

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE: INGENIERA ELÉCTRICA

“INFLUENCIA DEL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN EN EL
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SISTEMAS DE
CLIMATIZACIÓN APLICADO AL EDIFICIO TORRE SOL DE LA
CIUDAD DE MACHALA”

AUTORA:

JOHANNA CAROLINA VEGA ROJAS

DIRECTOR:

ING. FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE

CUENCA – ECUADOR

ENERO DEL 2015

CERTIFICACIÓN

En facultad de director del trabajo de tesis titulado: “INFLUENCIA DEL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN APLICADO AL EDIFICIO TORRE SOL DE LA CIUDAD DE MACHALA”, desarrollado por: JOHANNA CAROLINA VEGA ROJAS, certifico la aprobación del presente trabajo de tesis, una vez ejecutada la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, Enero de 2015



Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque

DECLARACIÓN

La autora del trabajo de tesis “INFLUENCIA DEL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN APLICADO AL EDIFICIO TORRE SOL DE LA CIUDAD DE MACHALA”, JOHANNA CAROLINA VEGA ROJAS, en virtud de los fundamentos teóricos, científicos, y sus resultados, declara de exclusiva responsabilidad y otorga a la Universidad Politécnica Salesiana la libertad de divulgación de éste documento, únicamente para propósitos académicos o investigativos.

Cuenca, Enero de 2015



JOHANNA CAROLINA VEGA ROJAS

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado:

A mis padres: Eduardo y Narcisa, por haberme brindado la oportunidad de crecer profesionalmente, por inculcarme los mejores valores desde que era pequeña, por enseñarme a luchar y defender mis ideales, por respetar y apoyar cada una de mis decisiones, admiro su amor, fortaleza y entrega por mí.

A mi hermana Pili y a mi hermano Kristian, porque siempre me consintieron y me defendieron ante todo, por ese amor que siempre me han entregado, por inculcarme siempre a ser mejor persona, y hacerme sentir hasta el día de hoy que sigo siendo la pequeña de la casa, ¡los amo!

A mis abuelitos: Segundo y Carmen, ustedes lo son todo en mi vida, mi familia es la mejor debido a ustedes, porque siempre han sido el pilar fundamental para cada uno de nosotros, por cada uno de sus mimos, por todo ese amor que siempre me han brindado, por el apoyo que han sabido brindarme y por estar conmigo en los momentos más especiales.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme privilegiado con unos increíbles padres, y a la vez por permitirme culminar con éxito mis estudios universitarios.

A mi papá y a mi mamá, por su apoyo incondicional, por creer siempre en mí, por cada uno de sus consejos y enseñanzas, por acompañarme y estar siempre cuando más los he necesitado, pero sobretodo, por haberme brindado la oportunidad de estudiar la carrera que tanto anhelaba.

A mi hermana Pili y a mi hermano Kristian, por respaldar siempre mis decisiones ante mis papás, por apoyarme a lo largo de toda mi vida y por cada una de sus muestras de cariño por mí.

A mi tía Martha, por facilitarme varios de los recursos que necesité en el transcurso de este estudio, así como también a su esposo Luis Eduardo, quien siempre estuvo a mi disposición.

A mi primo Sebastián, mi flaco bello gracias por convertirte en mi chofer personal en estos últimos meses, ¡te adoro!

Al ingeniero Flavio Quizhpi, Director de Tesis, por haberme brindado su amistad además de su apoyo desinteresado para que este trabajo sea una realidad.

A la MSc. Ing. Luisa Julia Salazar, quien desde la realización de mi plan de tesis, estuvo apta para asesorarme en cuanto a criterios bioclimáticos y eficiencia energética se refiere.

Al señor Marco Moncayo, administrador del Edificio Torre Sol, por permitirme el ingreso al edificio y brindarme su autorización para realizar las mediciones requeridas en este estudio. De igual manera, a cada uno de los jóvenes de recepción, por ponerse a mis órdenes para la realización de la auditoría energética, ¡gracias por tanta gentileza!

Al señor Edgar Peñafiel, encargado de la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala, por facilitarme los registros de las variables climáticas de la ciudad.

Al ingeniero Hernán Quito, por su asesoría en el análisis del costo beneficio de los sistemas propuestos en este estudio.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	V
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DISEÑO BIOCLIMÁTICO.....	3
1.1. PRINCIPIOS DEL DISEÑO BIOCLIMÁTICO	3
1.1.1. Concepto de Diseño Bioclimático.....	4
1.1.2. Objetivos del diseño bioclimático en edificios	5
1.1.3. Diseño bioclimático de edificios	6
1.1.4. El diseño bioclimático sustentable	7
1.1.5. El diseño bioclimático como método	8
1.1.6. Factores del diseño bioclimático	8
1.1.7. Conceptos referentes al diseño bioclimático	9
1.2. VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO	14
1.2.1. Variables Climáticas	15
1.2.2. Variables climáticas de Machala	19
1.2.3. Selección de variables climáticas	20
1.2.4. Clima de la ciudad de Machala.....	21
1.3. CRITERIOS DE MASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA	22
1.3.1. Ahorro energético por criterios bioclimáticos	23
1.3.2. Ventajas de aplicar el criterio bioclimático	23

CAPÍTULO II

2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN	25
2.1. AISLAMIENTO TÉRMICO	25
2.1.1. Muros	26
2.1.2. Ventanas.....	27

2.1.3.	Paredes	29
2.1.4.	Pisos	31
2.2.	CONSUMO DE AIRE ACONDICIONADO	32
2.2.1.	Funcionamiento del aire acondicionado.....	32
2.2.2.	Tipos de aires acondicionados.....	33
2.3.	SISTEMAS EFICIENTES DE CLIMATIZACIÓN.....	36
2.3.1.	Aires acondicionados inteligentes	37
2.3.2.	Ventilación natural	39
2.3.3.	Tipos de ventilación aplicables para la ciudad de Machala	40

CAPÍTULO III

3.	PROPUESTA DE DISEÑO	43
3.1.	MARCO NORMATIVO	43
3.1.1.	Normativas para el ahorro energético de edificios.....	43
3.2.	RENDIMIENTO ENERGÉTICO	48
3.2.1.	Eficiencia energética	48
3.2.2.	Eficiencia energética en edificios	49
3.3.	COSTO BENEFICIO DEL DISEÑO BIOCLIMÁTICO	50

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DEL EDIFICIO TORRE SOL.....	56
4.1.	VALORACIÓN TERMOGRÁFICA	56
4.1.1.	La termografía.....	56
4.1.2.	Aplicaciones de la termografía.....	57
4.1.3.	Cámara termográfica	57
4.1.4.	Modelo de cámara empleado	58
4.1.5.	Mediciones obtenidas	59
4.1.6.	Propuestas para optimizar el sistema de climatización	64
4.2.	AUDITORIA ENERGÉTICA	67
4.2.1.	Calidad de energía	67
4.2.2.	Concepto de Auditoría Energética	67
4.2.3.	Planificación de la auditoría energética	68
4.2.4.	Equipos y herramientas para una auditoría energética	69

4.2.5. Tratamiento de la información	73
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
4.3.1. Análisis de Facturas de Consumo Energético	73
4.3.2. Análisis de Mediciones de Agosto	75
4.3.3. Análisis de Mediciones de Octubre.....	83
4.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
4.4.1. CONCLUSIONES.....	93
4.4.2. RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXOS	103
ANEXO 1	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Viviendas semienterradas [1]	3
Figura 2. Principales factores y parámetros que afectan el confort térmico [1]	10
Figura 3. Rosa de los vientos [23]	19
Figura 4. Mapa geográfico de la provincia de El Oro [26]	21
Figura 5. Esquema de doble fachada ventilada [38]	31
Figura 6. Funcionamiento del aire acondicionado [40]	33
Figura 7. Equipo tipo split [40].....	34
Figura 8. Equipo multi-split [41]	34
Figura 9. Equipo tipo ventana [40]	35
Figura 10. Equipo fancoil [41].....	36
Figura 11. Funcionamiento de aire acondicionado Etherea [44]	38
Figura 12. Ventilación cruzada: a) distinta dimensión, b) distinta altura [6].....	41
Figura 13. Chimenea de viento: a) efecto de inducción, b) efecto de succión [6]	42
Figura 14. Cámara termográfica Ti25 [51]	59
Figura 15. Puntos calientes de interruptor termomagnético	60
Figura 16. Puntos calientes de breakers de los circuitos secundarios	60
Figura 17. Comportamiento térmico de las barras	61
Figura 18. Vista lateral izquierda del edificio Torre Sol.....	62
Figura 19. Vista lateral derecha del edificio Torre Sol	62
Figura 20. Vista posterior del edificio Torre Sol	63
Figura 21. Vista frontal del edificio Torre Sol.....	63
Figura 22. Muros verdes [37].....	64
Figura 23. Implementación de jardín vertical [6]	65
Figura 24. Sistema de persianas [38]	66
Figura 25. Instalación del analizador de redes.....	71
Figura 26. Historial de consumo del edificio Torre Sol.....	74

Figura 27. Voltaje del sistema	76
Figura 28. Corriente del sistema	77
Figura 29. Potencia del sistema	78
Figura 30. Frecuencia del sistema.....	79
Figura 31. Factor de potencia del sistema.....	80
Figura 32. Evolución temporal de armónicos de voltaje	81
Figura 33. Evolución temporal de armónicos de corriente	82
Figura 34. Índice P_{st} del Flicker del sistema	83
Figura 35. Voltaje del sistema	84
Figura 36. Corriente del sistema	86
Figura 37. Potencia del sistema	87
Figura 38. Frecuencia del sistema.....	88
Figura 39. Factor de potencia del sistema.....	89
Figura 40. Evolución temporal de armónicos	90
Figura 41. Evolución temporal de armónicos de corriente	91
Figura 42. Índice P_{st} del Flicker del sistema	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Humedad relativa permisible en función de la temperatura [1].....	17
Tabla 2: Clasificación simplificada de la velocidad del viento [22].....	18
Tabla 3: Datos de reflectancia y absorptancia para diferentes materiales [38].....	30
Tabla 4: Clases de eficiencia para sistemas Split [43]	38
Tabla 5: Análisis del sistema de climatización	51
Tabla 6. Parámetros de los sistemas propuestos	51
Tabla 7: Ingresos producidos por la propuesta	52
Tabla 8: Depreciación de los sistemas propuestas.....	53
Tabla 9: Flujo de caja.....	54
Tabla 10: Consumo de energía eléctrica del edificio Torre Sol.....	74
Tabla 11: Valores del registro de tensiones	76
Tabla 12: Valores del registro de corriente.....	78
Tabla 13: Valores del registro de potencia	79
Tabla 14: Valores del registro del factor de potencia	80
Tabla 15: Valores del registro de tensiones	85
Tabla 16: Valores del registro de corriente.....	86
Tabla 17: Valores del registro de potencia	87
Tabla 18: Valores del registro del factor de potencia	89

INTRODUCCIÓN

El diseño bioclimático es una técnica desarrollada por profesionales en el ámbito de la arquitectura que con el paso del tiempo ha llegado a tomar lugar también en el campo de la ingeniería eléctrica debido a que el diseño de edificaciones bajo criterios bioclimáticos, está orientado a la optimización de eficiencia energética.

La eficiencia energética considera una serie de parámetros, dentro de ellos, el de mayor relevancia es el de consumir únicamente la energía necesaria para obtener el confort térmico del edificio para este caso. Es por ello que en este estudio se pretende proponer alternativas para optimizar la climatización del edificio, sin que se vea afectado el consumo eléctrico de energía, sino más bien con sistemas y nuevos hábitos que están al alcance de cada uno de los habitantes del mismo; logrando un ahorro de energía lo que por consiguiente genera un ahorro económico.

El presente estudio, se realizó en el Edificio Torre Sol, de la ciudad de Machala; el cual es de tipo residencial y se encuentra habitado desde hace aproximadamente 2 años atrás. La necesidad de realizar el estudio de la influencia del diseño de un edificio en el consumo de energía eléctrica por sistemas de climatización, se originó debido a que el único método para climatizar los ambientes dentro de un edificio de la ciudad de Machala, comúnmente es a través de los equipos de aire acondicionado, el mismo que consume cantidades elevadas de energía eléctrica, lo cual lo convierte en un sistema poco eficiente energéticamente, además de que proporcionalmente aporta a la contaminación ambiental. Es por esto que previo a la construcción de edificaciones se debe considerar el diseño bioclimático, el cual incluye estrategias de adaptación del edificio con el medio ambiente, considerando parámetros como las variables climáticas de la ciudad, forma, orientación, aislamiento térmico y ubicación del inmueble; los cuales garantizan sistemas naturales de climatización para cada ambiente del edificio, con el principal objetivo de alcanzar el ahorro energético.

Para el estudio planteado se consideró indispensable la realización de una auditoría energética en el edificio, con el objetivo de detectar posibles fallas en el comportamiento energético del mismo; las cuales pueden deberse al mal manejo de los equipos de aire

acondicionado. El análisis de los datos obtenidos a través de las mediciones efectuadas se expone en los capítulos 3 y 4; en los que también se describen las propuestas de solución a los problemas detectados, considerando estrategias bioclimáticas que se resumen en el aislamiento térmico y ventilación natural para el edificio, que a la vez representan un gran ahorro económico para los habitantes del mismo.

CAPÍTULO I

1. DISEÑO BIOCLIMÁTICO

1.1. PRINCIPIOS DEL DISEÑO BIOCLIMÁTICO

El concepto de diseño bioclimático nace desde tiempos muy antiguos, en donde el hombre conjuntamente fue evolucionando con sus viviendas; es decir con el paso del tiempo experimentó que conforme variaba el clima y la época del año sus refugios debían cambiar. Esto lo obligó a mejorar y a escoger otro tipo de materiales para diseñar sus refugios. Aunque en sus inicios el hombre simplemente se adaptaba al medio en el que habitaba sin construir refugios, con el paso de los años habitaron las cavernas aproximadamente entre los 40.000 y 100.000 años atrás; en donde lograron protegerse del invierno, mientras que en verano alternaban el uso de tiendas para las cuales ya consideraban los vientos predominantes para la ubicación de las mismas. El siguiente paso a la evolución de la vivienda fue alrededor del año 30.000 AC, cuando el hombre se convirtió en un ser más sedentario, es aquí cuando empieza a construir sus primeros refugios considerando al fuego como un sistema de confort térmico. En esta época el hombre había desarrollado ya sus conocimientos sobre el clima, es por esto que antes de hacer su refugio analizaba la ubicación en base a: dirección del viento, orientación solar, lluvia (variables bioclimáticas).



Figura 1. Viviendas semienterradas [1]

Poco a poco fue mejorando su hábitat tal así que pasó de refugios subterráneos y semienterrados como los de la figura 1, a viviendas sobre el suelo (aproximadamente en el año 3.000 AC), las cuales eran cabañas que dependiendo de la ubicación geográfica podían ser ligeras o de gran estructura, para aquella época ya se contaba con materiales más trabajados, es por esto que en tanto avanzaba el tiempo el hombre lograba jugar con los mismos para obtener un gran confort interno. Conforme pasó el tiempo (1.100 AC) el hombre mejoró sus habilidades y junto a ellas sus viviendas para las cuales ya utilizaban rocas, madera, paja, considerando siempre la ventilación y regulación térmica. A partir del año 500 AC a las viviendas se les incorporó el patio con el fin de brindar sombra y disipar el calor en el día, mientras que en la noche acumulaban aire fresco. Luego de toda esta evolución es alrededor del año 500 cuando finalmente se empezó a hacer uso de cemento, agua y arena, garantizando viviendas más rígidas y firmes; tanto así que incluso las viviendas ya eran de varios pisos, combinando los materiales ya mencionados con piedras y es en esta época cuando se dejó a un lado el concepto bioclimático y respeto por el medio ambiente, para pasar a las viviendas modernas y convencionales de hoy en día. [1] [2]

1.1.1. Concepto de Diseño Bioclimático

El diseño bioclimático es aquel que pone a consideración las condiciones climáticas y el entorno, integrando al hombre, la arquitectura y el medio ambiente, con la finalidad de reducir la demanda de energía sin dejar de lado el confort para los usuarios y habitantes del edificio. [1]

El diseño bioclimático es adaptable con el medio ambiente ya que se aprovechan los recursos disponibles del sitio tales como: intensidad del viento, recorrido del sol, condiciones topográficas del terreno y climáticas de la región, integrándolas con estructuras y técnicas actuales para la edificación; es decir, ubicación de ventanales, entradas de luz, muros y techos, para que el mismo pueda variar el comportamiento ambiental dependiendo de la época del año ya sea invierno o verano, garantizando un confort térmico y a su vez eficiencia energética, tanto así que podrían llegar a ser edificios autosustentables. [1] [3]

Pese a que en un inicio los costos pueden ser elevados en comparación con los de un diseño convencional, el ahorro energético se verá reflejado económicamente a corto plazo.

El diseño bioclimático es un concepto que integra: el clima; los recursos naturales tales como el agua, su captación, reutilización y tratamiento; la generación de energía limpia y el buen manejo de la misma; incluye también aspectos de iluminación natural y el uso de aparatos de consumo eficiente; la aplicación de materiales de la región, materiales reciclados y reciclables; así mismo incorpora el diseño del espacio exterior para propiciar un microclima de confort que contribuya a proteger la edificación de las condiciones climáticas. [4]

1.1.2. Objetivos del diseño bioclimático en edificios

Es necesario explicar que los objetivos generales del diseño bioclimático son los mismos a nivel mundial:

- Satisfacer los requerimientos de confort.
- Alcanzar mayores ahorros energéticos.
- Lograr un equilibrio entre el diseño, el entorno y el hombre.

“El objetivo principal de un edificio proyectado y construido con criterios bioclimáticos es el ahorro energético, pudiendo incluso llegar a ser autosuficiente energéticamente” [5]. Para ello se utilizan los recursos naturales del medio de donde se encuentra ubicado el edificio: aprovechamiento de la luz solar, climatización natural, ahorro de agua, aprovechamiento del agua de lluvia, implantación de sistemas para el ahorro energético y otros. [5]

Los objetivos específicos, varían de acuerdo a las características físicas, climáticas, culturales, e incluso las propias del hombre. Para el caso de la relación entre edificación y medio ambiente, en la ciudad de Machala el problema es el clima que se ha vuelto muy variable, aunque generalmente se cuenta con un clima templado, y las variaciones normalmente se dan dependiendo de si es día o noche y a su vez de la época del año.

Para lograr el ahorro energético en la edificación se busca el aprovechamiento de las ganancias solares mediante una orientación adecuada, además del control de las pérdidas de calor mediante una acertada geometría para la edificación y el uso de determinados elementos constructivos. Los materiales deben ser de materia prima lo menos elaborada posible; es decir que estén libres de elementos nocivos tanto para la salud de los habitantes como para el medio ambiente y que a la vez faciliten los intercambios de humedad entre la vivienda y la atmósfera.

Por otra parte, el acondicionamiento de las edificaciones en equilibrio e integración con el medio ambiente y con las energías que pueden obtenerse de él, también es de suma importancia. [1] [5]

1.1.3. Diseño bioclimático de edificios

El diseño bioclimático de un edificio hoy en día es la actividad de mayor eficacia medioambiental y menor costo económico, de todas las que se pueden considerar, al momento de diseñar un edificio sostenible. Asimismo, es la actividad que mayor influencia tiene en la estructura arquitectónica y el diseño del edificio. [6]

El arquitecto es capaz de controlar la luz, el espacio, el color, incluso la percepción espacial de los edificios, con su actividad proyectual. Incluso también puede controlar la temperatura y la humedad en el interior de los edificios que proyecta. [7]

El arquitecto o diseñador puede llegar a conseguir que el edificio por sí mismo se refresque en invierno y mantenga una temperatura cálida en verano. Para lograr esto, se considera desde el estudio preliminar parámetros como la orientación, tipología, estructura, forma, ubicación y región del edificio, los cuales son estrictamente arquitectónicos ya que no se requiere de equipos de mayor realce tecnológico para que al tener el resultado final los costos se vean incrementados. [4]

El nivel de bioclimatismo aplicado a los edificios depende en su totalidad del arquitecto, a sus conocimientos y experiencias logradas a lo largo de su práctica como profesional. Es aquí en donde interfiere el criterio profesional de cada arquitecto para obtener un edificio que proporcione ahorro energético o a su vez

un edificio que tenga un mínimo consumo de energía. Aunque mejor aún, hoy en día también hay arquitectos que proyectan sus edificios para que sean autoregulables en cuanto a parámetros térmicos se refiere; es decir sin necesidad de sistemas de climatización ya sea estos de calefacción o aire acondicionado, al lograr esto se tiene como resultado que el consumo de energía del edificio sea de cero. [7]

Como ejemplo de aquello se puede citar edificios como: “Ramat Eco-House, Green Box, Restaurante Casas del Rio, Sollana Eco-House, Green Box, o Eye of Horus Eco-House” a cargo del arquitecto español Luis de Garrido. [7]

Reiterando, se considera entonces que un edificio bioclimático es aquel que es capaz de por sí mismo autorregularse térmicamente gracias a parámetros ya antes mencionados sin implicar equipos tecnológicos, garantizando la eficiencia energética y la disminución de impacto ambiental.

1.1.4. El diseño bioclimático sustentable

El diseño bioclimático puede ser catalogado como un tipo de diseño sustentable, ya que para esto el requerimiento primordial es minimizar al máximo el impacto ambiental que se tiene al momento de construir un edificio; cumpliendo así con esta característica es indiscutible que el diseño bioclimático no sea sustentable, esto sumado a que dependiendo del profesional encargado del diseño, los edificios en cuestión disminuyan su consumo energético. Como es sabido el consumo de energía no solo afecta económicamente sino también incrementa la contaminación al planeta teniendo como consecuencias los fuertes cambios climáticos dados en estos últimos tiempos. [3]

Al considerar los criterios bioclimáticos el profesional en esta área está forjando nuevas propuestas sustentables, ya que el edificio como tal, podrá generar un confort térmico y de armonía para los usuarios sin necesidad de recurrir a artefactos eléctricos, sino más bien jugando con cada detalle climático (brisas, radiación solar) y su diseño como tal: orientación, muros, paredes, vidrios, etc. Esto nos da como resultado un edificio adaptado al clima, el cual por sí mismo

puede crear un control térmico para cada una de sus instalaciones por lo cual cabe dentro del concepto de sustentabilidad. [3]

1.1.5. El diseño bioclimático como método

Las técnicas del diseño bioclimático son un proceso complicado, ya que se consideran numerosos parámetros para cada una de sus fases. Para lograr un óptimo diseño, la selección de estos parámetros debe prestarse a técnicas previas; es decir que se requiere de análisis, registros, indagaciones y comparaciones de todos los datos obtenidos. [1]

El diseño bioclimático es un diseño de tipo óptimo, lo cual se debe gracias a la experiencia del arquitecto en su profesión y su habilidad para emplear los materiales y el medio en que se construye un edificio, sin necesidad de afectar y arremeter al planeta. [7]

Cabe señalar que el diseño bioclimático como obligación debe ser regionalista, ya que depende de factores como el clima y el entorno de la región en donde se va a construir, esto adaptándolo con el diseño convencional en el cual aparte del estudio ambiental se debe considerar la tecnología idónea para este tipo de edificaciones considerando prioritariamente la comodidad y bienestar tanto para los usuarios como para el medio ambiente. [3]

1.1.6. Factores del diseño bioclimático

Generalmente los factores a considerar para llevar a cabo un diseño bioclimático están directamente relacionados con las condiciones geográficas y ambientales del entorno en donde se va a construir.

El profesional tiene como prioridad y clave primordial al confort, ya sea este físico o psíquico; el primero está relacionado con la temperatura, humedad e iluminación, y el segundo se depende de la funcionalidad del espacio. Ambos indispensables, ya que si faltase alguno, el espacio arquitectónico no garantizaría la armonía estimada, lo que se vería reflejado en un proyecto no viable ni rentable. [5] [7]

Para la realización de un proyecto con estas características, inicialmente es necesario valerse de los factores ambientales del área; entre estos destacan: El terreno: análisis del sitio de emplazamiento, desde el tipo de suelo, topografía, zonas inundables, vegetación, fauna, entre otros aspectos que conforman el medio a intervenir. Dentro del análisis de flora y fauna es de suma importancia considerar las especies en peligro de extinción y /o legalmente protegidas.

El clima: los factores del clima son: latitud, altitud, relieve, distribución de tierra y agua, corrientes marinas, modificaciones al entorno. Los elementos del clima son: temperatura, humedad, precipitación, viento, presión atmosférica, radiación, nubosidad y visibilidad. [6]

Es indispensable realizar un análisis eficiente de estos factores con el fin de avalar cada uno de los proyectos del profesional desde el inicio de sus diseños como tal.

1.1.7. Conceptos referentes al diseño bioclimático

Existen muchos términos que hacen referencia al diseño bioclimático previo a la construcción de edificios, debido a ello en esta sección se describen los conceptos que se han considerado de mayor relevancia para la aplicación de la técnica bioclimática.

Confort térmico

Antes de describir el concepto del confort térmico, es necesario dejar en claro que es de suma importancia su previa consideración para el estudio de un diseño bioclimático ya sea en edificios o viviendas en general, con la finalidad de garantizar un ambiente térmicamente cómodo para sus habitantes.

