

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MASTER EN
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROYECCIÓN DEL
CENTRO DE CAPACITACIÓN EMPRESA ELÉCTRICA HOLGUÍN**

AUTORA: Ing. YAIDELI TAMAYO PUPO

Holguín 2022



**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MASTER EN
EFICIENCIA ENERGÉTICA V EDICIÓN**

**USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROYECCIÓN DEL
CENTRO DE CAPACITACIÓN EMPRESA ELÉCTRICA HOLGUÍN**

AUTORA: Ing. YAIDELI TAMAYO PUPO

TUTOR: Prof. Titular; Ing. EVER GÓNGORA LEYVA; Dr. C.

Holguín 2022



AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar presente en cada uno de los pasajes de mi vida.

A mi familia y esposo por acompañarme en los buenos y malos momentos especialmente a mi mamá.

A mi tutor por ayuda y apoyo incondicional.



DEDICATORIA

A mi papa, aunque ausente, fue mi ejemplo a seguir de capacitación y constancia.

A mis hijos por ser la fuente de inspiración de todas mis metas.

A mis familiares por su ayuda y comprensión, especialmente a mi mamá.

A mi esposo por siempre confiar en mí.

A mi tutor por ser el brazo fuerte y confiar en mi perseverancia.



RESUMEN

En el presente trabajo investigativo se enmarcó en la revisión de la insuficiente proyección en la propuesta de sistema de climatización, sistemas de iluminación del Centro de Capacitación de la Empresa Eléctrica de Holguín, con impactos negativos en el consumo de energía eléctrica a su puesta en explotación, considerando la necesidad de realizar un aprovechamiento óptimo de la energía y de resolver deficiencias en la Gestión energética en la inversión. Se realizó un diagnóstico energético caracterizando los equipos propuestos, elaborando una hoja de cálculo mediante la aplicación Microsoft Excel donde se ejecutaron todos los análisis y cálculos que se derivan de los procedimientos propuestos. En la investigación se hicieron mediciones técnicas mediante cálculo de cargas térmicas de la edificación, cálculo por el método de lúmenes al sistema de iluminación y diseño de calentadores solares para agua, a través de software *PVsyst* se calculó sistema de paneles fotovoltaicos. Se analizaron 22 locales con propuesta a climatizar un 68 % de los locales analizados están sobredimensionados en su carga térmica propuesta. Se propuso sistemas de iluminación led. Se aportó a la investigación sobre la instalación de celdas fotovoltaica en la cubierta de la edificación. Del análisis costo-beneficio se concluyó que con una adecuada utilización de las tecnologías es posible el ahorro de energía eléctrica y el confort de la edificación, que se convierte en mejoras en la Gestión eficiente de la Energía.



ABSTRACT

In the present investigative work, it is framed in the review of the insufficient projection in the proposal of air conditioning system, lighting systems of the Training Center of the Holguín Electric Company, with negative impacts on the consumption of electrical energy when it is put into operation, considering the need to make optimal use of energy and resolve deficiencies in energy management in investment. An energy diagnosis was carried out, characterizing the proposed equipment, preparing a spreadsheet using the Microsoft Excel application where all the analyzes and calculations derived from the proposed procedures were executed. In the investigation, technical measurements were carried out by calculating the thermal loads of the building, calculation by the method of lumens to the lighting system and design of solar water heaters, through PVsyst software, the photovoltaic panel system was calculated. 22 premises were analyzed with a proposal to air condition 68 % of the premises analyzed are oversized in their proposed thermal load. LED lighting systems are proposed. It contributes to the research on the installation of photovoltaic cells on the roof of the building. From the cost-benefit analysis, it is concluded that with an adequate use of technologies it is possible to save electrical energy and the comfort of the building, which becomes improvements in efficient energy management.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.	9
1.1- Introducción.....	9
1.2- Trabajos precedentes	9
1.3- Generalidades de los sistemas de climatización	14
1.4- Potencialidades del uso de energía renovables en edificaciones	23
1.5- Conclusiones del Capítulo I	25
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.1- Introducción.....	26
2.2- Materiales y herramientas	26
2.3- Procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica	30
2.4- Método de cálculo	37
2.5- Diseño del sistema de calentamiento solar de agua.....	40
2.6- Metodología empleada para el cálculo de la iluminación LED en locales.	46
2.7- Metodología para el cálculo de paneles solares fotovoltaicos para la cubierta.....	53
2.8- Conclusiones del Capítulo II	57
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	58
3.1. Introducción.....	58
3.2. Resultados del diagnóstico de energía	58
3.3. Cálculo de la carga térmica	59
3.4. Análisis de los resultados	59
3.4.1. Resultados obtenidos en el estudio del Sistema de climatización.....	60
3.4.2. Implementar integración de sistemas de calentamiento solares de agua	63
3.4.3. Resultados obtenidos en el estudio Sistema iluminación led	64
3.4.4. Implementar FRE. Integración de sistemas solares fotovoltaicos en edificios.....	65
3.5. Valoración económica	71
3.6. Estudio de la contaminación ambiental	73
3.7. Conclusiones del capítulo III	75
CONCLUSIONES GENERALES	76
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	89



INTRODUCCIÓN GENERAL

La eficiencia energética busca ofrecer más servicios con la misma entrada de energía, o los mismos servicios por menos consumo de energía. Para eso es necesario contar con una adecuada gestión de la misma (Elsinger, 2021). Uno de los mayores consumidores de energía a nivel mundial es el sector de la construcción, el cual consume alrededor del 40 % de la energía primaria y es el responsable del 40 % de emisiones de CO₂ (Piñeres, 2022).

La utilización de la energía eléctrica tiene en la actualidad una tendencia al incremento en su uso. Se pronostica que crecerá en los últimos 20 años, aumentará cerca de un tercio a escala mundial y aunque para los próximos 70 años no existirán límites en el consumo. Para el logro de un desarrollo sostenible, se hace indispensable la búsqueda de nuevas fuentes de energías y una mayor eficiencia en su producción y distribución, de lo contrario se acelerarán los daños en el medio ambiente, aumentará la desigualdad y se verá en peligro el desarrollo económico mundial, la especie humana y el planeta (Acebedo y otros, 2021).

La eficiencia en la utilización de la energía constituye la opción más barata para disponer de más energía; el uso eficiente de esta puede lograr ahorros de un 50 % para el 2050, comparado con los consumos actuales (González, 2005 y Romo, 2021).

Eficiencia energética en el ámbito empresarial implica lograr un nivel de producción o servicio con requisitos de calidad establecidos por el cliente, con los menores consumos y costos energéticos posibles, la cual puede alcanzarse con una mejor gestión de la energía y buenas prácticas de consumo, aspectos que en la mayoría de los casos inciden y deciden en indicadores económicos de las entidades base del país (Álvarez, 2021). Esta afirmación demuestra la existencia de brechas para continuar el ahorro de energía en las empresas cubanas.

Para lograr una eficiencia energética, reducir el consumo de portadores energéticos y un incremento de los servicios, se requiere una especial atención hacia las formas de concepción de las edificaciones. Tomando como base de fundamentación la RS 1 238 denominada "Directiva para el desarrollo, mantenimiento y sostenibilidad de las fuentes renovables y el uso de la energía". Del ministerio de Economía y Planificación del 5 de febrero de 2021, en su acápite 2.1 y sito "Incluir en las bases del diseño por las empresas de proyectos, la aplicación obligatoria de las tecnologías que aprovechen las fuentes renovables de energía y las acciones de eficiencia energética".



La eficiencia energética es un aspecto que no todos los países pueden estar seguros de tener al cien por ciento resuelta. Un sistema sin falla energética les permite a los usuarios desplegar con normalidad todas las actividades cotidianas que deben de realizar. Remarcar que el fomento de la eficiencia energética en los edificios es una parte importante del conjunto de medidas necesarias para alcanzar los objetivos marcados por el Protocolo de Kioto. Una de las principales estrategias para alcanzar el objetivo de la emisión de un 50 a un 85 % menos de CO₂ para el año 2050, comienza por reducir el consumo de energía en los edificios. La construcción es, sin lugar a dudas, un receptáculo de oportunidades para disminuir el consumo energético. Cada día nuevas soluciones al problema energético entran en el mercado, las posibilidades van desde la integración del clima local en el diseño constructivo, la utilización de nuevos materiales, mejoras en los sistemas de los edificios, hasta la creación de mecanismos de gestión y operación que permiten optimizar los edificios (Collado, 2019).

Una edificación desde el período de proyecto hasta la puesta en explotación debe prever, desde el punto de vista energético y de confort térmico, los efectos climáticos sobre la evolución termodinámica del sistema. Esto se debe a que los elementos pasivos son parte integrante de la construcción, es necesario tener en cuenta los datos climatológicos al inicio del diseño y en todos y cada una de las fases del proyecto (D'amazo, 2021). Un edificio representa un sistema termodinámico abierto, de paredes adiabáticas y en situación permanente de inestabilidad; su estado termodinámico en cada instante se define como la respuesta a las variaciones externas e internas de esta construcción. Estas condiciones obligan a los ingenieros a conocer y prever en lo posible las fluctuaciones significativas del entorno para llegar a la comprensión, predicción y/o simulación del estado termodinámico del edificio. El diseño energéticamente eficiente y consiente pasa por el aprovechamiento de los recursos naturales del lugar donde se irgue la construcción. Para ello es preciso que existan las condiciones adecuadas para que estos recursos puedan ser empleados (Durán, 2022).

El sector energético hoy se enfrenta a importantes desafíos a propósito del cambio de la matriz energética del país, donde se imponen unas series de retos, proyectos, estrategias encaminadas a la implementación del uso de energías renovables, a propósito de contar con un personal que se necesita mantener en constante capacitación, es además la rama con la importante misión de



mantener estándares de eficiencia energética, con el fin de incrementar aportes para la economía de la nación, donde de su avance próspero depende en mayor o menor medida del resto de los sectores de la nación. El objetivo fundamental de este sector eléctrico en nuestro país y provincia es la generación, distribución y comercialización de energía, destinados a la satisfacción plena de la sociedad.

Para concretar la satisfacción de dichas necesidades se hace necesario el consumo de un grupo de recursos y portadores energéticos que en cada caso contribuyen a la total complacencia del explotador.

De significativo aporte al cambio de la matriz energética en Cuba, resulta la utilización de energías renovables, diagnósticos energéticos, como resultados de la política a seguir para obtener más resultados con el menor gasto posible de recursos, aplicación de las nuevas tecnologías y esto se logra en la explotación de las instalaciones de modo más eficiente, lo que está estrechamente vinculado a los programas de proyección, ejecución y mantenimiento, para al final obtener mejores resultados en calidad y economía, Decreto Ley 345, (19 de noviembre 2019).

La empresa Eléctrica de Holguín, como todas las de su tipo en el país trabaja con personal expuesto a un nivel de riesgos alto, tales como trabajos en altura, riesgo de contacto con la corriente eléctrica, quemaduras por arco eléctrico, entre otros, que no se forma en las escuelas del sistema nacional de educación, sino que históricamente la empresa ha formado especialistas de estos puestos de trabajo impartiendo constantemente cursos tanto de formación de nuevos operarios, como de recalificación de los que alcanzan determinados niveles de especialización.

Para mejorar un poco el déficit de fuerza de trabajo calificada se imparten cursos de Linieros Eléctricos, de operadores, de lectores cobradores, inspector eléctrico, despachadores. Aún no existe respuesta a mediano plazo de las necesidades de formación que requieren los trabajadores, lo que se traduce en que en las brigadas faltan linieros especializados, así como linieros energizados, en los municipios incompletos los jefes de brigadas, además de encarecer de forma exponencial los gastos de capacitación de la empresa eléctrica Holguín.



Por tal motivo fue propuesta la inversión denominada “Centro de Capacitación Empresa Eléctrica Holguín”, el proyecto técnico ejecutivo fue realizado por la Empresa Nacional de Proyectos de la Agricultura en la provincia Holguín.

Situación problemática

El sector eléctrico en la provincia Holguín carece de una instalación educativa dada la necesidad de mantener una constante capacitación al personal expuesto a riesgos que no se forma en las escuelas del sistema nacional de educación, sino que históricamente la empresa ha formado especialistas de estos puestos de trabajo impartiendo constantemente cursos tanto de formación de nuevos operarios, como de recalificación de los que alcanzan determinados niveles de especialización, motivado por el gasto excesivo de presupuesto por concepto de hospedaje y alquiler de locales, cargados a la capacitación.

El proyecto técnico ejecutivo actual implica un considerable consumo energético a futuro, producto de la demanda de las diferentes cargas eléctricas propuestas en la edificación y que son destinadas en su mayoría a, sistemas de iluminación, sistemas de climatización por medio de aires acondicionados.

Desde el punto de vista científico se ha evidenciado que existen insuficiencias en la gestión energética en el proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación empresa eléctrica Holguín, con impacto negativo a futuro en la gestión energética en el sector eléctrico de la provincia.

El centro de capacitación de la empresa eléctrica, se encuentra en la fase de ejecución, en la etapa de cimentación, se localiza en el municipio cabecera de Holguín, provincia de Holguín, ubicado en el reparto Zayas. La construcción de esta instalación es única de su tipo en todo el territorio holguinero y la misma en su construcción prevé 30 locales, que incluye dormitorios, aulas especializadas, anfiteatro y oficinas de personal docente, administrativo y de servicio.

La inversión denominada por centro de capacitación, inició su proyección en el año 2011 y desde su inicio hasta la fecha, ha transitado por varias transformaciones en su proyecto técnico ejecutivo y permisología, ninguna incluye cambios en la carga térmica de climatización, así como de iluminación eficiente, sistema de calentadores solares para agua, sin estudios previos que incluyan cambios a favor de la envolvente de la edificación y uso de fuentes renovables.

En tal sentido, se hace pertinente realizar esta investigación encaminada a la solución del siguiente **problema de la investigación**: Insuficiencias en el proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación empresa eléctrica Holguín, con impactos negativos a futuro en la gestión energética en el sector eléctrico de la provincia.

Al diseñar una instalación con características de eficiencia energética, se debe conocer la función principal del acondicionamiento de aire que se requiere mantener dentro del local a climatizar, iluminación eficiente, así como proponer uso de fuentes renovables, para así lograr los objetivos específicos y dar respuesta a la problemática. Entonces, se establece como punto de partida el correcto acondicionamiento del aire a proporcionar durante todo el año, el confort y la calidad del aire en el interior del local para las personas, iluminación necesaria según lúmenes, integración de calentadores solares y empleo de energía solar como fuente alternativa.

Es por ello que el **objeto de la investigación** se enmarca en la revisión del proyecto técnico ejecutivo del Centro de Capacitación de la Empresa Eléctrica de Holguín.

De ahí que se persigue como **objetivo general** de la investigación:

Proponer mejoras en el proyecto técnico ejecutivo encaminadas al uso eficaz de las tecnologías para la reducción del consumo energético del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín a su puesta en explotación.

El propósito de esta investigación es evaluar la propuesta inicial arquitectónica y de equipamiento eléctrico de una edificación de propósito educativo, con perspectivas a sentar los puntos de partida necesarios para desarrollar metodologías y políticas de actuación de un sistema de gestión energética aplicable a edificaciones, con la finalidad de disminuir el consumo de energía y la demanda de potencia, para obtener beneficios económicos disminuyendo los pagos energéticos y ambientales atenuando las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Para lograr dicha evaluación es necesario, caracterizar la propuesta de consumo energético del proyecto técnico ejecutivo del edificio con propósito educativo, a partir del análisis del equipamiento planificado en la actualidad, así como determinar los componentes del sistema energético incluyendo las prestaciones que otorgan centrales fotovoltaicas, en interés del ahorro de recursos y la eficiencia energética.



Y se concreta en el **campo de acción**: Caracterización energética del proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**: Si se evalúan oportunidades de ahorro mediante el uso eficaz de las tecnologías en el proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín, se puede lograr mejoras en la gestión energética en el sector eléctrico de la provincia, garantizando el menor costo posible y el mínimo consumo energético en la edificación a su puesta en explotación.

En correspondencia con la hipótesis planteada, se definen los objetivos específicos siguientes:

1. Caracterizar el comportamiento energético del proyecto técnico ejecutivo actual del centro de capacitación de empresa eléctrica Holguín.
2. Compendiar la integración de equipamiento eficiente y uso de energía renovable desde el diseño en las inversiones estructurales del sector eléctrico en la provincia Holguín.
3. Implementar un sistema de acciones en la conceptualización de inversiones con características de edificaciones que permita el ahorro de energía.
4. Proponer mejoras en los sistemas de climatización e iluminación eficientes, calentadores solares para agua y el uso de FRE como fuente alternativa de generación de energía eléctrica.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes tareas de trabajo:

1. Análisis bibliográfico que permita el establecimiento del estado del arte sobre la temática tratada.
2. Valoración energética a partir del proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación, según cambios actuales de la matriz energética del país.
3. Evaluación del comportamiento de los portadores energéticos y la incidencia del equipamiento propuesto para la climatización, así como iluminación en los mismos.
4. Estimación del procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica en los locales con propuesta de clima.

5. Valoración de la carga térmica total sobre la batería de enfriamiento en cada local analizado.
6. Selección de los equipos a instalar en los locales que garanticen un consumo racional de energía eléctrica.
7. Implementación del uso de equipamiento de generación de energía a través de fuentes renovables, así como el uso de calentadores solares para agua.
8. Valoración económica de la propuesta efectuada considerando el impacto ambiental asociado a la misma.

Métodos teóricos: Análisis y síntesis: permitió llegar a conclusiones concretas con respecto al diseño, en relación a la gestión energética a futuro nula en el centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín.

Histórico-lógico: Se empleó para la tesis los antecedentes de la investigación, así como análisis de proyectos técnicos ejecutivos de su naturaleza.

Hipotético-deductivo: Para especificar los aspectos que contiene la hipótesis y demostrar la misma.

Sistémico Estructural- Funcional: Se utilizó para interrelacionar elementos, datos, considerando el problema planteado en la hipótesis.

