +2 caluroso y +3 para caluroso. Según el resultado de la Figura 82, la mayor parte del tiempo el índice de FANGER es de +2, es decir, los usuarios perciben un ambiente caluroso en el interior de la edificación, lo cual coincide con el resultado de la encuesta interna presentada en la Figura 38.

En la Figura 84 se muestra la posición del Sol para las 15:00 horas del 27 de junio y la proyección de sombras y paredes soleadas sobre la edificación existente. Los rectángulos color oscuro sobre el techo del salón para hidroterapia representan los captadores solares del sistema termosolar existente; al interceptar la irradiancia solar contribuyen con el bloqueo y reducción de las ganancias por radiación solar.

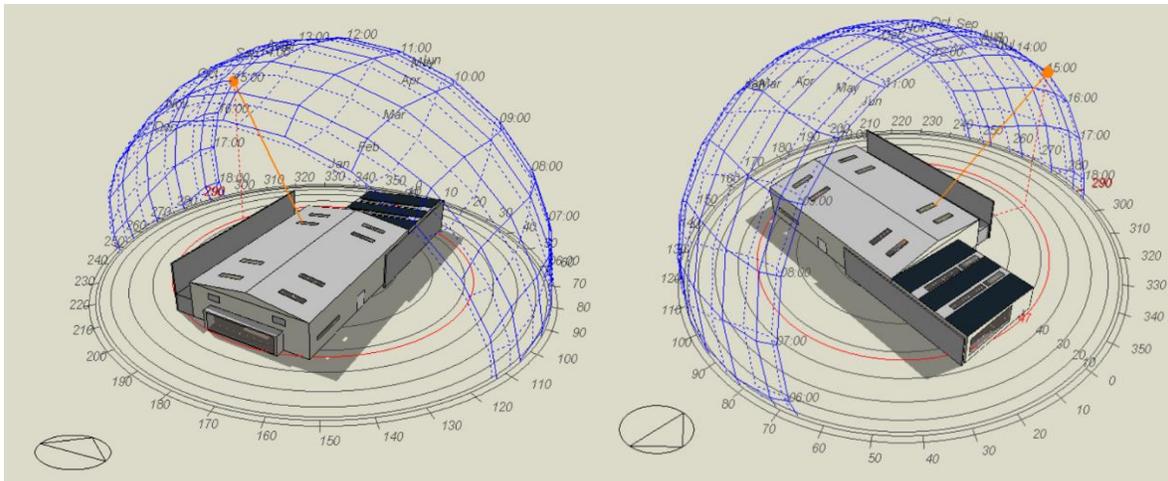


Figura 84 *Proyección de sombras para las 15:00 horas del día 27 de junio. Vista izq. fachada sur; Vista derecha: fachada norte, (Elaboración propia en DesignBuilder).*

### 3.9.4.3 Cálculo de carga térmica por acondicionamiento de aire

Como primera propuesta de cambio para mejorar el confort térmico de la edificación se propone el uso de un sistema de climatización de aire para conseguir los valores temperatura y humedad relativa dentro de la zona de confort según ASHRAE 55-2004. El resultado del cálculo se muestra en la Figura 85, en esta se observa la evolución de las variables que definen el confort y en especial la temperatura operativa (línea color verde), la cual se mantiene constante con un valor de 28 °C a lo largo del día, y la humedad relativa con un valor cercano a 55 %.

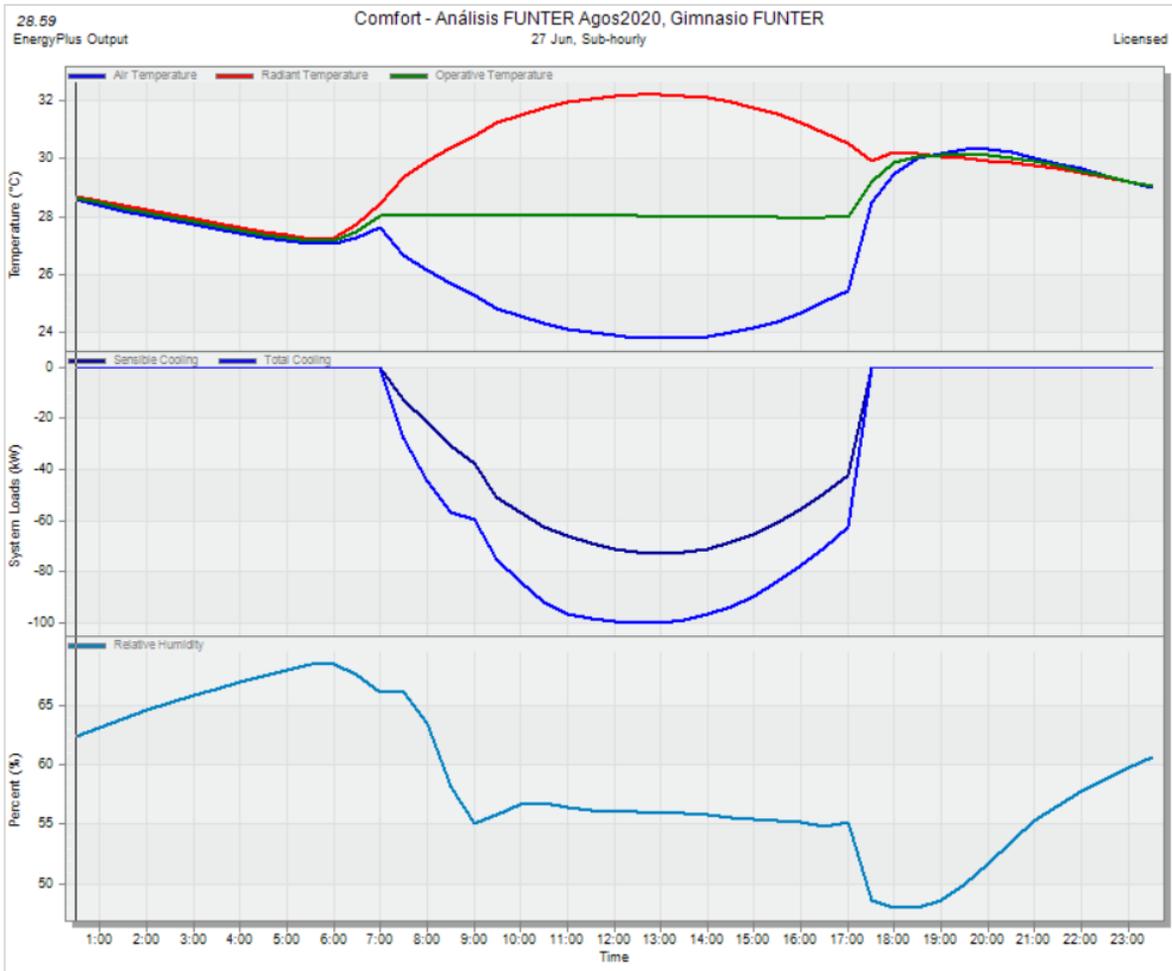


Figura 85 Evolución de las temperatura, humedad relativa y potencia total de refrigeración necesaria para acondicionar el aire del recinto de la edificación, (Elaboración propia con DesignBuilder).