El confort térmico, hace referencia a las condiciones de armonía del individuo en conjunto con la temperatura y humedad del ambiente en el que se encuentra. Se produce en el momento justo en que el individuo produce la menor cantidad de energía en adaptarse al medio, en otras palabras, es justo cuando su temperatura corporal es igualada a la temperatura ambiente. [8]

El objetivo del confort térmico, es prestar un ambiente placentero al individuo, logrando que éste consiga realizar cualquier actividad sin molestia alguna por la humedad o temperatura del entorno. [8]

Aunque en un principio pueda parecer que depende únicamente de la temperatura ambiente, no es así. Depende de varios factores como: lugar específico (oficinas, restaurantes, parques, bares, dormitorio, etc), vestimenta, actividades, condiciones climáticas (humedad, temperatura, aire, radiación), temperatura e incluso del metabolismo propio del individuo. A continuación en la figura 2, se indican los parámetros que principalmente afectan y relacionan el confort térmico.

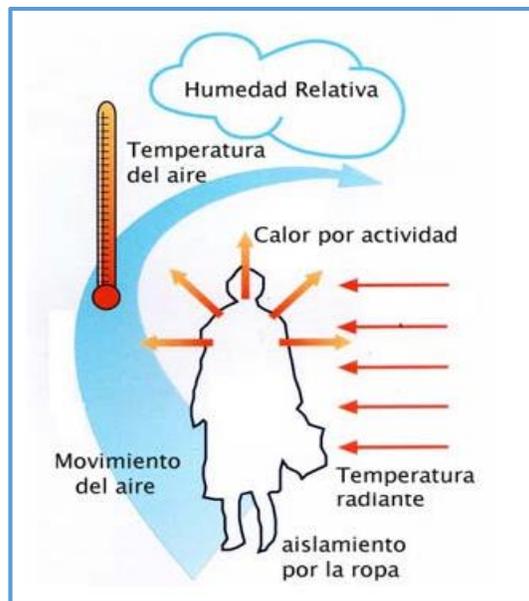


Figura 2. Principales factores y parámetros que afectan el confort térmico [1]

Cada individuo tiene sus propias características térmicas, esto quiere decir que dependiendo de la edad, sexo y físico, logra generar una cantidad determinada de vatios de calor. Dicha cantidad incrementa proporcionalmente con el esfuerzo físico que se requiere para cumplir con las actividades habituales del mismo. [9]

El confort térmico es un factor indispensable también en el ámbito laboral, ya que el individuo logra un óptimo desempeño y cumplimiento de sus tareas en un lugar que le garantice un ambiente placentero. [10]

Microclima

Este término se debe a las variaciones locales del clima, generadas por las características geográficas del entorno; tales como: topografía, altitud, vegetación, ríos e incluso la existencia cercana de otros edificios. Estos factores incrementan la humedad del medio, dañando el confort interno del edificio, ya que afecta al viento y a la radiación que recibe y absorbe el espacio habitable del mismo.

El microclima y sus condiciones, pueden ser alterados también por la ubicación del edificio e incluso por la existencia cercana de otros, debido a que estos parámetros intervienen en la captación de recursos naturales. [11]

Ubicación

La ubicación es un factor que posee gran relevancia dentro de los criterios de diseño bioclimático, ya que determina las condiciones climáticas a las que hay que adaptar el edificio modificando la naturaleza geográfica del entorno y así obtener el confort térmico necesario. Estas condiciones son específicas de cada ciudad y están sujetas a parámetros de su alrededor, como arquitectura de la zona, vegetación y ríos. [12]

Generalmente la ubicación del edificio no está en manos del diseñador, sin embargo lo ideal es que si lo esté, debido a que el profesional puede analizar y detectar los efectos de este factor para optimizar y trabajar en el comportamiento climático del edificio, relacionándolo con su entorno. [13]

Inercia térmica

Dentro de los criterios bioclimáticos, la inercia térmica ocupa también un lugar apreciable, ya que usualmente es requerida para la acumulación de energía interna del edificio.

La inercia térmica es la oposición que provee un cuerpo a modificar su temperatura, impidiéndole reaccionar instantáneamente a los aportes emitidos por alguna fuente de calor. Este parámetro delimita la cantidad de calor que puede almacenar un cuerpo y la rapidez con la que absorbe la temperatura del ambiente para dispersarla internamente del edificio. [14]

La acumulación térmica para diferentes tipos de estructuras arquitectónicas es primordial si se quiere lograr el nivel óptimo de confort térmico. Un edificio con poca inercia térmica responde rápidamente a la radiación solar, es así que en el transcurso del día aportará calor, mientras que en la noche lo enfriará. Sin embargo cuando se cuenta con una gran inercia térmica, la radiación solar no induce un cambio brusco de temperatura en el interior del edificio, debido a que el calor se almacena en las estructuras del mismo y se ve liberado de manera continua durante el día e incluso periódicamente en la noche. [14]

“Un material es capaz de almacenar energía dependiendo de su masa, densidad, calor específico y coeficiente de conductividad térmica” [15]. Dentro del desglose del tipo de materiales que garantizan grandes niveles de inercia térmica, destacan entre los más importantes: adobe, agua, barro, hormigón, tierra, piedras y rocas. [15]

Como se puede percibir, estos materiales no son manufacturados, se encuentran en el medio ambiente y siendo recursos naturales no suman aporte de contaminación al mismo, sino que más bien suman y avalan el principio del diseño bioclimático.

Las grandes estructuras como muros, cerramientos, sótanos; son estructuras que mayor inercia térmica prestan a un edificio, éste absorbe toda la cantidad de energía producida por la radiación y la disipa en el transcurso del día y noche, aportando una temperatura confortable y estable para quienes se encuentren en las instalaciones internas del edificio. [14]

Forma

La forma del edificio establece la relación que hay entre el ambiente externo con el mismo. Este criterio considera parámetros como la superficie, aislamiento, superficie, cerramientos, cubiertas, y tejados; los cuales se emplean como filtros tanto para los vientos como para la radiación solar. [12]

El profesional en esta área es capaz de elegir cada tipo de material y sistemas constructivos dependiendo de la situación geográfica y climatológica de la zona en la que se construirá un edificio.

Orientación

La orientación hace referencia específicamente a parámetros térmicos que pueden ser captados del entorno para que repercutan en gran magnitud al edificio aportando criterios bioclimáticos, estos parámetros pueden ser la captación solar y los vientos predominantes; sobre todo la primera, ya que la energía transmitida por la radiación solar se acumula en el edificio y presta un ambiente cálido en época de verano. Para esto previamente es necesario obtener datos de radiación y de esta manera valorar las zonas de aprovechamiento según la épocas del año y prevenir un sobrecalentamiento interno. [12]

Captación solar

Considerando criterios bioclimáticos, el edificio debe ser el único sistema existente para la captación solar. Esto se logra mediante el diseño propio y la ubicación exacta de estructuras aptas, jugando con los elementos constructivos que las conforman, sin necesidad de emplear materiales mecánicos. [16]

Este concepto hace referencia a la cantidad de radiación absorbida por los materiales del exterior e interior del edificio, la cual varía según: las condiciones climáticas, estación del año, latitud del medio en el que se localice y por parámetros físicos que componen los materiales del mismo. [13]

La captación solar se acumula en paredes, muros y pisos del edificio, lo cual se vuelve un sistema óptimo para el confort interno dado a que permite disponer de ella en el momento justo en que la captación no es posible, ya sea por el periodo nocturno u otros factores aliados al clima. La energía absorbida por la captación solar se distribuye gradualmente alrededor de cada una de las instalaciones habitables del edificio, garantizando así un ambiente cálido en épocas de verano, que es cuando la temperatura disminuye. Sin embargo esto se torna un problema cuando empieza el invierno, debido a que en esta estación se registran elevadas temperaturas. [13]

La clasificación de los sistemas de captación solar se da en función al material y a los elementos constructivos del edificio que a la vez son utilizados para absorber la energía proveniente de la radiación. [17]

Captación Directa

Este sistema de captación es el más óptimo y elemental, debido a que se aprovecha la radiación directa que atraviesa las zonas acristaladas, llegando a lugares donde incide como paredes, pisos y muebles del espacio habitable. Para las zonas acristaladas se utilizan elementos como ventanas, ventanales, tragaluces; ya sean de vidrio u otro material de tipo traslúcido. [17]

La radiación captada consigue almacenarse en lugares anteriormente citados, transformándose en energía que será distribuida gradualmente tanto en espacio como tiempo.

Captación Semidirecta

Este sistema maneja un espacio intermedio entre el ambiente interno y externo del edificio a climatizar. Es gracias a este espacio que el edificio gana una mayor inercia térmica y la energía que se acumula puede ser utilizada según cuando se la requiera a distintas horas del día. [17]

Captación Indirecta

Este tipo de captación emplea un elemento constructivo entre el acristalamiento y el interior del edificio, para almacenar la energía emitida por la radiación. Este elemento de almacenamiento bien puede ser una pared o techo, dependiendo de sus propiedades constructivas. [17]

Este sistema es menos óptimo que el de captación directa, debido a que hay una gran diferencia de tiempo entre el lapso que se capta la energía hasta en el que se logra distribuirla por dentro del espacio habitable. [17]

1.2. VARIABLES CLIMÁTICAS EN EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO

Las variables climáticas son imprescindibles de considerar para la optimización y análisis del diseño bioclimático. Los elementos climáticos primordiales de mayor influencia e impacto hacia este tipo de diseños son la temperatura, radiación, humedad y vientos. [10]

Las circunstancias climáticas son los parámetros físicos que definen una región, y la estación en la cual se encuentra en determinada época del año una zona, terreno o ciudad. Estos parámetros dependen a su vez de los criterios descritos en la sección 1.1.7., también se suman el terreno, las propiedades del suelo, la situación geográfica y la contaminación ambiental. [11]

El objetivo de trabajar con las variables climáticas es lograr detectar los puntos claves del desempeño del clima, que puedan alterar el comportamiento térmico interno del edificio; para reducir este problema se recurrirá a jugar con el diseño del mismo.

1.2.1. Variables Climáticas

En esta sección se describen las variables climáticas que se deben considerar dentro del diseño bioclimático tanto para edificaciones como para viviendas. Estas variables climáticas hacen referencia a la humedad relativa, temperatura, radiación solar y vientos del entorno en el que se proyecta la construcción de dichos inmuebles. Un factor relevante, es que la temperatura y la humedad relativa son parámetros que se deben considerar conjuntamente ya que el nivel de temperatura afecta al nivel de la humedad.

1.2.1.1. Humedad Relativa

Esta variable indica la presencia de vapor de agua en la atmósfera y se la expresa en porcentajes. Ocupa un papel muy importante dentro del análisis de diseño bioclimático ya que junto a la temperatura actúa sobre el confort térmico del edificio; el cual para optimizarlo y garantizar constantemente un ambiente confortable a los habitantes, es conveniente integrar técnicas de acondicionamiento para cada una de sus habitaciones. [18]

Los rangos de humedad relativa varían según la estación del año; es decir de invierno a verano, por la topología del edificio e incluso por las actividades que realicen sus ocupantes dentro de cada una de las instalaciones del mismo.

La humedad relativa se presenta en sentido contrario a las variaciones de temperatura; a mayor temperatura, menor humedad relativa existe en el

ambiente. El porcentaje de humedad relativa influye negativamente en la sensación térmica, debido a que si en un ambiente caluroso, los valores de la humedad relativa son altos, impiden que el cuerpo humano pierda calor por evaporación de agua, es decir; por el sudor, pero si son muy bajos, el organismo puede deshidratarse. [1]

1.2.1.2. Radiación Solar

El sol es un factor indispensable en el proceso de climatización del entorno; esto se debe a que la energía que emite en forma de radiación de onda corta es recibida por las capas más lejanas de la atmósfera, las cuales atenúan su impacto a través de absorción o disipación, para que finalmente choquen con la superficie terrestre. [19] [20]

Una parte de esta energía es absorbida y otra revota nuevamente hacia el ambiente, como radiación de onda larga, generándose un balance energético radioactivo para el clima. [19]

Esta variable climática se debe al conjunto de espectros electromagnéticos que se emiten por los rayos del sol. Su magnitud es la irradiancia, la cual expresa la energía por unidad de tiempo y área que alcanza la tierra, su unidad de medida son los w/m^2 . [1]

Como todas las variables climáticas, ésta también tiene su importancia, dado que al incidir sobre las estructuras del edificio aumenta su temperatura actuando de esta manera sobre el consumo energético del edificio, ya que al aportar balance térmico al espacio habitable este consumo se verá reducido.

La radiación que se puede filtrar depende de la energía incidente, inclinación, orientación del edificio, obstáculos ya sean físicos, entre el edificio y la dirección del sol o debidos a la densidad de los vientos. [20]

“Esta radiación solar es distribuida dentro del espectro electromagnético en radiaciones de onda corta (ultravioletas, 125 a 3900 Å), visibles (3800 a 7600 Å) y de onda larga (infrarrojo, 7600 a 0,1 Å); todas ellas influyen de un modo u otro, en la edificación”. [1]

1.2.1.3. Temperatura

La temperatura hace referencia al grado de calor en el ambiente, se la expresa usualmente en grados centígrados o grados Fahrenheit; aunque algunas veces también es expresada en grados kelvin. Depende de factores geográficos del entorno como ríos, altitud, latitud y vegetación. [8] [19] Generalmente se trabaja con las temperaturas mínima, máxima y promedio, al igual que las variables ya detalladas, la temperatura es fundamental dentro del diseño bioclimático porque permite establecer los espacios habitables en los cuales las personas se encuentran confortables térmicamente gracias al previo análisis de esta variable. Para esto no sólo se analiza la temperatura del entorno, sino también la del edificio, sumada a la humedad relativa con el fin de detectar y corregir el rango en el que interfieren al confort y por ende al consumo de demanda energética. [9] [16]

La temperatura conjuntamente con la humedad relativa, dependen de las condiciones climatológicas que acompañen a la estación del año (invierno y verano), es por esto que se prevé utilizar materiales constructivos para garantizar la sensación de confort a los usuarios del edificio. En la tabla 1, se describen los rangos de temperatura máxima y mínima que se pueden alcanzar en función del porcentaje de humedad relativa del ambiente.

Rango de Temperatura (°C)		Humedad Relativa (%)
Mínima	Máxima	
20	25	30
20	24	40 – 50
20	23	60

Tabla 1: Humedad relativa permisible en función de la temperatura [1]

1.2.1.4. Vientos

Los vientos son generados por corrientes de aire que están en el ambiente a diferentes temperaturas [21]. Estas corrientes junto al diseño bioclimático

pueden ser empleadas para temperar naturalmente las zonas habitables del edificio; es por esto su gran importancia.

Esta variable se obtiene mediante registros medidos en estaciones meteorológicas, expresados a través de la rosa de los vientos, en la que se indica la velocidad y dirección de los vientos dominantes. Estos dos últimos parámetros juegan un papel primordial dentro del diseño bioclimático y construcción del edificio, es por eso que su análisis previo es indispensable, ya que las variaciones de temperatura dependen de ambos y de esta manera aportan beneficios o molestias al confort interno según la estación del año, densidad edificatoria y obstáculos naturales. [1]

Velocidad de los Vientos

Usualmente es medida con el anemómetro, aunque a veces sólo se pueda apreciar, en forma aproximada, con la escala de Beaufort, la misma que relaciona la fuerza del viento con ciertos movimientos. La velocidad del viento es considerado un parámetro imprescindible, dado que se lo puede aprovechar para refrescar o calentar el ambiente. Además, que puede ayudar a reducir la humedad y favorecer la ventilación de los espacios del edificio, modificando, con su frecuencia y fuerza, la sensación térmica de las personas. [1]

Tipo	Velocidad
Débiles	Menos de 12 km/h
Medios	De 12 a 30 km/h
Sostenidos	De 30 a 50 km/h
Fuertes	De 50 a 70 km/h
Temporal	De 70 a 90 km/h

Tabla 2: Clasificación simplificada de la velocidad del viento [22]

En la tabla 2 se ilustra la clasificación de los tipos de vientos de acuerdo al criterio de Beaufort.

Dirección de los Vientos

Es la dirección de donde procede el movimiento del aire. Generalmente se emplea una veleta para su medición expresada en grados. Se mide según la rosa de los vientos desde el norte, en sentido de las manecillas del reloj, estimando el sentido del movimiento; se clasifica en ocho tipos: los cuatro puntos cardinales (N, S, E, O) y los cuatro puntos intermedios (NE, SE, NO y SO). [1]

Rosa de los Vientos

La rosa de los vientos, figura 3, es el sistema de representación más frecuente de los tipos de vientos comunes de una región. Consiste en un círculo dividido en ocho partes que determina la orientación de donde vienen los vientos. [1]

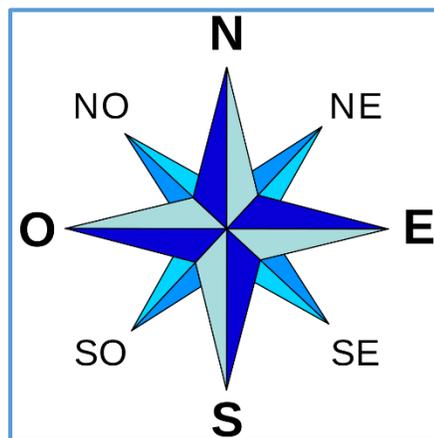


Figura 3. Rosa de los vientos [23]

1.2.2. Variables climáticas de Machala

De igual manera que las variables climáticas generales, las de Machala se resumen en humedad relativa, temperatura, radiación solar y vientos. Para adquirir la citada información fue indispensable acudir a la estación meteorológica más cercana al

edificio Torre Sol, la misma que se encuentra ubicada en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala. Los datos solicitados fueron entregados por el gestor de dicha estación, con el inconveniente de que excluye el registro de mediciones de la radiación solar, la misma que es reemplazada por la medición de heliofanía.

Los registros adquiridos se adjuntan en una tabla de datos en el [ANEXO 1](#).

1.2.3. Selección de variables climáticas

La selección de las variables climáticas indispensables para el óptimo diseño de edificios bajo criterios bioclimáticos, requiere; primeramente del análisis del clima de cada época del año, es decir de las condiciones naturales del entorno debido a invierno o verano. También depende de los factores geográficos de la zona; los cuales afectan e intervienen en el comportamiento de estas variables.

Para que el edificio, constantemente preste un agradable confort térmico, se estima que su comportamiento sea eficaz incluso bajo las condiciones más remotas del proyecto. Las mismas que se pueden dar por elevadas temperaturas, lluvias y vientos incontrolables; que dependen únicamente de la naturaleza propia de la ciudad. [11]

Para la selección de variables, se recurre a la toma de registros de un día típico de verano y un día típico de invierno (días en los que se alcanza los valores extremos), con la finalidad de detectar posibles complicaciones, en las que se pueda ver afectada la construcción y diseño del edificio. [1]

El día de proyecto, considerado para las estaciones más incómodas, es un ciclo de 24 horas que se suele repetir varios días seguidos con las condiciones climáticas probablemente más rigurosas. No se suele considerar los valores extremos anuales ni las efemérides (sucesos notables ocurridos en los últimos años), salvo para prevenir catástrofes (inundaciones, huracanes, heladas) o para garantizar servicios con exigencias rigurosas (laboratorios, hospitales). [3]

El análisis de la variación diaria de las variables climáticas como: radiación solar, humedad relativa, temperatura y vientos; descritas ya en la sección anterior, es

indispensable para garantizar una sensación térmica tolerable por los habitantes, ya que los edificios habitualmente presentan una inercia térmica que equilibra el ambiente, independientemente de la hora del día y de las estaciones climáticas.

1.2.4. Clima de la ciudad de Machala

La ciudad de Machala es la capital de la provincia de El Oro, considerada como la cuarta ciudad económicamente más importante, debido a la existencia del puerto marítimo. [24]

Machala está ubicada en la parte noroccidental de la provincia, al suroeste del país; limita al Norte con el cantón el Guabo, al Sur con el cantón Santa Rosa, al Este con los cantones Pasaje y Santa Rosa, y al Oeste con el Océano Pacífico y Archipiélago de Jambelí. Figura 4. [25]



Figura 4. Mapa geográfico de la provincia de El Oro [26]

El clima depende de factores como altitud, latitud, topografía, suelo, ríos y vegetación. El terreno de Machala se encuentra a tan solo 6msnm, con una topografía plana. Existen depósitos de arcilla cimentados lo cual provoca que el suelo sea desértico y de poca profundidad, es por esto que su vegetación se ve resumida en plantaciones de banano, cacao y café [27]. En el sector hidrográfico de la ciudad, destaca el río Jubones; considerado el más grande de la provincia, “el

cual riega 26.000 hectáreas y aporta el caudal para el consumo urbano de la misma” [25].

El clima de la zona, corresponde al tropical húmedo-seco tipo sabana; conocido simplemente como: clima tropical de sabana [28]. Tanto el clima como el tiempo interfieren en las actividades a realizar por las personas; ambos factores dependen de las condiciones atmosféricas, el clima se obtiene a través de valores predominantes medidos en un periodo de tiempo. [25]

Estaciones Climáticas

El verano, se identifica por suministrar un clima seco y húmedo a la vez, debido a las precipitaciones que dan lugar a ligeras lloviznas. Generalmente está comprendido entre los meses de junio a diciembre. Es la estación fría del año, con temperaturas que fluctúan entre los 23°C y 25°C. [27]

El invierno, se caracteriza por ser la estación lluviosa del año; se da cita en el periodo de los meses de enero a mayo, es la época más cálida del año con una temperatura comprendida entre los 26°C a 34°C. [27]

“La temperatura media anual del aire es de 25.5°C. Los valores extremos de temperatura alcanzan valores entre 17.5°C a 35.8°C”. [27]

En cuanto a la humedad, Machala tiene un elevado índice de evaporación, por lo cual; la humedad relativa que se registra varía en un 70% hasta un 80% [29]. Los valores máximos se registran usualmente en la época de invierno, exactamente en los meses febrero, marzo y abril, mientras que en los meses de diciembre y enero es cuando se registran los valores mínimos. [27]

1.3. CRITERIOS DE MASIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA

En esta sección se pretende incentivar la aplicación del diseño bioclimático, tanto para edificaciones como es el caso del estudio, así como también para viviendas. Es por esto que se desglosa consideraciones importantes como el ahorro energético que se alcanza proporcionalmente con la reducción del impacto ambiental. De la misma manera se describe una serie de ventajas que se logra obtener con la consideración previa de parámetros bioclimáticos descritos en secciones anteriores.

1.3.1. Ahorro energético por criterios bioclimáticos

El diseño de edificios que cuentan con aprovechamiento energético; tal como la implementación y uso de energías renovables en lugar de las convencionales, disminuye en gran medida el costo energético y el esparcimiento de agentes contaminantes del planeta.

La propagación de nuevas normativas y campañas continuas en contra de la contaminación ambiental, están dando oportunidad al crecimiento del ahorro energético. [30]

Se debe considerar que una gran parte de la energía necesaria tanto para edificios como para viviendas, se produce mediante combustibles fósiles, cuyas emisiones de dióxido de carbono contribuyen al calentamiento global, lo cual en función del tiempo puede transformarse en eventos desastrosos para el entorno. [30]

Los principales criterios para alcanzar el ahorro energético del edificio son:

- Implementar diseños eco-eficientes de edificaciones.
- Promover el uso de energías renovables.
- Promover el ahorro energético mediante la implementación de sistemas y materiales eficientes para las instalaciones de cada espacio.
- Emplear únicamente la energía necesaria para ambientar las habitaciones.

Tomando en cuenta que lo indispensable es conseguir el máximo confort para los habitantes.

“En cualquier caso, un edificio cuyo diseño y construcción ha sido mantenido y regulado mediante técnicas bioclimáticas puede alcanzar un ahorro de energía convencional de hasta un 60% sin sobre costo en el precio de la construcción”. [31]

1.3.2. Ventajas de aplicar el criterio bioclimático

La consideración de criterios bioclimáticos para el diseño de edificios principalmente implica ventajas tales como: [32]

- Reducción del consumo energético por sistemas de aire acondicionado e iluminación artificial.
- Reducción en el consumo de agua.
- Brindar espacios aptos de temperatura, luz natural, humedad y ventilación.
- Aportación a la sostenibilidad del entorno ambiental.
- Aplicación de energías renovables.

El diseño bioclimático de edificios, a diferencia del diseño convencional considera factores como la forma, orientación, ubicación del terreno, clima del entorno, distribución de espacios y la adaptación del edificio al medio en el que se construye sin necesidad de elevar sus costos o afectar la estética del mismo, con la intención de que mediante estos factores el edificio ahorre la mayor cantidad posible de energía; brindando un apropiado nivel de confort a los habitantes [32]. “Cabe destacar la importancia de una buena orientación con acristalamientos al sur, con paredes y suelos de alta inercia y estancias de poco uso al norte: garajes, despensas, etc”. [31]

Los edificios ya existentes se pueden optimizar en base a los criterios bioclimáticos para prestar sistemas eficientes de iluminación y climatización a cada una de sus instalaciones [5]. Al aplicar estos criterios, los beneficios aumentan, estos bien pueden ser: económicos, ambientales e incluso sociales; los económicos son generados gracias al ahorro energético, el cual se ve reflejado en las facturas emitidas mensualmente por consumo de electricidad; los ambientales, que se deben a la reducción de contaminación gracias al empleo de los recursos naturales y energías renovables, así como también por el respeto que se le ha tomado al medio ambiente. Los beneficios sociales están relacionados con la generación de fuentes de trabajo, debido al trabajo en conjunto entre arquitectos, ingenieros y ambientalistas. [33]

En general el diseño bioclimático aporta en un alto porcentaje a la reducción de contaminación ambiental, producida por la puesta en marcha del edificio sin que éste se vea afectado.