Métodos empíricos: Investigación bibliográfica: se proporciona la actualización de la documentación para obtener la información necesaria durante el progreso de la investigación y la aplicación del procedimiento de gestión energética.

Observación científica: Para la revisión durante el proceso de investigación y aprovisionamiento de análisis de eficiencia energética en relación al objeto de investigación.

Mediciones técnicas: facilitó, mediante cálculo de cargas térmicas de la edificación, cálculo por medio del método de lúmenes, cómputo de datos para la utilización de calentadores solares para agua, cálculo de instalación de paneles solares fotovoltaicos sobre cubierta rígida, diagnóstico energético de la propuesta de equipamiento según estudio de factibilidad existente. Se estructura la Tesis de Maestría de la siguiente forma: La introducción general, se realizan enfoques de la situación problemática y se fundamenta el diseño de la investigación; un Capítulo I, que contiene el marco teórico referencial que respaldó la investigación; un Capítulo II, donde se establece los



materiales, procedimientos de cálculo, mediciones a recurrir fundamentada en la normativas y un Capítulo III, donde se fomenta la aplicación de la ciencia, con el objetivo de demostrar su perspectiva de aplicación en la entidad de conjunto con un análisis técnico- económico de la propuesta para mejorar la eficiencia energética; conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación; la bibliografía, anexos, de los resultados expuestos.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1- Introducción

Una edificación desde el período de proyecto hasta la puesta en explotación debe prever, desde un punto de vista energético y de confort térmico, los efectos climáticos sobre la evolución termodinámica del sistema. Esto se debe a que los elementos pasivos son parte integrante de la construcción, siendo necesario tener en cuenta los datos climatológicos al inicio del diseño en todos y cada una de las fases del proyecto (Arbello, 2022).

La función principal del acondicionamiento de aire es mantener las condiciones necesarias para la conservación de un producto, para un proceso de fabricación o para garantizar el confort humano. En este último caso, se deben lograr condiciones micro climáticas óptimas, que no provoquen variaciones del estado general y funcional del organismo, haciendo innecesarios los esfuerzos que requiere la termorregulación, garantizándose el bienestar térmico del hombre y, por tanto, las condiciones óptimas para su rendimiento, en tal sentido el objetivo del capítulo es:

Establecer los aspectos teóricos sobre la climatización, iluminación y la descripción de los locales del centro de capacitación que permitan su evaluación energética.

1.2- Trabajos precedentes

Durante la investigación se consultaron varios estudios y trabajos relacionados con el tema de evaluación de sistemas de climatización, estimación de la carga térmica, uso de iluminación eficiente, energías renovables como fuentes alternativas. El análisis bibliográfico estuvo dirigido a la información relacionada con la parte teórica y metodológica de la temática tratada.

Para la realización del trabajo fue necesaria la consulta de la bibliografía especializada en la estimación de la carga térmica de climatización, donde se destaca Polaino (1987), en la cual se resumen los términos, definiciones y las ecuaciones necesarias para la estimación de la carga térmica, también se muestran las tablas necesarias para la solución de dichas ecuaciones.

Poirier (1979), realizó un estudio que involucró modelos de tipo econométrico y *splines* con el fin de estimar la demanda residencial para un pequeño conjunto de consumidores de los cuales se contaba con información cada 15 minutos, para modelar la demanda de electricidad horaria de 400 residencias durante cuatro meses en 1985.

A la estimación de la carga térmica de diferentes locales se dedicaron varios autores en sus trabajos de tesis, entre los que se destacan García (1998), Torres (1999), Durán (2004), Valdespino (2004), Hernández (2005), Ruiz (2004), y Lamoth (2005); ellos agruparon su trabajo en la selección de las condiciones de diseño interior y exterior, y el cálculo de las diversas ganancias de calor en los locales estudiados. Establecieron los parámetros del ciclo de progreso del aire para cada local y seleccionaron los equipos de climatización requeridos garantizando el uso eficiente de los recursos energéticos.

Al aumentar los costos de la energía, requieren de esfuerzo en la planificación a mediano plazo en la medida que el suministro y el uso de la misma lo demanden, y se comprende desde la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética, es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas.

Según Vilchez (2003) y Gómez (2020), para el ahorro energético en instalaciones de climatización, las utilidades de sistemas de control más eficaces son:

La gestión de enfriamiento gratuito por aire exterior y recuperación de calor, donde la utilización del enfriamiento gratuito por aire exterior debe ser en función de las condiciones climatológicas de la zona en que se ubica el edificio, de la radiación solar absorbida por la envolvente del mismo y de las cargas internas de ocupación, iluminación y las aportadas por otros consumidores energéticos.

Resulta interesante la revisión del trabajo de Abella (2005), donde el autor además de estimar la carga térmica real de las instalaciones Villa Coral y Villa Vigía, realizó un análisis del comportamiento de los portadores energéticos en dichas instalaciones demostrando que la climatización es el elemento de mayor incidencia en los elevados consumos de energía eléctrica.

Fernández (2006), desarrolló una aplicación de modelos de regresión. En este estudio la ecuación de demanda establece una relación no lineal entre el consumo doméstico de electricidad y el precio de ese consumo, así como un conjunto de características del hogar que se trate, personal y demográfico, de los individuos que forman parte de la muestra. La estimación se realiza a través de un análisis paramétrico de mínimos cuadrados en dos etapas, así como de un análisis de regresión no paramétrica, mediante técnicas *kernel*, que permite fundamentar de forma más robusta la especificación funcional paramétrica.

La concepción de edificios de consumo de energía casi nulo tema de investigación N Collado, E Himpe, D González y L Rueda “Revista ingeniería de construcción” (2019) y comparto su aporte podría representar una aspiración más sostenible dentro de las políticas de construcción, aun cuando no ha sido un enfoque poco analizado en el contexto latinoamericano, definiendo variables comunes, tales como el diseño pasivo de las edificaciones, las metodologías de balance energético y los indicadores de energía renovables. Se definen y discuten los cinco retos principales para poder establecer en el ámbito nacional, una directiva de eficiencia en edificaciones, similar a la del contexto europeo, a partir de la experiencia actual en Cuba.

De acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenibles formulados por las Naciones Unidas (ONU), en 2019, el desarrollo de energía e infraestructura sostenible es una de las áreas prioritarias en la implementación de los principios de desarrollo sostenibles. Una de las metas para lograr el Objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” es la reducción del impacto ambiental negativo de las ciudades para 2030, mientras que el objetivo 7 “Energías asequible y no contaminante” puede lograrse, entre otras cosas, duplicando los indicadores mundiales de eficiencia energética hasta 2030. La energía es la base de la sociedad moderna (Paneque-Vázquez, 2021). Por lo tanto, las medidas destinadas a alcanzar estos Objetivos de Desarrollo Sostenible deben abarcar diversas áreas de actividad, incluido el diseño arquitectónico de los edificios, ya que estos, cuando se diseñan de acuerdo con los principios de eficiencia energética y cuidados del medio ambiente, pueden contribuir al desarrollo urbano sostenible y a reducir el impacto ambiental.

Al mismo tiempo, según estudios publicados por la transnacional de petróleo y gas BP en revisión anual de tendencias globales de energías para 2019, uno de los principales desafíos es el crecimiento del consumo energético. Mientras tanto, aumenta el número de edificios y complejos en todo el mundo, lo que impacta negativamente el medio ambiente (Sánchez, 2021), mientras que la demanda mundial de energía, con los edificios comerciales y residenciales ocupan el tercer lugar en términos de consumo de energía (Álvarez, 2021) aumentando en un tercio para 2040, lo que puede conducir a un deterioro ambiental a nivel mundial. En este sentido, arquitectos de diferentes países, entre ellos EE. UU, Reino Unido, Alemania y Rusia, están desarrollando principios de sostenibilidad de edificios y estructuras, destacándose el estudio que

utiliza fuentes de energías alternativas para reducir el consumo energético y aumentar la eficiencia energética en los edificios mientras explotan métodos para reducir el impacto negativo de los objetos arquitectónicos en el medio ambiente.

La matriz energética cubana muestra una marcada dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía. Hoy, representa el 95 % de la producción primaria de energía en la isla, según especifica *Cuba Energía*, en el año 2021 solo el 4,8 % representa el uso de fuentes alternativas de generar energía, a través del desarrollo de parques solares fotovoltaicos, plantas de biogás, energía eólica e hidroeléctricas, revista digital CUBAHORA, (23 junio 2022), <http://www.cubadebate.cu>

Dentro de la política del país específicamente en el objetivo seis se encuentra enmarcado realizar estudios y proyectos que conlleven a un mayor uso de las fuentes renovables de energía. Nuestro país cuenta desde 2014 con una política para desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y su uso eficiente, a fin de garantizar una transición segura, amigable con el medio ambiente, y la racionalidad en el empleo de los recursos. Durante el 2021 las fuentes renovables de energía aportaron 994,00 GW·h de energía limpia, con lo cual se dejaron de consumir 273 000 t de combustible fósil y se dejaron de emitir 800 000 t de CO₂. Las proyecciones futuras son: lograr el cambio total de la matriz energética del país logrando la participación del 100 % de fuentes renovables de energía, para lo cual se estima serán necesarios instalar más de 10 GW en solar fotovoltaica.

En el artículo publicado en 2020 en la revista *Cofin Habana* explicaba que las inversiones en Cuba requieren un proceso evolutivo flexible, en concordancia con la estrategia mundial de desarrollo sostenible y su agenda 2030. El texto también argumenta que los factores determinantes del proceso inversionista en Cuba se nutren de la integración entre comportamiento de la economía cubana en relación con las inversiones y el marco regulatorio vinculado, en cuanto a normativas, regulaciones y leyes.

En tal sentido, Cuba ha creado un marco de apoyo institucional, normativo y de gestión a nivel nacional, territorial y sectorial para incorporar la dimensión climática en la planificación y desarrollo productivo, lo cual implica la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la trasmisión hacia un modelo resistente y bajo en carbono, sostiene la Tercera Comunicación

Nacional. Para ello, desde la década del 90 se implementaron diversas estrategias, como el Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía (1994); el Programa de ahorro de electricidad de Cuba (1997); y la Revolución Energética (2005 a 2006), los cuales contribuyeron a la reducción del crecimiento de la demanda de electricidad en la Isla y al aumento de la eficiencia energética. De similar modo, en el 2014 se aprobó la política para desarrollo perspectiva de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética, centrada en lograr un mayor empleo de fuentes renovables.

La eficiencia energética en Cuba tiene la “Revolución Energética” iniciada a finales del año 2005 y desarrollada con toda fuerza a partir del (2006), lo que conlleva la puesta en práctica de nuevas concepciones para el desarrollo de un sistema electro energético nacional más eficiente y seguro, y un uso racional y eficiente de la energía en todos los sectores de la sociedad cubana, haciendo del ahorro de energía el sustento fundamental del desarrollo del país. El ahorro total alcanzado con los programas de la Revolución Energética entre el 2006 y el 2007 ascienden a 2 795 GWh , equivalentes a 961 419 toneladas de combustible convencional (Armas, 2008).

En resumen, se han implementado distintas aproximaciones con el fin de realizar proyecciones de demanda de energía eléctrica. En todas ellas se ha considerado la inclusión de otras variables (horas del día, meses del año, cantidades de usuarios, temperaturas, demanda promedio) las cuales contribuyen significativamente a la explicación de la demanda a partir del método paramétrico y el empleo de redes neuronales en algunos de los casos.

De esta revisión de la literatura se deduce que no se ha establecido un método estándar para solucionar el pronóstico de energía, debido a la complejidad que conlleva el mismo. Igualmente, se han empleado con frecuencia algunas técnicas para dar solución a este problema, algunas veces utilizadas como herramienta de apoyo a otras metodologías estadísticas de predicción.

Rojas (2001) y Cuba (2004), realizaron el estudio de la climatización del Hotel “Miraflores”, determinando las principales deficiencias que presentan las unidades de acondicionamiento de aire en la instalación, y la carga térmica de la instalación. Además, propusieron un reordenamiento de los aires acondicionados de ventana, garantizando así el uso eficiente de los mismos.

Luego de las modificaciones a que estuvieron sometidas las habitaciones del Hotel Miraflores se impone la necesidad de hacer un estudio que permita evaluar el comportamiento de la carga térmica de los mismos y su incidencia en el consumo de energía eléctrica, de ahí la importancia de este trabajo.

1.3- Generalidades de los sistemas de climatización

La climatización consiste en crear las condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire ajustadas para la comodidad dentro de los espacios habitados. Esta puede ser natural o artificial y tiene dos vertientes:

- La calefacción o climatización de invierno.
- La refrigeración o climatización de verano.
- La comodidad térmica, importante para el bienestar, está sujeta a tres factores:
- El factor humano: La manera de vestir, el nivel de actividad y el tiempo durante el cual las personas permanecen en la misma situación, influye sobre la comodidad térmica
- El espacio: La temperatura radiante media de los parámetros del local considerado y la temperatura ambiental.
- El aire: Su temperatura, velocidad y humedad relativa.

Entre estos factores, el humano puede ser variable, puesto que depende del gusto o actividad de las personas. Los demás pueden controlarse para ofrecer una sensación de bienestar.

El cambio de la manera de construir los edificios, los métodos de trabajo y los niveles de ocupación han creado nuevos parámetros que los diseñadores deben prestar atención. Los edificios modernos tienen más carga térmica que hace 50 años, por varios motivos:

- La temperatura exterior: los elementos separadores del interior de los edificios con el exterior no son impermeables al paso del calor, aunque pueden aislarse convenientemente. El calor pasa desde el ambiente más cálido al ambiente más frío dependiendo de la diferencia de temperaturas entre ambos ambientes.
- La radiación solar: Con el desarrollo de los nuevos edificios, las nuevas técnicas han favorecido el empleo del cristal y el incremento térmico es considerable en verano cuando la radiación solar los atraviesa, pero es favorable en invierno, disminuyendo las necesidades



de calefacción. El acristalamiento excesivo no es deseable en climas cálidos, pero sí en climas fríos. Incluso en cerramientos opacos, no acristalados, calienta la superficie exterior aumentando el salto térmico exterior e interior y por lo tanto el paso del calor por los cerramientos opacos.

- La ventilación: La introducción de aire exterior en el edificio puede modificar la temperatura interna de este, lo cual puede suponer un problema cuando el aire exterior está a 30 °C .
- La ocupación: El número de ocupantes aumenta en los edificios, genera cada uno entre 80 y 150 W de carga térmica, según la actividad realizada.
- La ofimática: La proliferación de aparatos electrónicos, ordenadores, impresoras y fotocopiadoras que forman parte de las oficinas modernas, generan cargas térmicas importantes.
- La iluminación: La iluminación es un factor de calentamiento importante que se estima en una carga de entre 15 a 25 W/m² . Almacenes modernos se calientan gracias a un sistema de iluminación y al calor producido por los usuarios, esta situación es bastante frecuente en Europa.

Evidentemente, muchas de estas cargas son favorables en invierno, pero no en verano. Todas ellas deben ser dominadas y compensadas si uno desea obtener un ambiente confortable en verano. El único medio de asegurar esta comodidad es la climatización.

Los sistemas de climatización lo constituyen equipos o máquinas que transportan la energía en forma de calor de un medio a otro, los cuales modifican la temperatura en virtud del efecto deseado y en correspondencia de la zona a emplear para conseguir las condiciones de confort deseadas, estos sistemas poseen una amplia clasificación.

Los sistemas de acondicionamiento de aire se clasifican de acuerdo ha:

- Su uso

Para el confort: tiene como objetivo crear condiciones ambientales que propician bienestar y óptimo rendimiento.

- Su forma de instalación

Sistemas centralizados: todos sus componentes están ubicados en una sola máquina donde se lleva a cabo el proceso de acondicionamiento de aire.

Sistemas semi-centralizados: consiste en que el montaje de los equipos es individual en cada local.

- En procesos industriales

Su función es propiciar las condiciones ambientales óptimas de modo que se satisfagan las necesidades en la producción industrial.

- En dependencia de la estación del año
- Equipos de enfriamiento (en verano).
- Equipos de calefacción (en invierno).
- Equipos de enfriamiento y calefacción (todo el año).

Condiciones de diseño exterior

Se denominan a los valores de temperatura a bulbo seco y húmedo, humedad relativa, variación diurna de temperatura, velocidad y dirección de los vientos predominantes. Todos estos valores estarán determinados por las condiciones climatológicas del lugar donde está situado el local a climatizar.

Factores que influyen en las condiciones de diseño exterior

En una localidad dada existen variaciones de temperatura y humedad que ocurren a través de la superficie de la tierra, los cuales se deben a diferentes factores:

- Inclínación del eje de rotación de la tierra respecto a su plano de giro con relación al sol: este determina la cantidad de energía solar recibida en un lugar de la superficie terrestre y su variación en el transcurso del año, así como la incidencia de la latitud geográfica, lo cual determina la cuantía de energía solar absorbida por la tierra, en qué cantidad es almacenada y la rapidez con que es rechazada a la atmósfera.
- La tierra: es un agente de absorción de rayos solares, lo que provoca un ascenso de su temperatura superficial. Del calor absorbido por la tierra será almacenado una parte en las

capas superficiales de la corteza terrestre, el resto será transmitida por convección a la atmósfera y por radiación nuevamente al espacio.

- El agua: su comportamiento es diferente al de la tierra ante los efectos de los rayos solares, pues resulta parcialmente transparente a la radiación, lo que provoca que la energía se acumule en las profundidades del mar y por ende la temperatura de la tierra no se eleva mucho durante el día, pero en la noche el calor almacenado por la tierra es cedido a la atmósfera más rápidamente que el mar, ya que el mismo almacenó menor cantidad de energía en las capas superiores de la corteza terrestre que en las profundidades del mar y por lo tanto la temperatura de la superficie de la tierra es menor que la de la superficie del mar durante la noche.
- Calentamiento desigual entre la tierra y el mar: lo anterior provoca el movimiento del aire y como resultado de esto en la atmósfera ocurren expansiones y compresiones adiabáticas con el consecuente aumento y disminución de la temperatura del aire.
- La formación del rocío: esta determina las variaciones diarias de las condiciones atmosféricas en una zona dada, donde como consecuencia del rechazo de calor almacenado en el día y en la noche ocurre un continuo descenso de las temperaturas de la tierra y el aire en contacto con ella debido a la transferencia que se establece entre ellos.