Según el resultado del cálculo, la carga térmica total por acondicionamiento de aire es de 102.24 kW (29.21 Tons de refrigeración), repartida de la manera siguiente: 66.18 kW de calor sensible y 36.06 kW de calor latente. Aplicando un factor de sobredimensionamiento 1.15 a la capacidad de refrigeración calculada, esta queda de 117.58 kW (33.59 Tons).

Las condiciones del aire acondicionado a la salida de las manejadoras son de 4.53 m<sup>3</sup>/s a una temperatura de 24.1 °C y 58.8 % de humedad relativa.

Existen en el mercado fabricantes de equipos tales como Carrier con su modelo AquaForce 30RB (ver Figura 86) con capacidad entre 60 y 390 Toneladas de refrigeración y Coeficiente

de Operación (COP) de 3.5, que se ajusta a la demanda de energía térmica calculada (33.59 Tons).



*Figura 86 Enfriadora Carrier AquaForce 30RB*

Si se decide implementar un proyecto de instalación de un sistema de acondicionamiento de aire, como medida complementaria se deberá aislar completamente el área de gimnasia e hidroterapia, además, se tiene que instalar ductos aéreos con difusores y rejillas de extracción de aire.

De acuerdo con el catálogo del fabricante del equipo Carrier, para la capacidad de refrigeración calculada del recinto el tamaño mínimo de la enfriadora seleccionada es la número 60 con capacidad nominal de 57 Toneladas, cuya demanda máxima de potencia de la unidad enfriadora (compresor) es 60.3 kWe y 10.3 kWe de los ventiladores.

Pese a que la implementación de un sistema de acondicionamiento es una solución factible y practica de implementar, este tendrá costos de implementación y operativos tales como: consumo de energía y mantenimiento, principalmente, por el resto de la vida útil. Con base en lo anterior, se buscó otras alternativas como la implementación de estrategias bioclimáticas según recomendación de Givoni y la ASHRAE 55-2004, para reducir el “*disfomfort*” al mínimo. La simulación del modelo con los cambios hechos se presenta en la sección siguiente.

### 3.9.5 Simulación de las Propuestas Bioclimáticas

Con la validación del modelo geométrico de la edificación en DesignBuilder se pudo determinar las principales fuentes de energía que incrementan la temperatura operativa en el interior del recinto, y entre estas están las ganancias solares en cubiertas de techo, en paredes, ventanas, tragaluces y, en menor medida, la actividad interna de los usuarios. Según lo anterior, la estrategia de bioclimatización a seguir deberá tener como objetivo minimizar dichas ganancias de calor y entre las estrategias consideradas están las siguientes:

- 1) Uso de muro verde para proyección de sombras en paredes con alta incidencia solar.
- 2) Aplicación de una capa de pintura reflectiva en la cubierta del techo,
- 3) Aumento de la humedad relativa mediante el incremento de la ventilación natural y forzada a través de ventiladores en paredes y extractores en cubierta de techos.
- 4) Minimizar las ganancias solares o flujo de calor al interior del recinto mediante la Proyección de sombras sobre cubiertas de techo.

En la Figura 87 se presenta el modelo de la edificación con la incorporación de las primeras dos estrategias antes enumeradas (propuesta A), mientras que el modelo de la Figura 88 contiene las cuatro (propuesta B).

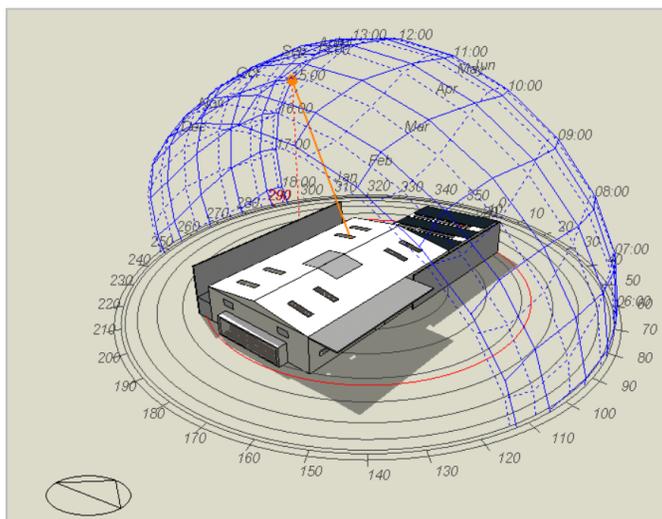


Figura 87 *Propuesta A: modelo de la edificación con la aplicación de pintura reflectiva en la cubierta de techo, proyección de sombras mediante alero (simulando la sombra de un muro verde) e instalación de sistema de extracción de aire en el techo (Elaboración propia).*