CAPÍTULO II

2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

2.1. AISLAMIENTO TÉRMICO

El aislamiento térmico del edificio, cumple un rol importante ya que se ve reflejado en la eficiencia energética; es por esto que depende de los criterios del diseño tanto como de los materiales constructivos que se emplearán para poner en marcha este tipo de edificios.

El edificio Torre Sol de la ciudad de Machala ha sido diseñado bajo criterios convencionales de la arquitectura; en el cual, para su puesta en marcha no se consideró conceptos como los descritos en el capítulo 1, sino únicamente el estudio ambiental; en el que se analizaron parámetros climatológicos de la ciudad independientemente del diseño como tal.

Dentro de las estructuras que prestan aislamiento térmico a un edificio, destacan los tipos de muros gruesos, ya que gracias a su inercia térmica retardan las variaciones de temperatura en cada una de las habitaciones [34]. Es así que para las edificaciones en general de la ciudad de Machala; en época de verano se logrará disminuir la pérdida interna de calor, mientras que para la época de invierno se evita el aporte de calor a las habitaciones.

Para contar con un aislamiento térmico que aporte al consumo eficaz de energía, es indispensable emplear paredes, muros, techos y pisos de materiales que brinden alta resistencia térmica y a la vez actúen como acumuladores de temperatura para cada espacio habitable [34]. De esta manera el consumo de energía eléctrica por aires acondicionados del edificio se verá reducido sin necesidad de afectar el confort térmico de sus habitantes.

Se puede implementar incluso un sistema pasivo de enfriamiento como estrategia de aislamiento térmico, la cual consiste en un jardín o algún tipo de vegetación sobre el techo del edificio a lo que comúnmente se le llama techos verdes [35]. Para el Edificio Torre Sol, esta estrategia sería la más óptima, ya que no interferiría con las actividades de sus habitantes; quienes al contrario, serían beneficiados, sobretodo en época de

invierno que es cuando mayor humedad presta el entorno. Otra estrategia, es optar por colores claros en las paredes; de esta manera se minimiza la absorción de calor en las mismas. [21]

La selección de los materiales, muy aparte de determinar la temperatura interior del edificio mediante el aislamiento térmico, también determina los costos energéticos necesarios para su adecuación ambiental y climatización; considerando la resistencia térmica y capacidad calorífica de cada material. [36]

En resumen, el aislamiento térmico se opone al paso de calor producido por conducción del interior al exterior y de exterior al interior del edificio. [36]

Existen estrategias energéticamente eficientes, relacionadas con los tipos de estructuras para la construcción del edificio. También entran en juego los materiales como vidrios, cristales, maderas, pinturas; en general, materiales que contribuyen a la estética sin dejar de lado lo óptimo.

2.1.1. Muros

Los muros son colectores que almacenan calor y consiguen aislar la humedad del edificio. El objetivo de los muros es captar la radiación solar dependiendo de su ubicación y de los materiales con los que se lo construya; este último factor es relevante, ya que dependiendo de sus características se podrá obtener mayor o menor calor y prolongarlo por periodos aproximados. [37]

Estas estructuras restringen el clima en el interior del edificio respecto al clima del ambiente exterior. Los muros pueden absorber el calor e impedir que el frío penetre, esto se vuelve conveniente en climas que aporten altas temperaturas; pero para el caso de la ciudad de Machala es esencial aumentar su espesor, de esta manera se puede lograr que el calor no se filtre hacia la parte interna de los edificios, garantizando y conservando el ambiente fresco de las habitaciones, sobretodo en época de invierno.

Los muros ideales para la construcción de edificios en la ciudad de Machala, se enlistan a continuación:

Muros con cámara de aire

Consisten en un par de muros con espacio de aire intermedio, lo cual los hace eficientes para lugares en los que hay gran humedad; la misma que circula por el primer muro y es eliminada en el proceso de evaporación.

Muros ventilados

También se le suele llamar aislamiento doble piel, consiste en emplear aislantes térmicos que deben ser colocados en la parte externa del muro. “Los muros pueden estar cubiertos con una piel de césped o de palma tipo palapa, dejando una cámara de aire entre la piel y el muro”. [6]

Muros verdes

Este tipo de muros se implementan externamente sobre la piel del edificio, con la finalidad de proteger y evitar el calentamiento en la fachada producido por la radiación solar. “Un método para elaborar el muro verde consiste en una estructura de acero fijada al muro separada un mínimo de 15 cm para permitir la circulación del aire y evitar que traspase la humedad al muro y posteriormente al interior”. [6]

2.1.2. Ventanas

Son instaladas con el fin de suministrar luz y ventilación natural a cada espacio habitable del edificio. Su desempeño depende de la instalación, la cual para resultados eficaces es ideal realizarla al este u oeste del edificio; algunas veces se estima su instalación en el este, ya que los rayos del sol aportan la purificación del aire. [37]

Las ventanas, ventanales y demás estructuras acristaladas, son consideradas como las estructuras más débiles de las fachadas de los edificios; debido a que en su totalidad son de vidrio, material que presta alta ganancia de calor al no lograr oponerse al paso directo de radiación solar. Esto se torna perjudicial desde el punto de vista energético sobretudo en edificios para el clima de la ciudad de Machala, dado a que la temperatura interna de las habitaciones aumentará y será

indispensable gastar energía a través de los sistemas de aire acondicionado para lograr el confort térmico admisible por sus ocupantes.

Existen estrategias para proteger el edificio del calor producido por la radiación solar tales como: tipo y calidad de los vidrios, toldos, persianas e incluso cortinas; las cuales pueden ser de gran ayuda para lograr el confort térmico deseado sin necesidad de emplear el aire acondicionado.

Para lograr el aislamiento térmico de las ventanas se emplean protectores solares exteriores; este sistema logra reducir considerablemente las ganancias de calor producidas por la radiación solar. Para implementar este tipo de protectores, previamente se debe considerar la orientación y altura de la ventana, así como la latitud en la que se encuentra el edificio. También se suelen emplear protectores en los interiores de las ventanas como por ejemplo las persianas y cortinas, las mismas que al estar expuestas reducen las ganancias de calor ya que se oponen al paso de la radiación hacia el interior de las habitaciones, sin embargo esta técnica presenta dos inconvenientes; el primero es que al oponerse a la radiación, también se están oponiendo al ingreso de luz natural y el segundo es que el aire que está entre el vidrio de la ventana y el protector se calienta, de manera que cuando se acumula se expande cíclicamente por toda la habitación.

Una solución para edificios con fachadas completamente acristaladas es la de emplear la técnica de parasoles solares móviles exteriores, la cual resulta idónea para climas en los que el nivel de radiación solar es alto durante todo el año. Esta técnica presenta mecanismos adaptables a las necesidades de protección solar para ajustarlos según la época del año. En esta técnica interviene el criterio de cada diseñador para la instalación de los parasoles, garantizando que el edificio sea eficiente energéticamente y a la vez no pierda su estética. [38]

Otra estrategia para el aislamiento térmico de las ventanas es la de emplear cristales de alto rendimiento los cuales reducen la cantidad de calor transmitido hacia el interior por las mismas; permitiendo a la vez el alto ingreso de luz natural. Es así como esta técnica es una de las mejores ya que no solo se reduce el consumo de aire acondicionado sino también el consumo de luz artificial aportando de esta manera a la eficiencia energética de edificios. [36] [38]

2.1.3. Paredes

Las paredes son estructuras que están expuestas directamente a la radiación solar, el nivel de exposición incrementa en función de la altura del edificio. Mediante esta exposición se produce calor, que es absorbido por los elementos mates de las paredes. [38]

Los métodos que se emplean para el control de acceso de calor mediante las paredes, dependen de la orientación, materiales constructivos y elementos de protección solar. Por medio de estas consideraciones se logra garantizar un alto nivel térmico producido por sistemas pasivos de acondicionamiento, también se prevé el consumo racional de energía eléctrica mientras se mantenga encendido el aire acondicionado. [38]

Para proteger las paredes exteriores de la radiación solar se utilizan elementos estructurales como balcones, techos, corredores y columnas; que proyectan sombra sobre cada fachada prestando así la protección solar necesaria para evitar que el edificio y sus habitaciones se calienten más de lo estimado. [38]

Los materiales y tonalidades oscuras de las paredes absorben una cantidad de calor considerable, por lo que su revestimiento externo debe producir un alto nivel de reflectancia. Para obtener esto, lo óptimo es emplear pinturas blancas, debido a que estas “reflejan la radiación solar incidente entre un 70% y 80%”. [38]

En la tabla 3, se detallan los porcentajes de reflectancia y absorción en función de los materiales de las paredes.

Para el control de acceso de calor a través de las paredes, aparte de considerar la orientación también se debe tener presente el tipo de acondicionamiento y el horario promedio del uso las habitaciones del edificio.

Una pared de inercia fuerte, caracterizada por elevada resistencia y gran capacidad calorífica, transmitirá la máxima temperatura al interior con un tiempo de retardo de 8 a 10 horas, con una importante amortiguación de la temperatura externa; mientras que una pared de inercia débil, de baja resistencia y poca capacidad calorífica producirá una temperatura interna máxima muy cercana a la temperatura exterior con un desfase de aproximadamente 2 horas. [38]

Material de paredes	Reflectancia (%)	Absortancia (%)
Ladrillo rojo	12	88
Madera lisa	22	80
Concreto	35	65
Hoja de aluminio pulido reflectora	88	12
Pintura negra	5	95
Pintura gris oscura	9	91
Pintura marrón media	16	84
Pintura blanca semi-brillante	43	57
Pintura blanca brillante	75	25

Tabla 3: Datos de reflectancia y absortancia para diferentes materiales [38]

En edificios del tipo residencial, como es el caso del edificio Torre Sol, lo eficaz sería que sus paredes presten una inercia media o inclusive débil, de esta manera no acumularán calor durante el día y así para el periodo nocturno no se traslade la onda de calor mientras sus habitantes están descansando. [38]

Según la calidad y el tipo de vidrio, éste puede permitir el paso o la absorción del calor producido por la radiación solar y a la vez reirradiarlo al interior.

Otra estrategia para disminuir las ganancias de calor por medio de las paredes, es la aplicación de una doble fachada de vidrio ventilada, como se muestra en la figura 5, la cual se enfoca en consumir menor energía por aire acondicionado.

Este tipo de implementación es un sistema pasivo de enfriamiento que “consiste en una fachada doble de vidrios ventilada por la parte inferior y superior; esto permite que flujos convectivos de aire ascendentes se lleven parte del calor reirradiado”. [38]

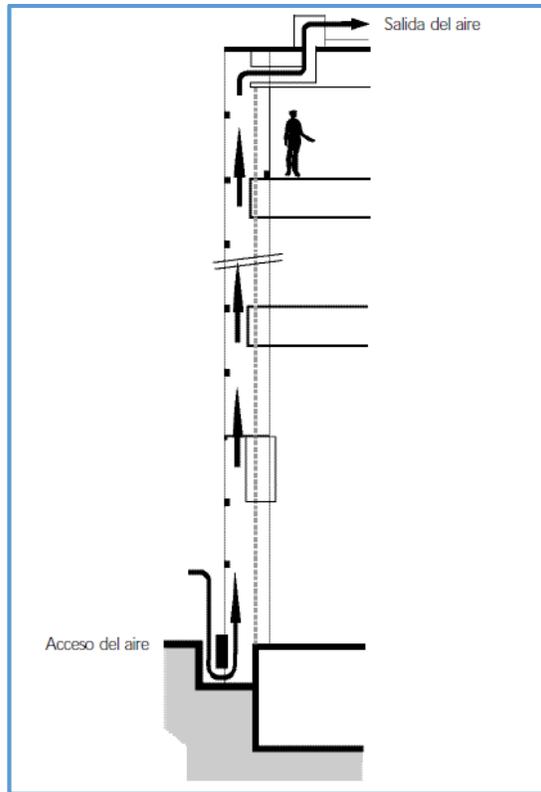


Figura 5. Esquema de doble fachada ventilada [38]

2.1.4. Pisos

Los pisos son superficies que conjuntamente con las estructuras descritas en las secciones anteriores pueden suministrar calor o frío a las habitaciones. Para el caso de temperaturas altas como las que presenta la sierra ecuatoriana, lo idóneo es emplear pisos de madera, pisos flotantes y pisos alfombrados; los cuales absorben el calor que ingresa por medio de paredes y ventanas, distribuyéndolo en el transcurso del día y la noche. Pero para el clima de Machala estas técnicas se tornan un problema debido a que lo que menos se desea es la acumulación de calor, por lo cual se opta por los pisos de cemento (losas de hormigón) sobre los cuales se instala el aislamiento térmico que lo genera materiales como cerámicas y porcelanatos, los mismos que rechazan el calor ingresado a interiores del edificio, garantizando un ambiente fresco en las habitaciones.

2.2. CONSUMO DE AIRE ACONDICIONADO

El aire acondicionado es un sistema empleado para mantener las condiciones de confort en el interior de cada espacio habitable, gracias al control de temperatura y humedad interna, independientemente de las condiciones externas a estos espacios y de la humedad relativa.

Las principales ventajas son: [39]

- Aporta a la circulación de aire limpio.
- Reduce la humedad del ambiente.

Hoy en día el consumo de aire acondicionado es indispensable sobretodo en climas como el de la ciudad de Machala. Más allá de un lujo se ha vuelto una necesidad para quienes residen en edificios y viviendas; en general para todas las personas.

“La unidad de medida de energía con la que comúnmente se caracteriza a los equipos de aire acondicionado es el BTU (British Thermal Unit) y se define como la cantidad de energía que se necesita para aumentar la temperatura de una libra de agua a un grado Fahrenheit.” [40]

El BTU es un factor que se debe calcular previo a la instalación de los aires acondicionados, con el objetivo de garantizar el confort apropiado a sus ocupantes. Es indispensable el correcto cálculo del BTU; de no ser así, el desempeño del sistema se puede alterar, provocando consumos elevados de energía y a la vez provocando el daño completo del equipo.

2.2.1. Funcionamiento del aire acondicionado

Los equipos de aire acondicionado tienen un sensor para captar la temperatura ambiente; a este sensor se lo conoce como termostato el cual provoca la activación del compresor, logrando que el equipo entre en funcionamiento; generando la climatización del espacio habitable hasta alcanzar la temperatura establecida. Al obtener esto, el equipo se detiene hasta que la temperatura empieza a aumentar, consiguiendo que el sensor se active y el proceso nuevamente se repite; a este proceso de control se lo conoce como ON-OFF. Todo equipo consta

principalmente de 4 elementos básicos: compresor, condensador, evaporador y válvula de expansión, para una mejor comprensión ver figura 6.

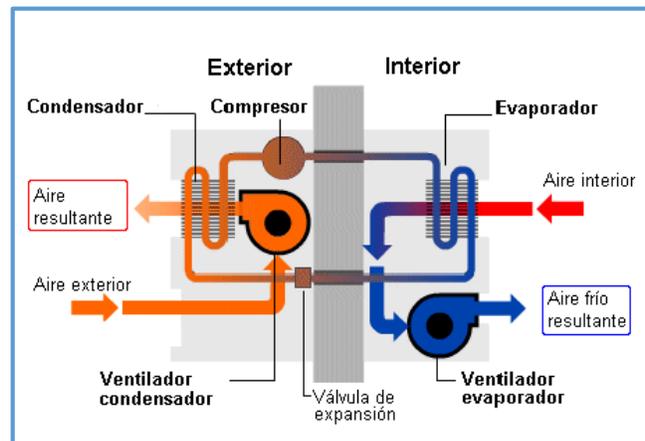


Figura 6. Funcionamiento del aire acondicionado [40]

2.2.2. Tipos de aires acondicionados

En esta sección del capítulo se describen los tipos de aire acondicionado que usualmente se requieren para la instalación del sistema de climatización dentro del sector residencial. Además dicha tipología se ha simplificado también en función a los equipos de aire acondicionado instalados en el edificio Torre Sol.

Aire acondicionado tipo Split

Son los más requeridos debido a su eficiencia y a su estética. También se los conoce como equipos descentralizados, poseen dos unidades; la primera debe ser instalada en el interior del espacio que se desea climatizar y la segunda en el exterior de las habitaciones. La primera unidad se la conoce como evaporadora, contiene el evaporador, ventilador, filtro de aire y control del sistema; la segunda unidad se la conoce como condensadora, la cual tiene instalado el compresor y condensador, la ilustración de las dos unidades está contenida en la figura 7. Las dos unidades están conectadas eléctricamente entre sí. La separación entre las dos unidades, oscila entre los 10m y 15m dependiendo de la superficie en la que se instale la unidad condensadora, mientras que la tubería por la que fluirá el refrigerante deberá tener un diámetro de 10cm a 15cm. [41]

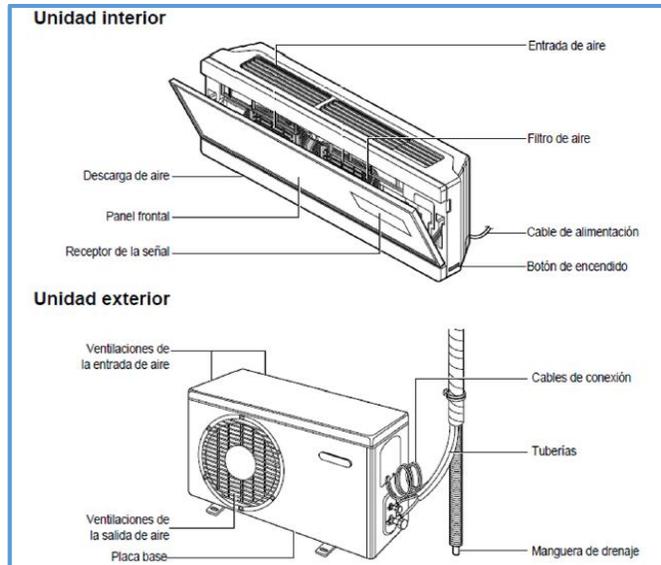


Figura 7. Equipo tipo split [40]

Las principales ventajas que presenta es su bajo consumo energético en comparación con otros equipos y su instalación se adapta a cualquier espacio.



Figura 8. Equipo multi-split [41]

Dentro de esta categoría se hace referencia también al aire acondicionado Multi-Split, el cual se comporta exactamente igual al Split; con la única diferencia que en lugar de una unidad evaporadora puede poseer dos o más unidades, ver figura

8, lo cual lo hace más eficiente ya que con una sola unidad condensadora logra abastecer a las demás unidades.

Aire acondicionado compacto

La instalación de este tipo de aires requiere de una abertura en la pared con las dimensiones del mismo, para insertarlo de manera que la mitad del equipo quede dentro y la otra quede fuera de esta abertura. La parte que contiene las funcionalidades deberá estar dentro del espacio a climatizar, figura 9, mientras que la otra parte deberá estar al exterior del mismo sujeta con soportes de hierro para una mejor fijación. [40]



Figura 9. Equipo tipo ventana [40]

A este equipo también se lo conoce como sistema de ventana, por lo general se lo recomienda únicamente para climatizar espacios pequeños debido a que consume mayor energía que cualquier otro equipo de aire acondicionado; esto sumado a que en su instalación se debe implementar un sistema de drenaje para evacuar el agua producida en el proceso de condensación, lo transforma en un equipo poco eficiente.

A diferencia de los equipos Split, éste posee dos ventiladores internos los que cuales impulsan la circulación del aire refrigerado producido por la unidad evaporadora; mientras que por la unidad condensadora expulsa al exterior el calor que se acumula.

Aire acondicionado central separado tipo Fancoil

Este tipo de aires es un equipo de descarga indirecta, el aire es distribuido a través de ductos que logran expulsarlo en diferentes espacios, al igual que los equipos de tipo Split, cuentan con dos unidades, una evaporadora y una condensadora. La unidad evaporadora requiere de un amplio lugar para su instalación, generalmente se la realiza en el espacio entre el tumbado, sujetándola con estructuras resistentes a la losa o techo [40]. Mientras que la unidad condensadora se debe instalar externamente del edificio, de ser posible en las estructuras laterales en las que el viento sople fuertemente; protegiendo de este modo de fuentes de calor. Ver figura 10.

Estos equipos son apropiados para climatizar varios espacios a la vez, generalmente se instalan en espacios como sala, comedor y cuartos estudio, debido a que propician acondicionamiento para grandes espacios.



Figura 10. Equipo fancoil [41]

2.3. SISTEMAS EFICIENTES DE CLIMATIZACIÓN

Como ya se ha explicado, en la construcción de edificios previamente se debe analizar las características que rodean su entorno climático; características como humedad, temperatura, radiación y vientos. Al ignorar estos parámetros la climatización del edificio se puede tornar un problema y una de las soluciones más rápidas recae en el excesivo consumo energético. [42]

Los sistemas eficientes de climatización deben considerar el impacto ambiental, el costo económico y el consumo energético. Si se trata de eficiencia; este consumo debe ser en lo posible lo más mínimo, por lo cual se prevé que el uso de aire acondicionado sea completamente nulo. Cuanta mayor cantidad de energía se consuma para obtener y estabilizar el confort térmico de un edificio, su sistema de climatización será menos eficiente, provocando que su impacto ambiental aumente tanto como el costo de las facturas emitidas por el consumo de energía eléctrica.

Es conveniente también considerar la orientación, envolvente, y el aislamiento térmico del edificio para garantizar una climatización eficiente independiente de la energía eléctrica [42]. La ventilación es otro parámetro de suma importancia para lograr climatizar eficientemente un edificio, por lo cual su aplicación es indispensable; esta aporta grandes niveles de aire fresco hacia el interior del edificio.

2.3.1. Aires acondicionados inteligentes

En esta sección se hace referencia a los aires acondicionados que presentan mayor eficiencia energética al edificio sin dejar de lado el confort térmico para cada una de las habitaciones.

Dentro de esta categoría se tiene los sistemas Split, multi-split y los inverter; los mismos que aportan un ahorro de energía de hasta un 60% aproximadamente. Se sabe que este tipo de sistemas son los más eficientes principalmente por su descripción en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2495:2012, titulada “Eficiencia Energética de Acondicionadores de Aire sin Ductos. Requisitos”; en la cual se detalla el índice de eficiencia energética (IEE) de estos sistemas, dicho índice se obtiene dividiendo la capacidad que tiene un equipo (W/H) entre los watts que consume el mismo en una hora, entre mayor sea este índice, mayor será la eficiencia de los mismos. Esta clasificación se cita en la tabla 4, cabe resaltar que esta norma excluye a los sistemas multi-split debido a sus características de instalación.

Clases de eficiencia energética	Condición
A	$3,20 < IEE$
B	$3,20 \geq IEE > 3,00$
C	$3,00 \geq IEE < 2,80$
D	$2,80 \geq IEE > 2,60$
E	$2,60 \geq IEE > 2,40$

Tabla 4: Clases de eficiencia para sistemas Split [43]

Las marcas Panasonic y LG han diseñado sistemas inteligentes para el acondicionamiento de espacios residenciales. Explicándolo de mejor manera Panasonic cuenta con la línea Etherea, la cual ha combinado un sistema de sensores que permite optimizar el funcionamiento del aire acondicionado según las condiciones de la habitación o espacio habitable del edificio; mediante la detección de luz solar, detección de presencia y actividad de sus habitantes, lo que lo hace un sistema inteligente al actuar de manera automática a través de la toma de decisiones programadas, ver figura 11, logrando una reducción del consumo eléctrico hasta en un 38%. [44]

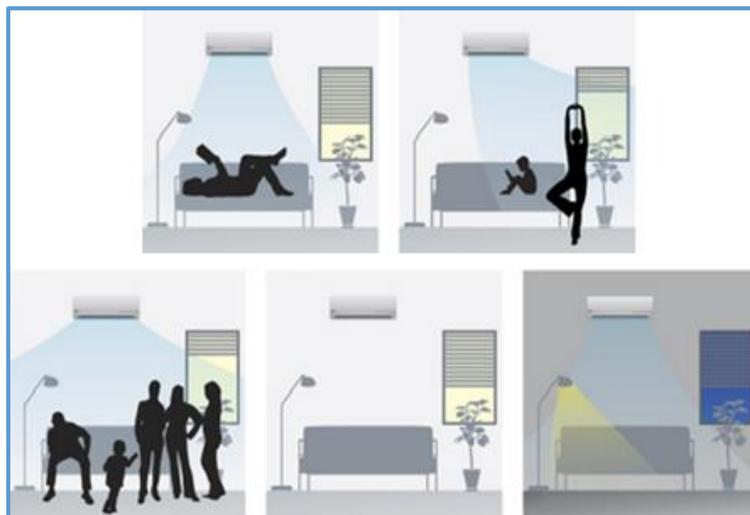


Figura 11. Funcionamiento de aire acondicionado Etherea [44]

La marca LG, sin embargo también está innovando con su nueva línea de aires acondicionados llamada Inverter. Este sistema cuenta con una tecnología que

proporciona la temperatura deseada para el confort térmico de los habitantes en el menor tiempo posible y a la vez permite obtener un 60% de ahorro en el consumo energético. [45]

La tecnología inverter, permite que el equipo se adapte a las necesidades del ambiente en un instante determinado, de manera que únicamente se consuma la energía necesaria para climatizar los espacios habitables. Este sistema consiste en emplear compresores más eficientes para proporcionar la potencia estimada, cuando estos están próximos a alcanzar la temperatura especificada, el equipo disminuye la potencia y entrega menor cantidad de frío; reduciendo los picos de consumo que normalmente producen los sistemas convencionales. De este modo se garantiza una temperatura estable y un bajo consumo energético. [46]

2.3.2. Ventilación natural

La ventilación es el método más empleado para mantener la calidad del aire interior sobretodo en días calurosos, mediante la renovación del aire que ingresa. Con la acumulación de aire externo en las habitaciones se consigue tener un sistema de climatización natural lo cual lo transforma en un sistema eficiente, suministrando constantemente aire fresco a cada espacio habitable del edificio. [47]

Una estrategia para obtener un nivel apropiado de ventilación es analizar la dirección y velocidad de los vientos predominantes de cada mes, esto sumado a la disposición de las aberturas que ventilaran el interior del edificio mediante el ingreso de corrientes de aire. Estas aberturas deberán estar orientadas al Este y Sureste, de este modo también se consigue mejorar el rendimiento del confort térmico del mismo. [6] [36]

Los sistemas de ventilación deben considerarse preliminarmente desde el diseño del edificio o en último de los casos en la renovación del mismo por medio de las estrategias de aislamiento térmico ya analizadas a fin de obtener el ahorro energético estimado.