Todos estos factores influyen en el balance energético realizado entre la tierra, el espacio y las diferentes zonas de la propia corteza terrestre debido al desigual calentamiento de los mismos en el tiempo, provocando a su vez corrientes de aire.

- Factores que influyen en las condiciones de diseño interior

El conjunto de valores de temperatura a bulbo seco y húmedo, humedad, velocidad y pureza del aire, los cuales deberán mantenerse en el interior del local y estarán en función del uso que se desee dar al espacio acondicionado independientemente del uso al que esté destinado.

El acondicionamiento de aire, debe mantener las condiciones atmosféricas en el interior del local, independientemente de las variaciones y de las condiciones del tiempo exterior.

Consideraciones de diseño

Elsinger (2021), confort térmico y tipología arquitectónica en clima cálido-húmedo. La arquitectura se modifica a fin de proporcionar al hombre las condiciones necesarias de confort. La consecuencia final de todas las consideraciones que pueden hacerse sobre el bienestar es que, en cualquier espacio arquitectónico se puede actuar, desde el inicio del diseño, sobre los parámetros ambientales que resultarán en el edificio. Es decir, la “arquitectura del ambiente”, en cual la persona receptora del mismo pasa a ser el primer factor a considerar. El autor centró su investigación a los efectos del clima sobre el hombre y relacionado con las tipologías de arquitectura para climas cálidos húmedos, a través de soluciones de diseño ambiental que sean capaces de responder a las necesidades de confort térmico del hombre. Seleccionando las características del clima cálido húmedo y sus efectos en el confort térmico. La influencia de los parámetros de temperatura del aire, radiación, humedad relativa y movimiento del aire en tales condiciones climáticas. Relacionar las tipologías arquitectónicas (soluciones de diseño) capaces de responder a las necesidades de confort térmico del hombre para el clima en cuestión.

Para lograr que un edificio brinde el confort necesario a las personas que lo habitan se tiene que pensar en diversos factores como son el sol, el clima, la estructura o situación del edificio, la iluminación y ventilación natural, los materiales constructivos (Gómez, 2018). La luz tiene la capacidad de conferir personalidad a los espacios. Sea cual fuere el lugar en que se encuentre el usuario, cerrado o abierto, natural o construido, con un poco de observación se cae en la cuenta de que la iluminación, ya sea natural o artificial, es uno de los factores que definen el ambiente. Coincido con Paz (2018), quien expresa “La luz condiciona la forma en que percibimos el mundo y el cómo nos sentimos, afecta nuestra salud y estado de ánimo e influye en la conducta; por todo esto es importante el diseño de iluminación”.

Uno de los aspectos esenciales en el desarrollo humano es el educativo; desafortunadamente, los espacios educativos de nuestro país no se han adecuado a las premisas de habitabilidad educativa, y se encuentran ajenos a principios de sustentabilidad. Los centros educativos deben ser adecuados, sanos, seguros y deben facilitar los procesos de aprendizaje, tanto para alumnos como para docentes; garantizando la calidad de las actividades que ahí se llevan a cabo.



Respondiendo fundamentalmente, al contexto físico y cultural del sitio donde se establecen (Sánchez-Cisneros, 2016).

Sánchez-Cisneros (2016), plantea además que, sobre la iluminación natural, definida como la iluminación que se puede obtener del sol, juega un papel importante al hacerse visible en el entorno, asegurando una conexión con el ambiente exterior, las radiaciones externas y las condiciones de cielo. Aportando, luz natural a la arquitectura, y uniendo las necesidades de racionalizar el gasto energético de los edificios, situando en un lugar preferente a la hora de idear el proyecto arquitectónico.

El análisis de los elementos básicos que forman en la edificación como muro, ventanas, puertas, y techo para así saber qué tipo de materiales. Con el objetivo de optimizar el diseño de edificaciones desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, entre otros, el ahorro de energía por la capacidad de los equipos de enfriamiento y un mejor confort de los ocupantes. Se aplica tanto a edificios nuevos como a edificios ya existentes. Presenta un método de prueba (cálculo del presupuesto energético), el cual se desarrolla y considera lo siguiente: cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, determinación del coeficiente global de transferencia de calor (k) de las porciones de la envolvente, barreras de vapor, orientación (Sánchez-Cisneros, 2016).

Para determinar la carga térmica de un local se necesitan las informaciones de diseño de la edificación y climáticas de las condiciones del lugar donde se encuentra situado. Para ello, se deben tener presente los siguientes aspectos:

- Características de la edificación: consiste en determinar la ubicación geográfica de la misma y su orientación a partir de los planos, teniendo en cuenta las especificaciones de tipo constructivo, materiales de construcción utilizados, tamaño de sus componentes, colores de fuentes externas y su forma.
- Condiciones de diseño exterior: se debe realizar la verificación de las condiciones climáticas apropiadas, seleccionando las condiciones de diseño exterior según los aspectos relacionados con anterioridad.



- Condiciones de diseño interior: se deben seleccionar de forma tal que permitan crear y mantener las condiciones atmosféricas en el interior del local.

Además se debe tener en cuenta la cantidad de ocupantes y estadia, cantidad de luminarias y su tipo, equipos internos instalados y posibles a instalar, actividad o procesos que se desarrollan dentro de cada local que contribuyen a aumentar la carga interna, estudio en días o en meses de las temperaturas más altas, e incidencia solar sobre las estructuras con vista a realizar el cálculo de las cargas térmicas, diseño apropiado del tamaño de los sistemas de aire acondicionado central, los cuales requieren de más cálculos complementarios.

El tipo de sistema de acondicionamiento de aire, energía de ventilación, ubicación del ventilador, pérdidas y ganancias de calor de los conductos, filtración de los mismos, sistemas de iluminación por extracción de calor y el tipo de sistemas de retorno de aire, afectan la carga térmica del sistema y el tamaño de los componentes.

Antecedentes de envolvente en edificaciones.

Coincidió con los elementos aportados por (Agencia Danesa de Energía, 2011) ("NOM, N. O. M. 020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional). La envolvente del edificio está compuesta por: muros exteriores, techos, superficies inferiores, ventanas y puertas. Al mejorar las características térmicas de estos componentes, pueden reducir la cantidad de calor que entra al edificio. Implementar las estrategias de eficiencia energética necesarias para cumplir con la NOM-020- ENER-2011 reduce los gastos en energía para enfriamiento en edificios habitacionales, y mejora el confort térmico de los usuarios del edificio. Adicionalmente, genera ahorros para el gobierno en subsidios a la electricidad.

Salas (2021), centró su investigación en las estrategias bioclimáticas de eficiencia energética, que mejor se adapten a la climatología de las ciudades más importantes de Bolivia, cuando son aplicadas en la arquitectura de un edificio educativo común. Aplicar mejores estrategias bioclimáticas de eficiencia energética a la envolvente térmica del edificio, brindar recomendaciones arquitectónicas y estrategias generales que se pueden aplicar tanto en proyectos de rehabilitación como de nueva construcción donde se generan reducciones de

consumo de combustibles en sistemas de climatización y que los períodos de recuperación de las inversiones iniciales se cumpla durante la vida útil del edificio.

B Suárez, J Jacobo y M Alias (2018), trazan su investigación en edificios del nordeste argentino sobre el comportamiento térmico de la carpintería, su encuadre, la ubicación y comportamiento de los puentes térmicos. El nivel de eficiencia energética de estos componentes constructivos de la envolvente edilicia. Aportando los flujos de calor por cargas térmicas por conducción, incidentes en el balance térmico final de los espacios interiores, los cuales repercuten en la intensidad de uso de sistemas de climatización, a su vez en los niveles de consumo eléctrico.

Álvarez y Holguín (2021), afirman que la cantidad de energía consumida de los edificios está directamente vinculada a su eficiencia energética, y para dimensionar el sistema térmico del mismo, se utilizan herramientas de cálculo basadas en la transmisión térmica y el flujo de calor estacionario. No considera la inercia térmica presente en los materiales como hormigón y mampostería. Esta propiedad junto a un adecuado diseño bioclimático, permite reducir los requerimientos energéticos y logra ambientes más confortables.

Acevedo (2021), plantea en su investigación solución de diseño de tipo experimental en la protección solar en un edificio de Barranquilla expuesto al impacto de radiación de fachadas vidriadas, analizó la incidencia del ángulo solar para así poder inclinar la protección solar que intercede la radiación directa al disminuir la temperatura interior en un delta máximo.

La definición de las estrategias de diseño debe tener en cuenta la zona climática donde se ubica el edificio, las características de su envolvente térmica, la tipología edificatoria, el factor de forma, las condiciones de inserción en la trama urbana, orientaciones y empleo de sistemas pasivos, entre otros factores. La cuantificación de esta reducción dependerá fundamentalmente de las características de la envolvente térmica y de la capacidad de aprovechar las condiciones climáticas favorables mediante el diseño del edificio. Habitualmente, cuando se habla de eficiencia energética y sostenibilidad en la edificación, se utilizan parámetros referentes a consumos, ahorros energéticos y económicos, referidos a la amortización de las actuaciones obviándose, en numerosas ocasiones, un factor fundamental, relacionado directamente con el bienestar y la calidad de vida de los habitantes, como es el confort.

Un buen diseño de los sistemas constructivos que caracterizan la envolvente de un edificio reduce, e incluso, en algunas zonas climáticas, elimina el consumo energético y, con ello, el gasto correspondiente a la energía consumida en climatización a lo largo del año. A ello se le añade el hecho de que un buen diseño de la envolvente tiene un impacto sobre la eficiencia energética a largo plazo, frente a otro tipo de estrategias dirigidas a optimizar las instalaciones, cuyo periodo de vida útil es menor y requieren, por tanto, una mayor renovación que los elementos de la envolvente.

Si analizamos el consumo de energía a lo largo de la vida útil de una edificación, la mayor parte del mismo deriva de su uso y es especialmente importante cuando se combina un uso intensivo de las instalaciones con una envolvente térmica ineficiente desde el punto de vista energético. Esto significa que cualquier estrategia que se adopte en los edificios destinada a reducir el consumo durante su utilización (en primer lugar, mediante el aprovechamiento de las condiciones climáticas, limitando las pérdidas de energía por la envolvente y, en segundo lugar, mejorar la eficiencia energética de las instalaciones), conllevará una reducción significativa del uso de los recursos asociados a alcanzar el confort.

Estimación de la carga térmica

Para lograr mantener los parámetros de diseño del aire en el interior de un local, se hace necesario la extracción del calor generado por las diferentes fuentes térmicas del local mediante el suministro o recirculación de un caudal de aire, que tiene que ser previamente tratado bajo condiciones específicas de forma que absorba las ganancias de calor sensible y latente del espacio climatizado.

Las ganancias de un local se pueden clasificar en: externas e internas, estas pueden ocasionar ganancias de calor sensible y/o latente.

Entre las fuentes de calor externas al local se pueden mencionar:

- Radiación solar a través de superficies acristaladas (carga sensible).
- Calor que se trasmite a través de las estructuras del local a causa de las diferencias de temperaturas entre el aire exterior e interior del local, las que son denominadas ganancias por transmisión (carga sensible).



- Ganancias térmicas originadas por el aire exterior infiltrado a través de aberturas o grietas del local (carga sensible y latente).
- Ocupantes (carga sensible y latente).
- Iluminación eléctrica (carga sensible).
- Equipos instalados dentro del local (carga sensible y latente).
- Otros (carga sensible y latente).

Otras fuentes de calor que no se generan en el local, pero que dependen de este son las cargas sobre la batería de enfriamiento; estas pueden ser:

- Las ganancias o pérdidas de la instalación (carga sensible).
- Las ganancias producto del sistema de distribución de aire (carga sensible y latente).
- El aire necesario para la ventilación del local (carga sensible y latente).

Las fuentes de calor externas mostradas en este epígrafe son las que se relacionan directamente con los locales analizados en este trabajo. Existen otras que también inciden en la carga térmica y no son mencionadas por no encontrarse en los locales estudiados, las mismas se exponen en Polaino et al. (1987).

1.4- Potencialidades del uso de energía renovables en edificaciones

Iturralde (2022), plantea que una de las tecnologías energéticas renovables más importantes para la producción de energía eléctrica es la correspondiente a los sistemas solares fotovoltaicos, la cual se basa en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica, mediante efecto fotovoltaico, detalla principios básicos de la integración de los sistemas fotovoltaicos en edificios, como premisa de la gestión, potencial de integración de las energías renovables a la matriz energética de las provincias en la región que conlleva a avanzar hacia la ampliación de la generación eléctrica con energías limpias.

Romo y Morales (2021), centran su investigación en el campus universitario de la universidad católica de Cuenca Azogues donde presentan propuestas de eficiencia energética para disminuir el consumo de energía a través del cambio de tecnología en las luminarias existentes y uso de energía solar fotovoltaica propiciando mecanismos de desarrollo limpio.

En trabajo investigativo de Monteagudo y Morales (2019), sobre las potencialidades del uso de la energía solar en la sede central de la Universidad de Cienfuegos, edificaciones que se caracterizan por un elevado consumo de energía eléctrica, con áreas de cubiertas que pueden ser utilizadas para satisfacer demanda de agua caliente de la residencia estudiantil y cocina comedor, además de entrega a la demanda de energía eléctrica de la institución.

Variables que influyen en el consumo de energía eléctrica de las edificaciones

Es importante conocer las variables que influyen en el consumo de energía eléctrica de los edificios destinados al uso de hoteles u hospedaje para de esa forma tratar de minimizar el impacto de ellas sobre el consumo total. En los países del Caribe, donde las temperaturas exteriores son elevadas y los niveles de confort son los mismos para todas las personas, unas de las variables de mayor incidencia en el consumo son:

El clima: relaciona una serie de variables que intervienen en el consumo de energía eléctrica tales como: temperatura, velocidad del viento, estaciones del año entre otras. En los países del trópico en ocasiones se puede consumir en una misma habitación hasta 10 veces más energía en verano, comparándolo con el consumo de invierno. Esta está relacionada en el caso de Cuba con la época del año donde los meses de julio y agosto son los de mayor calor en el país, y meses como mayo-junio, septiembre-octubre, las temperaturas promedio son inferiores debido al efecto del incremento de la lluvia y con ello ocurre un refrescamiento de las temperaturas exteriores.

Categoría del Centro de Capacitación: En función de la categoría de la instalación educativa son diferentes los estándares de calidad y oferta que debe recibir el cliente. El nivel de equipamiento tecnológico propuesto es según fabricante que se adjudica la firma LG.

Las normas de consumo para los edificios son diferentes; cuando en algunos se usa 16 USD/pie², en hoteles de lujo puede llegar a 4 000 USD/pie². Para construcciones pequeñas, los costos de energía de los locales tienden a ser mayores.

El máximo consumo de energía propuesto de una instalación según proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación objeto de investigación lo representa la climatización seguido por la iluminación, y en ambos casos el consumo o no de la energía eléctrica depende del régimen de explotación a que es sometida.



1.5- Conclusiones del Capítulo I

- El análisis bibliográfico mostró la existencia de trabajos dedicados a la evaluación de la carga térmica y selección de equipos de acondicionamiento de aire.
- El uso de energías renovables es tema de uso recurrente que se demuestra en el análisis bibliográfico.
- A pesar de existir trabajos relacionados con el objeto de estudio de esta investigación, la situación actual de la instalación exige una nueva investigación.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN.

2.1- Introducción

En la evaluación energética de los locales climatizados tiene vital importancia el procedimiento de cálculo empleado, por cuanto la literatura especializada recoge varios métodos y se debe seleccionar el más adecuado en cada caso en correspondencia con las características del local, en tal sentido el objetivo del presente capítulo es:

Establecer el procedimiento de cálculo para la evaluación de los locales mediante la conjugación de diferentes aspectos teóricos metodológicos propuestos en investigaciones anteriores.

2.2- Materiales y herramientas

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron las mediciones de los parámetros necesarios para la evaluación de la carga térmica en los locales analizados. Los parámetros medidos, así como los instrumentos de medición y sus respectivas características técnicas se exponen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Parámetros medidos durante el desarrollo de la investigación

Parámetros	Instrumentos	Características técnicas
Temperatura	Termómetro	Rango de medición (-40 a 60 °C)
Dimensiones de: locales, puertas y ventanas	Regla escala	Rango de medición (1 en 100 mm)
Humedad relativa	Psicrómetro	Rango de medición (0 a 100 %)
Orientación de los locales	Brújula	-----

Entre las herramientas utilizadas se encuentran:

Diagrama de Pareto: Es una gráfica en forma de barras que clasifica en forma descendente factores que se analizan en función de su frecuencia, importancia absoluta o relativa. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del factor en estudio.

Está inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles o Ley 80 – 20, que reconoce que en los procesos hay unos pocos elementos o causas realmente importantes en un (20 %) que generan la mayor parte del efecto a un (80 %).

En otras palabras, del total de problemas que causan la baja eficiencia energética de una empresa, sólo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad; y del total de causas de un problema, sólo pocas de ellas son determinantes de gran parte del mismo.

Aplicando el principio de Pareto para resolver el problema del ahorro de energía, el primer paso que se debe dar es localizar prioridades, es decir, en qué energético (electricidad, gas, combustibles) se genera un mayor gasto. Esta localización se hace estratificando el consumo de energía por tipo de energético y representándolo a través del diagrama de Pareto.

El Histograma: Es una instantánea de la capacidad del proceso y revela tres características del mismo:

- Centrado: media de los valores obtenidos.
- Distribución: dispersión de las medidas.
- Forma: tipo de distribución.