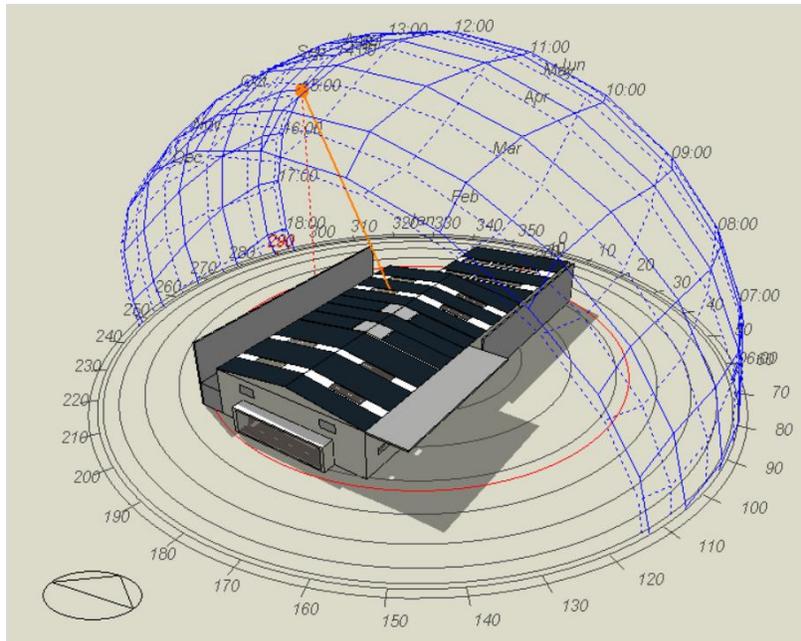


Figura 88 *Propuesta B: modelo de la edificación con proyección de sombras mediante alero (simulando la sombra de un muro verde), sombras sobre cubierta con módulos fotovoltaicos e instalación de sistema de extracción de aire en el techo (Elaboración propia con DesignBuilder).*

El resumen con los datos más importantes de la simulación se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 16 Resumen de resultados de la simulación (Elaboración propia)

	Edificio existente	Propuesta A	Propuesta B
Temp. Operativa máxima [°C]	31.26	30.07	27.74
Carga latente anual [kWh]	46436.67	44751.95	43240.76
Carga de enfriamiento por ventilación anual [kWh]	0	-17513.97	-7527.68

	Edificio existente	Propuesta A	Propuesta B
Cap. de refrigeración [kW]	117.58	110.18	76.56

Con base a los resultados, la propuesta B es la que presenta la menor temperatura operativa (27.74 °C), es decir, 3.52 °C menos que las condiciones actuales para el edificio existente tomado como línea base.

### 3.9.6 Simulación de Iluminación

Para completar el análisis se hizo una simulación de la iluminación natural en el interior de la edificación analizada. El resultado se presenta en la Figura 89 en la cual se observa una alta concentración de iluminación tanto en el costado sur como norte, siendo en este último la componente difusa de radiación solar la que aporta mayor iluminación.

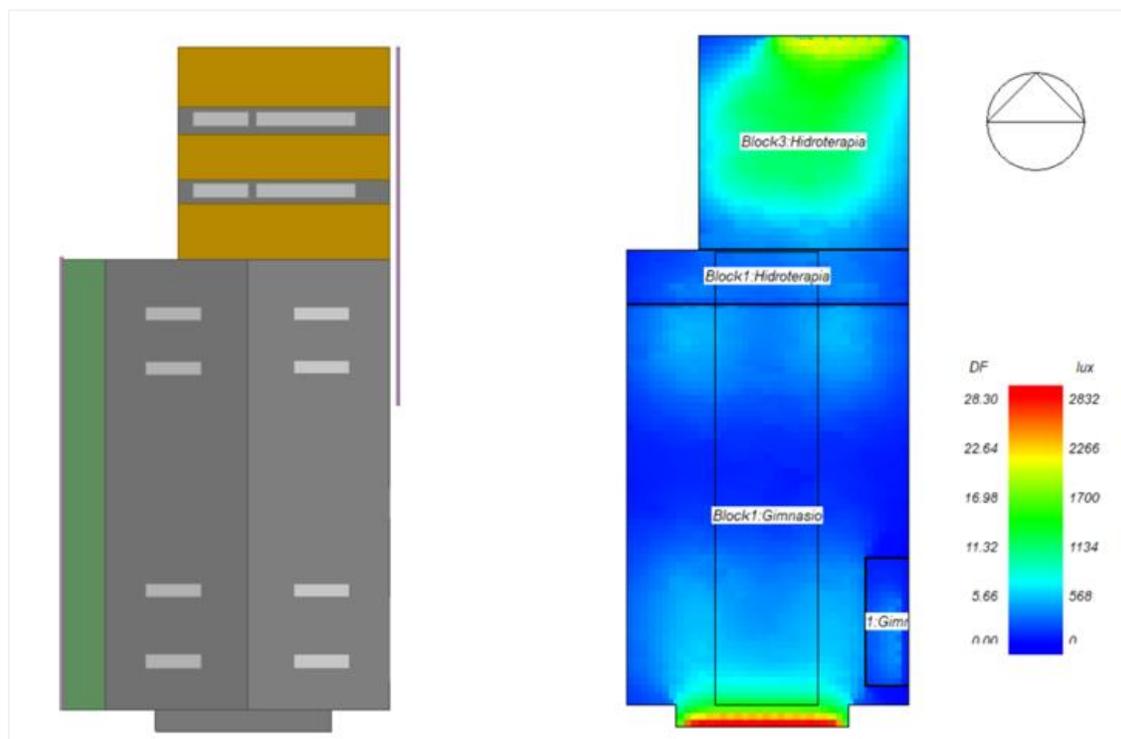


Figura 89 Resultado de la simulación de iluminación en el interior de la nave (Elaboración propia para la edificación existente).

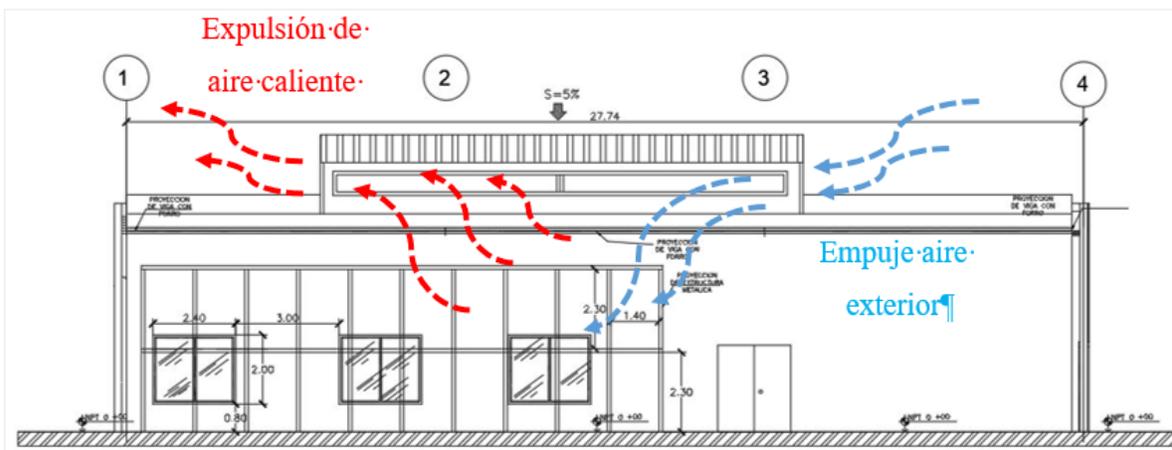
El resultado obtenido es coherente con las mediciones de iluminación realizada en la campaña de medición, en esta se observó que tanto los costados este como oeste presentan baja iluminación natural la cual es complementada gran parte del día con el accionamiento de lámparas de techo.