Las principales ventajas de la ventilación natural son [48]:

- Mayor confort.
- Óptima calidad de aire.
- Máximo ahorro energético.

Un sistema eficiente de ventilación es ideal para climas cálidos y húmedos ya que sólo así se conseguirá un apropiado confort térmico. Las corrientes de aire, se pueden generar fácilmente con “la diferencia de temperatura y presión entre dos espacios con orientaciones opuestas” [34], lo cual aporta mayor ventilación al interior del edificio.

La calidad del aire en el interior del edificio depende de su purificación, es por esto que la circulación del aire exterior es indispensable, siempre y cuando no esté contaminado, de lo contrario es necesario utilizar sistemas de ventilación controlada. En la parte superior de los espacios se acumula el aire caliente y en la baja el frío, por lo que es necesario que recirculen por medio de aperturas. [37]

2.3.3. Tipos de ventilación aplicables para la ciudad de Machala

Ventilación cruzada

Este tipo de ventilación se logra con el flujo del aire a través de distintas aberturas en las fachadas del edificio (paredes o muros), estas aberturas consisten en la instalación de dos ventanas que deberán estar en paredes opuestas [37]. La técnica requiere que en lo posible el tamaño y altura de estas aberturas sea distinto; logrando que la circulación del aire por los interiores del edificio sea favorable para sus ocupantes. Si la abertura por la que ingresa el aire en comparación con la de salida es pequeña, éste ingresará con mayor presión logrando que su salida sea manejable. También al ubicar las aberturas a diferente altura en las paredes o muros del edificio se obtiene una mejor circulación del aire; lo recomendable es que la abertura de salida del aire esté ubicada en la pared opuesta y a una altura superior a la abertura de ingreso. Para una mejor interpretación ver figura 12. [6]

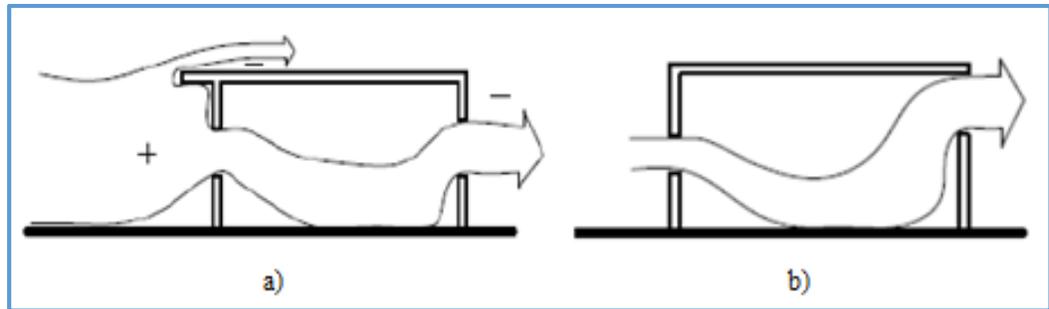


Figura 12. Ventilación cruzada: a) distinta dimensión, b) distinta altura [6]

Ventilación nocturna

La ventilación nocturna es una estrategia que relaciona el intercambio energético producido en el momento en que el aire caliente sale del edificio debido a la diferencia de temperaturas. Para corregir estas diferencias de temperaturas es recomendable acondicionar las cubiertas con aberturas tanto en la parte superior como en la parte inferior de las paredes que están en contacto con el medio externo; de esta manera se consigue generar altas corrientes de aire y consecuentemente un confort térmico para los habitantes, sobre todo en las noches. [1]

Ventilación por chimenea

El efecto chimenea se produce en el instante en que el aire caliente sube y se consigue eliminarlo por un proceso de succión; a lo que se conoce como efecto Venturi, el cual es obtenido por el movimiento del viento a alta velocidad sobre la abertura de la chimenea. [6]

Para climas secos y húmedos como el de Machala, es recomendable optar por esta estrategia para impulsar el viento. La técnica consiste en orientar la abertura de la chimenea en dirección de los vientos dominantes consiguiendo así la inducción de los mismos hacia el interior del edificio.

Otra estrategia de las chimeneas de viento, radica en tener dos aberturas en la misma, con el fin de que el efecto de inducción como el de succión se mezclen; ya que una abertura inducirá el aire fresco mientras que la otra succionará el aire caliente, tal como se ilustra en la figura 13, de esta manera se garantiza una ventilación idónea para las necesidades de los habitantes.

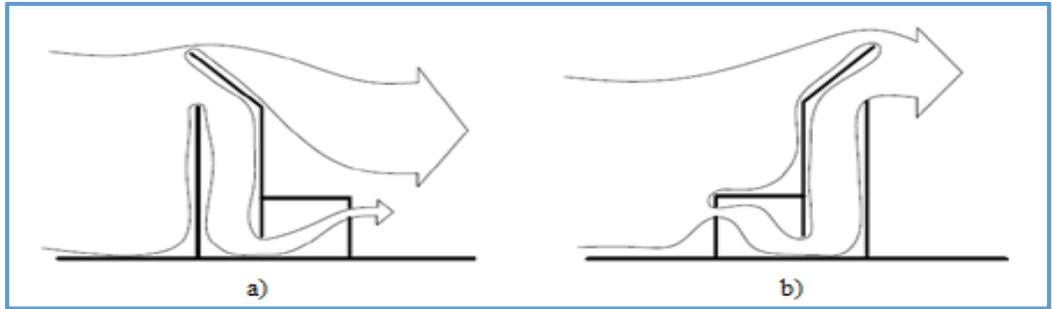


Figura 13. Chimenea de viento: a) efecto de inducción, b) efecto de succión [6]

También se recomienda que en las habitaciones del edificio las ventanas o aberturas, se encuentren ubicadas a la altura de la cama, de este modo el aire circulará sobre los habitantes sin causar molestia como en el caso de una ventilación directa sobre el usuario.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA DE DISEÑO

3.1. MARCO NORMATIVO

La solución a los problemas detectados en el estudio y análisis de la edificación deberá regirse a una serie de normativas como todo proyecto, con la finalidad de obtener los mejores resultados. A nivel nacional no se cuenta con una norma específica para la aplicación de criterios bioclimáticos en un edificio, es por eso que se ha creído conveniente optar por normativas que relacionen el diseño y construcción de edificios orientados al ahorro energético y debido a que ese tipo de normativas a nivel nacional son escasas, se complementa con normativas internacionales que bien pueden ser adaptadas para la zona de estudio.

Para el análisis del edificio Torre Sol se realizaron mediciones y adquisición de datos basados en una auditoría energética, orientada únicamente a la climatización del edificio; para lo cual en este caso se aplicó normativas y regulaciones nacionales y de la misma manera se estimaron normativas de otros países afines con los requerimientos de este tipo de auditorías.

3.1.1. Normativas para el ahorro energético de edificios

NEC-11

La norma ecuatoriana de la construcción decretada el 6 de abril de 2011, presenta un capítulo completamente orientado a la construcción orientada al ahorro energético, titulado “EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR”; la misma que tiene como objetivo principal establecer las especificaciones y características técnicas mínimas a ser tomadas en cuenta en el diseño, construcción, uso y mantenimiento de edificios en el país, reduciendo de esta manera el consumo de energía y recursos necesarios y establecer los mecanismos de control y verificación de las mismas.

La elaboración de esta norma se debió a la necesidad de fomentar la sostenibilidad y eficiencia de edificios mediante su diseño y construcción. Incentivando de esta manera el uso de energías alternativas y la reducción del consumo energético sin que se vea afectado el confort térmico de quienes residen en ellos.

Esta norma al igual que la NOM-020-ENER-2011, es adaptable para edificios en construcción y edificios existentes que necesiten de modificaciones o inclusive de la rehabilitación de su envolvente para mejorar su eficiencia.

La NEC-2011 aparte de considerar estrategias arquitectónicas también incluye parámetros climáticos de la zona como la temperatura, humedad, radiación solar y calidad de los vientos; de esta manera se aproxima a una normativa para el diseño bioclimático de edificaciones; la cual promueve el respeto hacia el medio ambiente.

NTE INEN 2 495:2009

Esta Norma Técnica Ecuatoriana titulada “EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA ACONDICIONADORES DE AIRE DE USO DOMÉSTICO. REQUISITOS”, tiene como objetivo establecer los requisitos de eficiencia energética y las características de la etiqueta informativa en cuanto a la eficiencia energética de los acondicionadores de aire de uso doméstico. Es aplicada a equipos de aire acondicionado tipo ventana y tipo split de uso doméstico, con una capacidad de enfriamiento inferior o igual a 10,54 KW.

NTE INEN 2495:2012

El objetivo de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2495:2012 titulada “EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA ACONDICIONADORES DE AIRE SIN DUCTOS. REQUISITOS”, es establecer la metodología para determinar la clase de eficiencia energética para los acondicionadores de aire sin ductos, de tipo ventana y tipo Split; aplicada para las dos unidades con una capacidad de enfriamiento de hasta 7,03KW.

Esta norma es aplicable para equipos de aire acondicionado tipo multi-split dado a que este sistema posee dos o más unidades evaporadoras.

NOM-020-ENER-2011

La NOM-020-ENER-2011, titulada “Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltante de edificios para uso habitacional” es una norma oficial mexicana cuyo objetivo es limitar la ganancia de calor de los edificios para uso residencial por medio de su envoltante, minimizando el uso de energía eléctrica en los sistemas de aire acondicionado. La norma exige que para limitar la ganancia calorífica se debe establecer condiciones mínimas para su envoltante como el aislamiento térmico ya sea en paredes, pisos, ventanas, techos o fachadas en general; proyectando un edificio mucho más eficiente que uno convencional, de esta manera se aportará a la disminución en la demanda energética.

Esta norma puede ser aplicada en la ciudad de Machala, ya que a nivel nacional no se dispone de normativas que consideren la eficiencia energética partiendo de los criterios y estrategias para la construcción de edificios en el país; y tanto en México como en Machala el confort térmico de los edificios depende en gran medida de la energía eléctrica debido al consumo que generan los equipos de aire acondicionado.

La norma no solo hace referencia a edificios nuevos por construir, sino también se aplica para ampliaciones y modificaciones de edificios ya existentes; lo cual la hace apropiada para el Edificio Torre Sol en caso de que su administrador así lo requiera.

Esta normativa exige también que los edificios deban presentar una etiqueta en la cual proporcione a los usuarios la información de la ganancia de calor máxima permitida por la norma y la ganancia de calor que produce el edificio construido bajo las exigencias ya descritas.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)

Esta norma se aprobó bajo el Real Decreto 314/2006 de la Ley 38/1999 de “Ordenación de la Edificación”; la cual exige que los edificios se proyecten de manera que no aporten al deterioro del medio ambiente y que se obtenga un uso racional de la energía empleada para la climatización de los mismos mediante el aislamiento térmico y ahorro energético; además la Ley requiere de la

actualización del código periódicamente acorde a la evolución de tecnologías y materiales.

El código técnico de la edificación es una norma Española establecida para las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios y cada una de sus instalaciones; para satisfacer los requisitos básicos de habitabilidad, seguridad y de ahorro de energía. Esta norma está relacionada con la construcción bioclimática, por lo que se la puede considerar como equivalente a una normativa para la arquitectura bioclimática.

El CTE, está constituido por dos partes; la primera incluye las condiciones técnicas y administrativas, exigencias básicas y disposiciones generales; la segunda parte incluye los documentos básicos.

Dentro de los documentos básicos cabe el “Documento Básico HE Ahorro de Energía”, el cual está enfocado a la eficiencia energética; en él se incluyen estrategias energéticas pasivas como la orientación u optimización de la envolvente del edificio (descritas en capítulos anteriores); así como también estrategias energéticas activas como la implementación de sistemas inteligentes.

El objetivo del Documento Básico HE, radica en obtener un uso racional de la energía que se consume para habitar un edificio, reduciendo su consumo a porcentajes sostenibles, logrando que una parte de este consumo sea derivado de fuentes alternativas de energía.

3.1.2. Normativas para auditorías energéticas y calidad de energía

Previo a realizar la auditoria energética en el Edificio Torre Sol, era necesario el requerimiento de ciertas normativas que estén enfocadas en este tema; de esta manera el trabajo se torna minimizado ya que se sabría exactamente los parámetros que se deben considerar y las técnicas a aplicar para llevar a cabo las mediciones con el equipo idóneo y de esta manera analizar respectivamente los datos adquiridos. También se ha creído conveniente mencionar normativas para el análisis de calidad de energía, lo que era indispensable debido a que para la auditoria energética se vio necesario el manejo del equipo analizador de calidad de energía.

REGULACION No. CONELEC – 004/01

La regulación 004/01, hace referencia a la calidad del servicio eléctrico de distribución, cuyo objetivo principal es establecer los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las Empresas Distribuidoras. La regulación toma a consideración el análisis de armónicos, perturbaciones, factor de potencia, índices de calidad de distribución, partiendo de conceptos que los definen y en general la calidad de la red de energía eléctrica.

NORMA UNE 216501:2009

La UNE 216501:2009 es una normativa europea, que se titula “Auditorías Energéticas. Requisitos”, la misma que tiene como obligación describir los requisitos que debe tener una auditoría energética para que al realizarla en distintos tipos de entidades pueda ser comparable y describa los puntos clave donde se puede influir para la mejora de la eficiencia energética, la promoción del ahorro energético y disminuir emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta norma se debe aplicar de forma voluntaria en cualquier tipo de organización independientemente de su tamaño y actividad, siempre y cuando utilice energía en cualquiera de sus formas.

Los objetivos finales estimados son:

- Obtener un conocimiento fiable del consumo energético y su costo asociado.
- Identificar y caracterizar los factores que afectan al consumo de energía.
- Detectar y evaluar las distintas oportunidades de ahorro y diversificación de energía y su repercusión en costo energético y de mantenimiento, así como otros beneficios y costos asociados.

La norma incluye el equipo apropiado para llevar a cargo una auditoría energética; así como también las consideraciones que se debe tener para las mediciones, incluyendo las medidas de seguridad que se deben estimar previamente a la

conexión de equipos para el registro de datos del comportamiento energético del edificio en general.

NORMA IEEE 1159-1995

Esta norma titulada “Monitoreo de Calidad de Energía Eléctrica”, tiene como objetivo analizar los datos y monitoreo de fenómenos electromagnéticos que puedan generar problemas en la calidad de energía y a la vez promueve los métodos seguros y aceptables para el monitoreo de sistemas de energía eléctrica y la interpretación de sus resultados. La norma presenta un tutorial sobre posibles disturbios del sistema eléctrico y sus causas más comunes; además de esto la norma detalla también una serie de definiciones relacionadas con los conceptos básicos de monitoreo de calidad de energía.

3.2. RENDIMIENTO ENERGÉTICO

Aunque generalmente el término de rendimiento energético hace referencia al porcentaje de energía obtenida entre la energía consumida, en esta sección se pretende dar a entender el ahorro energético que se puede alcanzar mientras se promueve un empleo de la energía únicamente necesaria para ambientar los espacios habitables; es decir, hacer un uso eficiente de la energía.

3.2.1. Eficiencia energética

La eficiencia energética hace referencia a la obtención de confort con el mínimo de energía requerido, explicándolo de mejor manera la eficiencia energética se logra cuando los ocupantes de un lugar determinado hacen uso de la energía únicamente necesaria para cumplir con sus actividades cotidianas, promoviendo un consumo energético que no afecte al medio ambiente para lo cual es ideal es el uso de energías limpias, generadas por quienes les sea constantemente indispensable la misma. [49]

Otro factor que se relaciona con la eficiencia energética muy aparte del respeto ambiental; es el ahorro económico que resulta de la misma, lo que hace directamente proporcional, entre más eficiente es un sistema, menor será su

consumo de energía y por ende los costos emitidos en la facturación también se verán reducidos.

En el caso de la ciudad de Machala, el clima es el principal inconveniente para promover el ahorro energético, debido a que el uso de sistemas activos enfriadores se torna indispensable para obtener el confort térmico estimado por los usuarios. Estos sistemas activos generalmente son los equipos de aire acondicionado que al ser requeridos regularmente, se recomienda la instalación de un sistema de flujo variable con la finalidad de que mantenga encendido permanentemente el compresor de los mismos a baja velocidad, evitando el encendido y apagado constante (control ON-OFF) y junto a esto se disminuirá el mayor consumo que producen estos equipos. Aunque sin embargo otra de las alternativas para la eficiencia energética es incorporar técnicas innovadoras para la construcción de inmuebles en general.

Sin embargo existe otra alternativa adicional para reducir el consumo de energía, que consiste en incrementar sus precios; de esta manera se pretende que los consumidores utilicen la mínima cantidad de energía de lo contrario su economía se verá afectada. Aunque es muy probable que se pierdan los niveles de confort por lo que los usuarios tendrán la necesidad de emplear los sistemas activos convirtiendo a esta alternativa en una medida poco favorable ya que no se logrará el ahorro energético y a la vez se afectará el crecimiento económico. [50]

3.2.2. Eficiencia energética en edificios

El calentamiento global ha tomado lugar en los últimos tiempos debido a los altos niveles de contaminación producidos por la construcción y habitabilidad de edificios; este último factor es el de mayor impacto ya que para el confort de sus usuarios se requiere indispensablemente del consumo de energía la cual es producida con combustibles fósiles que emanan CO₂ deteriorando el medio ambiente. Esto sumado a los elevados costos energéticos propiciados por los habitantes ha hecho que se vea necesaria la incorporación de estrategias para la optimización de energía en los edificios.

La eficiencia energética en edificios debe integrar características de diseño previas a la construcción del mismo. La recomendación principal es que su diseño considere un aislamiento térmico de tal manera que su consumo energético se vea reducido; este aislamiento térmico requiere de técnicas y estrategias descritas en el capítulo 2, las cuales están orientadas en su totalidad al ahorro energético.

Existen también los edificios inteligentes, los cuales integran los sistemas pasivos (aislamiento térmico) con los sistemas activos (equipos tecnológicos) con el fin de garantizar la mayor eficiencia energética; satisfaciendo los requerimientos de sus ocupantes al habitarlo.

El aislamiento térmico y las consideraciones arquitectónicas como orientación, forma, tamaño y ubicación del edificio cumplen un papel importante para la eficiencia energética ya que se puede lograr un ahorro de hasta un 40 o 50% en consumo de energía [31]. De ser necesaria la instalación de equipos para optimizar la climatización de los edificios, estos deben prestar de igual manera un alto nivel de eficiencia energética para que su aplicación no tenga mayor impacto y el ahorro no se vea afectado.

3.3. COSTO BENEFICIO DEL DISEÑO BIOCLIMÁTICO

En la tabla 5, se detalla el análisis de los costos de inversión para la instalación de los sistemas propuestos para la optimización de los sistemas de climatización orientados a la eficiencia energética. Por ello se estimó también el cálculo del ahorro, tanto en kWh como en dólares, que se pretende alcanzar con dichas propuestas.

El cálculo general se realizó con las horas en las que se ocupan los equipos de aire acondicionado, las cuales se pusieron a consideración partiendo de entrevistas con los ocupantes del edificio.

Para el cálculo del ahorro, se considera la aplicación de las dos propuestas para reducir el consumo energético, esta apreciación se realizó partiendo del porcentaje de consumo de equipos de aire acondicionado en la época de verano, que en general es cuando se produce una gran disminución de consumo de energía eléctrica.

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN				
	Cantidad	Potencia (kW) cada equipo	kW	
Aire central (24KBTU)	116	3.3	382.8	
Aire split (12KBTU)	65	1.4	91	
		POTENCIA TOTAL (kW)	473.8	
Inversión				
	Precio/m2	Cantidad (m2)	Costo (\$)	
Propuesta (jardín vertical)	200	2103	420600	
Propuesta (persianas)	35	1197	41895	
		TOTAL (\$)	462495	
Cálculo General				
Horas de uso	Días al mes	Energía consumida (kWh)	Costo energía (\$/kWh)	Costo (\$)
6	30	68904	0.6598	45462.8592
8	30	21840	0.6139	13407.576
	kWh/mes	90744	Gastos/mes (\$)	58870.4352
	kWh/año	1088928	Gastos/año (\$)	706445.2224
Cálculo del Ahorro				
Horas de uso	Días al mes	Energía ahorrada (kWh)	Costo energía (\$/kWh)	Ahorro horario (\$)
2	30	22968	0.6172	14175.8496
3	30	8190	0.5018	4109.742
	Ahorro mensual (kWh)	59586	Ahorro mensual (\$)	40584.8436
	Ahorro anual (kWh)	715032	Ahorro anual (\$)	487018.1232

Tabla 5: Análisis del sistema de climatización

En la tabla 6, se detalla los principales parámetros para cada propuesta.

	Jardines Verticales	Persianas
Costo (\$/m²)	200	35
Vida útil (años)	8	8
Mantenimiento (\$/mes)	250	10

Tabla 6. Parámetros de los sistemas propuestos

El gasto mensual por consumo de energía eléctrica con los nuevos sistemas, se calcula con la resta del costo mensual sin las propuestas y el ahorro mensual generado por las propuestas:

$$\text{Gastos/mes (\$) - Ahorro mensual (\$) = Gasto Mensual con propuestas (\$)}$$

$$58870.4352 - 40584.8436 = 18285.5916 \$$$

En la tabla 7, se detallan los ingresos que se generarán a partir de la implementación de los sistemas propuestos.

	Con Propuesta	Sin propuesta
Inversión (\$)	462495	0
Gastos (\$)	260 + 18285.5916 = 18545.5916	58870.4352
Ingresos (\$)	58870.4352 - 18545.5916 = 40324.8436	0

Tabla 7: Ingresos producidos por la propuesta

- La inversión hace referencia al costo total de la implementación de los dos sistemas propuestos.
- Los gastos con propuesta hacen referencia al costo del mantenimiento mensual de los nuevos sistemas, más lo que debo pagar por consumo de energía eléctrica mensual, con los sistemas ya implementados.
- Los gastos sin propuesta, se refieren al costo total del consumo de energía eléctrica, sin considerar los sistemas de la propuesta.
- Los ingresos se calcularon con la resta de los gastos sin propuesta y los gastos con propuesta.

Depreciación

Con los resultados obtenidos, se procede al cálculo de la depreciación de los sistemas propuestos, a partir de la ecuación 3.1.

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{valor original} - \text{valor residual}}{\text{vida útil}} \quad (3.1)$$

En la tabla 8, se muestra el cálculo de la depreciación para los dos sistemas propuestos.

Depreciación con inversión para jardines verticales (\$)	Depreciación con inversión para persianas (\$)
$\frac{420600 - 10515}{8}$	$\frac{41895 - 2394}{8}$
51260.625	4937.625

Tabla 8: Depreciación de los sistemas propuestas

A continuación, se realiza el cálculo para la depreciación total de los nuevos sistemas, mediante la suma de los valores calculados en la tabla anterior.

$$\text{Depreciación total} = \text{depreciación1} + \text{depreciación2}$$

$$\text{Depreciación total} = 51260.625 + 4937.625 = 56198.25 \text{ \$/anual}$$

Valor Residual de Inversiones

Con los valores obtenidos hasta esta etapa del cálculo, se procede a calcular el valor residual de inversiones; de la siguiente manera:

$$\text{Valor residual de inversiones} = \text{valor inicial} - (\text{depreciación} * \text{años depreciados})$$

$$\text{Valor residual de inversiones} = 462495 - (56198.25 * 5)$$

$$\text{Valor residual de inversiones} = 462495 - 280991.25 = 181503.75 \text{ \$}$$

Flujo de caja

Para el análisis del flujo de caja, se consideró conveniente una estimación de 5 años, tal como se muestra en la tabla 9.