El Histograma que se presenta más a menudo es aquel que tiene un valor central donde se agrupan el mayor número de observaciones y con frecuencias decrecientes a ambos lados del mismo. Este diagrama es definido como “distribución normal”. La distribución normal es aquella que descubre la variabilidad de un hecho cuando interviene solamente la aleatoriedad.

El Histograma se usa para:

- Obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad del sistema.
- Mostrar el resultado de un cambio del sistema.
- Identificar anomalías examinando la forma.
- Comparar la variabilidad con los límites de especificación

El diagrama causa y efecto: Se conoce también con el nombre de Ishikawa por ser quien lo diseñó en 1953, o diagrama de espina de pescado. Su valor principal es que representa de forma ordenada todos los factores causales que pueden originar un efecto específico.



El principio del diagrama consiste en establecer que el origen o causa del efecto puede encontrarse en: los materiales, el método, el equipo o la mano de obra. Si algún elemento fundamental no puede clasificarse dentro de estas cuatro categorías, deberá añadirse por separado. A su vez cada uno de estos factores es afectado por otros. Por ejemplo, el factor mano de obra es afectado por: número de trabajadores, capacitación, supervisión, condiciones ambientales. También cada uno de ellos está influido por otros y algunos de estos por otros más. El diagrama puede llegar a ser muy complejo, lo que significa una mayor comprensión del problema por las personas que participen en su elaboración.

Aunque puede efectuarse alguna variación, el orden más eficaz para hacer el análisis de las causas con el Diagrama de Ishikawa requiere de 5 pasos:

1. Definir el efecto. Significa que sea claro, preciso y medible. Es importante no confundir causas (origen), problemas (enfermedad) y efectos (síntomas).
2. Identificar las causas. Cada miembro del grupo en una tormenta de ideas propone posibles causas del efecto descrito. Se toma la lista y se señala la palabra clave de cada causa. Se determinan las subcausas en torno a la palabra clave.
3. Definir las principales familias de causas. Se agrupan las causas y subcausas en familias de: métodos, mano de obra, equipos, materiales u otra causa fundamental del problema.
4. Trazar el diagrama. Se traza la línea central y las que representan las causas principales. Se aportan ideas en torno a cada causa principal por separado y se colocan con su palabra clave.
5. Seleccionar la causa. Una vez construido el diagrama, este cubre todas las posibles causas. Se realiza un proceso de selección ponderada para determinar las de mayor importancia.

Diagrama de dispersión: Este diagrama permite observar la relación que existe entre una supuesta causa y un efecto. Su uso permite comprobar o verificar hipótesis que pudieran haberse desprendido del análisis del diagrama Ishikawa. Tomando el ejemplo anterior sobre el consumo de combustible en la instalación educativa, se considera la hipótesis de que el porcentaje de ocupación de sus habitaciones es un factor que influye directamente en los niveles de consumo.



La observación del diagrama de dispersión indica, no obstante, que existe una tendencia a que los valores altos de nivel ocupacional están asociados a los valores altos de consumo. Se observa además que la nube de puntos de este ejemplo describe una línea recta por lo que puede existir una relación de tipo lineal entre ambas variables con una pendiente pronunciada.

Para determinar el coeficiente de correlación entre ambas variables y probar matemáticamente su validez se establece la ecuación del modelo $Y = f(x)$ y se aplica la prueba de hipótesis correspondiente.

Estratificación: El propósito de la Estratificación es similar al Histograma, pero ahora clasificando los datos en función de una característica común que permite profundizar en la búsqueda y verificación de las causas a encontrar, resolver o eliminar.

Gráficos de control: Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Generalmente se usan como instrumento de autocontrol por los círculos y grupos de calidad y resultan muy útiles como apoyo a los diagramas causa y efecto, cuando se aplica a cada fase del proceso y detectar en cuales fases se producen las alteraciones.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio del parámetro de salida muy probable de obtener, mientras que a medida que se aleja de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar (3S) del valor medio. Este comportamiento (que puede probarse en caso que no se esté seguro que ocurra) permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influya en desviaciones del parámetro de salida controlado. El gráfico de control se obtiene de graficar los valores reales del parámetro de control obtenidos en el tiempo sobre el valor medio y sus fronteras de desviación.



2.3- Procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica

Entre los aspectos primarios a tener en cuenta al evaluar un local para la climatización es la carga impuesta en el equipo mientras mantiene las condiciones interiores de diseño y cuando las condiciones exteriores de temperatura y humedad están dentro de lo especificado (carga de diseño) y las condiciones de diseño (interiores y exteriores).

Los sistemas de aire acondicionado, deben contrarrestar las fuerzas del tiempo cuando la temperatura al aire exterior o humedad se mueven en un rango aceptable en favor de la seguridad y el confort, un entendimiento claro del comportamiento del tiempo es útil para diseñadores y operadores de estos sistemas. Limitaciones en esa comprensión son a menudo la raíz de los problemas existentes en la calidad del aire interior y deterioro prematuro de la edificación y del equipo.

Ganancia de calor por radiación solar a través de vidrios

Para determinar las ganancias por insolaciones a través del vidrio es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- a) La niebla contaminación atmosférica
- b) El tipo de marco de ventana
- c) La altura sobre el nivel del mar
- d) La variación del punto de rocío
- e) El hemisferio terrestre

$$Q_{RS} = I_T \cdot A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \quad (2.1)$$

Donde:

- Q_{RS} : Ganancia térmica sensible (W).
- I_T : Valor de la intensidad de la radiación solar total (W/m²).
- A : Área soleada de la ventana (m²).
- $f_{\#}$: Factores de corrección.

Ganancia de calor a través de componentes estructurales

La ley de Fourier de la conducción de calor establece que la rapidez de flujo por conducción en un sentido dado es proporcional al gradiente de temperatura en ese sentido y al área normal a la dirección del flujo de calor.

$$Q_a = k \cdot A \cdot (t_e - t_i) \quad (2.2)$$

Donde:

- Q_a : Flujo de calor (kW).
- k : Coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- A : Area (m^2).
- t_e : Temperatura del aire exterior ($^\circ C$).
- t_i : Temperatura del aire en el interior del local ($^\circ C$).

Para el cálculo son utilizadas las tablas que contienen los *Factores de transmisión de calor* (valores K) para vidrios, paredes, techos y pisos comúnmente utilizados en la construcción (Polaino; et al., 1987).

El valor del coeficiente global de transferencia de calor (K) se calcula por la ecuación:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_E} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_L}} \quad (2.3)$$

Donde:

- α_E : Coeficiente de película del aire exterior ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- α_L : Coeficiente de película del aire interior ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).
- δ_i : Espesor de la estructura (m).
- λ_i : Conductividad térmica del material de la estructura ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

Diferencias equivalentes de temperaturas

No es fácil determinar las ganancias de calor a través de una estructura soleada. Un método a emplear es el de valerse de la diferencia de temperatura (Δt_e en °C), su valor es tal que evalúa el flujo de calor total por efecto de la radiación solar y la diferencia entre las temperaturas del aire exterior e interior, al ser sustituido en la expresión 2.2.

$$Q_a = k \cdot A \cdot \Delta t_e \quad (2.4)$$

El valor de Δt_e depende de:

- La diferencia de temperatura del aire exterior e interior.
- Hora solar.
- Latitud.
- Orientación de la pared.
- Tipo de construcción de la estructura.

Como estos datos están calculados para condiciones específicas, es necesario hacer las correcciones indicadas (Polaino; et al., 1987; tablas 3.9 a 3.12) mediante el uso de la expresión 2.5.

$$\Delta t_e = a + \Delta t_{es} + b \cdot \frac{R_s}{R_m} \cdot (\Delta t_{em} - \Delta t_{es}) \quad (2.5)$$

Donde:

- Δt_e : Diferencia equivalente corregida
- a: Corrección tomada de la tabla 3.11. Relación entre la temperatura exterior a las 15 horas para el mes considerado, menos la temperatura interior ($t_E - t_L$), y variación de la temperatura seca exterior en 24 horas
- Δt_{es} : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para estructuras en la sombra.

- Δt_{em} : Diferencia equivalente de temperatura a la hora considerada para las estructuras soleadas
- b : Coeficiente que toma en cuenta el color de la cara exterior de la pared.
- R_s : Máxima insolación para el mes y latitud supuesta a través de la superficie acristalada.
- R_M : Máxima insolación para el mes de Julio 40° latitud norte a través de la superficie acristalada de igual orientación a la estructura considerada.
- R_s/R_M : Tabla 3.12 (Polaino; et al., 1987).

Concentración de personas como base de diseño

Las personas que ocupan el espacio que debe ser acondicionado contribuyen con cantidades importantes de calor sensible y calor latente, que aumenta la carga total de enfriamiento de dicho espacio. El cálculo debe basarse en el número promedio de personas dentro del espacio durante el período de la máxima carga de enfriamiento de diseño. La cantidad de calor debida a las personas, debe estar de acuerdo a la actividad desarrollada por estas (Manual de aire acondicionado, 1972). Se determina a través de las ecuaciones 2.6 y 2.7.

Ganancia por ocupantes

$$Q_{s.OCP.} = n \cdot I_{CS} \quad (2.6)$$

$$Q_{L.OCP.} = n \cdot I_{CL} \quad (2.7)$$

Donde:

- $Q_{s.OCP.}$ y $Q_{L.OCP.}$: Ganancias térmicas sensible y latente (kW)
- n : Número de ocupantes
- I_{CS} : Índice de carga sensible (W/h ocup.)
- I_{CL} : Índice de carga latente (W/h ocup.)

Ganancias de calor originadas por equipos instalados en el interior de los locales

Entre las fuentes de calor dentro del espacio que será acondicionado están las luces, las máquinas de oficina, equipos de computación, los electrodomésticos y los motores eléctricos.

Cuando los equipos que producen calor están cubiertos por una campana de extracción, debe calcularse la carga adicional debida al aire fresco que se debe introducir para compensar el aire extraído por la campana. Esto se calcula en la secuencia de ganancias de calor por infiltración y ventilación.

Las lámparas incandescentes transforman en luz un 10 % de la energía absorbida, mientras el resto la transforman en calor que se disipa por radiación, convección y conducción. Un 80 % de la potencia absorbida se disipa por radiación y solo el 10 % restante por conducción y convección (Manual de aire acondicionado, 1972).

Los tubos fluorescentes transforman un 25 % de la energía absorbida en luz, mientras que otro 25 % se disipa por radiación hacia las paredes que rodean el local y el resto por conducción y convección. Debe tenerse en cuenta, además, el calor emitido por la reactancia o resistencia limitadora, representa un 25 % de la energía absorbida por la lámpara (ecuación 2.8).

Ganancia por iluminación

$$Q_{S,ILUM.} = 1,25 \cdot N_{ILUM.} \quad (2.8)$$

Donde:

- $N_{ILUM.}$: Potencia de iluminación instalada (W).

Ganancia por motores eléctricos

En general los motores eléctricos aportan ganancia sensible que se calcula por la expresión 2.9:

$$Q_{SE} = N_m \quad (2.9)$$

Donde:

- Q_{SE} : Carga térmica sensible de equipos (kW).
- N_m : Potencia de los equipos (kW).

En los locales estudiados esta ganancia se desprecia porque solo existen los motores de los ventiladores presentes en las computadoras y estos son de bajo consumo de potencia.

Ganancia de calor por infiltración y ventilación

El aire del exterior que fluye a través de una edificación ya sea como aire de ventilación, o no intencionalmente como infiltración es importante por dos razones. El aire del exterior es utilizado muchas veces para diluir contaminantes en el aire del interior y la energía asociada con calentamiento o enfriamiento del mismo es una significativa carga de relación espacio - acondicionamiento. La magnitud de estos valores de flujo de aire debe ser conocida a máxima carga para calcular adecuadamente el tamaño del equipo y en condiciones promedio, estimar adecuadamente el consumo de energía promedio.

Deben conocerse también los valores de intercambio de aire para asegurar un adecuado control de los niveles de contaminantes en el interior. En grandes edificaciones deben ser determinados el efecto de infiltración y ventilación en distribución y los patrones de flujo del aire inter zonal, los cuales incluyen patrones de circulación de humo en caso de incendio.

El intercambio de aire entre el interior y las afueras está dividido en: ventilación (intencional e idealmente controlada) e infiltración (no intencional y descontrolada).

Ganancia por infiltraciones

$$Q_{S.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (t_e - t_i) \quad (2.10)$$

$$Q_{L.INF} = 1,2 \cdot V_{INF} \cdot (w_e - w_i) \quad (2.11)$$

Donde:

- $Q_{S.INF}$ y $Q_{L.INF}$: Ganancia térmica sensible y latente respectivamente (kW).
- V_{INF} : Volumen de aire infiltrado (m^3/s)
- w_e : Humedad específica exterior (kga/kgas)
- w_i : Humedad específica interior (kga/kgas)

Ventilación y cargas térmicas

El aire exterior introducido en una edificación forma parte de la carga de acondicionamiento del espacio, la cual es una razón para limitar la cuota de intercambio de aire en las edificaciones a un mínimo requerido. El intercambio de aire típicamente representa de 20 – 40 % de la carga térmica de la edificación (De Andrés; et al., 1992).

El intercambio de aire incrementa la carga térmica de una edificación de 3 maneras: Primero: el aire entrante debe ser enfriado desde la temperatura del aire exterior a la temperatura del aire interior. La tasa de consumo de energía está dada por:

Ventilación exterior

$$Q_{s,V} = 1,2 \cdot V_V \cdot (t_e - t_i) \quad (2.12)$$

Donde:

- $Q_{s,V}$: Ganancia sensible por ventilación (kW)
- V_V : Volumen de ventilación (m³/s)
- t_e : Temperatura del aire exterior (°C)
- t_i : Temperatura del aire en el interior del local (°C)

Segundo: el intercambio de aire incrementa el contenido de humedad, particularmente en verano y en algunas áreas cuando el aire húmedo del exterior debe ser deshumidificado. El consumo de energía asociada con estas cargas está dado por:

$$Q_{L,V} = 2790 \cdot V_V \cdot (w_e - w_i) \quad (2.13)$$

Donde:

- $Q_{L,V}$: Ganancia latente por ventilación (kW)
- V_V : Volumen de ventilación (m³/s)
- w_e : Humedad específica exterior (kg/kgas)
- w_i : Humedad específica interior (kg/kgas)

Finalmente, el intercambio de aire puede incrementar la carga en una edificación, disminuyendo el rendimiento del sistema de aislamiento. El aire fluyendo alrededor y a través del aislamiento puede incrementar la tasa de transferencia sobre las tasas de diseño. El efecto de dicho flujo de aire en el rendimiento del sistema de aislamiento es difícil de cuantificar, pero debe ser considerado. El flujo de aire en el sistema de aislamiento puede disminuir también el rendimiento del sistema debido a la humedad condensada dentro y sobre el aislamiento.

Ciclo básico de aire acondicionado

El caudal de aire tratado en el climatizador y los parámetros bajo los cuales es necesario suministrarlos a un local para su acondicionamiento, dependen de las características de la carga térmica del mismo, así como también de las condiciones de diseño interior y exterior, caudal de ventilación y otros factores.

Una vez estimada la carga térmica del local, según se establece en el epígrafe anterior, el paso siguiente es determinar el ciclo de evolución del aire tratado en los equipos suministrado al local, con el objetivo de determinar los parámetros de trabajo de la instalación y seleccionar los equipos componentes de la misma.

2.4- Método de cálculo

Cálculo del Factor de Calor Sensible del Local (FCSL)

Es la razón entre las cargas térmicas sensibles y totales del local. La pendiente de esta recta depende de la relación entre las cargas sensibles y latentes del local; las condiciones de suministro del local pueden estar sobre cualquier punto de ella al que corresponde un determinado caudal de suministro (V_{SL}).

$$FCSL = \frac{Q_{SL}}{Q_{SL} + Q_{LL}} \quad (2.14)$$

Factor de Calor Sensible Total (FCST)

$$FCST = \frac{Q_{SB}}{Q_{TB}} \quad (2.15)$$



Donde:

- Q_{SB} : Carga sensible sobre la batería de enfriamiento (kW)
- Q_{TB} : Carga total sobre la batería de enfriamiento (kW)

Es la relación entre el $\sum Q_{SB}$ y la carga térmica total de la instalación, incluyendo todas las cargas sensibles y latentes que procedan del aire exterior. Conocidas las condiciones de la mezcla (M) puede ser trazada la recta FCST.

Es evidente que las condiciones de salida del aire de la batería se encuentran sobre esta recta. Dependiendo del Factor de Desvío (FD) del equipo y su Aparato de Punto de Rocío (APR) y que corresponden a las condiciones de suministro del local (S_L) siempre que se desprecien las ganancias adicionales en los conductos y ventiladores.

Se puede afirmar entonces que las condiciones de suministro del local (S_L) se encuentran donde se corten las rectas de FCST y FCST.

Factor de Calor Sensible Efectivo (FCSE)

Se considera como la carga sensible efectiva del local, a la carga sensible del local más la carga sensible del aire exterior (que durante el proceso de enfriamiento pasa por esta sin sufrir cambio alguno) determinada por el factor de desvío de la batería.

$$FCSE = \frac{\text{Carga Sensible Efectiva del Local}}{\text{Calor Total Efectivo del Local}} \quad (2.16)$$

Determinación del APR

La carga total efectiva incluye además las cargas latentes del aire de ventilación desviado. El hacer esta suposición permite determinar un APR mediante la intersección del FCSE trazado, a partir de las condiciones de diseño interior del local con la curva de saturación. El FCSE no corresponde a ningún proceso real del aire, es solo un método para determinar de forma más sencilla el ciclo.

FCSL > FCSE > FCST. La diferencia entre estos tres factores depende del caudal de ventilación y para el caso en que este sea cero, éstos serán iguales, es decir coincidirán sobre una misma recta.

Caudal de suministro al local

El cálculo de este no es tan simple ya que es necesario trazar el FCST a partir de las condiciones de la mezcla M, los que a su vez solo podrán evaluarse si se conoce el caudal de suministro de aire al local el cual depende de las condiciones de suministro sobre el FCSL.