Lo anterior es percibido de forma inmediata al ingresar la edificación (ver figura 17), principalmente en las zonas para terapia ubicadas en el costado oeste. Una forma de corregir tal deficiencia es incrementar incidencia de la radiación difusa en el interior del recinto por medio de ventanas con aleros o tragaluz en los techos, teniendo en cuenta que un mayor número de aperturas o ventanas podrían también incrementar las ganancias de calor por radiación solar, por lo tanto, deberá haber un compromiso en el incremento de ventanas, ventilación natural y mínimo incremento en la radiación solar directa.

## CAPITULO IV: DESARROLLO DE LAS PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT INTERNO

### 4.1 Propuesta de Ventilación

La propuesta integrada de fachada con muro verde y techo proyectado para circulación de flujo de aire es presentada en la Figura 90, esta muestra la propuesta de transformación del techo donde se propone que toda la parte central sea elevada con una pendiente del 5%. Se puede observar la propuesta de transformación del techo donde se propone que toda la parte central sea elevada con una pendiente del 5%, la inclinación se vería reflejada de oeste a este; además, la pared principal de ese lado se plantea la apertura de tres huecos de ventanas de altura 2.00 m y ancho 2.40 m, altura de repisa de 0.80 m ambas propuestas de modificación con la finalidad de tener mayor ventilación natural, tanto por accesos de aire fresco como la salida del aire caliente.



*Figura 90 Propuesta arquitectónica vista desde fachada este, proyección de flujo de aire fresco exterior para circulación de aire interior. (Elaboración propia).*

Así también para protección de la fachada este se diseñó pantalla o muro verde, ya que en los análisis solares se podía observar que recibe todo el Sol de la mañana; la funcionalidad de esta estructura será evitar que los rayos del Sol impacten directamente a la pared, evitando que esta se caliente y transmita el calor al interior del espacio. La estructura se propone de tubo de 4"x 4", formando una malla con medidas de 1.4 m de ancho x 2.3 m de alto a lo largo de la pared, conformada por una enredadera natural, como se muestra en la Figura 91.

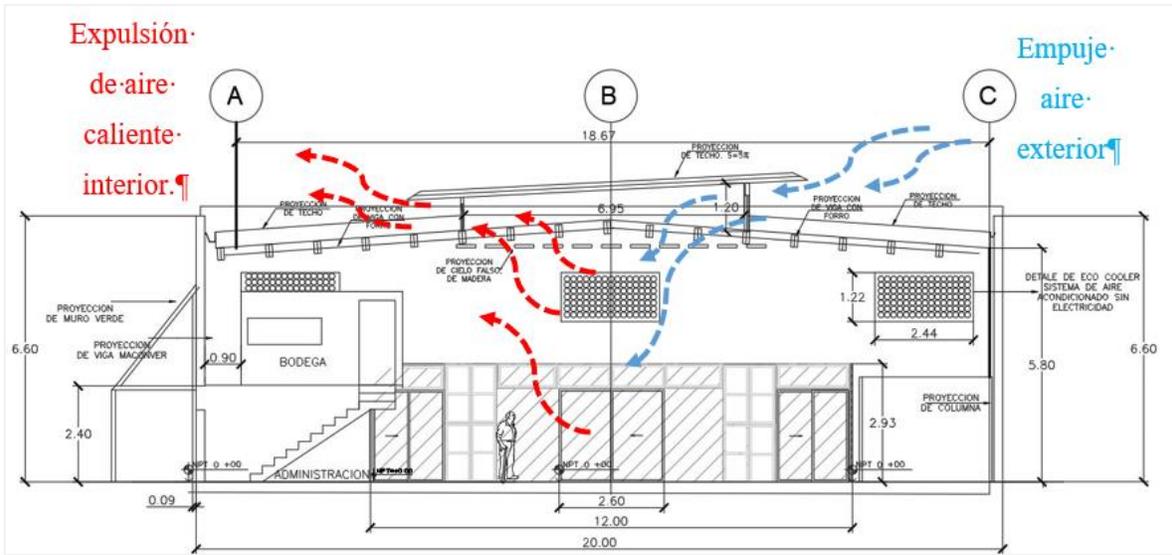


Figura 91 Sección A-A, sin escala, proyección de flujo de aire fresco exterior para circulación de aire interior. (Elaboración propia).