Año	0	1	2	3	4	5
Inversión (\$)	-462495					
Ingresos (\$)						
Ingresos (\$)		487018.1232	487018.1232	487018.1232	487018.1232	487018.1232
Total (\$)		487018.1232	487018.1232	487018.1232	487018.1232	487018.1232
Egresos (\$)						
Mantenimiento (\$)		3120	3120	3120	3120	3120
Depreciación (\$)		56198.25	56198.25	56198.25	56198.25	56198.25
Total (\$)		59318.25	59318.25	59318.25	59318.25	59318.25
Utilidad (\$)		427699.8732	427699.8732	427699.8732	427699.8732	427699.8732
Impuestos		106924.9683	106924.9683	106924.9683	106924.9683	106924.9683
Depreciación		56198.25	56198.25	56198.25	56198.25	56198.25
Valor Residual de Inversiones (\$)						181503.75
Flujo Neto de Efectivo (\$)	-462495	376973.1549	376973.1549	376973.1549	376973.1549	558476.9049

Tabla 9: Flujo de caja

- Los ingresos, se refieren al ahorro anual, calculado en la tabla 5
- El mantenimiento, hace referencia al costo que se debe invertir anualmente para optimizar la vida útil de los sistemas a implementar.
- La depreciación se obtiene restando la depreciación total del ingreso.
- La utilidad se refiere al valor que obtengo restando los egresos totales de los ingresos totales.

Valor Actual Neto

El VAN obtenido en el análisis económico, presenta una ganancia de \$32295.24, cumpliendo con el primer criterio de factibilidad de la inversión, al ser mayor que cero ya que la ganancia se encuentra por encima de la rentabilidad exigida, considerando de este modo aceptable las propuestas del proyecto

Tasa Interna de Retorno

La TIR, presenta un porcentaje del 79%, lo cual es elevado en comparación con la tasa mínima de rendimiento esperado, que es del 12%, demostrando de esta manera, que se puede recuperar la inversión, obtener una ganancia significativa y garantizar mayor seguridad al invertir en esta propuesta.

Período de recuperación de la inversión

Para comprobar si las propuestas son factibles económicamente, se procede a realizar el cálculo del período de recuperación de la inversión.

$$PRS = \frac{\text{Inversión de Capital}}{\text{Ahorros Anuales Netos}}$$

$$PRS = \frac{462495}{483898.1232} = 0.9557 \text{ años}$$

Con los resultados obtenidos, se tiene que el tiempo de recuperación de la inversión es a partir del primer año, desde la instalación de los sistemas propuestos.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DEL EDIFICIO TORRE SOL

4.1. VALORACIÓN TERMOGRÁFICA

La valoración termográfica hace alusión al análisis de los datos que fueron obtenidos mediante la medición de temperatura del edificio a través de la cámara termográfica. Para esta sección se consideró conveniente detallar una serie de conceptos relacionados con su tema principal e incluso se describe el modelo de la cámara empleado para la toma de mediciones.

4.1.1. La termografía

La termografía hoy en día se ha convertido en una técnica indispensable para la realización de una auditoría energética. Es una técnica que consiste en medir la temperatura de un objeto que se requiere analizar, sin necesidad de tener contacto alguno con él; por medio de radiación infrarroja del espectro electromagnético.

La termografía hace visible la radiación infrarroja de un objeto que es invisible a la percepción del ser humano; permitiendo la obtención precisa de imágenes térmicas de las áreas de los objetos medidos y consecuentemente el registro de los mismos.

Esta técnica permite analizar la emisión de calor de objetos, máquinas y para este caso de edificios; mediante la localización de pérdidas térmicas, fuentes de calor y demandas de energía.

La técnica de la termografía también estudia los niveles de aislamiento y propiedades energéticas de un edificio, permitiendo detectar debilidades de infraestructura, estado del aislamiento causado por su carencia de material aislante, puentes térmicos, problemas de humedad, infiltraciones y corrientes de aire no deseadas por fallos en los cerramientos. [50]

4.1.2. Aplicaciones de la termografía

Las aplicaciones de la termografía infrarroja se incluyen en sectores como la arquitectura, ingeniería, industria energética e incluso en la medicina.

Generalmente la aplicación más requerida de la termografía se da en el campo de la ingeniería para realizar auditorías energéticas; siendo el caso de auditorías energéticas de edificios, esta técnica aporta una verificación adecuada del aislamiento del mismo permitiendo identificar alguna deficiencia en su envoltura así como también fugas de calor e infiltraciones de aire, así como también permite detectar y evaluar las pérdidas de energía por anomalías en las instalaciones eléctricas del edificio, mediante la supervisión del funcionamiento de todos los sistemas. [50]

4.1.3. Cámara termográfica

La cámara termográfica es un equipo que mide el patrón térmico del objeto al que se apunta sin tener contacto con el mismo, registrando la radiación del objeto mientras transforma ese patrón en una imagen visible.

La cámara termográfica es imprescindible para el análisis de la temperatura de cualquier objeto debido a que es capaz de medir la radiación infrarroja emitida por un objeto mediante sus sensores infrarrojos que son los que envían la información al sensor electrónico obteniendo datos que son convertidos en una imagen que se puede visualizar en la pantalla de la misma o en un computador. [51]

La imagen que proporciona la cámara termográfica, utiliza una serie de colores para representar diferentes temperaturas, facilitando de este modo la comprobación visual de las mismas, identificando los puntos calientes; los mismos que indican la existencia de un fallo en el objeto que se analizó.

Generalmente todas las cámaras termográficas cuentan con su propio software para facilitar el análisis y valoración de datos posterior a la captura digital del termograma, aunque esto principalmente depende de su modelo y de sus fabricantes.

El manejo de la cámara termográfica es sencillo ya que se aproxima al de una cámara fotográfica; consiste en enfocar el objeto que se desea analizar y capturar

su imagen térmica para este caso. Para realizar este tipo de capturas, previamente se deben considerar ciertos parámetros que influirán en el análisis termográfico; uno de ellos principalmente es el correcto campo visual.

Las condiciones ambientales (humo, ruido, vibraciones), objetos cercanos al que se desea analizar, las condiciones climatológicas y temperatura ambiente; son unos de los parámetros que se deben tomar en cuenta previo a la captura, ya que pueden obstruir la trayectoria entre el objeto y la óptica de la cámara, impidiendo una medición precisa causada por la temperatura influyente de los parámetros descritos. [50]

4.1.4. Modelo de cámara empleado

La cámara que se empleó para la adquisición de datos del comportamiento térmico del edificio Torre Sol, es la Fluke Ti25; con la que se analizó la envoltura del edificio, sus estructuras, instalaciones del sistema de climatización, así como el análisis del sistema de distribución, lo cual era indispensable para realizar el estudio de eficiencia energética del mismo.

La cámara termográfica Fluke Ti25, ver figura 14, está diseñada para realizar trabajos que otros equipos medidores de temperatura no alcanzan a cumplir debido a que posee una sensibilidad térmica de $0,1^{\circ}\text{C}$ lo que permite visualizar hasta los mínimos detalles del objeto analizado. Su aplicación es idónea para la detección y resolución de problemas identificados en instalaciones eléctricas, equipos electromecánicos, inspección de estructuras de edificios y sistemas de climatización. [52] Las características generales de la cámara termográfica Fluke Ti25 son las siguientes:

- Diseñada y fabricada para resistir caídas de hasta 2m.
- Resistente al agua y polvo.
- Optimizada para emplearse en condiciones exigentes de trabajo.
- Posee un menú de tres botones, de fácil manejo.
- Proporciona imágenes nítidas y detalladas para detectar rápidamente los fallos.



Figura 14. Cámara termográfica Ti25 [52]

Este equipo incluye accesorios como la tarjeta de memoria SD, lector de tarjetas de memoria SD, cargador, maletín y estuche de transporte, también incluye el Software SmartView, el cual es indispensable para finalizar el análisis ya que permite visualizar, comentar, editar y analizar en detalle las imágenes infrarrojas; por lo que todos los equipos de Fluke lo incluyen. Además este software es totalmente compatible y brinda también la opción de generar informes personalizados y profesionales, partiendo de sencillas instrucciones.

4.1.5. Mediciones obtenidas

El objetivo de emplear la cámara termográfica en el transcurso de este estudio, se debe al requerimiento de puntos calientes del edificio Torre Sol, así como también de las barras y conductores del tablero de distribución, para detectar posibles fallas que afecten al comportamiento energético del edificio y de esta manera realizar propuestas de solución para reducir el consumo de energía eléctrica, sin que el confort térmico de los habitantes del edificio se vea afectado.

Primeramente se procede a analizar las imágenes termográficas para cada punto clave del tablero de distribución. Es necesario describir que los resultados que

entrega la cámara termográfica mediante el SmartView, incluye automáticamente la imagen termográfica con su respectiva imagen de luz visible, siendo esto una gran ventaja para el análisis ya que se puede identificar de una manera práctica cada punto medido.

En la figura 15 se muestra el resultado termográfico y de luz visible, de los conductores provenientes del transformador y que están ingresando al interruptor termomagnético principal de 2500A.

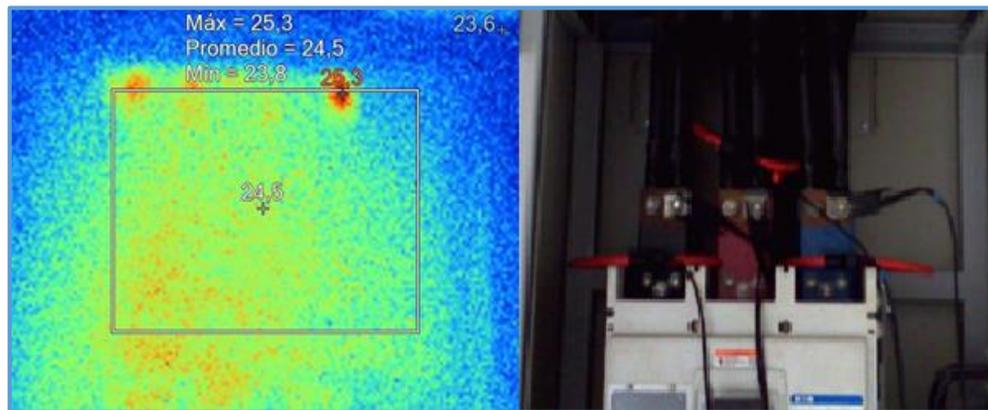


Figura 15. Puntos calientes de interruptor termomagnético

Se puede visualizar también las sondas de voltaje y corriente del analizador de redes que se conectó en este punto. Se verificó que en este punto no existen anomalías, ya que la temperatura tiene valores considerablemente bajos.

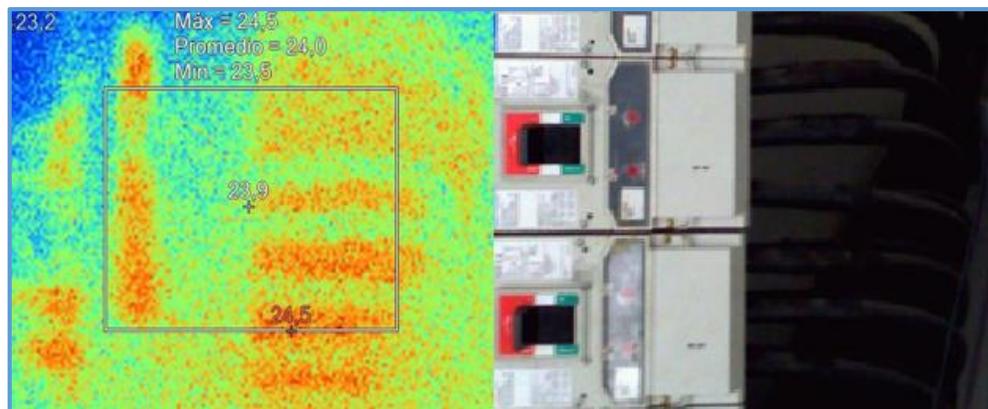


Figura 16. Puntos calientes de breakers de los circuitos secundarios

De igual manera, en la figura 16, se ilustra el comportamiento térmico de los conductores y de los breakers de alimentación a los diferentes circuitos secundarios, mediante el cual se comprueba que el funcionamiento del tablero no genera fallas térmicas.

En la figura 17, se visualizan los puntos calientes de las barras del tablero de alimentación, los cuales mediante la medición de su temperatura se comprueba que no se ven afectados por mal estado de los elementos. Estos puntos calientes de deben al consumo eléctrico de energía el cual está a plena carga, este valor se verificó con el análisis de calidad de energía.

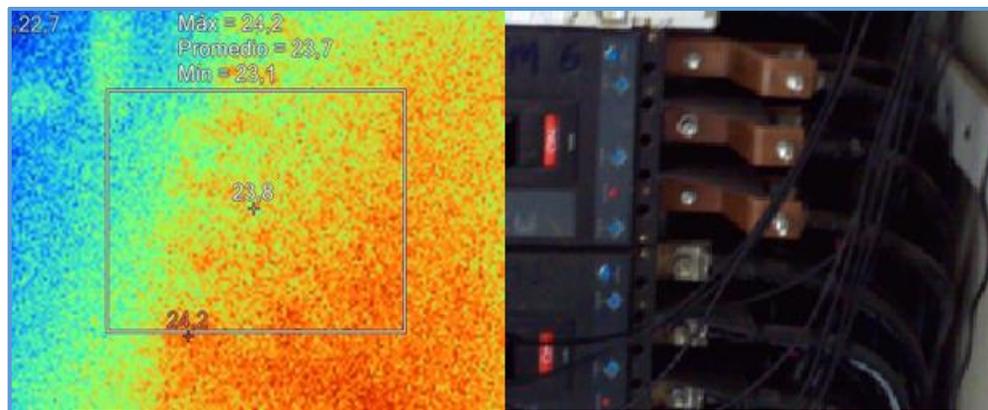


Figura 17. Comportamiento térmico de las barras

En cuanto al análisis térmico del edificio, de la misma manera se requiere la identificación de puntos calientes que se generen en el mismo. Generalmente las anomalías se generan por falta de aislamiento térmico, es por esto que las mediciones se realizaron tanto interna como externamente del edificio, pero los problemas identificados se dieron externamente, por lo cual se consideró únicamente este análisis.

En la figura 18, se ilustra la vista lateral izquierda del edificio, en la imagen termográfica se puede observar que los puntos calientes predominantes del edificio se dan en las ventanas, paredes y envoltorio del edificio, generando ganancias de calor para el interior del edificio. Lo cual se transforma en una desventaja para el comportamiento energético del mismo, ya que estas ganancias exigen el funcionamiento de aires acondicionados.

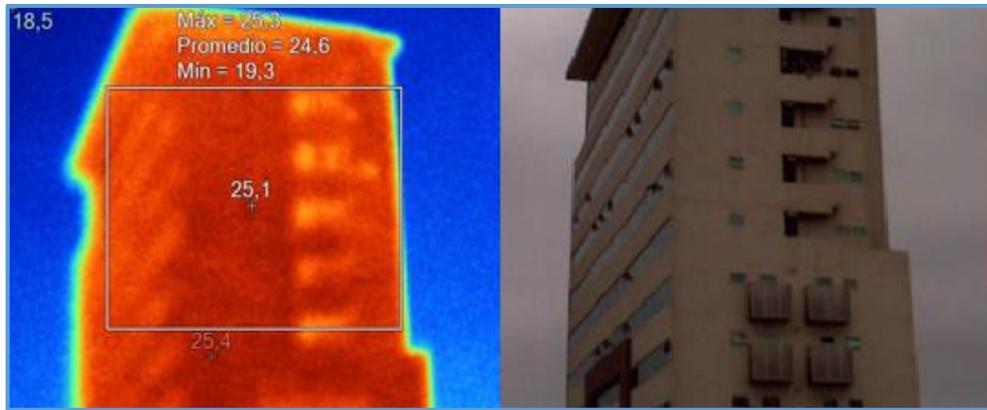


Figura 18. Vista lateral izquierda del edificio Torre Sol

En la figura 19, se comprueba exactamente la misma anomalía que para imagen anterior. Las causas son originadas por la deficiencia de aislamiento térmico en las paredes tanto como en las ventanas, dando lugar a la transferencia de calor de forma conductiva a través de la pared, así como también por las ventanas acristaladas.

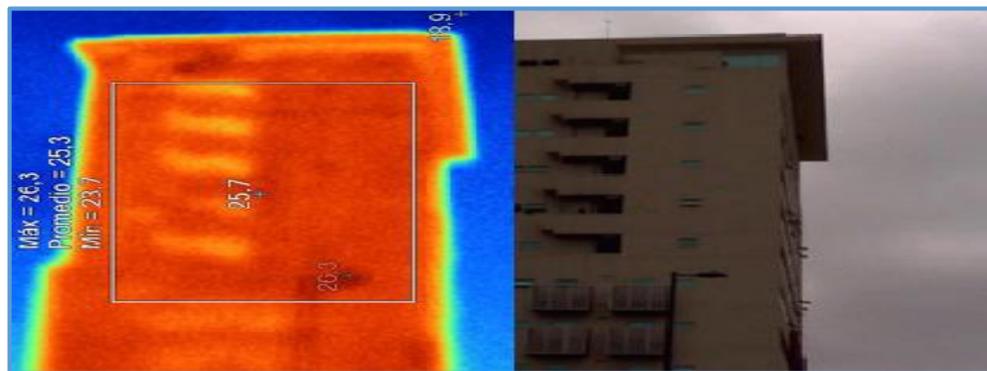


Figura 19. Vista lateral derecha del edificio Torre Sol

A continuación en la figura 20, se ilustra la vista posterior del edificio, en la que se verifica una vez más la falta de aislamiento en la fachada del edificio, los problemas que se identifican se resumen en la absorción de calor de paredes y ventanas, también se logra visualizar los puentes térmicos producidos entre las paredes y las superficies acristaladas.

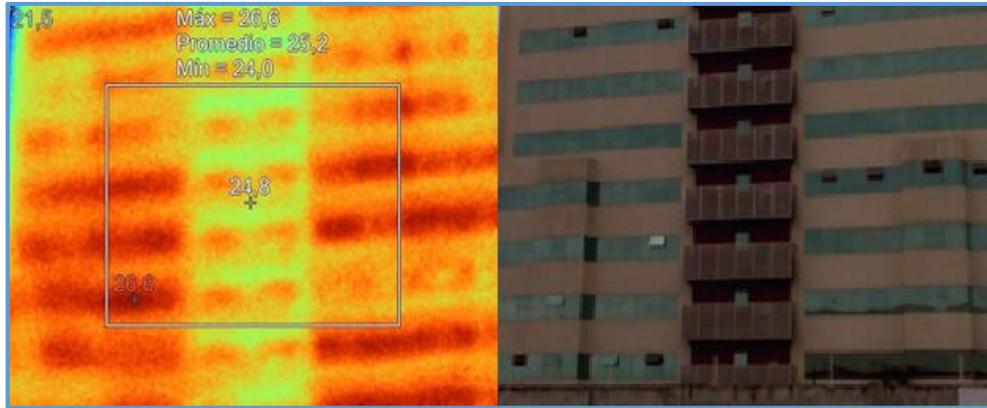


Figura 20. Vista posterior del edificio Torre Sol

Finalmente en la figura 21, se muestra la vista frontal del edificio, en la cual analizando el comportamiento térmico del mismo, se comprueba que alrededor de toda su fachada se presentan anomalías originadas por fugas de aire y ganancias de calor a través de las ventanas, las cuales al ser acristaladas aportan transferencia conductiva de calor.

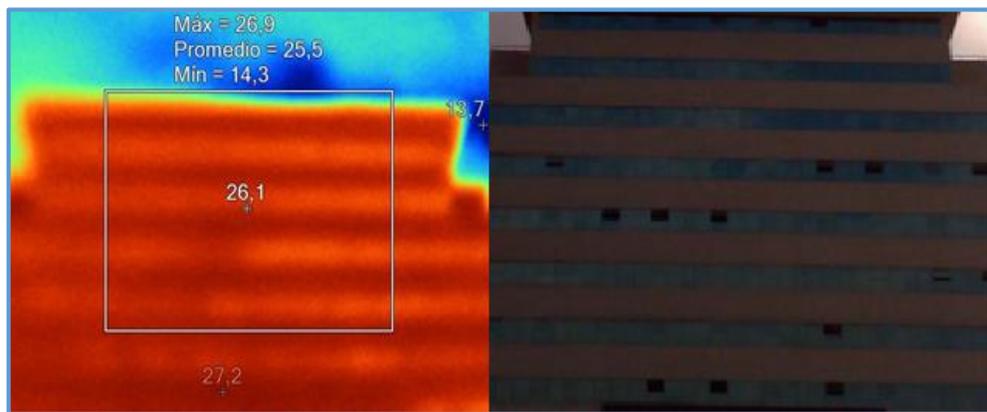


Figura 21. Vista frontal del edificio Torre Sol

Con el análisis térmico de todo el edificio, se comprueba que presenta grandes pérdidas temperatura, producidas en su totalidad por la falta de aislamiento térmico, lo cual repercute significativamente en el consumo energético, debido a que la ganancia de calor producida externamente, provoca filtraciones de calor hacia los espacios interiores del edificio; por lo que es necesario encender los equipos de aire acondicionado para obtener una temperatura de confort apropiada.

4.1.6. Propuestas para optimizar el sistema de climatización

Mediante el análisis térmico del edificio Torres Sol, se logró identificar varias anomalías producidas por la deficiencia de aislamiento térmico en ventanas y paredes. Debido a ello en esta sección se presentan propuestas para corregir dichas anomalías, lo que a la vez garantizará la optimización del sistema de climatización, ya que al rechazar la transferencia de calor sobre el edificio, sus ambientes aportaran una temperatura confortable para los habitantes, sin necesidad de requerir constantemente la puesta en marcha del aire acondicionado.

Mejora del aislamiento térmico de paredes

En cuanto a la falta de aislamiento térmico en las paredes del edificio, se propone corregirlo mediante la implementación de técnicas de vegetación y jardines verticales alrededor del mismo.

La vegetación genera un sombreado y absorbe la radiación solar a través de sus masas de tierra, logrando reducir las ganancias de calor a través de las paredes, aportando también a que el aire ingrese refrescando el ambiente y la temperatura en lugar de aumentar, sea confortable para los habitantes.

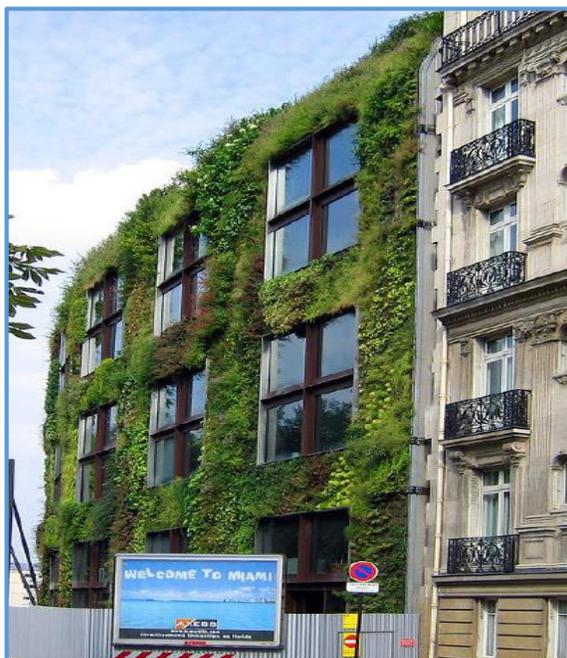


Figura 22. Muros verdes [37]

La técnica del jardín vertical, también conocido como muros o tapices verdes, consiste en el cubrimiento parcial de la superficie del edificio con plantas, ver figura 22. Su implementación requiere de un sistema completo que se lleva a efecto por metro cuadrado.

La instalación del jardín vertical se detalla en la figura 23, consiste en una base metálica fijada a 15cm de la pared del edificio, con el objetivo de garantizar la impermeabilización del edificio y suministrar la circulación del aire, sobre esta base, se instala placas de PVC en la cual se coloca un fieltro especial con bolsillos para el soporte de las plantas; este fieltro generalmente se implementa con tela tipo anaco, debido a su capacidad de soporte ya que el sistema requerirá de 30 plantas como mínimo.

El sistema de riego se implementa con mangueras politubo multiperforadas para lograr un goteo apropiado para el mantenimiento de las plantas, generalmente es instalada en forma de espiral sobre el fieltro que contiene las plantas.



Figura 23. Implementación de jardín vertical [6]

Esta técnica aporta una disminución de hasta 8°C en la temperatura exterior lo cual genera que el aire que ingrese al edificio sea confortable, al mismo tiempo que disminuirá el consumo de energía eléctrica.

Mejora del aislamiento térmico de ventanas

Según el análisis térmico del edificio, se comprobaron pérdidas en el aislamiento, producidas también por los puentes térmicos entre las ventanas y las paredes. Para corregir estas pérdidas, se propone como protector y aislante solar la instalación de persianas en cada una de las ventanas y ventanales del edificio.

Las persianas logran reducir las ganancias de calor hacia los espacios habitables, oponiéndose al paso directo de la radiación solar. La cantidad de calor que alcance a filtrarse debido a la absorción que genera el vidrio, permanecerá entre la ventana y las persianas y en el momento que se requiera abrirlas, el calor acumulado será expulsado hacia el exterior por las corrientes de aire que han ingresado. Al reducir la acumulación de calor en el edificio, se logra mejorar el nivel térmico en los ambientes interiores del mismo, garantizando un óptimo confort para sus ocupantes, sin necesidad de emplear sistemas activos de acondicionamiento.