En tal caso esto puede resolverse mediante un método de tanteo que consta de 7 pasos y es muy engorroso el cual puede ser simplificado mediante ciertas suposiciones basadas en los conceptos de FD y APR.

$$V_{SL} = \frac{Q_{SL} + Q_{SV'}}{1,2 \cdot (t_L - t_{APR}) \cdot (1 - FD)} \quad (2.17)$$

La temperatura a bulbo seco de la mezcla t_M puede calcularse con suficiente aproximación a partir de conocer los valores del volumen por unidad de tiempo, la ecuación 2.18 puede emplearse en los cálculos, ya que en la mayoría de los procesos relacionados con la climatización para el confort las diferencias de densidades del aire son pequeñas.

$$t_M = \frac{t_E \cdot V_V + t_L \cdot V_R}{V_{SL}} \quad (2.18)$$

Donde:

- V_R : Caudal de retorno (m^3/s)
- t_E : Temperatura exterior ($^{\circ}C$)
- t_L : Temperatura del local ($^{\circ}C$)
- V_B : Caudal de aire tratado en la batería (m^3/s), si no hay fugas:

$$V_B = V_R$$

Conocidas t_M y APR , se determinará t_{SB} a partir de la ecuación 2.19.

$$t_{SL} = t_{SB} = t_{APR} + FD \cdot (t_M - t_{APR}) \quad (2.19)$$

También puede determinarse gráficamente mediante la intersección del FCSB (a partir de M) y el FC SL, sobre el esquema psicrométrico. Como en este caso se desprecian las ganancias en la impulsión: $t_{SL} = t_{SB}$

Finalmente se calcula la carga total sobre la batería de enfriamiento

La ganancia total sobre la batería de enfriamiento va a ser la suma de todas las cargas, es decir, la suma de las cargas sensibles y latentes del local, la carga sensible y latente por ventilación y las ganancias sensibles y latentes adicionales. Esta se calcula a través de la expresión 2.20.

$$Q_{TB} = Q_{SL} + Q_{LL} + Q_{SV} + Q_{LV} + Q_{S_{GA}} + Q_{L_{GA}} \quad (2.20)$$

Donde:

- $Q_{S_{GA}}$ y $Q_{L_{GA}}$: Ganancias sensibles y latentes adicionales (kW)

En estos análisis son despreciadas las fugas y ganancias en los conductos de suministro y retorno del local.

2.5- Diseño del sistema de calentamiento solar de agua

El procedimiento de cálculo descrito en este epígrafe está basado en el documento Diseño del Sistema de calentamiento solar de agua (Guevara, 2003).

En el éxito de los sistemas de calentamiento solar de agua influyen dos factores. El primer factor es el nivel de radiación solar en el lugar de instalación del calentador de agua y el segundo factor es el diseño del colector solar. La combinación de ambos factores determina el costo del sistema. Estos costos se reducen notablemente en zonas de alta incidencia solar.

Un aspecto importante a tener en cuenta en el diseño de calentadores solares es el régimen de uso del agua caliente, debido a que puede variar por diversos factores. Por ejemplo, en una familia en la cual todos sus integrantes trabajan, el uso del agua caliente se hace al empezar el día o al terminar el mismo; sin embargo, en un baño comunitario, el uso del agua caliente se realiza durante todo el día, es decir conforme se produce el agua caliente, esta se consume. Estas dos formas de uso del agua caliente se denominan sistema puntual y sistema continuo respectivamente. El sistema continuo es más eficiente y menos costoso que el sistema puntual; esto se debe, básicamente, a dos condiciones: en el sistema continuo se utiliza un depósito de

almacenamiento de menor capacidad, y la temperatura del agua almacenada es menor, por lo que las pérdidas de calor se reducen notablemente.

En el diseño de sistemas de calentamiento es necesario disponer de datos que definen el sistema los cuales están representados por:

- Radiación solar
- Demanda energética
- Número de colectores
- Volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento

Radiación solar

En el diseño del sistema de calentamiento es necesario, conocer los datos de radiación solar diaria, los que se pueden encontrar en los reportes de radiación solar de las estaciones meteorológicas o en cuyo defecto debe ser determinado. Los valores de radiación solar promedio diario anual se tomaron del *software PVsyst*, utilizado para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

En estos sistemas de calentamiento es importante definir los períodos de uso, ya que, como consecuencia de las estaciones climáticas, los valores de la radiación solar cambian para cada época del año. Estos valores influyen de manera importante en el tamaño del sistema, por lo que debe hacerse un análisis del valor que se utilizará en el diseño del sistema.

Los criterios para la selección del valor de radiación solar en un período determinado, son:

- a) Baja radiación.

Se aplica cuando se desea cubrir durante todo el año la demanda de agua caliente con energía solar. En épocas de alta radiación esto hace ineficiente al sistema, por cuanto al incrementarse la radiación se produce un exceso de agua caliente.

- b) Alta radiación.

Se diseña con este valor cuando se cuenta con un sistema auxiliar para el calentamiento de agua, como electricidad, gas y en algunos casos leña. Son los sistemas más eficientes, pero su aplicación está limitada por el empleo de un sistema auxiliar.



c) Valor promedio de radiación.

El diseño con el promedio anual de radiación satisface parcialmente la demanda de agua caliente durante los meses de baja radiación y se tienen pequeños excesos en los meses de alta radiación, pero puede ser complementado con un sistema auxiliar de calentamiento en las épocas frías.

Demanda energética

Es la energía necesaria para elevar la temperatura de un volumen determinado de agua, desde una temperatura inicial (T_i) hasta una temperatura de consumo (T_f), ecuación 2.21.

$$E = M \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (2.21)$$

Donde:

E : Demanda energética (kJ/día)

M : Masa de agua a calentar en un día (kg/día)

C_p : Capacidad calorífica del agua (kJ/kg °C)

T_i : Temperatura inicial del agua (°C)

T_f : Temperatura de consumo del agua (°C)

De otra parte, la masa de agua M está dada por la ecuación 2.22.

$$M = n_p \cdot \rho_{H_2O} \cdot V_p \quad (2.22)$$

Donde:

n_p : Número de personas (personas/día)

V_p : Volumen de agua per cápita (l/persona)

ρ_{H_2O} : Densidad del agua (kg/m³)

El volumen de agua per cápita V_p es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente, este volumen varía en un rango de 20 a 60 litros.

Colectores

En la determinación del número de colectores del sistema de calentamiento de agua, es necesario conocer el área de captación y la eficiencia global del colector.

Área de captación

Es el área necesaria para captar la energía solar que pueda satisfacer la demanda energética, ecuación 2.23. El área depende de la radiación global y de la eficiencia total del sistema de calentamiento de agua.

$$A_{cap} = \frac{E}{I_p \cdot \eta_g} \quad (2.23)$$

Donde:

- A_{cap} : Área de captación (m²)
- I_p : Radiación solar (Wh/m²)
- η_g : Eficiencia global diaria del sistema (%)

Eficiencia global del sistema de calentamiento: Es la relación entre la cantidad de energía empleada para elevar la temperatura del agua en el depósito de almacenamiento (Q_u) y la energía solar que incide sobre un área determinada (I_d), ecuación 2.24.

$$\eta_g = \frac{Q_u}{I_d} \quad (2.24)$$

Número de colectores: La cantidad de colectores necesarios para satisfacer la demanda energética está determinada por la relación 2.25.

$$N_c = \frac{A_{cap} \cdot F_s}{A_c} \quad (2.25)$$

Donde:

- N_c : Número de colectores
- A_{cap} : Área captación (m²)
- A_c : Área de un colector (m²)
- F_s : Factor de seguridad o de proyección de demanda (1 a 1,5)

Volumen y aislamiento del depósito de almacenamiento: La temperatura a la que almacena el agua, se denomina temperatura equivalente (T_{eq}), la cual varía en función de la temperatura del agua fría. Sin embargo, el incremento de temperatura, es decir la temperatura equivalente menos la temperatura del agua fría, es un valor aproximadamente constante para cada sistema, 30 °C en el sistema puntual y 20 °C en el sistema continuo.

Con el valor de la temperatura equivalente se recalcula la demanda energética, y se obtiene otro valor de la masa de agua, que se denomina masa de agua a almacenar.

En los cálculos se reemplaza el valor la temperatura de consumo por el de la temperatura equivalente, y el valor de la masa a calentar por el de masa a almacenar.

El volumen del depósito está determinado por la masa de agua a almacenar y por el tipo de uso, ya sea un sistema puntual o un sistema continuo.

En el sistema puntual, el volumen se calcula 15 % más que la masa de agua a almacenar en un día, ecuación 2.26.

$$V_{dep} = 1,15 \cdot M \quad (2.26)$$

Donde:

- V_{dep} : Volumen del depósito de almacenamiento (l)
- M : Masa de agua a almacenar (kg/día)

En el sistema continuo, el volumen se calcula 20 % de la masa de agua a almacenar; sin embargo, por detalles constructivos la capacidad del depósito no debe ser menor a 80 litros.

La Resolución No. 287/2015, establece los índices de consumo de agua para las producciones, los servicios y el riego agrícola, siendo para un Hospital clínico quirúrgico con lavandería 0,850 m³/ (cama·día).

Espacio necesario entre las filas de colectores: El espacio necesario entre filas de colectores para evitar el sombreado entre ellos, se calcula a partir de las dimensiones del colector seleccionado. En instalaciones que se utilizan durante todo el año, para captadores instalados en el Plano Horizontal, el día más desfavorable es el 21 de diciembre.

Para el caso de Holguín se toma un ángulo mínimo de sol de 57° y la altura solar mínima al mediodía solar se determina por la ecuación 2.27.

$$H_{min} = 90^\circ - \text{latitud del lugar} - 23,27' \quad (2.27)$$

Donde:

- H_{min} : altura solar mínima al mediodía solar

La distancia mínima a considerar entre los captadores solares y un objeto de altura (h) se determina por la ecuación 2.28.

$$d_1 = \frac{h_{cap}}{\tan(H_{min})} \quad (2.28)$$

Donde:

- h_{cap} : altura del captador (m)
- d_1 : distancia entre filas (m)

Aunque este dato solo es relevante en casos de estudios donde existan elemento que puedan proyectar sombra. Obteniendo la distancia mínima a considerar entre filas de captadores a partir de la ecuación 2.29.

$$h_{cap} = L_{cap} \cdot \text{sen } \beta \quad (2.29)$$

Donde:

- L_{cap} : Longitud del captador (m)
- β : Ángulo de inclinación del captador ($^\circ$)

Esta distancia entre filas es la comprendida entre la parte posterior del captador (la proyección a la horizontal de la parte más elevada del captador), y el inicio de la fila siguiente.

Si se quiere conocer la distancia entre el inicio de filas de captadores, a la anterior distancia hay que sumarle la correspondiente a la proyección sobre la horizontal del captador. Esta proyección se puede conocer mediante la expresión 2.30.

$$d_2 = L \cdot \cos \beta \quad (2.30)$$

Donde:

- d_2 : Distancia entre el inicio de filas de captadores (m)

Luego la distancia entre el inicio de filas de captadores se determina por la ecuación 2.31.

$$d_T = d_1 + d_2 \quad (2.31)$$

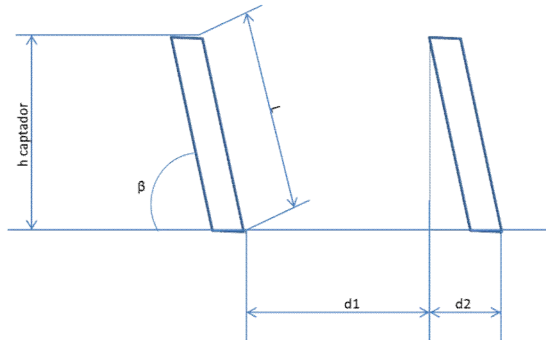


Figura 2.1. Esquema para el cálculo de la distancia de separación entre captadores.

Por otro lado, la primera fila de captadores deberá separarse suficientemente de la fachada Sur del edificio, para así evitar la proyección de sombras del murete de protección que rodea la cubierta.

La distancia mínima de separación que debe dejarse entre el final del muro y el inicio de la primera fila de captadores puede calcularse a través de la ecuación 2.32.

$$d = \frac{h}{\tan 67^\circ - \text{latitud}} \quad (2.32)$$

Donde:

- h : altura del muro.

2.6- Metodología empleada para el cálculo de la iluminación LED en locales.

La intensidad de iluminación o el nivel de iluminancia media depende enteramente de las características del lugar a iluminar y de las actividades que se realizarán en el mismo, es por lo que es un punto al cual debemos prestar atención, la iluminación deficiente de un local disminuye el rendimiento de las personas que trabajen ahí, debido a la fatiga visual.

Una buena iluminación puede llegar a conseguir que los lugares en los que vivimos y trabajamos se conviertan en algo más que un simple lugar de trabajo u ocio. Gracias a un buen diseño lumínico se pueden crear ambientes agradables y energéticamente sostenibles.

Los parámetros que definen la calidad de una iluminación dependen de la finalidad de la misma (iglesias, teatros, sala de conciertos, aulas, museos, etc.) pero en todo caso han de responder a ciertas exigencias comunes como las siguientes: Luminotecnia: (Cálculo del Método de los Lúmenes).

Nivel de iluminación: iluminancias que se necesitan (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie).

- Distribución de luminancias en el campo visual.
- Limitación del deslumbramiento.
- Modelado: limitación del contraste de luces y sombras creado por el sistema de iluminación.
- Color: color de la luz y la reproducción cromática
- Estética: selección del tipo de iluminación, de las lámparas y de las luminarias

En este caso el autor simuló si en determinados espacios, el nivel de iluminación es adecuado o no, al evaluar parámetros para conseguir un buen diseño lumínico, sin olvidar nunca que la elección adecuada de cantidad y calidad de la iluminación que va en función del espacio que se va a iluminar y de la actividad que se realiza.

Cuando se trabaja con el monitor, como es el caso en general de los locales del personal docente en el centro de capacitación, no puede haber incidencia de luz natural en las pantallas de los monitores, no se aconseja orientarlas a las aberturas exteriores, tampoco puede haber reflejos de luz artificial. La fuente luminosa debe ubicarse detrás de los equipos y en un punto elevado, ya que la luz que emite el motor más la reflexión de las luminarias podría causar molestia y cansancio visual de manera drástica.

Tabla 2.2. Niveles de iluminación.

Tipo de actividad interior	Em. (lux)	CUD _L	R _a	Notas
Archivos, copias, circulación	300	19	80	
Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos	500	19	80	
Sala de conferencia y reuniones	500	19	80	La iluminación debiera ser regulable
Dibujo técnico	750	16	80	

Fuente. Iluminación de puestos de trabajo en interiores (NC ISO 8995:2002/CIE S 008-2001, IDT)

En este caso, el método utilizado es el Método de los Lúmenes teniendo siempre en cuenta que se utilizará para obtener una iluminación general y uniforme de un determinado espacio. Gracias a él también, establecida una zona o local, podrás saber qué cantidad de luminarias se necesitan y cómo han de estar situadas en ese espacio.

El método de los lúmenes de fácil aplicación proporciona la iluminación media de un local, este método se emplea para las áreas más amplias en que la iluminación es sensiblemente uniforme. Este método está basado en la determinación del flujo luminoso necesario para obtener una iluminación media deseada en el plano de trabajo (Cabanés, 2020).

Consiste, en la determinación del flujo luminoso en Lux a través de la ecuación 2.33:

$$\Phi_t = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} \quad (2.33)$$

Donde,

- **E_m**: nivel de iluminación medio (LUX)
- **Φ_t**: flujo luminoso que un determinado local o unos necesita (en LÚMENENES)
- **S**: Superficie a iluminar (en m²)
- **C_u**: Coeficiente de utilización. Es la relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Lo proporciona el fabricante de la luminaria.
- **C_m**: Coeficiente de mantenimiento. Es el cociente que indica el grado de conservación de una luminaria.



Tabla 2.3. Coeficiente de utilización de luminaria LED.

C_u			
R_t		70	
R_{ps}		20	
R_{pr}	50	30	10
RCR			
0	1	1	1
1	0,88	0,85	0,82
2	0,77	0,72	0,67
3	0,67	0,61	0,56
4	0,6	0,52	0,47
5	0,53	0,46	0,4
6	0,48	0,4	0,35
7	0,43	0,36	0,31
8	0,39	0,32	0,27
9	0,36	0,29	0,24
10	0,33	0,26	0,22

Fuente. Propuesta de iluminación con tecnología Led en la ESIME de la biblioteca de Zacatenco, Aguilar, J.I., Ramírez Cedillo, septiembre 2013.

Como el RCR se encuentra entre dos posibles resultados se lleva a cabo la interpolación por medio del programa Excel se obtuvo el resultado del Coeficiente de utilización (C_u) de 0.78.

Para el factor de mantenimiento ($F.M.$) es de 0,9 según (Aguilar, 2013) ya que, aunque el balastro no está separado de la lámpara, sino está en su interior, tiene un circuito que hace función del propio y por lo tanto se debe tomar en cuenta. La lámpara fundida es un valor de 0,95 recomendado por la IES. La depreciación de los lúmenes por la lámpara es de 0,99 y la suciedad 0,88 ya que es la establecida.

$$F.M = (F.B.)(L.L.D.)(L.D.D.)(L.F.) \quad (2.34)$$

Donde,

- **F.B.:** Es el factor de balastro
- **L.L.D.:** Depreciación de lúmenes de la lámpara.
- **L.D.D.:** Suciedad acumulada en las luminarias.
- **L.F.:** Lámpara fundida

Luminotecnia: (Cálculo del Método de los Lúmenes, N.C. Cabanes, V. Blanca Giménez. Martínez Antón, R.M. Pastor Villa,).

Cálculo del número de luminarias.

$$N = \frac{\Phi_t}{n \cdot \Phi_l} \text{ (Redondeado por exceso)} \quad (2.35)$$

Donde,

- **n** : es el número de luminarias.
- **Φ_t** es el flujo luminoso total
- **Φ_l** es el flujo luminoso de una lámpara
- **N**: es el número de lámparas por luminarias.