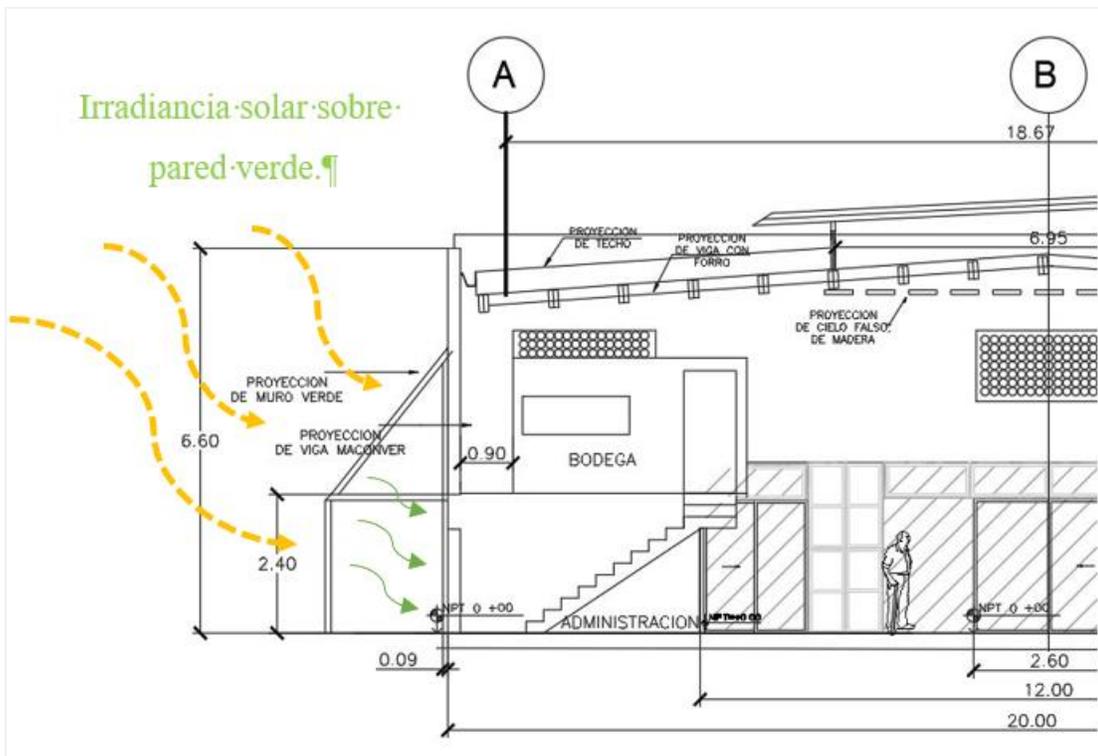


Figura 92 Sección A-A, sin escala, proyección de irradiancia solar sobre pared verde, para reducción de calor en pared de fachada este, (Elaboración propia).

### **Propuesta de Ventilación, vista desde sección A-A**

Se muestra una visualización del interior de la zona de terapia, ahí se distingue la ubicación de la bodega que está en un segundo nivel o mezzanine; se coloca de esa manera, ya que es un espacio que no es de uso frecuente de los terapeutas y de uso nulo para los pacientes, también se ve la inclinación que tendría el techo modificado, cumpliendo con el principio de bioclimatismo pasivo de una ventilación tipo chimenea o cenital y ventilación cruzada, la cual influye en la eficiencia energética, ya que, si no se hace de forma controlada, se puede estar incurriendo en unos costes energéticos muy elevados.

De igual manera para mejorar la circulación del viento y que mejore la sensación térmica y la temperatura interna del espacio, se presenta la utilización de Eco-cooler en la pared norte y sur del edificio; el funcionamiento del Eco-cooler se basa en un principio muy básico: cuando una fuente de aire acelera su velocidad para pasar de un espacio amplio a un espacio pequeño, se enfría. Al acelerarse para poder pasar por el espacio más pequeño, el aire que ingrese será enfriado. El Eco-cooler es un sistema de enfriamiento a través de la diferencia de presión.

#### 4.1 Propuesta de Eficiencia para Iluminación

Tabla 17 Resultado de medición de Iluminación en FUNTER.

Mediciones de Iluminación en FUNTER					
Ubicación	Actividad/Categoría	Medición de Iluminación en área de trabajo (lux)	Promedio (lux)	Valor Estándar(lux)*	Cumplimiento de Estándar (si/no)
Área de terapias físicas en maquinaria y estáticas en camas.	Sala de atención médica	Min.: 40	230	500	No
		Máx.: 420			
Área de vestidores	Vestuarios, servicios y aseos	Min.: 820	1810	100	Si
		Máx.: 2800			
Área de hidroterapias en piscina.	Sala de atención médica	Min.: 600	1700	500	Si
		Máx.: 2800			

\*Nivel medio de iluminación mantenido sobre el área de trabajo.

Fuente: elaboración propia, 2020.

Nota: Valor estándar (lux), Decreto 89, *Reglamento general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo. Sección II: Agentes Físicos.* (2010). Ministerio de Trabajo, El Salvador.

De acuerdo con las mediciones obtenidas en la campaña de medición, se presenta un área de las tres analizadas dentro de la zona de estudio, que no cumple el valor estándar mínimo de iluminancia, ya que, para sala de atención médica, es necesario 500 lux, y posee 230 lux. La manera en cómo se pretende solucionar esta falta de iluminación es con la misma propuesta de remodelación arquitectónica del techo, mostrado en la siguiente sección arquitectónica:

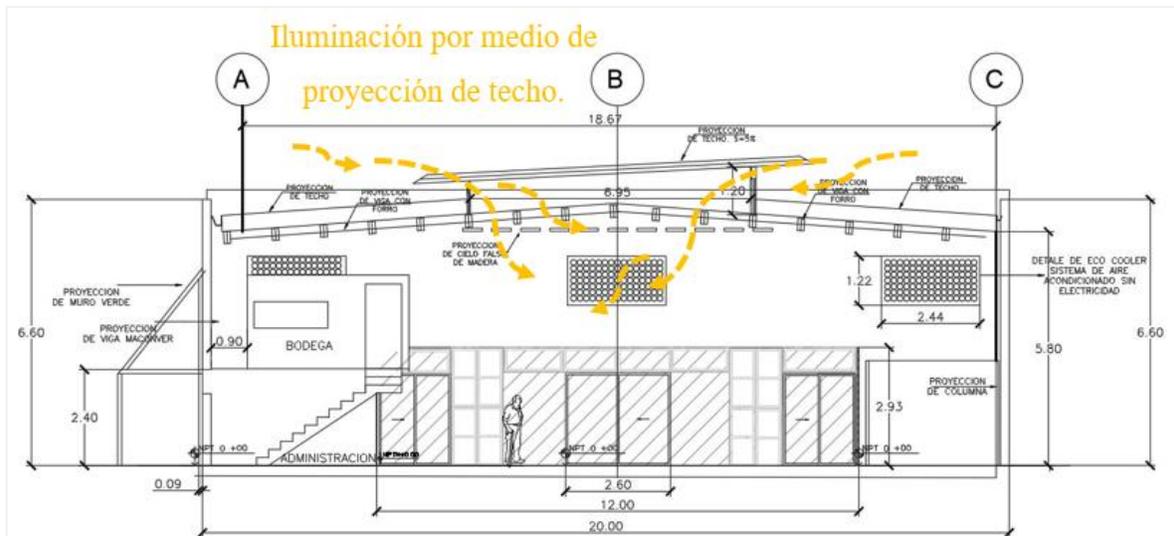


Figura 93 Sección A-A, sin escala, proyección de ingreso de iluminación por medio de propuesta de remodelación arquitectónica, (Elaboración propia).