La instalación de persianas, consiste en disponer previamente de los soportes en la parte superior de la ventana, sobre estos se instala el sistema de rieles en el cual se colocan los mecanismos de accionamientos y las láminas verticales de PVC, adicionalmente por estética se debe instalar una cenefa para cubrimiento de las rieles. En la figura 24, se ilustra como ejemplo un sistema de persianas ya instalado.



Figura 24. Sistema de persianas [38]

4.2. AUDITORIA ENERGÉTICA

Para realizar una auditoría energética, primeramente es necesario saber todo lo que requiere; como tareas previas, equipos, herramientas, planificación, y los criterios para analizar los registros que se obtengan.

En esta sección se detalla cada una de las características relacionadas a la auditoría energética, incluyendo conceptos de calidad de energía, las cuales corresponden al proceso de adquisición de datos realizado en el edificio Torre Sol de la ciudad de Machala.

4.2.1. Calidad de energía

Hoy en día el control y análisis de la calidad de energía se ha convertido en un parámetro indispensable para el óptimo rendimiento de las redes eléctricas en edificios. La eficiencia energética también toma lugar en este análisis ya que la calidad de energía depende de los consumidores quienes pueden llegar a modificar sus características.

Inicialmente la calidad de energía depende de la generadora y del distribuidor ya que se puede ver afectada por factores como las condiciones climáticas y el desgaste y envejecimiento de los conductores.

La calidad de energía es la continuidad y confiabilidad del servicio eléctrico y los fenómenos electromagnéticos que determinan tanto a la fuente como a la carga; es decir a la señal de tensión y a la de corriente, en un tiempo y espacio determinado de la red eléctrica. [53]

Para garantizar la calidad de energía, ésta debe ser suministrada al cliente sin interrupciones, ni perturbaciones.

4.2.2. Concepto de Auditoría Energética

La auditoría energética es una técnica que integra factores técnicos y económicos de un lugar determinado, estos factores afectan directa o indirectamente al consumo energético para este caso del edificio. El objetivo de una auditoría energética es establecer un conjunto de estrategias enfocadas a un consumo

razonable de energía, estas estrategias no deben implicar una disminución en la habitabilidad y confort del edificio sino más bien optimizarlas.

La auditoría energética incluye el enfoque de eficiencia energética, ya que por medio del análisis del consumo y de las instalaciones eléctricas se logra establecer alternativas de ahorro energético y para la mayor durabilidad de los equipos; las cuales estarán al alcance de los habitantes del edificio.

Para la realización de la auditoría energética se requiere del cumplimiento de una serie de tareas predefinidas para garantizar el éxito de la misma, estas tareas son [50]:

1. Planificar la obtención de datos.
2. Analizar los registros obtenidos como características del edificio, sistemas de aire acondicionado y facturas emitidas por el suministro de energía eléctrica.
3. Detección de los puntos débiles energéticamente.
4. Proponer alternativas para la optimización energética, según sus costos.

4.2.3. Planificación de la auditoría energética

Para llevar a efecto la auditoría energética en el edificio Torre Sol, previamente se realizó una visita al mismo, con la finalidad de mantener una entrevista con su administrador en la que se explicaron los objetivos tanto generales como específicos del estudio y los resultados esperados, a la vez se solicitó la aprobación para proceder con la auditoría.

A partir de la aprobación emitida por el administrador del edificio, se notificó también el requerimiento de las facturas emitidas por el suministro eléctrico, estudios ambientales y planos tanto eléctricos como arquitectónicos del mismo. De la misma manera se hizo entrega del detalle de actividades a realizar (mediciones) en el transcurso de la toma de datos dentro del edificio, así como también en sus alrededores, con horarios establecidos; esto como parte del cumplimiento de los permisos autorizados para no interferir con las actividades de sus ocupantes.

Para proceder con la auditoría energética era indispensable de un asistente destinado por el administrador del edificio Torre Sol, con el fin de facilitar la adquisición de datos; permitiendo el acceso a zonas restringidas.

Como parte de la planificación de la auditoría energética, se enlistó una serie de información que fue requerida y recopilada para su desarrollo:

- Datos generales del edificio Torre Sol
- Datos y variables climáticas de la ciudad
- Planos constructivos
- Planos eléctricos
- Esquemas del sistema de climatización
- Inventario de los equipos de aire acondicionado
- Características técnicas de los equipos de aire acondicionado
- Facturas del suministro eléctrico.

4.2.4. Equipos y herramientas para una auditoría energética

Una auditoría energética conlleva una estimación precisa y correcta de los datos obtenidos en el transcurso de las mediciones, tal es el caso de la que se realizó en el edificio Torre sol; de la que posteriormente se expondrá el análisis de todos los datos que fueron registrados. A continuación se detallan los equipos y herramientas que fueron imprescindibles para realizar la auditoría. Es necesario aclarar que aparte de los equipos que se describirán, para adquisición de datos se empleó también la cámara termográfica; lo cual se detalló en la sección 4.1.

4.2.4.1. Material de seguridad

Para proceder con las mediciones se necesita instalar ciertos equipos, lo cual puede significar un peligro para el técnico que realiza la auditoría energética; puesto que los principales riesgos suelen ser de origen eléctrico, aunque también pueden ser propiciados por caídas. Es por esto que se recomienda utilizar elementos apropiado para la protección, previo a la instalación de los equipos, estos elementos se resumen en:

- Casco.
- Guantes dieléctricos;

Los mismos que fueron utilizados para la instalación del equipo medidor de calidad de energía en el Edificio Torre Sol.

4.2.4.2. Analizador de calidad de energía eléctrica FLUKE 435

El analizador de calidad de energía o analizador de redes eléctricas, es un equipo que mide los parámetros eléctricos de una red; tales como: tensión, intensidad, potencia, perturbaciones, factor de potencia, armónicos, entre otros.

Todo analizador de redes eléctricas incluye la opción de registrar y memorizar los datos medidos, a través de la configuración de sus funciones.

Los accesorios que generalmente complementan el equipo analizador de redes eléctricas son:

- Registrador
- Sondas amperométricas
- Sondas voltométricas
- Memoria interna
- Cables USB
- Cargador de batería
- Software tratamiento

Es necesario también puntualizar la programación que se planteó para llevar a efecto la instalación del equipo y obtener las mediciones requeridas en el edificio Torre Sol.

Previo a la instalación del equipo es indispensable protegerse con elementos de seguridad como guantes dieléctricos y casco, luego se procede con la:

- Conexión de las sondas amperométricas y voltométricas a sus correspondientes entradas en el equipo.
- Instalación de las sondas amperométricas, encerrando a los conductores respecto al sentido de la corriente.
- Instalación de las sondas voltométricas, enganchando los terminales tipo lagarto en cada borne respectivo.
- Comprobación de fases entre ambos tipos de sondas.
- Configuración del registrador para que mida los datos requeridos y a la vez los grabe en su memoria.
- Adecuación idónea del registrador garantizando su seguridad.
- Adquisición de los datos registrados mediante el software del equipo.

En la figura 25, se ilustra la instalación del analizador de calidad de energía Fluke 435 en el tablero de distribución del Edificio Torre Sol.

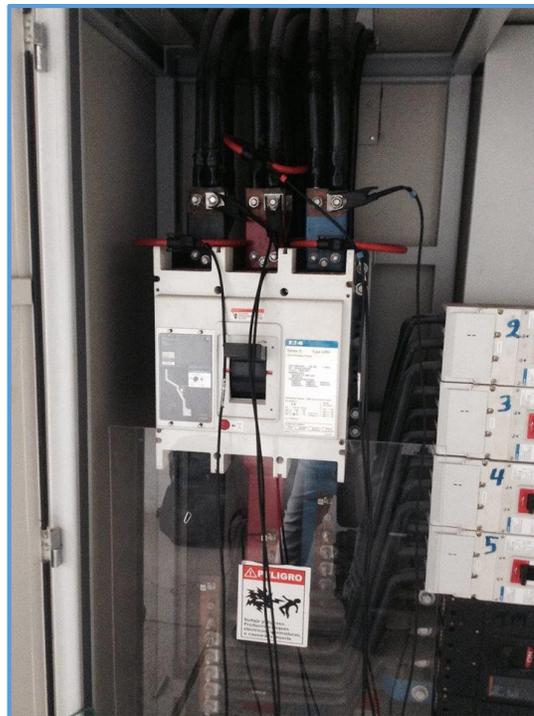


Figura 25. Instalación del analizador de redes

El analizador de calidad de energía eléctrica Fluke 435, se instaló por un período de 7 días continuos, configurando el registro de muestras cada cinco minutos; dicha consideración se debe al cumplimiento de las condiciones que rige la REGULACION No. CONELEC – 004/01, citada en el capítulo 3.

Los resultados de las mediciones normalmente suelen exponerse en un formato que únicamente puede ser leído por el software del mismo equipo, tal como fue el caso del analizador de calidad de energía que se empleó para estas mediciones.

El Fluke 435, proporciona una serie de accesorios como los ya descritos anteriormente de manera general, aunque cabe resaltar que el software del fabricante es el PowerLog; el cual es el único programa con el que se pueden descargar los registros.

El Fluke 435 es un analizador trifásico de energía y calidad eléctrica, factible para identificar y prevenir fallos en la calidad de energía en sistemas de distribución ya sean trifásicos o monofásicos.

Este equipo además cuenta con un algoritmo de pérdida de energía, el cual mide y cuantifica las pérdidas de energía originadas por armónicos y perturbaciones, consiguiendo que el usuario localice con precisión el origen de dichas pérdidas.

4.2.4.3. Herramientas

Para la auditoría energética se debe prever la necesidad y obtención de herramientas tales como:

- Adaptadores, cables, extensiones.
- Linterna.
- Playos, destornilladores.

Las cuales pueden llegar a ser de gran respaldo al momento de instalar los equipos, como fue el caso de la instalación del medidor de calidad de energía para la que se requería cada uno de los elementos mencionados.

4.2.5. Tratamiento de la información

Los datos obtenidos a través de las mediciones programadas con el analizador de redes, son tratadas con el programa PowerLog (proporcionado por el fabricante), para generar tablas y gráficas del comportamiento energético del edificio Torre Sol. De este modo se logra realizar una extrapolación de los resultados de las mediciones para un año tipo. De la misma manera, con las facturas del consumo energético adquiridas previamente, se realiza un estudio en base al costo de la energía, el tipo y categoría del abonado, con el objetivo de calcular un porcentaje aproximado de la energía que se consume al utilizar equipos de aire acondicionado.

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las mediciones con el analizador de calidad de energía eléctrica, se realizaron en el tablero de distribución, el cual está ubicado en los patios del Edificio Torre Sol.

Con el análisis de las facturas emitidas por el consumo de energía eléctrica del Edificio, se comprobó que éste disminuye y se mantiene estable en el transcurso de la época de verano de la ciudad de Machala, la misma que toma lugar a partir del mes de Julio hasta Diciembre aproximadamente. Las fechas en las que se realizaron las mediciones coincidieron dentro de este período, por lo cual se decidió instalar el equipo en dos ocasiones; la primera en el mes de agosto; y la segunda en el mes de octubre, como se explicó anteriormente, cada medición requiere de que el equipo esté instalado durante 7 días.

4.3.1. Análisis de Facturas de Consumo Energético

Con las facturaciones adquiridas, se procedió a analizar el consumo de energía mensual del Edificio Torre Sol, en el que se verificó que el comportamiento

energético del mismo se mantiene relativamente constante en el período de agosto hasta noviembre, que en los que se realizaron las mediciones de calidad de energía. En la figura 26, se detalla el promedio del historial de consumo del Edificio, que para los meses anteriores es más elevado; esto se debe a que para esa época el clima aumenta su temperatura, por lo que los ocupantes requieren del funcionamiento de los aires acondicionados. Sin embargo como se puede comprobar, esto mejora a partir del mes de agosto, en el que la temperatura disminuye y consecuentemente el consumo energético también disminuye.

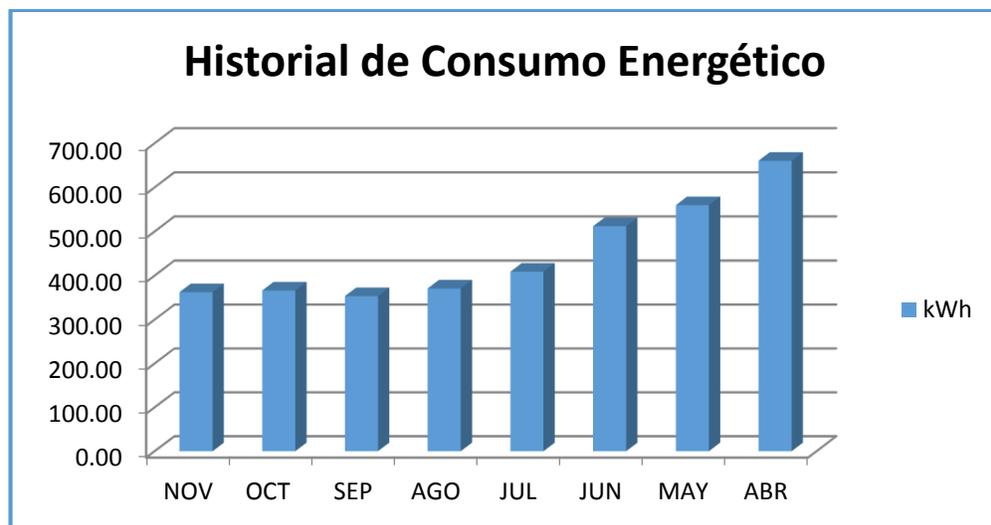


Figura 26. Historial de consumo del edificio Torre Sol

Al obtener este comportamiento, se considera que el consumo de aires acondicionados en la época de verano (agosto-noviembre) es mínimo, por ello se realizó un cálculo en el cual se detalla el porcentaje de ahorro energético del edificio para ese período, aproximando que en esa época no se utiliza los aires acondicionados. Ver tabla 10.

Consumo promedio mensual de energía (kWh)	Consumo promedio mensual de energía sin AC (kWh)	Porcentaje de consumo (%)	Porcentaje de ahorro (%)
535	363.17	67.8	32.2

Tabla 10: Consumo de energía eléctrica del edificio Torre Sol

Con este análisis se comprueba que el edificio logra un ahorro energético considerable en la época de verano, lo cual comprueba también que mientras más se aproveche las condiciones climáticas del entorno, mayores serán los beneficios, lo que reincide en el diseño bioclimático.

4.3.2. Análisis de Mediciones de Agosto

Las primeras mediciones, se realizaron en la semana del 15 hasta 22 de agosto, en las cuales se tiene que la demanda presenta un comportamiento inestable, tanto en el transcurso de la semana como en el análisis diario; el día 16, 17 y 21 de agosto, son los días de mayor demanda, aunque es necesario explicar que el incremento de la misma se produce en horas específicas de igual manera para cada día de la semana, el incremento empieza a partir de las 06H00 hasta 08H00, luego la carga decrece hasta el período de 18H00 a 23H00, que es en el que nuevamente se tiene mayor demanda, pasadas las 23H00 inicia su decremento, estabilizándose la carga hasta el siguiente día.

Análisis de Voltajes

El software PowerLog, aporta un registro para el análisis de datos con valores de los voltajes máximos, mínimos y medios. En los resultados se observó un incremento de tensión a partir de tempranas horas en la mañana; específicamente entre las 03H00 hasta 09H00, durante toda la semana, con un voltaje de 127V, dentro de este período de tiempo aproximadamente a las 04H00 se presenta un incremento pronunciado con un voltaje máximo de 128.5V, lo cual se deduce que es dado a la ausencia de carga. Luego de esto se analiza el decremento de tensión, el cual se genera a partir de las 12H00 hasta las 19H00, presentando un mínimo de 120V, para este caso también existe un decremento pronunciado que da como resultado un voltaje de 111V. En la figura 27, se muestra la representación del voltaje de cada línea, así como también del neutro; como se puede ver el comportamiento de la tensión para cada línea es similar.

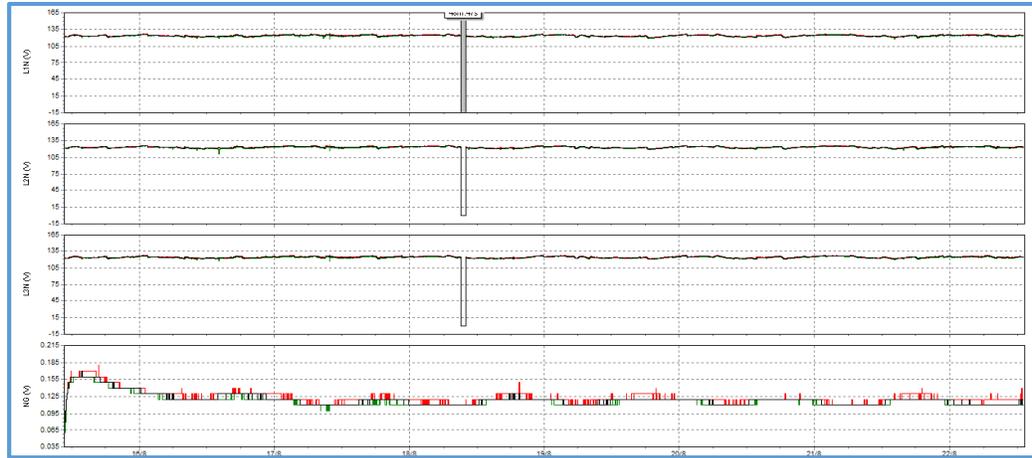


Figura 27. Voltaje del sistema

En cuanto al voltaje en el neutro, la tensión máxima se registra en los 0.18V dentro de las horas que se produce el incremento de carga, mientras que la tensión mínima se registra en los 0.11V, cuando la carga decrece.

Línea	Máx (V)	Mín (V)
L1	128.5	120
L2	127.6	111
L3	128.5	118.3
N	0.18	0.11

Tabla 11: Valores del registro de tensiones

En la tabla 11, para una mejor comprensión, se resume los valores de tensión máximos y mínimos de cada línea.

Mediante el cálculo del índice de calidad, se obtiene un desbalance de voltaje de 1.2%, el cual según la REGULACION No. CONELEC – 004/01, está dentro del rango establecido, ya que su valor máximo es del 3%. El cálculo del índice de calidad para el nivel de voltaje, requiere de la siguiente fórmula:

$$\Delta V_k (\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad (4.1)$$

Donde:

ΔV_k : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

V_k : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

V_n : voltaje nominal en el punto de medición.

Por otro lado para el cumplimiento de la normativa también se debe considerar que los valores de los voltajes medidos estén dentro del rango de 114.3V hasta 139.7V, los cuales hacen referencia al $\pm 10\%$ del voltaje nominal (127V).

Análisis de Corrientes

Las mediciones de corriente, obtenidas a través del analizador de redes Fluke 435, se representan gráficamente en el PowerLog, las curvas de corriente presentan un comportamiento similar para las tres líneas, aunque cabe resaltar que la corriente del neutro genera grandes picos de distorsión en comparación con la de las líneas. En la figura 28, se puede visualizar que la corriente en la mayoría de los días de muestra se mantiene con altos y bajos constantes, a excepción de la corriente del tercer día que de 210A, se dispara hasta un valor de 600A, en el cual permanece prácticamente constante, hasta el cuarto día del periodo de mediciones, en que considerablemente decrece hasta los 380A, oscilando en un rango de 250A hasta 400A.

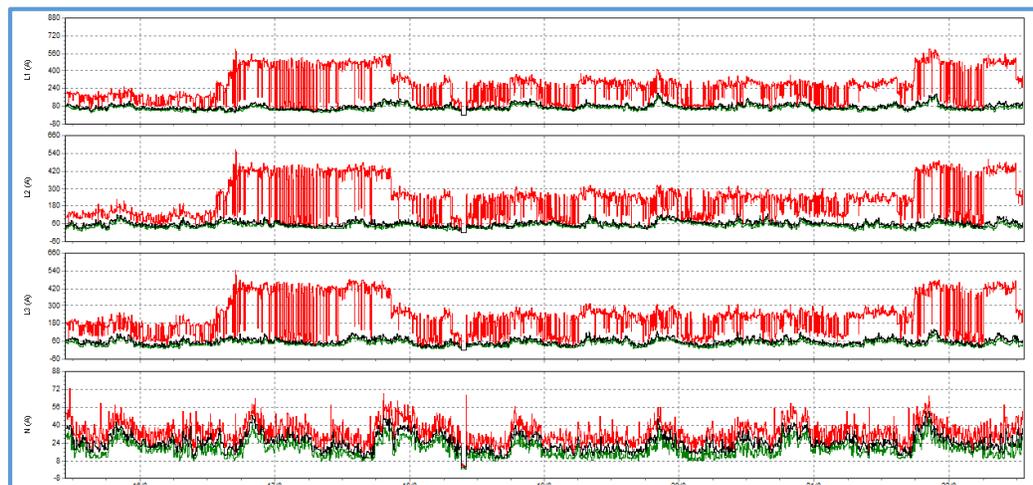


Figura 28. Corriente del sistema

En la tabla 12, se presenta un resumen de los valores máximos y mínimos de corriente de cada línea obtenidos en estas mediciones.

Línea	Max (A)	Min (A)
L1	601	170
L2	501	116
L3	481	113
N	66	45

Tabla 12: Valores del registro de corriente

Análisis de Potencia

Para este análisis se consideró relevante el estudio único de la potencia activa, debido a que la potencia aparente y reactiva mostraba un comportamiento similar en el transcurso del período de las mediciones.

En la figura 29, se detalla el comportamiento de las curvas de potencia de las tres líneas y de la potencia activa total, las cuales aparentemente son similares, aunque sus rangos de valores son distintos.

Se puede observar que la potencia se estabiliza en el día 3 de la medición, es en este lapso en el que la potencia permanece prácticamente constante, sin picos como en los demás días.

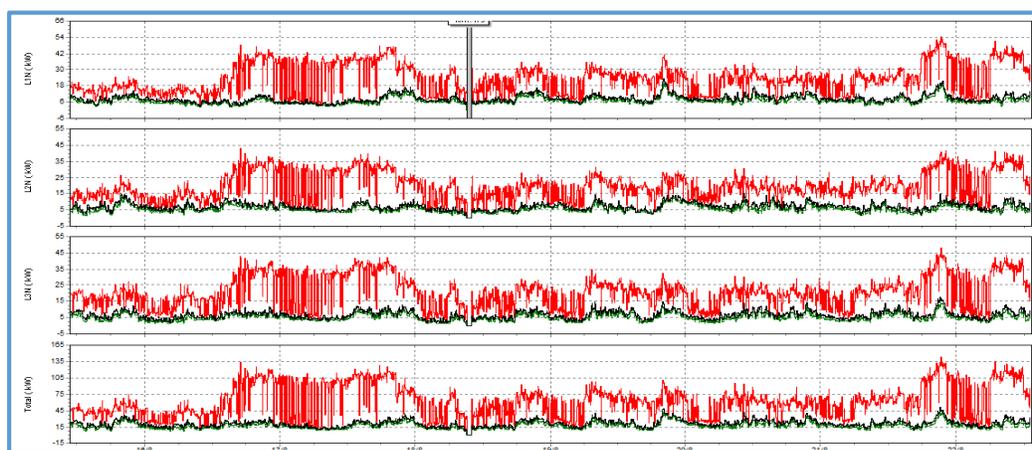


Figura 29. Potencia del sistema

La potencia activa total en carga máxima es de 142.8KW, mientras que para carga mínima es de 42KW, un resumen más detallado de los rangos de potencia, se muestra en la tabla 13.

Línea	Máx (KW)	Mín (KW)
L1	54	20
L2	43	12.9
L3	48	13.9
Total	142.8	42

Tabla 13: Valores del registro de potencia

Análisis de Frecuencia

Mediante el análisis de las variaciones de frecuencia, ilustradas en la figura 30, se pudo estimar que la frecuencia máxima obtenida en las mediciones es de 60.15Hz, lo cual representa un 0.25% de la frecuencia nominal, mientras que la frecuencia mínima registrada es de 59.8Hz, que representa un 0.33% de la frecuencia nominal del sistema.

Según la normativa, la variación de frecuencia debe estar dentro del rango del $\pm 5\%$, por lo cual se comprueba que este sistema está dentro de los parámetros establecidos, sin presentar problema alguno.

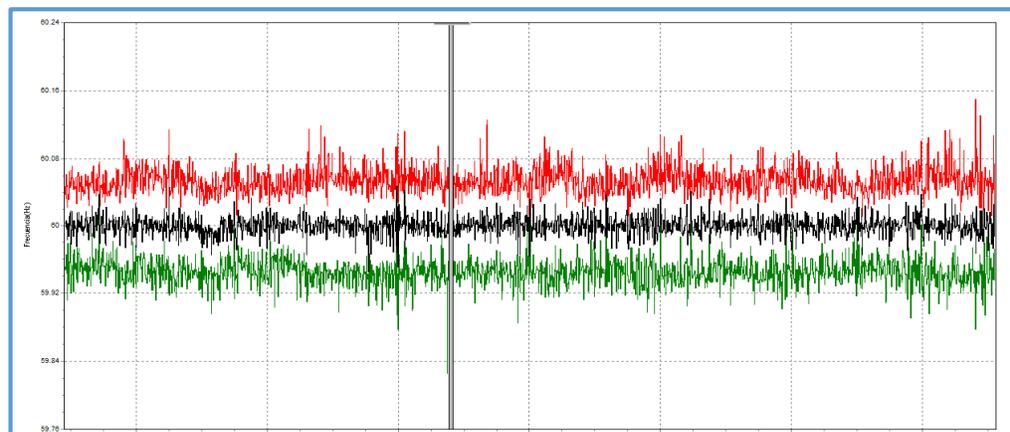


Figura 30. Frecuencia del sistema

Análisis del Factor de Potencia

Los rangos de factor de potencia establecidos por la REGULACION No. CONELEC – 004/01 oscilan entre 0.92 hasta 1, considerando estos límites se procede con el análisis del factor de potencia medido en cada línea.