Una vez calculado el número mínimo de lámparas y luminarias se procede a distribuir las sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las ecuaciones 2.36 y 2.37:

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{Total}}{largo}} \times ancho \quad (2.36)$$

$$N_{largo} = N_{ancho} \times \left(\frac{largo}{ancho}\right) \quad (2.37)$$

Donde:

- **N**: es número de luminarias

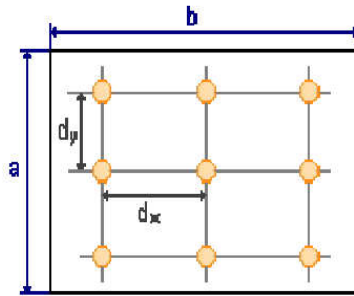


Figura 2.2. Niveles de iluminación recomendados.

Fuente. (s.f) Luminotecnia: Cálculo del Método de los Lúmenes.

La distancia máxima de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo. Mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará, aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados.

Simulación de los locales

Para comprobar estos resultados se realizaron simulaciones con software profesional de iluminación de la firma TROLL, INDALWIN 5. S3 y 7.00 y Luxicon, los cuales permitieron validar los resultados obtenidos en este capítulo.



Figura. 2.3. Imagen del nivel de iluminación de la oficina personal docente a propuesta de la proyección Centro de Capacitación EEH.



Figura. 2.4. Imagen del nivel de iluminación del local anfiteatro a propuesta de la proyección Centro de Capacitación EEH

A continuación, se muestra las simulaciones realizada en el anfiteatro, donde se comprueba las mediciones realizadas de iluminación al no cumplir con las normas cubanas establecidas.

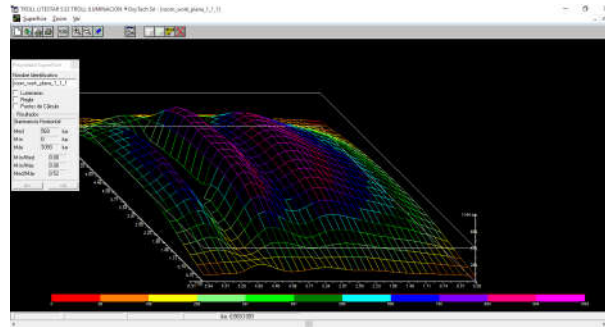


Figura. 2.5. Gráfico Tridimensional del punto de luz.

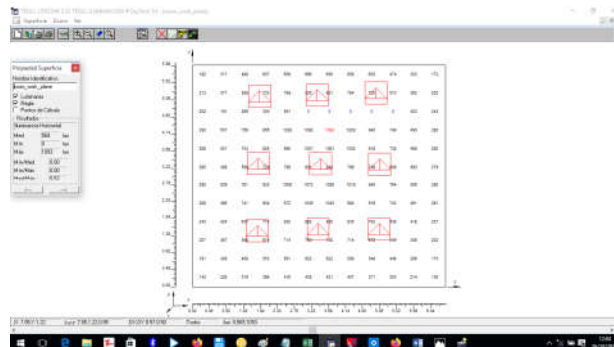


Figura. 2.6. Simulación del local anfiteatro.



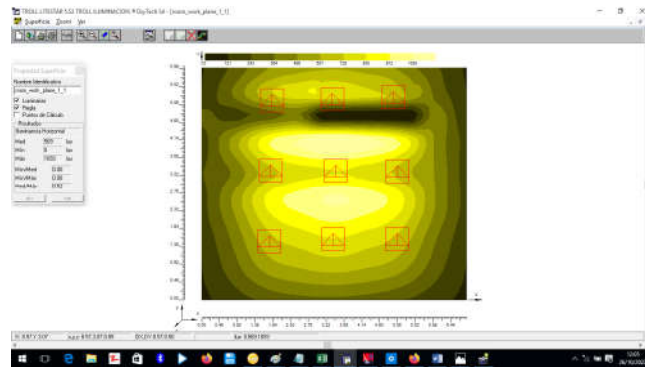


Figura. 2.7. Niveles de iluminación obtenidos por las luminarias.

2.7- Metodología para el cálculo de paneles solares fotovoltaicos para la cubierta

Existen épocas del año en las que de forma natural se incrementa el consumo de energía eléctrica. Concretamente, en los meses de verano donde el calor es más intenso, y la necesidad de controlar los niveles de temperatura se hace necesaria. Si disponemos de una instalación fotovoltaica podremos aprovecharnos del autoconsumo de energía solar, y cubrir en los meses de verano donde el sol es más intenso el incremento de consumo eléctrico en nuestras edificaciones.

Disponer de grandes cubiertas para realizar la instalación de paneles solares fotovoltaicos constituye una alternativa para la generación de energía, a partir del aprovechamiento de espacios disponibles en azoteas de las áreas administrativas, además de ser una ventaja, ya que facilita la instalación de un gran volumen de paneles y estructuras solares, evitando ocupar espacios adicionales, y ofreciéndonos múltiples ventajas en materia energéticas y ambientales

- Cero emisiones contaminantes
- Ahorro energético
- No genera ruido
- Compatible con otras clases de energía disponible en todo el planeta
- Reducción de la factura eléctrica

Desde el punto de vista energético son eficientes, porque generan electricidad en el mismo lugar que se consume, atenuando significativamente las pérdidas por distribución. En este sentido, las

cubiertas ofrecen mayor potencial de integración en términos de producción energética, por ser las superficies mejor situadas y de mayor extensión, libres de obstáculos y restricciones.

Método de dimensionado con PVsyst

En los últimos años se utilizan un número elevado de aplicaciones informáticas capaces de realizar los cálculos necesarios para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Estos programas realizan cálculos que permiten tener en cuenta muchas situaciones que, para un ingeniero proyectista, serían muy difíciles de considerar, ya que requieren de mucho tiempo. La figura 2.8 ayuda a entender mejor el funcionamiento de estos programas.



Figura 2.8. Diagrama de flujo del dimensionamiento.

Los métodos de dimensionado tienen en común un objetivo, diseñar el sistema con la mayor fiabilidad y el menor coste, modificando los valores de tamaño del generador fotovoltaico y del acumulador. Sin embargo, habrá aplicaciones en las que se busque más fiabilidad, aunque se aumente el coste de la instalación, por ejemplo, sistemas de comunicaciones y, otras que requieran de menor fiabilidad, como algunas aplicaciones domésticas.

Para este trabajo se escogió el *software* profesional PVsyst versión 7.2.16, ya que posee la capacidad de calcular valores diarios de radiación solar a partir de mediciones mensuales. Contiene, además, todos los subprogramas para el diseño, optimización y simulación de cuatro tipos de sistemas: conectados a red, autónomos, bombeo solar y redes de corriente directa. También incluye una base de datos con 7 200 modelos de módulos FV y 2 000 modelos de inversores.

Una de las potencialidades del PVsyst, es que provee información sobre las trayectorias solares de la localidad, permitiendo determinar las pérdidas por efecto de sombras cercanas durante todo el año.

En la configuración del sistema se prestó especial énfasis en las siguientes opciones: Pérdidas por polvo y suciedad 2 %; corrección espectral para módulos amorfos; base de datos del clima para la síntesis horaria de radiación; módulos sin circulación de aire por la parte trasera (debido a su integración total con los impermeabilizantes). Se consideró un largo considerable del cableado de 25 m de largo y sección de 2,5 mm². Estos datos serán abordados en detalle más adelante.

Configuraciones del sistema FV en PVSyst

Para realizar el diseño de la construcción 3D del proyecto del sistema fotovoltaico conectado a red, se cuenta con una serie de ventanas del simulador, que permiten introducir los datos correspondientes para los resultados posteriores. La primera ventana es la base de datos. A partir de esta se obtienen las ubicaciones del lugar geográfico y estación meteorológica. Para seleccionar el tipo de módulo FV con el que se va a trabajar, se tienen en cuenta el precio de la tecnología en el mercado, las dimensiones y características de generación.

La segunda ventana se nombra nuevo proyecto, de donde se definen los parámetros exactos para la simulación: implantación, perfil de obstáculos, sombras cercanas y el sistema, donde se introduce la potencia pico que se quiere estudiar.

Descripciones del lugar y emplazamiento

En la figura 2.9 se muestra ubicación del centro de capacitación y su orientación (Cuadro en rojo). La cubierta con una superficie total de 425 m². Sus coordenadas geográficas son 20°89'64" de latitud norte y 76°26'04" de longitud oeste, 5 m de altitud.



Figura 2.9. Vista área del área micro localizada del CCEH.

Fuente: Google Maps www.maps.google.com

Parámetros del sistema FV

Para optimizar la producción de energía, es primordial definir y configurar fielmente en *PVsyst*, las variables eléctricas, climatológicas y de acimut. El cálculo preciso de dicha energía es muy complejo, debido fundamentalmente, a las variables climatológicas (irradiación y temperatura). Por esta razón, se definen los parámetros característicos, que diferencian los distintos sistemas FV independientemente del comportamiento de las condiciones medioambientales.

Productividad del Generador fotovoltaico o *ArrayYield* (Y_A), definida en la ecuación (2.38), como la energía producida por el generador fotovoltaico en un determinado período de tiempo ($E_{GFV,\zeta}$) y por unidad de potencia instalada:

$$Y_A = \frac{E_{GFV,\zeta}}{P_{nom,G}} \quad (2.38)$$

Productividad Final o Final *Yield* (Y_F), definida en la ecuación (2.39) como la energía útil producida por el sistema en un cierto período de tiempo ($E_{FV,\zeta}$) y por unidad de potencia instalada:

$$Y_F = \frac{E_{FV,\zeta}}{P_{nom,G}} \quad (2.39)$$

Productividad de Referencia o Reference *Yield* (Y_R), definido en la ecuación (2.40) como el cociente entre la irradiación solar incidente sobre el generador a lo largo de un cierto período de tiempo ($G_{inc,\zeta}$) y la irradiación en STC (ISTC = 1000 W/m²):

$$Y_R = \frac{G_{inc,\zeta}}{I_{STC}} \quad (2.40)$$

Rendimiento Global o Performance Ratio (PR), en la ecuación (2.41) se observa como relaciona la energía útil generada por el sistema con aquella teóricamente disponible.

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (2.41)$$

2.8- Conclusiones del Capítulo II

Durante el transcurso del presente capítulo se brindó información del consumo de los portadores energéticos y de los sistemas que están instalados en la edificación, se brindó de manera detallada las características de los sistemas instalados y los métodos de cálculos utilizados, en estimación de carga térmica, iluminación led, sistema de calentamiento solar de agua.

Además de evaluar el aporte energético que ofrece la instalación de un parque solar fotovoltaico en la cubierta de la edificación, dándole al interesado en el trabajo una introducción general sobre el tema que se pretende estudiar, logrando de esta manera darles cumplimiento a unos de los objetivos a desarrollar.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

Una vez establecido en el capítulo 2 los fundamentos básicos y los procedimientos de cálculos para realizar el diagnóstico energético y la estimación de la carga térmica en la planificación actual del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín, se procedió al análisis de los resultados obtenidos, se analizaron los resultados teóricos sobre la base de las investigaciones realizadas que contribuyen positivamente en la toma de decisiones por parte de los administrativos respecto a la utilización de los equipos propuestos.

Por tales razones el objetivo del presente capítulo es: evaluar la influencia de la carga térmica de climatización y sistemas de iluminación led, los factores que inciden negativamente en esta, simular el consumo energético del proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín, diseño de sistemas de calentadores solares para agua, así como sistema solar fotovoltaico sobre la cubierta de la edificación.

3.2. Resultados del diagnóstico de energía

Para profundizar en los aspectos tratados en el capítulo 2, con el fin de evaluar la influencia de la climatización y prever variantes de consumo de energía se realiza la simulación de la proyección actual del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín (ver anexo No. 1), sobre la base del proyecto técnico ejecutivo donde se identificaron los principales portadores energéticos de la instalación y dentro de ellos cuál representa el mayor consumo. Con la documentación existente en el departamento técnico UEB construcción y mantenimiento empresa eléctrica Holguín, se conforma una base de datos donde se relacionan el equipamiento propuesto y su posible consumo, siendo esto un punto de partida para el estudio que se lleva a cabo.

Se analizaron 19 espacios a ocupar (oficinas, dormitorios, anfiteatro entre otros) de un total de 30 para un 63 % de todos los locales proyectados de la edificación, realizando un muestreo intencional donde se escogieron locales grandes y pequeños con diferentes tecnologías instaladas, de ellos 10 locales sobre dimensionados en la carga térmica instalada propuesta, representando el 42 % de la muestra analizada, por uso inadecuado de la tecnología se gastan 225 570,0 kWh al año.

3.3. Cálculo de la carga térmica

Una vez identificado el sistema de climatización como el de mayor incidencia dentro del portador electricidad y este como el de mayor representatividad en los consumos energéticos de la edificación, se procede a la estimación de la carga de enfriamiento según el procedimiento establecido en el capítulo 2 para un ciclo de evolución del aire con enfriamiento y deshumectación.

Para lograr mantener los parámetros de diseño del aire en el interior de un local, se hace necesaria la extracción del calor generado por las diferentes fuentes térmicas del local mediante el suministro o recirculación de un caudal de aire, previamente tratado y bajo condiciones específicas, de forma tal que absorba las ganancias de calor sensibles y latentes del espacio ha climatizar.

Para la estimación de la carga térmica de los 19 locales propuestos a climatizar en el proyecto técnico ejecutivo del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín, se tuvieron en cuenta diferentes criterios como: la ubicación geográfica de la misma (NE, SE y NO, SO) y las condiciones de diseño interior y exterior.

Equipos eléctricos y luminarias a propuesta de instalar en los locales. Equipos, local, consumo energético (Wh), Ver anexo No. 3.

Se debe destacar que los dormitorios que se encuentran en las esquinas noroeste tienen instaladas 18 luminarias, tres de 40 W , para un total de 720 Wh . Con respecto a los y televisores instalados en los dormitorios, éstos consumen 53 kWh .

3.4. Análisis de los resultados

Una vez identificados y seleccionados aquellos elementos necesarios para la estimación de la cantidad de calor necesaria a extraer, se procedió según la metodología de cálculo (Polaina, 1987) a la determinación de las cargas térmicas en los locales. Los cálculos se muestran en el Anexos No.7, No.8 y No. 9, se realizaron con ayuda del *software* profesional *Excel*.

3.4.1. Resultados obtenidos en el estudio del Sistema de climatización

La proyección del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín, en su propuesta muestra una selección de equipos de clima, que varía de acuerdo a sus características eléctricas y datos de los locales, prevalece la marca LG, con diferentes características, en el rango de 820 a 3 750 W de potencia, la propuesta de los locales sus características con muros de mampuesto, carpintería lacada y vidrio, y persianas estilo Miami con regular hermeticidad.

Se analizaron 19 locales, de un total de 30 para un 63,33 % de todos los locales de la edificación, realizando un muestreo intencional donde se escogieron locales grandes y pequeños con diferentes tecnologías propuestas, de ellos nueve locales sobre dimensionados en la carga térmica a propuesta en la proyección, representando el 47 % de la muestra analizada, por uso inadecuado de la tecnología se gastan 294 737,5 kWh al año. En levantamiento realizado a la edificación por locales se distribuyen como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Caracterización de Sistema de clima.

No. Local	Local	Equipos.	Cantidad.	Potencia (W)	Demanda.
27	Sala de juegos	Split 5 Ton	2	7 625	15 250
25	Dormitorio de seis personas	Split 5 Ton	1	7 625	7 625
26	Dormitorio de 12 personas	Split 5 Ton	1	7 625	7 625
3	Anfiteatro	Split 2 Ton	2	3 500	7 000
9	Aula	Split 2 Ton	2	3 500	7 000
7	Biblioteca	Split 2 Ton	1	3 500	3 500
8	Oficina Personal Docente	Split 2 Ton	1	3 500	3 500
4	Dirección	Aire 2 Ton	1	2 450	2 450
5	Administración	Aire 2 Ton	1	2 450	2 450
6	Secretaría Docente	Aire 2 Ton	1	2 450	2 450
12	Almacén	Aire 2 Ton	1	2 450	2 450
13	Jefe de servicio	Aire 2 Ton	1	2 450	2 450
24	Dormitorio de dos personas	Aire 2 Ton	1	2 450	2 450
			16		66 200

Fuente. Muestreo de equipos según Proyecto Técnico Ejecutivo (PTE).

Para lograr mantener los parámetros de diseño del aire en el interior de un local, es necesario la extracción del calor generado por las diferentes fuentes térmicas del local mediante el suministro o recirculación de un caudal de aire, previamente tratado y bajo condiciones específicas, de forma tal que absorba las ganancias de calor sensibles y latentes del espacio climatizado.

Para estimar la carga térmica de los 19 locales propuestos a climatizar en el objeto de estudio, se tuvieron en cuenta diferentes criterios como: la ubicación geográfica de la misma (NE, SE y NO, SO) y las condiciones de diseño interior y exterior, estas últimas se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Condiciones de diseño interior y exterior.

Condiciones de diseño:	Interior	Exterior
Temperatura de bulbo seco. Tbs (°C)	24	32,5
Temperatura de bulbo húmedo. Tbh (°C)	18	27
Humedad relativa. (%)	55	70
Humedad específica. (kg/kgas)	0,0103	0,021142

Según variantes para los dormitorios a ubicar como referencia en el proyecto técnico ejecutivo al NE y SO, la carga térmica propuesta es mayor a la calculada, con un rango de variación entre 1,31 y 1,56 kW de diferencia entre ellos. Los locales administrativos tienen una capacidad propuesta menor que la calculada donde la diferencia entre ellos varía de 0,13 a 1,30 kW para los locales interiores, marcar el elemento que prima en el cálculo por proyecto en los locales administrativos la propuesta se estima por la superficie del local, sin tener en cuenta las cargas térmicas que inciden en su interior. Para los dormitorios destacar que se encuentran desocupados durante el día donde se encuentra la mayor incidencia de carga por estructura. Ver anexos No. 7 y No. 8.