#### 4.2 Propuesta de Eficiencia para Calentadores Solares de Agua en Área de Piscina para Rehabilitación

Según el análisis desarrollado, el sistema termosolar existente es capaz de suplir las necesidades de calentamiento del agua, pero para volverlo más eficiente es necesario realizar las actividades que se detallan a continuación:

- Uso de un cobertor térmico para la piscina:  
el cual puede reducir hasta la mitad del consumo de energía, utilizando este accesorio en el período nocturno y fines de semana, reduciendo al mínimo las pérdidas de calor por convección y radiación.  
Si se usa un cobertor en la piscina, se podría dejar sellada por la noche, conservando la mayor parte de la temperatura y por ello necesitaría menos energía para llegar a la temperatura de consigna necesaria para la primera terapia de la mañana, pudiendo ahorrarse hasta el 50% de la energía utilizada actualmente.
- De acuerdo con la inspección y verificación realizada, se confirmó que el sistema cuenta con más del área de captación requerida, inclusive se ha presentado episodios de sobrecalentamiento. Por lo anterior se concluye que el problema es una mala gestión de la energía, posiblemente por un problema en el controlador electrónico del sistema, que se encarga de alternar entre solo filtrado, filtrado con caldera a gas y

filtrado con sistema termosolar. El problema de control de temperatura puede ser resuelto revisando y ajustando la lógica de control del sistema existente y/o cambiando el conjunto de sensores de temperatura. Como alternativa también está el remplazo del sistema de control existente por otro más apropiado con posibilidad de monitorización y almacenamiento de datos para poder diagnosticar fallas o problemas de operación.

### **4.3 Propuesta de Mejoramiento en el Consumo de energía Eléctrica**

Al realizar el análisis de los gráficos obtenidos del estudio energético, se verificó que la tensión y la corriente eléctrica posee buena calidad y eficiencia aceptable, no se tiene grandes desperdicios y corresponde a la cantidad de equipos e instalaciones que posee, así como también el encendido de las luminarias es mínimo, sin embargo, eso tiene un coste a cambio y es la deficiencia en la iluminación interna, problema que se puede solucionar con iluminación natural que va encaminada a la solución arquitectónica, de la propuesta de eficiencia en la iluminación.

Adicionalmente también se propone la implementación de un generador fotovoltaico para una producción similar a la que se presenta en la hora “Resto” de 125.4 kWp, cuyo análisis de rentabilidad ha mostrado ser favorable.

#### 4.4 Presupuesto de las Propuestas de Eficiencia

REMODELACIÓN EN ÁREA DE GIMNASIO DE TELETÓN MERLIOT					
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO DIRECTO POR UNIDAD	Sub Total
1. OBRAS PRELIMINARES					\$196.00
1.1	Desinstalación de láminas de cubierta de techo (incluye desinstalación de aislante bajo la cubierta)	98.00	m <sup>2</sup>	\$2.00	\$196.00
2. OBRAS EXTERIORES					\$1,890.00
2.4	Pared de malla ciclón como estructura de pared verde	75.60	m <sup>2</sup>	\$25.00	\$1,890.00
3. OBRAS INTERNAS					\$7,022.25
3.1	Entrepiso liviano sobre estructura metálica para segundo nivel, incluye columnas de tubo 4" x 4".	17.50	m <sup>2</sup>	\$60.00	\$1,050.00
3.2	Paredes de segundo nivel, de doble cara de tabla yeso, incluye dos manos de pintura.	42.00	m <sup>2</sup>	\$25.00	\$1,050.00
3.3	Puerta de madera tipo americana.	1.00	SG	\$150.00	\$150.00
3.4	Escaleras de Estructura Metálica	1.00	SG	\$1,200.00	\$1,200.00
3.5	Ventanas tipo francesas	14.40	m <sup>2</sup>	\$55.00	\$792.00
3.6	Suministro e instalación de pintura para interiores, diseño de colores a escoger	505.50	m <sup>2</sup>	\$5.50	\$2,780.25
4. TECHOS					\$5,024.00
4.1	Cubierta de Techo de lámina metálica sobre estructura de polín C, sobre vigas encajueladas.	126.00	m <sup>2</sup>	\$24.00	\$3,024.00
4.2	Cielo falso de madera	100.00	m <sup>2</sup>	\$15.00	\$1,500.00
4.4	Columnas cortas entre 1.00 a 1.20 m, de altura para la proyección de techo.	1.00	SG	\$500.00	\$500.00
5. ÁREA DE HIDROTERAPIAS					\$1,199.00
5.1	Suministro y colocación de carpeta térmica para cubierta de piscina de hidroterapias, para una superficie de 11.34 m x 10.34 m	1.00	SG	\$1,199.00	\$1,199.00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$15,331.25</b>

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

#### 5.1.1 Confort Térmico e Iluminación

- La propuesta de arquitectura bioclimática pasiva, que consiste en crear una ventana cenital, generará un suministro de ventilación natural cruzada siendo una respuesta a la recomendación del diagrama de Givoni, con este diseño se obtendrá un flujo de aire circulando en su interior, que utilizará el vector de velocidad del viento que de acuerdo con (Weatherspark, 2019) oscila entre 8.4 hasta 15.6 km/h a lo largo del año, de esta manera da como resultado una salida del aire caliente interno, mejorando el confort térmico de los usuarios.
- El diseño de una segunda piel o muro verde en fachada Este, tendrá la función de evitar que los rayos del Sol impacten directamente a la pared, evitando que esta se caliente y transmita el calor al interior del espacio, mejorando la sensación térmica de los ocupantes y reduciendo la alta temperatura del ambiente.
- Con la colocación de los inyectores de aire Eco-cooler, en la pared Norte y Sur, fachadas que según (Weatherspark, 2019) a lo largo del año reciben en su mayoría los vientos, debido a su ubicación geográfica, estarán inyectando ventilación a presión desde dos puntos en cualquier momento del año, que junto a las propuestas de segunda piel y ventana cenital se obtendrá una respuesta térmica del interior del edificio, lo cual lo hace más confortable para los ocupantes.
- La ventana cenital, generará un aumento de iluminación natural en la zona del gimnasio de terapia física que actualmente posee una iluminación media debajo de los estándares y con esto contribuirá a reducir las repercusiones en la vista de los usuarios internos del edificio.
- La remodelación propuesta enfocadas al confort térmico, no sólo mejorará la sensación térmica, sino que también reducirá afectaciones en la salud de los usuarios, gracias a la renovación de aire al interior del edificio y aumento de la iluminación natural.