El valor de factor de potencia para la línea 1 es de 0.99, para la línea 2 es de 0.96 y para la línea 3 es de 0.95, en la figura 31, se ilustra el comportamiento del factor de potencia para cada línea.

Al obtener estos valores se puede comprobar que el sistema aporta un buen factor de potencia, cumpliendo con la normativa, ya que están dentro los límites establecidos.

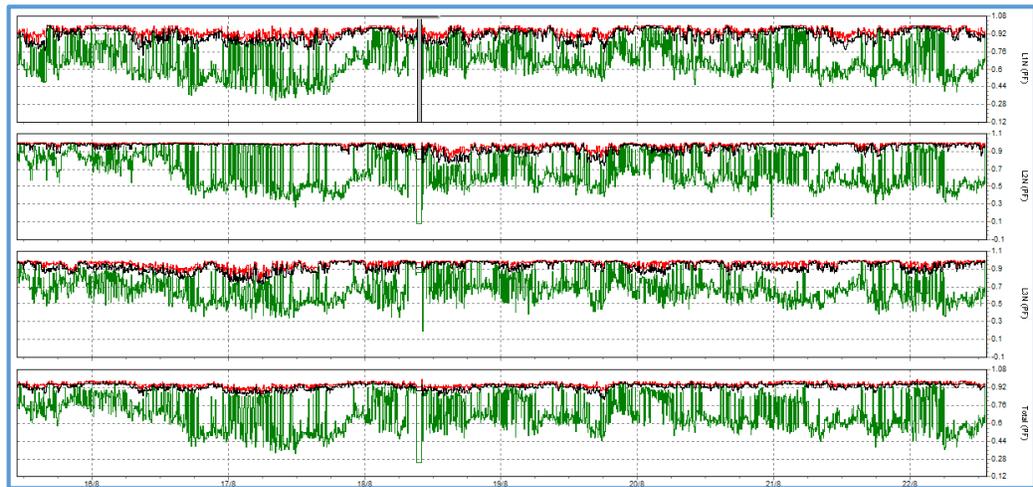


Figura 31. Factor de potencia del sistema

En la tabla 14, se resumen los valores máximos y mínimos de factor de potencia para cada línea.

Línea	Factor de Potencia
L1	0.99
L2	0.96
L3	0.95
Total	0.97

Tabla 14: Valores del registro del factor de potencia

Análisis de THD y Armónicos de Voltaje

El analizador de redes Fluke 435, detalla el THD tanto para voltajes como para corrientes. En este caso se analizará el THD de voltajes, para los cuales la REGULACION No. CONELEC – 004/01, exige que el porcentaje del factor de distorsión armónica total, para el voltaje sea de máximo 5%, considerando como referente el tercer armónico.

En este análisis se relacionará el THD con cada armónico para verificar si se cumple o no la norma. El THD máximo de cada fase, oscila entre el 1.3% hasta 1.6% tomando lugar dentro del quinto armónico, que es el que predomina en el período de las mediciones. De la misma manera el THD mínimo se ve pronunciado en el tercer armónico dentro de un rango de 0.4% hasta 1%. El tercer y séptimo armónico presentan valores aproximados de THD entre 0.25% hasta 0.38% para cada fase, en el transcurso de toda la semana.

Estos valores de THD analizados están dentro del límite impuesto por la normativa, por lo cual se comprueba su cumplimiento.

En cuanto al THD del neutro, el valor que predomina en todo el período de las mediciones es de 327% (valor máximo), específicamente en el tercer armónico.

En la figura 32, se ilustra la evolución temporal de los armónicos del sistema.

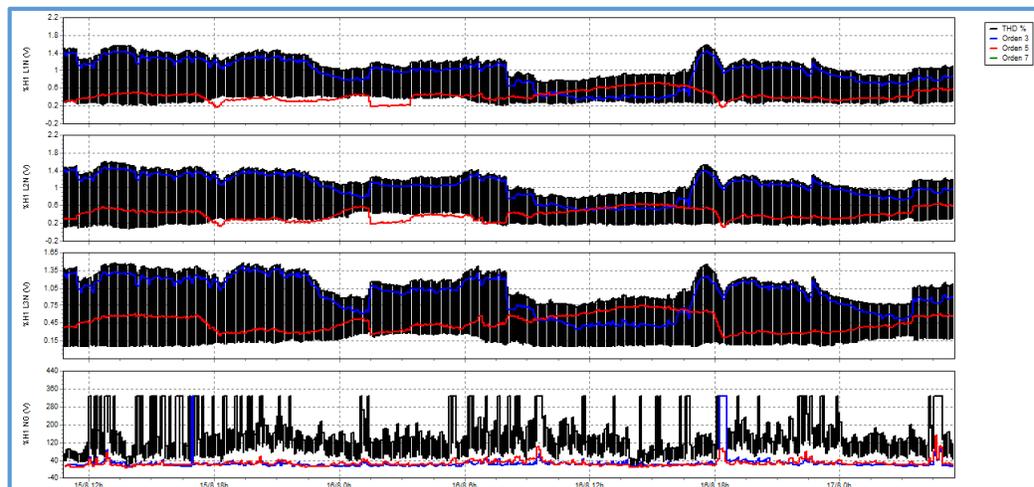


Figura 32. Evolución temporal de armónicos de voltaje

Análisis de THD y Armónicos de Corriente

Para los armónicos de corriente la NORMA IEEE 1159-1995, establece un THD de máximo 15%, analizando los registros de las mediciones, se tiene que para las tres fases el armónico que predomina es el tercero, para la línea 1 se registra un THD máximo de 12.38% en el tercer armónico, para la línea 2, se registra un THD de 17.35% de igual manera en el tercer armónico, mientras que para la línea 3 el THD máximo es de 26.28%, con estos valores se comprueba el cumplimiento de norma únicamente para la Línea 1.

El THD mínimo que se registra en el tercer armónico para las tres fases, oscila entre el 0.67% hasta 1.49%, en cuanto a los armónicos de quinto y séptimo orden, aportan un comportamiento similar en cada una de las fases. El THD de corriente del neutro prevalece en todo el período de medición es de 327%, específicamente en el tercer armónico.

En la figura 33, se ilustra el comportamiento de la evolución temporal de armónicos de corriente.

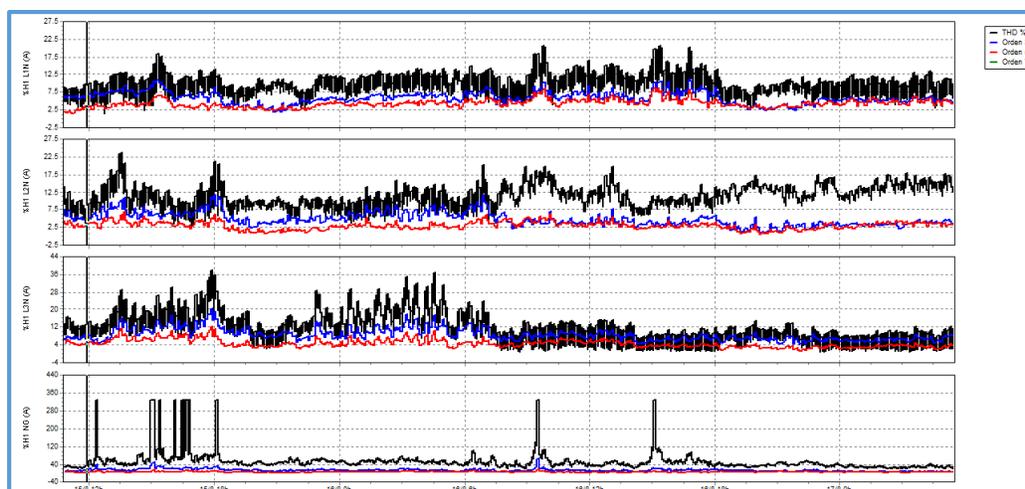


Figura 33. Evolución temporal de armónicos de corriente

Análisis de parpadeo (Flicker)

Según la REGULACION No. CONELEC – 004/01, el índice de severidad del Flicker de corta duración P_{st} en el punto que se mida, no debe sobrepasar el valor

de la unidad; es decir que $P_{st}=1$, es considerado como el límite permisible de la fluctuación máxima de luminancia que el ojo humano puede soportar, debido a esto si el P_{st} es superior a 1, estará aportando negativamente al desempeño del sistema.

El valor del P_{st} para la Línea 1 es de 0.69, y se logra comprobar que cumple con las exigencias del CONELEC, al estar dentro del límite establecido por la norma, mientras que para la Línea 2 y Línea 3 se obtuvieron valores de 1.9 y 1.6 respectivamente, ver figura 34, estos valores sobrepasan el límite de la normativa por lo cual no la cumplen.

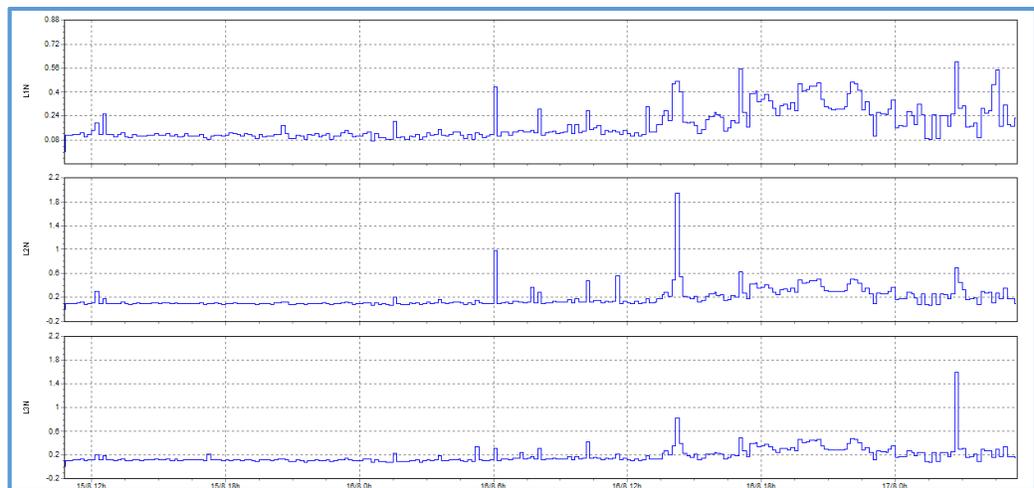


Figura 34. Índice P_{st} del Flicker del sistema

4.3.3. Análisis de Mediciones de Octubre

En los datos obtenidos mediante la segunda medición que se realizó desde el 25 de octubre hasta el 1 de noviembre, se tiene que la demanda varía según los horarios de las mediciones, tanto a nivel semanal como a nivel diario. Con los datos registrados, se analizó que los días en los que se tiene una mayor demanda son a partir del día 29 hasta el 1 de noviembre, sin embargo es indispensable detallar que el incremento de la misma, se produce en horas determinadas de igual manera para cada día medido, el incremento empieza a partir de las 06H00 hasta 10H00, luego la carga decrece hasta el período de 18H00 a 23H00, que es en el

que nuevamente se tiene mayor demanda, pasadas las 23H00 inicia su decremento, estabilizándose la carga hasta las 06H00 del siguiente día.

Análisis de Voltajes

El software PowerLog, aporta un registro de datos con valores máximos, mínimos y medios de los voltajes.

En los resultados se observó un incremento de tensión a partir de tempranas horas en la mañana; exactamente entre las 02H00 hasta 08H00, durante toda la semana, con un voltaje de 126V, dentro de este rango de tiempo a las 03H00 se muestra un incremento pronunciado debido a la ausencia de carga, con un voltaje máximo de 127.34.

El decremento de tensión, el cual se genera a partir de las 12H00 hasta las 22H00, aportando con una tensión mínima de 120V, para este caso también existe un decremento pronunciado que da como resultado un voltaje de 118V.

En la figura 35, se ilustra la representación del voltaje de cada línea, incluyendo al neutro, mediante la cual se comprueba que el comportamiento de la tensión para cada línea es similar.

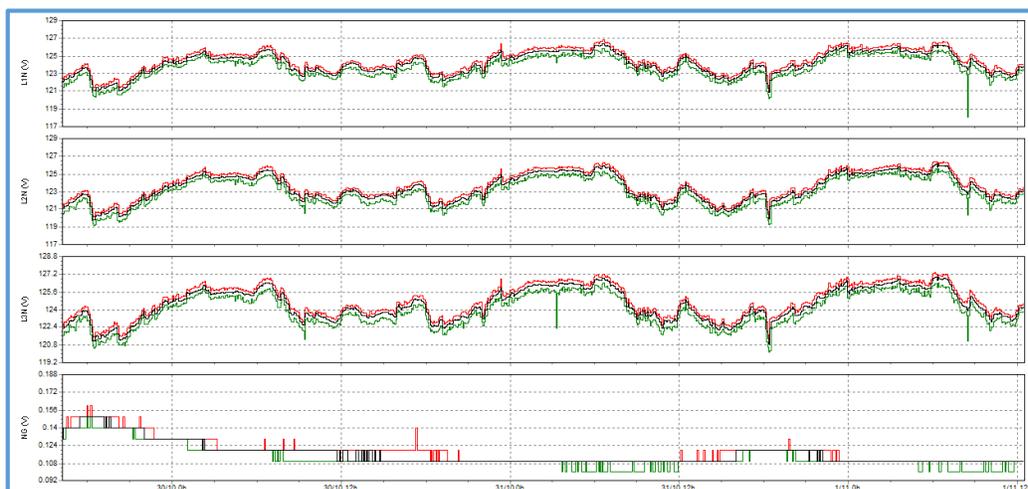


Figura 35. Voltaje del sistema

En cuanto al voltaje en el neutro, la tensión máxima se registra en los 0.16V dentro de las horas que se produce el incremento de carga, mientras que la tensión mínima se registra en los 0.1V, cuando la carga decrece.

En la tabla 15 se resumen los valores de tensión máximos y mínimos que se registraron para cada línea.

Línea	Máx (V)	Mín (V)
L1	126.81	118.04
L2	126.42	119.13
L3	127.34	120.1
N	0.16	0.1

Tabla 15: Valores del registro de tensiones

Mediante el cálculo del índice de calidad, realizado con la ecuación (4.1), se obtiene un desbalance de voltaje de 0.26%, el cual está dentro del rango establecido por la normativa, ya que su valor máximo es del 3%.

Análisis de Corrientes

Las mediciones de corriente obtenidas, se representan gráficamente en el PowerLog, mediante el cual se puede realizar el análisis de cada uno de los registros grabados en las mediciones.

Las curvas de corriente presentan un comportamiento similar para las tres líneas e incluso en el neutro, con la diferencia dada por sus rangos de valores tanto máximos como mínimos.

Mediante el análisis se observó que la corriente mantiene su comportamiento en el día 30, en el período de 01H30 hasta 04H30, con valor máximo de 200A y mínimo de 38A. El día 29, aproximadamente a las 19H30 es cuando se presenta el mayor crecimiento de la corriente, con un valor máximo de 427A, en el transcurso de los demás días el comportamiento de la corriente es similar a lo largo de toda la semana.

En la figura 36, se detalla las curvas de la corriente para las tres líneas así como para el neutro.

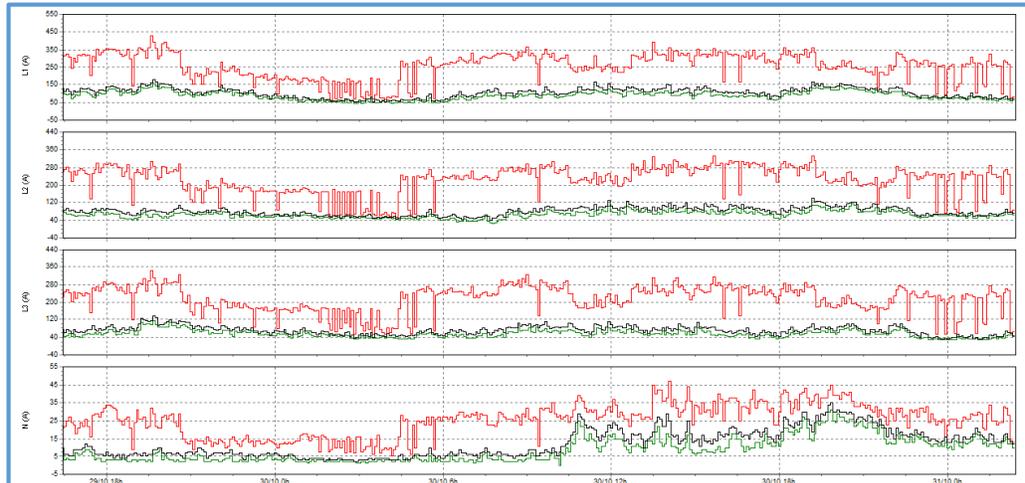


Figura 36. Corriente del sistema

En la tabla 16, se presenta un resumen de los valores máximos y mínimos de corriente obtenida para cada línea.

Línea	Max (A)	Min (A)
L1	427	157
L2	346	26
L3	342	23
N	66	10

Tabla 16: Valores del registro de corriente

Análisis de Potencia

En la figura 37, se ilustra el comportamiento de las curvas de potencia tanto para las tres líneas como para la total, a pesar de que el comportamiento de la potencia para cada línea aparentemente sea similar, se diferencian por sus rangos de valores.

La potencia, mantiene su comportamiento entre las 00H00 hasta 006H00 a lo largo de toda la semana, fuera de este rango sus picos máximos y mínimos son muy variables.

De la misma manera que para el primer análisis, en este caso se consideró prioritario el estudio de la potencia activa, debido a que la potencia aparente y reactiva mostraba un comportamiento similar para el período completo de las mediciones.

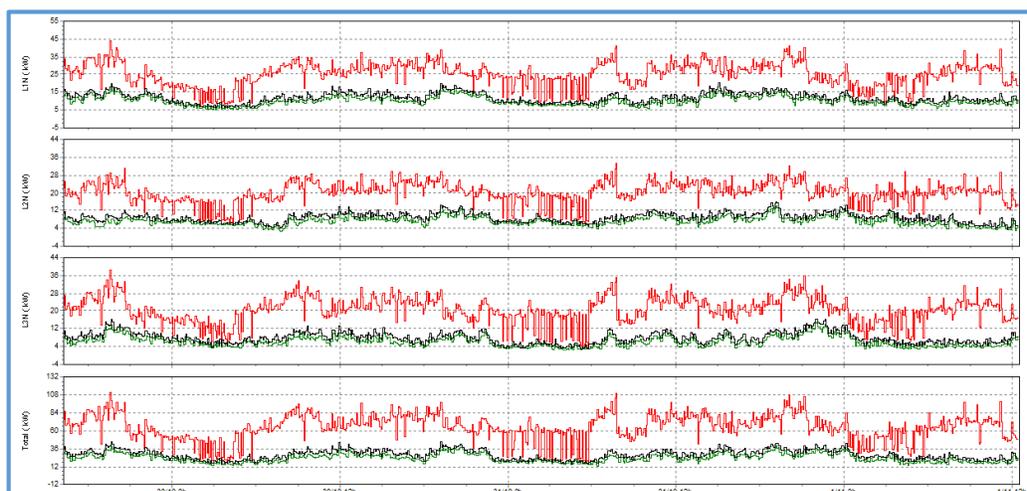


Figura 37. Potencia del sistema

La potencia activa total en carga máxima es de 111.16KW, mientras que para carga mínima es de 14KW, un resumen más detallado de los rangos de potencia, se muestra en la tabla 17.

Línea	Máx (KW)	Mín (KW)
L1	43.85	6
L2	33.42	3
L3	38.35	3.1
Total	111.16	14

Tabla 17: Valores del registro de potencia

Análisis de Frecuencia

Las variaciones de frecuencia, se detallan de igual manera que en los datos anteriores, con valores máximos, medios y mínimos, ver figura 38.

La frecuencia máxima obtenida en las mediciones es de 60.13Hz, lo cual representa un 0.22% de la frecuencia nominal, mientras que la frecuencia mínima registrada es de 59.8Hz, que representa un 0.33% de la frecuencia nominal del sistema.

Según la normativa, la variación de frecuencia debe estar dentro del rango del $\pm 5\%$, por lo cual de igual manera que con las primeras mediciones, se comprueba que este sistema está dentro de los parámetros establecidos, sin presentar problema alguno.

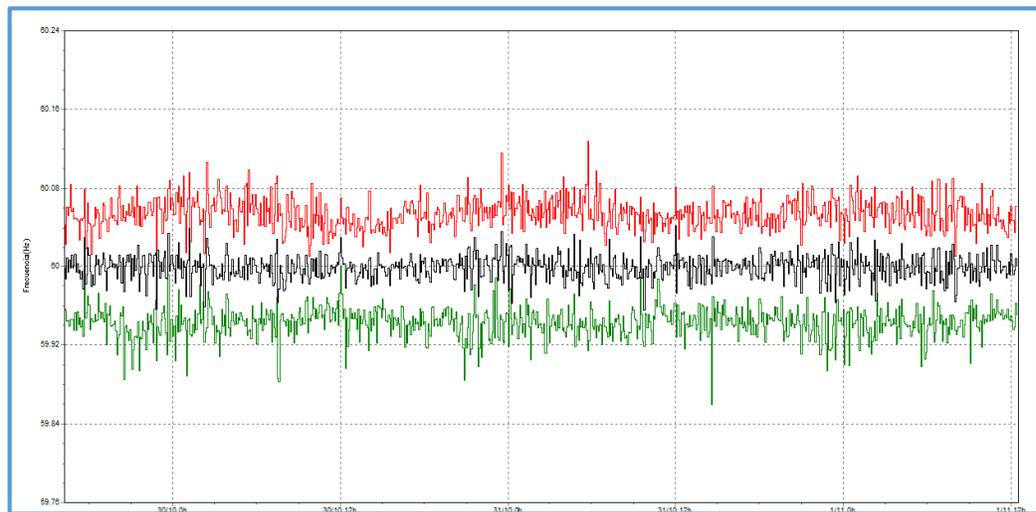


Figura 38. Frecuencia del sistema

Análisis del Factor de Potencia

Los rangos de factor de potencia establecidos por la regulación del CONELEC, oscilan entre 0.92 hasta 1.

Para este caso se obtuvo un factor de potencia de 0.99 para cada línea, en la figura 39, se ilustra el comportamiento del factor de potencia del sistema.

Al obtener estos valores se logra comprobar que el sistema aporta un buen factor de potencia, cumpliendo con el rango establecido por la norma.

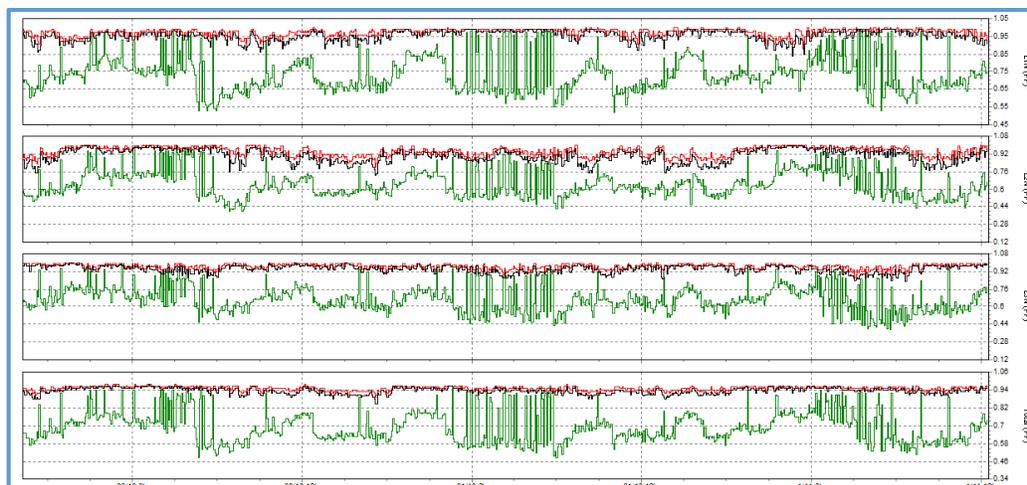


Figura 39. Factor de potencia del sistema

En la tabla 18 se detallan los valores máximos y mínimos de factor de potencia para cada línea y el factor de potencia total del sistema.