De los resultados por los diferentes locales a climatizar se muestra el comportamiento de las ganancias de calor según dos variantes la propuesta por proyecto técnico ejecutivo y la calculada, se observa que la de mayor incidencia en la carga térmica total son la estructura y por ocupantes, seguido la ventilación la cual es una carga que depende del número de ocupantes por lo que se mantiene constante para todos los locales mayoritariamente en el primer nivel donde se propone la docencia, aulas, personal docente, biblioteca y otros. Es necesario destacar que se encuentra presente en todos los locales la ganancia por iluminación ver anexo No. 7.

Análisis del primer Nivel. Se realizó un estudio de 12 locales del primer nivel, donde el resultado arrojó, que ocho locales, están sobredimensionados en la carga térmica propuesta representado el 66,6 % de los locales con propuesta de clima en este nivel.

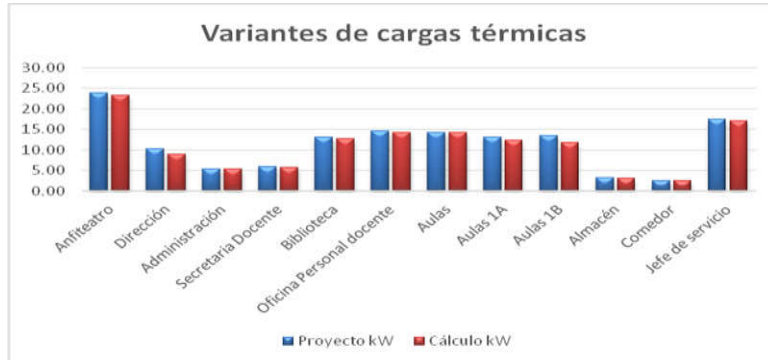


Figura 3.1. Carga Térmica 1^{er} Nivel.

Fuente: Autor

En la figura 3.1 se muestra la diferencia de la carga propuesta y la que demanda según metodología de cálculo en los ocho locales que están sobredimensionados en la carga térmica propuesta, según análisis realizado en el primer nivel.

Análisis del 2^{do} Nivel. Se realizó un estudio de diez locales del segundo nivel donde el resultado arrojó, que siete locales están sobredimensionados en la carga térmica propuesta representado el 70 % de los locales con clima en este nivel.

En la figura 3.2 se muestra la diferencia de la carga propuesta y la que demanda según metodología de cálculo en los siete locales que están sobredimensionados en la carga térmica instalada, según análisis realizado en el segundo nivel.

La mayor carga térmica de climatización está alrededor de los 23,92 kW y los menores valores corresponden al dormitorio para dos personales ubicados en la proyección al (NE) y local de almacén interior con una carga térmica de 3,15 a 3,53 kW. Además, la carga térmica propuesta en el proyecto técnico ejecutivo resulta ser mayor que la calculada con una variación de 12,37kW, observándose que los equipos propuestos se encuentran sobredimensionados en mayor número de la propuesta inicial.

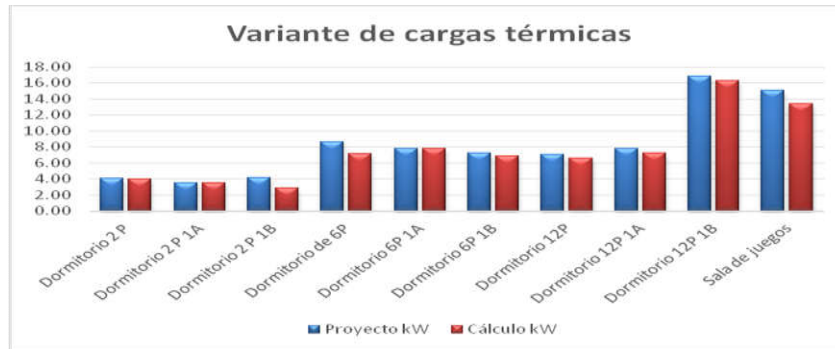


Figura 3.2. Carga Térmica 2^{do} Nivel.

Fuente: Autor

Se comprobó a través de la estimación de la carga térmica que los equipos instalados tienen una capacidad de enfriamiento mayor que la obtenida según los cálculos. A tener en cuenta una de la principal causa de que la carga térmica calculada sea mayor que la propuesta en un número reducido de muestras fue considerada por el proyectista volúmenes a refrigerar por área del local, sin considerar el resto de las cargas térmicas actuantes en los locales.

3.4.2. Implementar integración de sistemas de calentamiento solares de agua

Este tipo de sistemas teniendo en cuenta que el centro de capacitación mantiene un constante uso de agua, por contar con locales de elaboración de alimentos, fregado, baños públicos, lo que nos permite el beneficio directo de ahorro de gas y de energía eléctrica, al utilizar la energía solar para calentar el agua, se reduce el consumo de combustibles fósiles y evita que el aumento continuo de los precios afecte de manera directa al presupuesto de la inversión.

Teniendo en cuenta la Resolución N. 287/2015, establece los índices de consumo de agua en el sector de la educación, siendo para un centro docente con alumnos internos 0,100 m³/ (alumno·día).

A partir de los resultados obtenidos, con ayuda de la hoja de cálculo realizada, se determinó que para la instalación con 60 camas se necesitan 10 colectores solares para el calentamiento de agua, para ello se propone un área de colector de 25,06 m².

3.4.3. Resultados obtenidos en el estudio Sistema iluminación led

Al centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín, se le realizó un análisis de la propuesta del (PTE), el resultado arrojó un alto consume de energía eléctrica por concepto de iluminación a propuesta de luminarias fluorescentes, se muestreo un total de 20 locales en toda la edificación, y por medio de la aplicación de fórmulas con ayuda de Excel se realizaron los cálculos según Método de Lúmenes, para el cálculo de iluminación.

En la tabla se hace referencia a la cantidad de lámparas propuestas por cada uno de los locales y lo que se demanda por cálculo considerando Lámparas fluorescentes. Ver anexo No. 2.

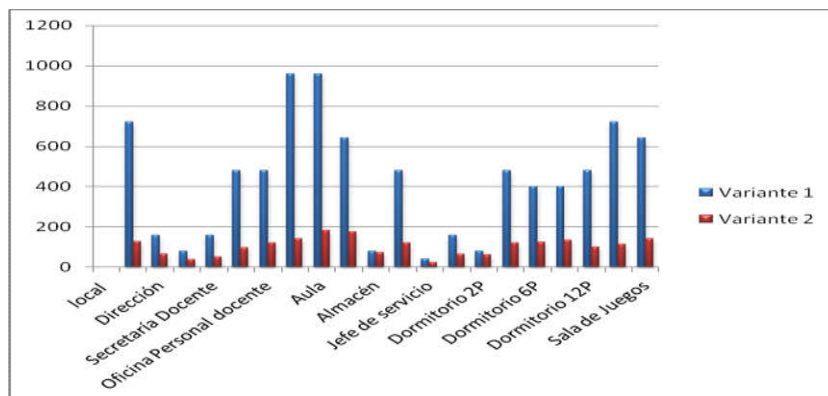


Figura 3.3. Gráfico comparativo de demanda iluminación.

Fuente del autor.

En la figura 3.3 se muestra la diferencia de las luminarias propuestas (fluorescentes) y las que demanda por el cálculo realizado, aplicando el Método de lúmenes, en cada uno de los locales muestreados.

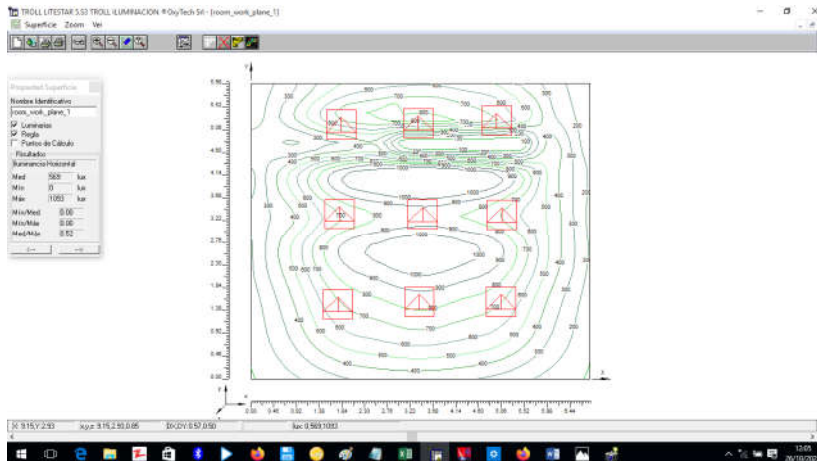


Figura 3.4. Curva de distribución de las luminarias del anfiteatro centro de capacitación EEH.

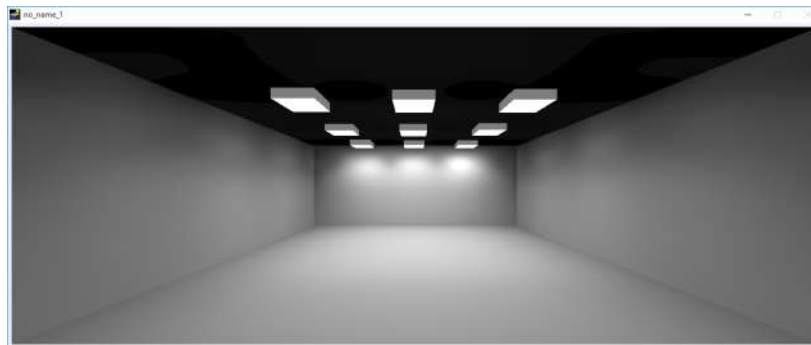


Figura 3.5. Simulación del anfiteatro Centro de Capacitación EEH.

Con una adecuada utilización del sistema de iluminación en el centro de capacitación de la empresa eléctrica se obtiene una disminución de 3 913,27 kW en el mes y 47 611,46 kW en el año, proporcionando, ahorro energético y por consiguiente contribuyendo a la protección del medio ambiente.

3.4.4. Implementar FRE. Integración de sistemas solares fotovoltaicos en edificios

En el centro de capacitación empresa eléctrica de Holguín la cubierta de la edificación cuenta con 595m², lo que determina que solo se puede utilizar el 33,9 % pues se descontó el área a ocupar por dos tanques para almacenamiento de agua con diámetro de 1,45 m , además el área de acceso hacia la cubierta, la separación entre el borde y el generador fotovoltaico de un metro, y se consideró una separación mínima de medio metro que debe tener entre las estructuras para

obtener como resultado un área a utilizar para el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico a instalar de 425 m².

Para obtener resultados de implementación de integración de sistemas solares fotovoltaicos se simuló variante a través *software PVsyst*, arrojando como informe de resultados, el sistema FV sin escena 3D definida, sin sombras potencia del sistema: 86,4kWp, 240 unidades como número de módulos, 2 unidades de inversores proporción $P_{nom} = 90 \text{ kWca}$. Las tablas 3.3, 3.4 y 3.5

Tabla 3.3. Datos generales del informe de modelación ofrecido por el *software PVsyst*.

Energía Promedio	146,7 MWh/año
Producción específica	1 698 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento PR	85,08 %

Fuente: Informe de simulación *Software PVsyst*, sistema conectado a la red proyecto: Escuela de superación empresa eléctrica Holguín

Parámetros generales, Características del conjunto FV, Pérdidas del sistema

Tabla 3.4. Modelo FV.

Fabricante	SunPower
Modelo	SPR-MAX2-360
(Base datos PVsyst Original)	
Unidad Nom. Potencia	360 Wp
Número de módulos FV	240 unidades
Nominal (STC)	86,4 kWp
Módulos	20 cadenas x 12 en series
En Cond. De funcionamiento (50 °C)	
P_{mpp}	79,1 kWp
U_{mpp}	638 V
I_{mpp}	124 A
Potencia FV total	
Nominal (STC)	86 kWp
Total	240 unidades
Área del módulo	424 m ²

Fuente: Informe de simulación *Software PVsyst*, sistema conectado a la red Proyecto: Escuela de superación empresa eléctrica Holguín.

Tabla 3.5. Inversor.

Fabricante	Sunways
Modelo	STT-45KTL
(Base datos <i>PVsyst</i> Original)	
Unidad Nom. Potencia	45,0 kWca
Número de inversores	2 unidades
Potencia Total	90 kWca
Voltaje de funcionamiento	180 a 1000 V
Proporción Pnom (CC:CA)	0,96
Potencia Total del inversor	
Potencia total	90 kWca
Número de inversores	2 unidades
Proporción Pnom	0,96

Fuente: Informe de simulación *Software PVsyst*, sistema conectado a la red Proyecto: Escuela de superación empresa eléctrica Holguín.

Pérdidas del conjunto (ver anexo No. 9) diagrama de pérdidas. Factor de pérdida térmica, Temperatura módulo según irradiación U_c (Const.) $20 \text{ W/m}^2\text{K}$, U_v (Viento) $0,00\text{W/m}^2\cdot\text{K/m/s}$. Pérdidas de desajuste del módulo, Frac. De pérdida 2 % en MPP. Pérdidas de cableado CC, Res. Conjunto global $85 \text{ m}\Omega$, Frac. De Pérdida 1,5 % en STC

Pérdidas de ajuste de cadenas, Frac. De pérdida 0,1 %, Pérdida de calidad módulo Frac. De pérdida -1,3 %; Factor de pérdidas IAM. Efecto de incidencia (IAM): *Fresnel*, revestimiento AR, $n(\text{vidrio})= 1,526$, $n(\text{AR})= 1,290$.

Tabla 3.6. Pérdidas.

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1 000	0,999	0,987	0,962	0,892	0,816	0,681	0,440	0,000

Fuente: Informe de simulación *Software PVsyst*, sistema conectado a la red Proyecto: Escuela de superación empresa eléctrica Holguín.

Como resultados principales ver figuras 3.6 y 3.7, producciones normalizadas por kWp instalado y Promoción de rendimiento (PR).

Figura 3.6 Se muestra la energía incidente de referencia en el plano receptor. El índice de producción de referencia medio diario E_R obtenido para todo el año es de $4,65kWh/m^2$, en total de concordancia con estudios previos realizados en Cuba.

Generación de energía eléctrica anual

La simulación genera información sobre el comportamiento del sistema fotovoltaico, en función de los datos que los datos que se han introducido anteriormente. Estos datos se expresan desde la presentación de los datos meteorológicos o las propuestas de consumo, hasta balances energéticos, tensiones y corrientes de los diferentes componentes. Se muestra en las figuras 3.6 y 3.7.

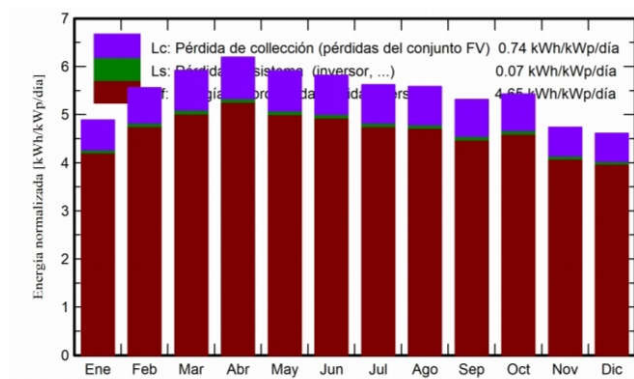


Figura 3.6. Factores de pérdidas del SFVA.

Fuente: Simulación software PVsyst

En la gráfica anterior se muestra las pérdidas en el generador (franja morada), las pérdidas en la batería (franja verde) y la energía entregada a las cargas (franja roja). Se puede ver que el sistema está optimizado para hacer frente al consumo de los meses de junio, julio y agosto, siendo el mayor, el sombreado para el mes de diciembre que cuenta con la peor relación/consumo tiene.

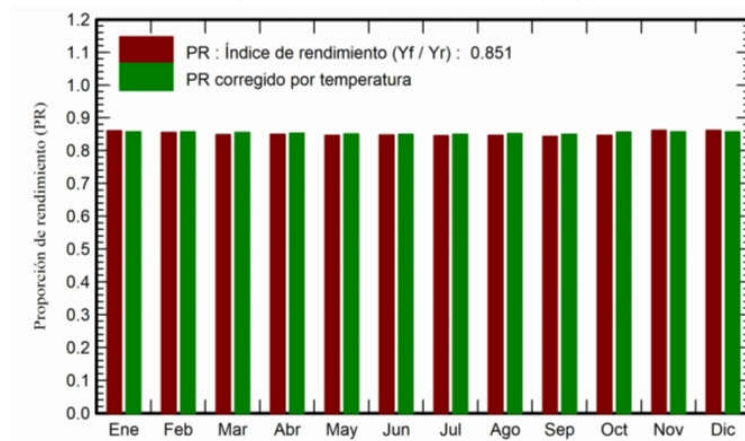


Figura 3.7. Producción nominalizada y factores de pérdidas del SVFA.
 Fuente: Simulación software PVsyst.

En la figura 3.8 se muestran los datos que se utilizaron para el diseño previo y, principalmente la probabilidad de pérdida de carga del sistema.

Tabla 3.7. Balance de resultados generales.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR proporción
Enero	123.3	48.63	23.93	151.6	148.7	11.45	11.27	0.861
Febrero	134.2	54.84	24.29	155.8	152.9	11.69	11.51	0.856
Marzo	171.4	67.30	24.81	183.5	179.8	13.66	13.45	0.849
Abril	186.5	81.72	25.35	185.9	181.5	13.84	13.64	0.849
Mayo	195.8	83.01	26.41	183.3	178.6	13.61	13.41	0.847
Junio	190.9	85.83	26.94	174.6	169.9	12.99	12.79	0.848
Julio	188.2	87.72	27.83	174.4	169.9	12.94	12.74	0.846
Agosto	178.0	91.53	28.02	173.1	168.9	12.85	12.66	0.846
Septiembre	154.3	69.68	27.12	159.5	155.7	11.80	11.62	0.843
Octubre	150.5	61.77	26.70	168.4	165.4	12.51	12.32	0.847
Noviembre	119.5	57.40	25.15	142.2	139.4	10.74	10.58	0.862
Diciembre	115.0	50.56	24.74	143.0	140.2	10.81	10.65	0.862
Año	1907.5	839.99	25.95	1995.2	1950.9	148.90	146.67	0.851

Fuente: Simulación software PVsyst

- Donde:
- GlobHor: Irradiación horizontal global



- DiffHor: Irradiación difusa horizontal
- T- Amb: Temperatura ambiente
- GlobInc: Global incidente plano receptor
- GlobEff: Global efectivo, corr.para IAM y sombreados
- EArray: Energía efectiva a la salida del conjunto
- E-Grid: Energía inyectada a la red
- PR: Proporción de rendimiento

En la tabla resumen los balance y resultados principales de la simulación del sistema fotovoltaico. El valor mas alto de irradiación corresponde al mes de julio con un acumulado 188,2 kWh/m² y el valor mas discreto corresponde al mes de diciembre con 115 kWh/m².