### **5.1.2 Sistema Termosolar para Piscina:**

- El sistema termosolar actualmente existente tiene la capacidad instalada para poder suplir el 100 % de la demanda de energía que requiere la piscina para mantener una temperatura de consigna de 34 °C para impartir las terapias.
- De acuerdo con la simulación, el uso de la caldera auxiliar únicamente será empleada durante la puesta en marcha o en épocas de alta nubosidad.
- Según orientación de la superficie de captación del sistema termosolar, el aporte principal de energía se dará durante el mediodía y el resto de la tarde. Esto aplica directamente para los meses de la época seca.
- Mantener estable la temperatura de la piscina es factible siempre que se cuente con un sistema de control electrónico que permita la conmutación entre los modos de solo filtrado y calentamiento solar con solo filtrado. Lo anterior se logrará ajustando la lógica de control del equipo actual o remplazando este por más apropiado.
- Con la implantación del sistema termosolar se podrá reducir hasta en un 95% el consumo de gas actual.

### **5.1.3 Consumo de Energía Eléctrica**

- El consumo de Voltaje en todo el Centro de Atención cumple con una tensión nominal de 120 V, de acuerdo con “Tensiones Eléctricas y Sistemas Normales de Distribución en Baja Tensión”, estipulado por la SIGET, por lo tanto, se puede confirmar que no existe daño de los equipos debido a irregularidades en el suministro de voltaje.
- Con el perfil de consumo de corriente eléctrica se puede apreciar que además de conocer la demanda diaria, se confirma los horarios de uso de los equipos utilizados en las horas de atención a las terapias de los usuarios.
- La inversión en un sistema fotovoltaico (SFV) en las cubiertas de los techos indicados en las propuestas del Centro de Atención es técnica y económicamente factible, y el retorno de inversión se estima en 3.5 años. Dicho sistema suplirá la demanda de energía eléctrica en la hora resto (horario de oficina) de la institución.

#### **5.1.4 Presupuesto Estimado para el Proyecto de Eficiencia:**

- Con la implementación correcta del sistema termosolar, es factible económicamente ejecutar la remodelación propuesta para iluminación y confort interno del Centro de Atención.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

#### **5.2.1 Eficiencia del Confort Térmico:**

- Los edificios colindantes al estudiado tienen potencial para realizarse intervenciones con remodelaciones y generar ventilación natural.
- Se propone un estudio más profundo de la eficiencia energética para completar el existente en base a los parámetros ambientales durante un año consecutivo de mediciones en todo el centro de atención, antes de hacer cambios tecnológicos.

#### **5.2.2 Eficiencia de la Iluminación:**

- Realizar una campaña de medición de iluminación en todas las áreas administrativas y de terapias que no contempla esta investigación, para proponer soluciones a cada espacio según tecnología más apropiada.
- Realizar encuestas de opinión en todas las áreas administrativas para conocer la percepción de los parámetros ambientales por parte de los usuarios de dichos espacios.

#### **5.2.3 Eficiencia de Calentadores Solares de Agua:**

- Realizar una revisión del hardware y la lógica del sistema de control del sistema termosolar que permita lograr un calentamiento adecuado del agua de la piscina.
- Realizar una medición por un periodo de tiempo de una semana de la temperatura de la piscina utilizando únicamente el sistema termosolar, lo anterior permitirá confirmar los resultados de la presente investigación.

- Realizar inspecciones en captadores para identificación y reparación de fugas en los empalmes de las bancadas de captadores. Lo anterior permitirá lograr un mejor efecto sifón, reduciendo el consumo de energía de las bombas de recirculación.
- Brindar capacitaciones al personal relacionados con la operación adecuado y mantenimiento de la instalación termosolar.

#### **5.2.4 Consumo de Energía Eléctrica:**

- El edificio de FUNTER tiene más de 20 años de operación, por lo que vale la pena hacer una evaluación más profunda del estado mecánico y eléctrico de los equipos como luminarias, compresores de aire acondicionado, identificando así los equipos que necesitan reemplazo por otro de tecnología más eficiente.
- Debe actualizarse el Diagrama Unifilar de todo el Centro de Atención.
- Brindar capacitaciones al personal en el tema de prácticas en ahorro energético.

## Referencias

- Ayala, A. S. (2013). *Análisis de la eficiencia energética y confort del edificio técnico administrativo de LaGeo, S.A de C.V.*, . San Salvador: UES,2013.
- Bedout, U. (2008). <https://www.epdlp.com>. Recuperado el junio de 2019, de <https://www.epdlp.com>: <https://www.epdlp.com/arquitecto.php?id=13354>
- Bermúdez, V. (2019). Incidencia Solar elaborado en Revit. San Salvador.
- Bermúdez, V. (2019). Modelos digitales de Funter Merliot, realizado en Revit.
- Butera, F. (11 de Agosto de 2017). *Standard And Adaptative Approach For Thermal Comfort*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=SwZ1FEgangE&t=4s>
- Caballero, M. (2010). <https://www.mirencaballerobioestudio.com>. Recuperado el junio de 2019, de <https://www.mirencaballerobioestudio.com>: <https://www.mirencaballerobioestudio.com/cual-es-la-mejor-orientacion-solar-en-arquitectura/>
- Certicalia. (2020). <https://www.certicalia.com>. Obtenido de <https://www.certicalia.com/blog/que-es-analizador-redes-electricas>
- Chintpowerlatinoamerica. (2017). <https://chintpowerlatinoamerica.com>. Recuperado el junio de 2019, de <https://chintpowerlatinoamerica.com>: <https://chintpowerlatinoamerica.com/blog/energia-solar/beneficios-de-utilizar-energia-solar/>
- CNE. (2009). [www.cne.gob.sv](http://www.cne.gob.sv). Recuperado el enero de 2019, de [www.cne.gob.sv](http://www.cne.gob.sv): <https://www.cne.gob.sv/?wpdmpro=politica-energetica-nacional&wpdmdl=2548>
- COAMSS-OPAMSS. (2019). <https://issuu.com>. Recuperado el mayo de 2019, de [https://issuu.com/coamss-opamss/docs/memoria\\_de\\_labores\\_2017-2018](https://issuu.com/coamss-opamss/docs/memoria_de_labores_2017-2018)
- ConsultoríaEnergética. (2018). <https://www.sinceo2.com>. Obtenido de <https://www.sinceo2.com/la-linea-base-y-su-importancia-en-la-iso-50001/>