Línea	Factor de Potencia
L1	0.99
L2	0.99
L3	0.99
Total	0.98

Tabla 18: Valores del registro del factor de potencia

Análisis de THD y Armónicos de Voltaje

Para este caso se analiza THD de voltajes, como se describió en el análisis de las primeras mediciones, la REGULACION No. CONELEC – 004/01, exige que el porcentaje del factor de distorsión armónica total, para el voltaje sea de máximo 5%, considerando como referente el tercer armónico. En este análisis se relacionará el THD con cada armónico para verificar si se cumple o no la norma. El THD máximo de cada fase, oscila entre el 2% hasta 2.35% tomando lugar dentro del quinto armónico, que es el que predomina en el período de las mediciones. De la misma manera el THD mínimo se ve pronunciado en el tercer armónico dentro

de un rango de 0.09% hasta 0.12%. El tercer y séptimo armónico presentan valores aproximados de THD de voltaje entre 0.23% hasta 0.33% para cada fase, en el transcurso de toda la semana. Estos valores de THD analizados están dentro del límite impuesto por la normativa, por lo cual se comprueba su cumplimiento. En cuanto al THD del neutro, el valor predominante en todo el período de las mediciones es de 327% (valor máximo), específicamente en el tercer armónico. En la figura 40 se ilustra la evolución temporal de los armónicos del sistema.

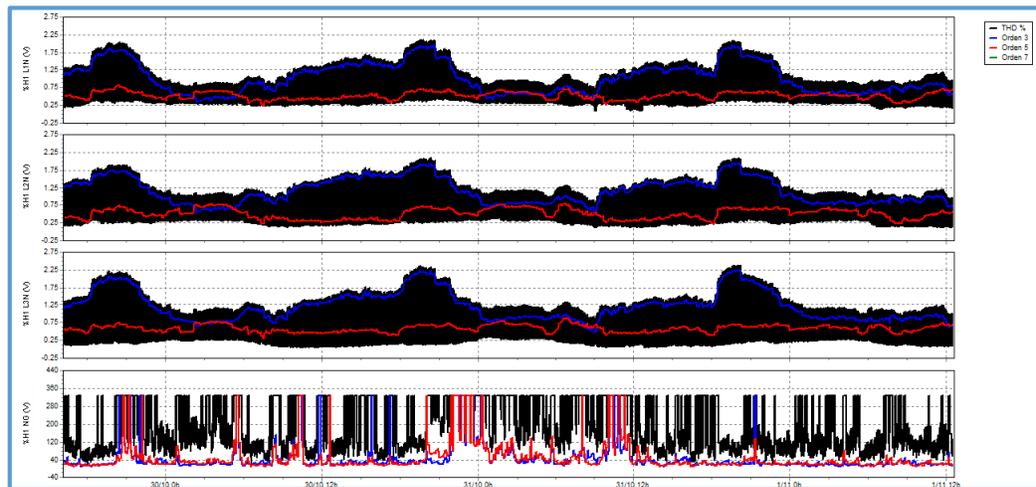


Figura 40. Evolución temporal de armónicos

Análisis de THD y Armónicos de Corriente

Como ya se explicó en el anterior análisis de armónicos de corriente, la NORMA IEEE 1159-1995, establece un THD de máximo 15%, procediendo con el análisis de los registros de mediciones de esta semana, se tiene que el armónico predominante es el de tercer orden, para la línea 1 y para la línea 2, en la línea 1 se registra un THD máximo de 14.77%, tomando lugar en el tercer armónico, para la línea 2, se registra un THD de 11.16% de igual manera dentro del tercer armónico, mientras que para la línea 3 el THD máximo es de 29.62%, con estos valores se verifica que la línea 1 y 2 cumplen con el THD máximo permisible por la norma. El THD mínimo que se registra en la línea 2, está dentro del tercer armónico y oscila entre el 0.96% hasta 2.4%, mientras que para la línea 1 y 3, el THD de

corriente mínimo se registra en el séptimo armónico con un rango entre 1% hasta 3.3%.

De igual manera que para casos anteriores el THD de corriente del neutro prevalece durante todo el período de medición en 327%, específicamente en el tercer armónico.

En la figura 41, se ilustra el comportamiento de la evolución temporal de armónicos de corriente.

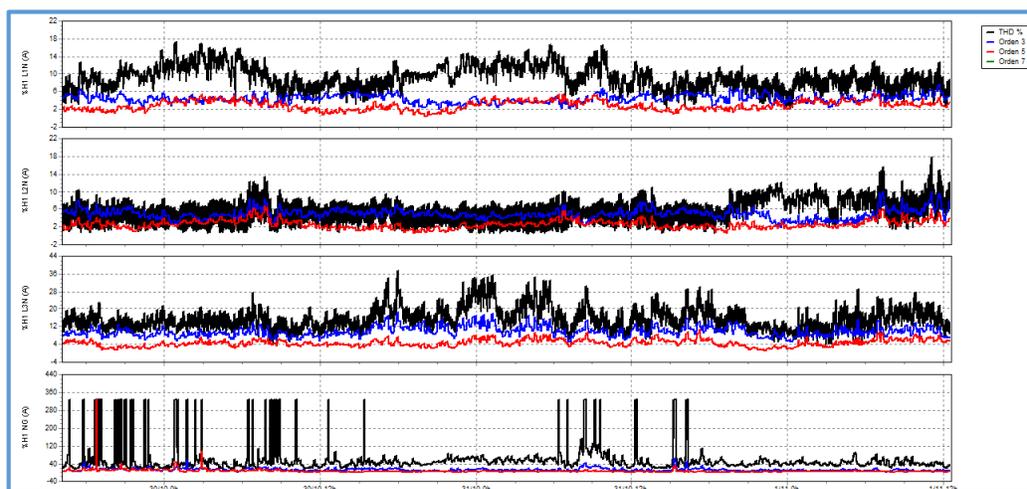


Figura 41. Evolución temporal de armónicos de corriente

Análisis de parpadeo (Flicker)

El índice de severidad del Flicker de corta duración P_{st} en el punto que se mida, por normativa (REGULACION No. CONELEC – 004/01), debe ser como máximo $P_{st}=1$, siendo éste el límite permisible de la fluctuación máxima de luminancia que el ojo humano puede soportar, si $P_{st} > 1$ estará aportando negativamente al desempeño del sistema.

El valor máximo de P_{st} para la Línea 1 es de 1.1, de manera que en este caso no cumple con la normativa, sin embargo para la Línea 2 y Línea 3 se obtuvieron valores de 0.91 y 0.82 respectivamente, al estar dentro del límite de la normativa se verifica su cumplimiento.

En la figura 42, se detalla el comportamiento del Flicker, para ese período de mediciones

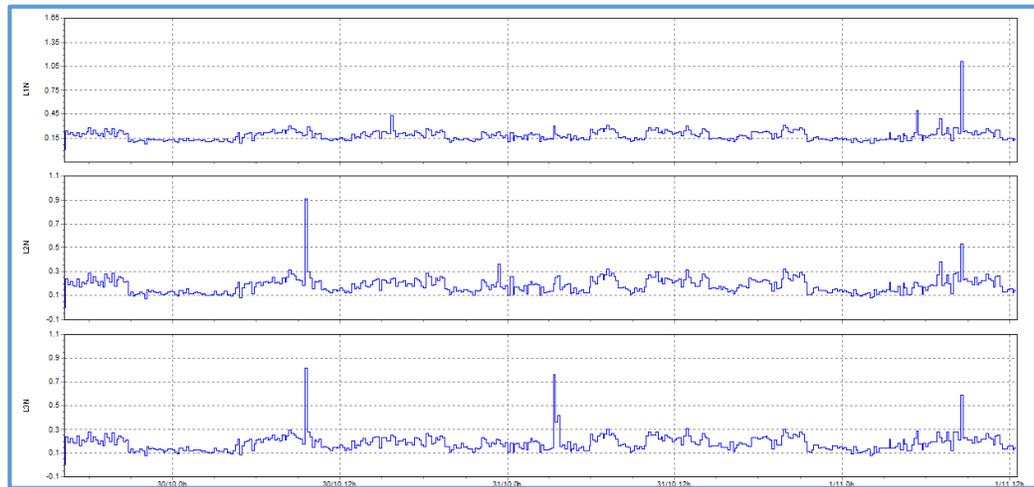


Figura 42. Índice P_{st} del Flicker del sistema

4.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.4.1. CONCLUSIONES

El diseño bioclimático hoy en día es una técnica de gran importancia dentro del ámbito de la eficiencia energética, así como también en el ámbito medioambiental. Al poner en práctica criterios bioclimáticos tales como vegetación y las variables climáticas se garantiza que el edificio aporte un confort térmico apropiado para sus habitantes sin necesidad de emplear constantemente los sistemas de aire acondicionado, logrando de este modo reducir el consumo de energía eléctrica y la contaminación ambiental.

Las variables climáticas son un factor indispensable para el diseño bioclimático, es por ello que en este estudio se consideró conveniente detallarlas mediante una tabla de datos, en la cual se logró comprobar que la temperatura presenta valores relativamente bajos para el período de los meses desde Julio hasta Noviembre, debidos a la época de verano. De esta variable depende directamente el consumo de aires acondicionados ya que mientras el ambiente aporte una temperatura confortable para los habitantes del edificio, ellos no se verán con necesidad de emplearlos, disminuyendo de este modo el consumo eléctrico de energía.

El aislamiento térmico del edificio aporta al confort térmico del mismo, ya que propicia a que los ambientes del interior mantengan una temperatura permisible para los habitantes, ya que consiste en disminuir las ganancias de calor propiciadas por la exposición directa del edificio al sol, por lo cual este factor junto a las consideraciones climáticas es de igual importancia.

En cuanto al sistema de climatización se verificó que aparte de los sistemas activos como los aires acondicionados, el edificio posee sistemas pasivos tales como los ventanales dispuestos alrededor de toda su fachada, a través de los cuales se gana corrientes de aire y por ende la climatización de los ambientes internos, sobretudo en época de verano que es cuando el clima aporta una óptima temperatura. Sin embargo cabe señalar que los equipos de aire acondicionado también son eficientes energéticamente hablando, por lo que su consumo no es excesivo en comparación con otros tipos de equipos.

Para la realización de este análisis fue necesario considerar aparte de normativas nacionales, normativas de países afines con los requerimientos de este estudio, tanto para el análisis de la auditoría energética, específicamente de calidad de energía, como para el ahorro energético de edificios. Estas últimas están orientadas a la eficiencia energética de los edificios partiendo de criterios de construcción y de optimización de los sistemas de aires acondicionados.

En cuanto a la eficiencia energética, lo que se quiere promover, es el uso racional de energía, explícitamente en las horas pico; modificando los hábitos de consumo energético por parte de los ocupantes del Edificio en estudio para este caso, de tal manera que ese consumo no afecte al medio ambiente.

El análisis de costo-beneficio se realizó considerando las propuestas para optimización de los sistemas de climatización del Edificio Torre Sol, partiendo de estrategias bioclimáticas. En aquel cálculo se estimó el ahorro tanto en consumo energético como económico, que se puede llegar a alcanzar si se implementan dichas propuestas. De igual manera se verificó que el tiempo de recuperación de la inversión convierta al proyecto en un hecho factible.

Como parte de la auditoría energética, se realizó también un análisis térmico del edificio y del tablero principal, en éste último se verificó el comportamiento normal de los elementos que lo constituyen, mientras que para el edificio se detectó que su comportamiento energético presenta algunas fallas, debidas a la falta de aislamiento térmico del mismo. Las técnicas de la termografía son de gran apoyo para este tipo de análisis, ya que no se requiere tener contacto físico con los objetos o superficies a medir, sino que basta simplemente con una apreciación visual apropiada, a través de la cámara termográfica.

Para estimar y aportar mejores resultados a través de la auditoria energética se analizó la calidad de energía, con el fin de detectar anomalías en las instalaciones del edificio ya sea por desgaste o envejecimiento de los conductores y comprobar que no existan perturbaciones en el sistema.

En conclusión, respecto a la auditoría energética se obtuvieron los resultados esperados, ya que se logró detectar las fallas y proponer alternativas para la

corrección de las mismas, considerando la optimización de la energía de manera eficiente y dentro del alcance de los habitantes del edificio.

En el análisis de las facturas del consumo eléctrico de energía en el Edificio Torre Sol, se verificó el ahorro energético para la época de verano, lo cual se traduce en ahorro económico. Mediante este análisis se concluye que debido a las condiciones que aporta el entorno en verano, cuando la temperatura disminuye, el consumo de aires acondicionados también disminuye considerablemente ya que no se requiere de sistemas activos para ganar un confort térmico.

El analizador de calidad de energía eléctrica, se instaló según los requerimientos de la REGULACION No. CONELEC – 004/01, en períodos de una semana; en los meses de Agosto y Octubre. Su análisis también se realizó en base a las exigencias de la misma norma, mediante el cual se comprobó el correcto funcionamiento del sistema, dicha afirmación se concluye debido al cumplimiento de los requerimientos de la normativa, para cada uno de los registros obtenidos en las mediciones de las dos semanas de estudio.

Luego del proceso de investigación realizado, se concluye que en el país no existe una normativa y mucho menos un estudio, que rijan criterios bioclimáticos para la construcción de edificios.

4.4.2. RECOMENDACIONES

Para la aplicación del diseño bioclimático en la construcción de un edificio, se recomienda, previamente adquirir toda la información respecto al clima de la zona en la que se llevará a cabo el proyecto. Esta información debe incluir las variables climáticas, estaciones climáticas, tipo de terreno, vegetación de la región, captación solar, entre otros factores; con la finalidad de saber las condiciones y temperaturas que aporta el clima de la zona para aprovecharlos en la optimización y disminución de consumo energético del edificio.

Se recomienda prever que el edificio posea un aislamiento térmico ideal, que sea capaz de eliminar la mayor cantidad de ganancias de calor, producidas por la radiación solar, y a la vez minimice las altas temperaturas que se producen en época de invierno, para que de este modo al transferirse hacia el interior del edificio, los habitantes no se vean afectados por los extremos cambios de temperatura que se dan en el entorno.

Para los equipos de aire acondicionado a pesar de que se garantiza que son sistemas de alta eficiencia, se recomienda emplearlos únicamente en el instante que se los requiera; es decir que se los debe encender sólo cuando los habitantes estén presentes en la habitación, de lo contrario los equipos deben permanecer apagados para no producir un consumo innecesario. También se recomienda combinar este sistema, con las técnicas pasivas de climatización que posee el edificio, como la abertura de ventanas y ventanales para ganancia y circulación de aire fresco.

Para la realización de una auditoría energética, es recomendable previamente la revisión de normativas que definen los requerimientos para este tipo de estudios con la finalidad de aplicarlas y de este modo aportar los resultados más apropiados para dicho estudio.

En este estudio, como en cualquier otro, es indispensable analizar el costo beneficio que implica la implementación de las propuestas de optimización de resultados, para verificar si el proyecto es o no viable y rentable. Lo recomendable es analizar un cálculo general sin la propuesta para posteriormente estimar el cálculo del ahorro que se pretende alcanzar con la implementación de la misma.

En cuanto al comportamiento térmico del edificio, se comprobó que presenta fallas generadas por un mal aislamiento térmico tanto en las paredes como en las superficies acristaladas, para ello se recomienda implementar sistemas contenidos dentro del diseño bioclimático, tales como jardines verticales alrededor de las paredes del edificio y la instalación de persianas en el interior de ventanas y ventanales; con el principal objetivo de minimizar las ganancias de calor transmitidas por la radiación solar y altas temperaturas que aporta el clima en especial en época de invierno. La vida útil de estos sistemas es de hasta 8 años en óptimas condiciones, para ello se recomienda un mantenimiento periódicamente de manera mensual, con mayor rigor en los jardines verticales, que son los que requieren de un mayor cuidado tanto de riego como de poda. Sin embargo antes del mantenimiento y para garantizar los resultados esperados se debe prever que las plantas para el jardín vertical sean las apropiadas para el tipo de clima de la ciudad, ya que de ello principalmente depende que el jardín vertical aporte el aislamiento térmico al Edificio. Con lo explicado, el mantenimiento entonces de los jardines verticales, se resume en la supervisión y cuidados periódicos, por parte de un jardinero que controle el buen estado del jardín, además este sistema presenta la ventaja de que el agua empleada para el sistema de riego, puede ser reutilizable para los jardines instalados en el patio, mientras que para optimizar la vida útil de las persianas se recomienda simplemente tener el mayor cuidado con los mecanismos de accionamientos que son los que generalmente tienden a dañarse con facilidad.

Para proceder con la auditoría energética, previamente es recomendable realizar una planeación para la misma, en la que se incluye principalmente la adquisición de información del edificio como: datos generales, planos constructivos, planos eléctricos, facturación del consumo mensual energético, inventario de los equipos de aire acondicionado y variables climáticas de la ciudad. Posteriormente para la instalación del analizador de redes eléctricas es sumamente necesario portar herramientas tales como extensiones eléctricas y destornilladores, usualmente empleadas en este tipo de estudios. De igual manera, se recomienda emplear la protección adecuada para quien realiza la instalación, con el fin de evitar daños

físicos al manipular los equipos y elementos del tablero del sistema eléctrico del edificio.

En cuanto a las mediciones obtenidas en el análisis de calidad de energía, que no cumplieron con lo establecido por la normativa, como en los THD de corriente y el Flicker, se recomienda instalar filtros de tipo activo para eliminar las perturbaciones que pueden provocar un mal desempeño al sistema.

Se recomienda conformar grupos de investigación con otras universidades, con el objetivo de idear una normativa que aporte criterios bioclimáticos para edificaciones, aplicables al país.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. Simancas, Reacondicionamiento Bioclimático de Viviendas de Segunda Residencia en el clima Mediterráneo, Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña, 2003.
- [2] F. León, «Construcción del hábitat en la Edad de Piedra,» de *Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 1998.
- [3] M. M. Monroy, «Claves del Diseño Bioclimático,» *BASA*, nº 23, pp. 1-2, 2001.
- [4] J. R. García, *Arquitectura, medio ambiente y desarrollo sustentable*, Azcapotzalco-México: UAM, 1999.
- [5] ATECOS, «Diseño Bioclimático,» Miliarium, Madrid.
- [6] Marti, «Diseño Bioclimático y Paisajístico,» de *GUÍA DE PLANEACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE EN EL CARIBE MEXICANO*, Mexico.
- [7] L. d. Garrido, *Proceso de diseño bioclimático. Control ambiental arquitectónico*, España, 2009.
- [8] EADIC, *Arquitectura Bioclimatica*, Madrid, 2013.
- [9] M. Miranda, *Análisis Bioclimático y Propuesta de Solución para el Centro Comercial Jockey Plaza*, Lima: Universidad Ricardo Palma, 2011.
- [10] H. Freddy, G. Abel y S. Gonzalo, *Arquitectura bioclimática con énfasis en viviendas altoandinas*, Lima: Centro de Energías Renovables UNI, 2009.
- [11] ATECOS, «Principios de Diseño Bioclimático: Clima,» Miliarium, Madrid.
- [12] ATECOS, «PRINCIPIOS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO: UBICACIÓN, ORIENTACIÓN Y FORMA DEL EDIFICIO,» Miliarium, Madrid.
- [13] Junta de Andalucía, *Arquitectura Bioclimática*, Andalucía: FADECO.
- [14] G. Gameros, *Agua Encapsulada como amortiguador Térmico sobre Losas de Concreto*, Colima: Universidad de Colima, 2007.
- [15] ATECOS, «SISTEMAS PASIVOS: INERCIA TÉRMICA,» Miliarium, Madrid.
- [16] A. Baño, «La Arquitectura Bioclimática: términos nuevos, conceptos antiguos. Introducción al diseño de espacios desde la óptica medioambiental.,» Universidad de Alcalá de Henares de Madrid, Madrid.
- [17] ATECOS, «SISTEMAS PASIVOS: CAPTACIÓN SOLAR,» Miliarium, Madrid.

- [18] S. Mecott, Vivienda Bioclimática con Paneles Modulares de Ferrocemento y Materiales Aislantes Alternativos para la Ciudad de Oaxaca, Oaxaca-Mexico: Instituto Politécnico Nacional, 2007.
- [19] J. Barros y A. Troncoso, Atlas Climatológico del Ecuador, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2010.
- [20] ATECOS, «ENERGÍA SOLAR,» Miliarium, Madrid.
- [21] M. Lopez, Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura, Universidad Politécnica de Cataluña, 2003.
- [22] R. Serra y H. Coch, Arquitectura y energía natural, Barcelona: UPC, 2000.
- [23] Atlas de viento y energía eólica de Colombia.
- [24] R. Murillo, CRECIMIENTO DE LOS SERVICIOS BÁSICOS Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO URBANO DE MACHALA. PERIODO 2011-2012, Machala: Universidad Técnica de Machala, 2013.
- [25] K. León y J. Martínez, CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA TÉCNICA DE LA ACUICULTURA EN PARROQUIAS URBANAS DEL SECTOR MACHALA, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2012.
- [26] N. Cortes, Y. Ramirez y G. Serrano, ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA FERIA INTERNACIONAL ANDINA EN LA CIUDAD DE MACHALA, PROVINCIA DE EL ORO, Machala: Universidad Técnica de Machala, 2011.
- [27] D. Barriga, ESTUDIO INVESTIGATIVO SOBRE LA CULTURA GASTRONÓMICA DE LA CIUDAD DE MACHALA, SUS COSTUMBRES Y FORMAS DE ALIMENTACIÓN, Quito: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, 2010.
- [28] INOCAR, DERROTERO DE LA COSTA CONTINENTAL E INSULAR DEL ECUADOR, Guayaquil, 2005.
- [29] A. Chérrez, P. Herrera y P. Rivadeneira, «Plan de Marketing Turístico para la ciudad de Machala, basado en la realidad turística actual y los proyectos a desarrollarse en los próximos 3 años,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2009.
- [30] ATECOS, «PRINCIPIOS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO: ESTRATEGIAS DE INVIERNO,» Miliarium, Madrid.
- [31] ENFORCE, «Guía Práctica sobre Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios,» Madrid, 2010.
- [32] O. Barrón, Criterios bioclimáticos aplicados en edificios públicos para el sistema de iluminación interior basados en fuentes de energía alternativas, Querétaro-mexico: Universidad Autónoma de Querétaro, 2013.

- [33] M. Guerra, *Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones*, El Salvador: Universidad Don Bosco, 2012.
- [34] E. Andriotti y E. González, «Diseño y Cálculo de una Vivienda Bioclimática Energéticamente Autosustentable,» Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires.
- [35] A. Torres, *Diseño de un Sistema de enfriamiento para cuartos limpios clase 100 con base en las Características bioclimáticas y un sistema dividido*, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2008.
- [36] M. Matute, *Tecnología sostenible y eficiencia energética aplicada al diseño de una vivienda*, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2014.
- [37] F. Coellar, *DISEÑO ARQUITECTÓNICO SOSTENIBLE Y EVALUACION ENERGETICA DE LA EDIFICACION*, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2013.
- [38] M. Sosa y G. Siem, *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes*, Caracas: IDEC, 2004.
- [39] C. Morillo, *Diseño del sistema de automatización para un edificio inteligente*, Guayaquil: ESPOL, 2009.
- [40] N. Colocho, P. Daza y M. Guzmán, *Manual básico de sistemas de aire acondicionado y extracción mecánica de uso común en arquitectura*, San Salvador: Universidad Dr. José Matías Delgado, 2011.
- [41] A. García, *Instalaciones en los Edificios*, Mexico: UNAM, 2010.
- [42] M. Gutierrez, *Sistemas de Climatización*, Chile, 2011.
- [43] INEN, *NTE INEN 2495:2012*, 2012.
- [44] Panasonic, «Panasonic,» 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.aircon.panasonic.eu/ES_es/ranges/domestic/happening/72/. [Último acceso: 20 Noviembre 2014].
- [45] LG, «LG,» 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.lg.com/ec/aires-acondicionados-residencial>. [Último acceso: 28 Noviembre 2014].
- [46] «Clima design,» [En línea]. Disponible en: <http://www.climadesign.com.ar/novedades/tecnologia-inverter-aire-acondicionado.php>. [Último acceso: 29 Noviembre 2014].
- [47] N. Quadri, *Sistemas de aire acondicionado*, Buenos Aires: Alsina, 2001.
- [48] FEGECA, «Sistemas eficientes de climatización y uso de energías renovables,» Madrid, 2011.

- [49] E. Vintimilla y P. Paladines, Auditoría Eléctrica a la Fábrica de Cartones Nacionales CARTOPEL, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2012.
- [50] J. Fernández, Eficiencia Energética en los Edificios, Madrid: AMV, 2011.
- [51] TRC, Análisis Termográfico, Madrid, 2011.
- [52] FLUKE, «Fluke,» [En línea]. Disponible en: www.fluke.com. [Último acceso: 20 Agosto 2014].
- [53] F. Sarmiento y V. Sánchez, Análisis de la Calidad de la Energía Eléctrica y Estudio de la Carga de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2009.

ANEXOS

ANEXO 1

VARIABLES CLIMÁTICAS DE MACHALA												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura Máxima (°C)	33	33	32.6	32.8	32	31.4	28.4	29	30.5	29.6	30.6	32.4
Temperatura Mínima (°C)	21	20.8	23.4	20.4	20	19.5	18	18.5	19	19.6	20	19.6
Temperatura Media (°C)	27	26.9	28	26.6	26	25.45	23.2	23.75	24.75	24.6	25.3	26
Humedad Relativa (%)	80	74	83	80	80	80	86	80	82	68	84	77
Heliofania (H)	12.15	17.75	13.6	19.8	10.55	15.9	5.85	11.35	12.4	3.7	8.85	11.85
Velocidad del viento (Km/H)	16.8	16.5	14.3	16.3	13.7	16.5	14	14	15	13.5	15	16