- Deposiphotos. (2015). <https://okdiario.com>. Recuperado el junio de 2019, de <https://okdiario.com: https://okdiario.com/curiosidades/como-transmite-calor-461984>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: Wiley.
- Enertiva. (s.f.). <https://enertiva.com>. Obtenido de <https://enertiva.com/#proyectos>
- Ezquerro, V. (2017). <https://www.pinterest.es/>. Recuperado el junio de 2019, de <https://www.pinterest.es/>: [https://www.pinterest.es/pin/731483164460290467/?nic\\_v1=1aK05XQGfRgKtLCB9Fpm3SDde3FTa06yaaRubSJIese7gm77ICpRUndkbWL4%2BcmyXG](https://www.pinterest.es/pin/731483164460290467/?nic_v1=1aK05XQGfRgKtLCB9Fpm3SDde3FTa06yaaRubSJIese7gm77ICpRUndkbWL4%2BcmyXG)
- Factorenergia. (02 de junio de 2017). <https://www.factorenergia.com/>. Recuperado el junio de 2019, de <https://www.factorenergia.com/>: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>
- Gacía, A. M., & Sancho, A. d. (2016). *Instalaciones Solares Térmicas de Baja Temperatura*. Zaragoza: Prensa de la Universidad de Zaragoza.
- Geoenciclopedia. (2020). <https://www.geoenciclopedia.com>. Obtenido de <https://www.geoenciclopedia.com/termometros-digitales/>
- GoogleMaps. (2019). Obtenido de <https://www.google.com/maps>
- GSA. (s.f.). *Global Solar Atlas*. Obtenido de <https://globalsolaratlas.info/detail?c=13.677294,-89.260209,17&s=13.677951,-89.257963&m=site>
- Gutiérrez, S. (2018). <http://adurelsalvador.blogspot.com>. Recuperado el mayo de 2019, de <http://adurelsalvador.blogspot.com>: <http://adurelsalvador.blogspot.com/2007/11/polgono-solidaridad-tecoluca-san.html>

- Hernández, P. (2014). <https://pedrojhernandez.com>. Recuperado el marzo de 2019, de <https://pedrojhernandez.com: https://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-givoni-2/>
- INSST. (Diciembre de 2015). *Ministerio de Empleo y Seguridad Social*. Obtenido de <https://www.insst.es/>: <https://www.insst.es/documents/94886/96076/Iluminacion+en+el+puesto+de+trabajo/9f9299b8-ec3c-449e-81af-2f178848fd0a>
- ITC. (s/f). <https://itcformacionyconsultoria.com>. Recuperado el enero de 2019, de <https://itcformacionyconsultoria.com: https://itcformacionyconsultoria.com/analisis-energetico-de-edificios-con-autodesk-revit/>
- Kalogirou, S. A. (2009). *Solar Energy Engineering, Processes and Systems*. Elsevier.
- Lampara.es. (2017). <https://www.blog.lamparas.es>. Recuperado el mayo de 2019, de <https://www.blog.lamparas.es: https://www.blog.lamparas.es/temperatura-color-concepto/>
- Ledalmacen. (2016). <https://blog.ledalmacen.com/>. Recuperado el mayo de 2019, de <https://blog.ledalmacen.com/: https://blog.ledalmacen.com/2016/02/08/lux-vs-lumen-en-la-iluminacion-led/>
- LPG. (2015). [www.elsalvador.com](http://www.elsalvador.com). Obtenido de [www.elsalvador.com: www.historico.elsalvador.com](http://www.elsalvador.com: www.historico.elsalvador.com)
- Martín, R. (05 de octubre de 2016). <https://newsbook.es/>. Obtenido de [https://newsbook.es/: https://newsbook.es/reportajes/en\\_portada/la-eficiencia-energetica-proporciona-beneficios-medioambientales-y-economicos-2016100553379.htm](https://newsbook.es/: https://newsbook.es/reportajes/en_portada/la-eficiencia-energetica-proporciona-beneficios-medioambientales-y-economicos-2016100553379.htm)
- Morote Salmeron, J. L. (s.f.). <https://ovacen.com/>. Obtenido de <https://ovacen.com/: https://ovacen.com/programas-para-la-simulacion-energetica-de-edificios/>
- naturalheat. (s.f.). <http://www.naturalheat.com.ec>. Recuperado el mayo de 2019, de <http://www.naturalheat.com.ec: http://www.naturalheat.com.ec/sistema-piscinas/>

- News Soliclíma* . (2019). Recuperado el 29 de 2019 de 2019, de <https://news.soliclima.com/noticias/ahorro-energetico> (2019)
- Omega. (2020). <https://es.omega.com/>. Obtenido de <https://es.omega.com/ppst/OSXL-TG165.html>
- PCE-instruments. (2020). <https://www.pce-instruments.com>. Obtenido de [https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/anemometro-kat\\_70015.htm](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/anemometro-kat_70015.htm)
- Pineda, E. R. (2016). <http://www.redicces.org.sv/>. (e. ITCA, Ed.) Recuperado el mayo de 2019, de <http://www.redicces.org.sv/>: <http://www.redicces.org.sv/jspui/handle/10972/2846>
- Ramírez, G. (2019). *Figuras y Tablas*. Santa Tecla: Elaboración propia.
- Seisarquitectos. (2010). <http://www.seisarquitectos.com/>. Obtenido de <http://www.seisarquitectos.com/>: <http://www.seisarquitectos.com/>
- Tejada, H. (2015). *Recomendaciones Técnicas Elementales para el Diseño Arquitectónico Bioclimático*. San Salvador.
- Teletón. (2019). Obtenido de <https://teleton.org.sv/>
- Teletón. (2020). <https://teleton.org.sv/>. Recuperado el enero de 2020, de <https://teleton.org.sv/>: <https://teleton.org.sv/quienes-somos/>
- usgbc.org. (2019). <https://new.usgbc.org>. Obtenido de <https://new.usgbc.org>: <https://new.usgbc.org/leed>
- Weatherspark. (s.f.). Recuperado el 2019, de <https://weatherspark.com>
- Weatherspark. (2019). Recuperado el 2019, de <https://weatherspark.com>
- Weatherspark. (2019). <https://es.weatherspark.com>. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/12277/Clima-promedio-en-Antiguo-Cuscatlan-El-Salvador-durante-todo-el-a%C3%B1o>