Se observa que el mes que posee mayor disponibilidad de energía es el mes de abril con 13,84 MWh , mientras que el mes de menor disponibilidad de energía es noviembre con 10,74MWh .

La irradiación anual es de 1 907,5 kWh/m² con una producción de energía electrica disponible de 148,9 MWh .

Diagrama de pérdidas ver anexo No. 9. Como resultado del análisis de pérdidas del diagrama de pérdidas de las simulaciones, se obtuvo que la energía entregada a la red es de 146,7 MWh/año , lo que equivale al consumo del 85 % de un día de concumo del centro de capacitación y representa el 23,5 % (625,39 MW) del propuesta anual del equipamiento propuesto, por lo que se recomienda estudio del equipamainto propuesto por modelos mas economicos en consumo de enrgía asi como aprovechamiento de la radiación solar a traves de paneles solares en los vidrios y elementos decorativos de la estructura.

En el anexo No. 10. Se representan de arriba hacia abajo: las pérdidas de un 4,6% de los paneles FV se deben a que están inclinados, por lo que existe circulación de aire por su parte trasera, disminuyendo significativamente su temperatura de operación.

Los resultados del software *PVsyst* muestran que la irradiación global sobre el plano horizontal recibida durante un año para la localidad de Holguín es de 1 908 kWh/m², en total correspondencia con el valor promedio anual para el territorio nacional.

Como los paneles FV tienen una inclinación de 30° como es recomendado para Cuba, existe ganancia de irradiación sobre el plano receptor. Nótese que la eficiencia en STC para la tecnología FV es de un 20,83 % acorde con los estándares mundiales.

A través del análisis y la evaluación de cada uno de los datos recopilados se obtiene por el concepto de instalación del parque solar fotovoltaico una potencia de 86 kWp y una generación anual de 146,7 MWh y como promedio mensual 12,23 MWh, disminuye el consumo anual en el horario del día en un 48,87 % y la demanda máxima.

3.5. Valoración económica

Para análisis económico de los costos constituye una parte importante del diseño de los SFVA y no puede abordarse sólo en base al costo inicial de la instalación, el cual generalmente es superior al de otras alternativas.

A pesar de ello, puede resultar económicamente ventajoso a lo largo de toda su vida útil pues, el costo de operación y mantenimiento es relativamente muy pequeño. Además, este sistema alternativo significa una reducción de potencia activa y energía la cual se traduce en un ahorro de combustible que se refleja en la liberación de capacidad en plantas y redes.

De acuerdo a que es un sistema productor de energía eléctrica, o sea es una fuente de energía renovable, este cálculo se dirige hacia el ahorro de energía producida. Como base la simulación este sistema es capaz de entregar 146,7 MWh/año, con el dato se calcula que ahorraría este sistema FV en caso de que la energía fuese comparada al SEN (Sistema Electro-energético Nacional).

$146,7 \text{ MWh/año} \cdot 94 \text{ (tarifa eléctrica)} = 13\,789,8 \text{ MN/año}$, UC-CG 0004 tarifas eléctricas del Ministerio de Energía y Minas, (abril 2022).

Costo inicial de los sistemas fotovoltaicos. Considerando un índice de costo para el sistema fotovoltaico de 75MLC/W o 0,88USD/kW y teniendo 146 700kW; se tiene $146\,700 \cdot 0,88 = 129\,096 \text{ USD}$.

El costo final del sistema fotovoltaico autónomo es de 15 000USD. Estos valores se calculan sin tener en cuenta los gastos por servicios de importación, lo que significa que el costo final sería superior, <http://www.cubadebate.cu>.

Tiempo de recuperación de la inversión. El tiempo de recuperación (T) del capital invertido es uno de los indicadores que represente los beneficios obtenidos, entre menor sea ese tiempo mayor son las ganancias adquiridas.

La ecuación siguiente calcula, el periodo de retorno en años:

La ecuación siguiente calcula, el periodo de retorno en años:

$$T = \frac{I}{E-M} \quad (3.1)$$

Donde:

- T = tiempo de recuperación de la inversión (años).
- I = inversión total del proyecto.
- E = Beneficio anual conseguido mediante la energía dejada de generar por las centrales termoeléctricas.
- M = costo anual de mantenimiento y explotación de la instalación (costos financieros y de amortización no incluidos).

La propuesta de cambios en los sistemas de iluminación fluorescente propuestos en el proyecto por sistemas led, en el centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín se obtiene una disminución de 3 913,27 kW de consumo energético a un máximo de utilización, en un período de un mes y 47 611,46 kW en el año, proporcionando, ahorro energético y por consiguiente contribuyendo a la protección del medio ambiente. 47,6 MWh/año·94 (tarifa eléctrica) = 4 446,2 MN/año.

La carga térmica resultante del cálculo en la investigación aporta una propuesta de ahorro de 12,37 kW, con la sustitución de los equipos que se encuentran sobredimensionados. Aportando en el año 4,52 MWh/año·94 (tarifa eléctrica) = 424,88 MN/año.

Sustituyendo en la ecuación 3.1 se obtiene un tiempo de recuperación de la inversión de 4 años y 2 meses.

Desde el punto de vista financiero y bajo las premisas analizadas la propuesta de inversión resulta una alternativa atractiva contando siempre con el financiamiento previsto.

El programa fotovoltaico evaluado constituye una fuente de energía limpia con impacto positivo sobre el medioambiente al sustituir anualmente como promedio más de 78,48 toneladas de combustibles fósiles en la generación de electricidad que implica dejar de emitir al medio ambiente como promedio más de 39,24 t de CO₂.

Los bajos costos de operación de los sistemas solar FV, hacen de esta fuente de obtención de energía una variante tecnológica competitiva. A partir de la implementación de esta inversión, el país percibirá un ahorro considerable por concepto de sustitución de importaciones de combustibles fósiles.

Desde otro punto de vista, la sustitución de equipamiento eficiente arroja resultado eficaz desde el punto de vista energético, el ahorro por consumo de energía eléctrica equivale a 794 400 kWh, siendo para un año de explotación 289 956 MWh. Se demostró que con el uso y aplicación eficiente de las nuevas tecnologías se logra ahorros energéticos en el sistema de climatización de 79,44 MWh en el año y en el sistema de utilización de energía por concepto de uso de sistemas de calentadores solares para agua se estima un 40 % de ahorro como promedio. El desarrollo e implementación del sistema fotovoltaico es viable económicamente para el sector durante el día además disminuirá el consumo de energía de la instalación al SEN.

3.6. Estudio de la contaminación ambiental

Se considera que la climatización interfiere negativamente sobre el medio ambiente en dos sentidos:

- Como consumidora de electricidad o de combustible el CO₂ generado, que contribuye al aumento del efecto invernadero.
- Los refrigerantes artificiales, necesarios en el ciclo frigorífico base del sistema, contribuyen a la reducción de la capa de ozono, en presencia de vapor de agua y son gases con efecto invernadero de por sí.

En estos momentos la presión mayor sobre la climatización se debe a los refrigerantes artificiales porque tienen una triple acción sobre la naturaleza, dos directas y una indirecta.

- Ataque a la capa de ozono por los CFC_s , y en menor medida por los $HCFC_s$ y nada por los HFC_s .
- Contribución directa al aumento del efecto invernadero por los CFC_s , $HCFC_s$ y HFC .
- Contribución indirecta, por el consumo eléctrico y su producción de CO_2 , lo que da importancia al rendimiento que se consigue con los diversos refrigerantes. Hoy día se están considerando como sustitutos de los CFC_s y $HCFC_s$ tres tipos de refrigerantes artificiales, que se diferencian por el número o ausencia de moléculas de cloro e hidrógeno que tiene su composición:
 - CFC_s 2-3 moléculas de cloro y sin hidrógeno.
 - $HCFC_s$ 1-2 moléculas de cloro y una o más de hidrógeno.
 - HFC_s sin cloro y una o más de hidrógeno.

La acción sobre el ozono se debe a las moléculas de cloro. Cuando existe vapor de agua, la acción es catalítica, por lo cual sobre la Antártida donde es mayor la presencia de vapor de agua en la estratosfera, es donde se dan las menores concentraciones de ozono estratosférico.

En el caso de estudio, uno de los elementos que tiene mayor relación con el medioambiente, en específico con la destrucción de la capa de ozono son los refrigerantes (Freones), dentro de la propuesta de mejoras los equipos propuestos en el desarrollo de este trabajo serán refrigerantes ecológicos que no la dañan.

Por otra parte, el elemento más perjudicial está relacionado con el calentamiento de la tierra producto de la combustión de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, etc.) para la generación de energía eléctrica, y es por ello que con la propuesta de sustituir los equipos instalados por otros menores consumidores se garantiza la disminución de las emisiones de gases contaminantes de la atmósfera como el CO y el CO_2 .

Implementar acciones en la conceptualización de inversiones con características de edificaciones que permita el ahorro de energía

Se propone una serie de acciones a implementar en la empresa eléctrica Holguín (ver anexo No.11), para lograr estándares de eficacia en el sector, encaminadas a elevar el uso eficiente de la energía e incorporar propuestas de uso fuentes renovables de energía desde la etapa de pre-inversión, encaminada a su utilización en las inversiones con características de edificaciones.

El resultado del informe científico arroja que las insuficiencias que presenta el centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín, en materia de una propuesta carente de uso de fuentes renovables de energía como alternativa de generación eléctrica y calentador solar de agua constituye un punto de partida a implementar de forma permanente en las solicitudes de los servicios para el diseño de las edificaciones, así como la propuesta de equipamiento sea con estándares de eficiencia a nivel internacional, que se evalué en las cargas térmicas que intervienen en las edificaciones o inversiones durante el proceso de diseño no solo se encamine al volumen a refrigerar o climatizar sino las posibles variables que inciden en el interior y exterior de las edificación.

3.7. Conclusiones del capítulo III

- Quedó demostrado que los equipos propuestos poseen una capacidad de enfriamiento mayor a la carga térmica real requerida en los locales según los cálculos.
- La propuesta de iluminación leed reduce el consumo energético de la propuesta a futuro.
- La implementación del uso de sistema de calentadores solares nos permite el beneficio directo de ahorro de gas y de energía eléctrica, al utilizar la energía solar para calentar el agua, se reduce el consumo de combustibles fósiles.
- El uso eficaz de fuente renovable de energía reduce el consumo energético anual en el horario del día.



CONCLUSIONES GENERALES

- A través de la simulación de consumo energético se demuestra que la electricidad por concepto de uso de climatización ocupa el primer lugar en orden de importancia del centro de capacitación de la empresa eléctrica Holguín.
- Se propone sustituir los sistemas de climatización y sistemas de iluminación propuestos por los que reúnen las características requeridas lo que contribuye a la disminución del consumo de energía eléctrica en la instalación.
- Se proponen acciones a implementar en la empresa eléctrica Holguín, específicamente grupo técnico encargado de la planificación de inversiones con fines estructurales, que conlleven al uso de eficiente de la energía y FRE, en las inversiones futuras y desde la etapa de pre-inversión.
- Se exponen datos para implementación de calentadores solares para agua y sistema solar fotovoltaico, la implementación de equipos con el uso eficiente de la energía en el centro de capacitación de la Empresa Eléctrica Holguín.
- Los resultados de valoración económica muestran un periodo de recuperación de la inversión de 4 años y 2 dos meses.

RECOMENDACIONES

- Proponer plan de mejoras a la proyección del centro de capacitación, dotando la inversión con el estudio de tecnologías eficientes de sistemas de iluminación led y climatización.
- Proponer uso de calentadores solares para agua.
- Implementar resultados de la investigación en los estudios previos de las inversiones en el sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abella. E. Estimación de la carga térmica de climatización de las instalaciones de Villa Coral y Villa Vigía. Trabajo de Diploma. ISMM, 2005.
2. Acebedo Nieves J S, Guevara Acuña M A. Eficiencia térmica en sistemas de protección solar para el clima cálido húmedo. Caso de estudio: edificio Serfinanza, Barranquilla, Corporación Universidad de la Costa, 2021.
3. Alvarez J D. Sistema abierto y estable de supervisión, gestión eficiente de la energía y control y confort del edificio CIESOL basado en IoT y Cloud Computing, 2021.
4. Arballo B. D, Kuchen E., Chuk D., Optimización multi objetivo de la eficiencia energética y el confort térmico en edificios de oficina públicos. Periodo crítico de verano en la ciudad de San Juan, Arguentina, Revista hábitat sustentable 12 (1), 102-113, 2022
5. Armas Valdes. Juan C. Procedimiento para la optimización de sistemas de climatización centralizados por agua helada desde la etapa de diseño conceptual. Ph.D thesis. 2008. CEEMA. UCF. Cuba.
6. Armas Valdes. Juan C. Procedimiento para la optimización del diseño conceptual de sistemas de climatización centralizada por agua helada. Revista Energética No. 39, pp. 5-18, Julio de 2008 – ISSN 0120-9833
7. Bardales, J., & Violeta, E. Sistemas de iluminación natural y confort lumínico aplicado al diseño de un museo marino en Edificaciones, E. E. NOM-008-ENER- 2011. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la energía (CONUEE), México, 2018.
8. Betanzos, MiguelL. Proyecto de ahorro de energía Hotel Fiesta América Mérida. ATPAE. Pág 133-140
9. Borroto Nordelo, Aníbal y Percy Viego Felipe. Gestión Energética Empresarial. Diplomado en Gestión Eficiente de la Energía. Universidad Autónoma de Baja California, Tecate, B.C., México, 2001.
10. Borroto Nordelo, Aníbal. El Verdadero Costo de la Energía. Revista Mundo Eléctrico Colombiano. 1999

11. Borroto Nordelo, Aníbal. Gestión Energética Empresarial. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cuba. ISBN 959-257-040-X. Editorial Universidad de Cienfuegos. 2002
12. Borroto, A. y colectivo de autores. Gestión y Economía Energética, Editorial Universidad de Cienfuegos, 2006.98 p
13. Campos Abella, J C; et.al., La Eficiencia Energética en la Gestión Empresarial. Editorial Universidad de Cienfuegos, Cuba, ISBN 959-257-018-3, 1997
14. Campos Abella, Juan Carlos. Herramientas para Establecer un Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía. Diplomado en Gestión Energética, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, 2000.
15. Campos Avella, J.; R. Dorta. La eficiencia energética en la gestión empresarial. Colombia: Editorial Contactos Mundiales. CEEMA, 2001.91p
16. Campos Avella, Juan. C. Tecnología de administración Energética empresarial. CEEMA. Pág. 10
17. Catálogos: Productos técnicos, Distribuidora Cimex. S. A. 45p.
18. Collado N, Himpe E, González D, Rueda L, Retos para una definición de "Edificios de consumo energético casi nulo", Revista ingeniería de construcción 34 (3), 321-329, 2019.
19. Cooperman A, Dieckmann J, Brodrick J. Compensaciones de agua/electricidad, Revista ASHRAE 53 (12), 118-121, 2021.
20. Cuba, M. Estudio de la Climatización del Hotel Miraflores. Trabajo de Diploma, ISMM, 2004.
21. Cubadebate. (16 de 09 de 2021). <http://www.cubadebate.cu/noticias>.
22. D´amanzo M., Ganem C., Mercado M.V., Edificios energía cero, Camino hacia ciudades post carbono, Consejo Profesional de Arquitectura y Urbanismo, 2021
23. De Andrés Y Rodríguez – Pamotto Juan A: Climatización II.2da edición, Madrid, España, 1992. 546p.

24. Decreto-Ley No. 345, La edición ordinaria No. 95 de la Gaceta Oficial de la República de Cuba, titulado "Del desarrollo de las energías renovables y el uso eficiente de la energía", del 19 de noviembre de 2019.
25. Durán Hernández H.-Pineda Roa D. Caracterización energética y planteamiento de oportunidades de mejora en el desempeño energético del edificio administrativo de la gobernación de Santander, Universidad Autónoma de Bacaramanga UNAB, 2022.
26. Durán, Y. Cálculo verificativo de la carga térmica de Climatización del Centro Comercial Moa. Trabajo de Diploma. ISMM, 2004.
27. Elsinger D, Fernández A, Silva Garzon B. Calculator integral de eficiencia energética de la envolvente arquitectonica: CIDEE-EA, Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente-ASADES, 2021.
28. Feodorov, Rodríguez López, Eduardo. Suministro eléctrico de empresas industriales. La Habana Pueblo y Educación, 1982.
29. Fernandes Malheiro M de F, Lima C. The relationships between housing conditions and health: an assessmet with emphasis on energy efficiency.
30. Fernández Pérez, Ramón David. Consumo de energía en el 2006. UCF. Informe al Consejo de Dirección del VRAS. Universidad de Cienfuegos. 02/ 20073.
31. Francisco J. Varadas y Francisco J. Vico "Computación Evolutiva Basada en un Modelo de codificación implícita", Inteligencia Artificial, No. 5, Pág. 20-25.
32. García, P. Estudio de la Climatización en el Hospital Pediátrico de Moa. Trabajo de Diploma. ISMM, 1998.
33. Giménez Molina MC, Tesis Doctoral "Alternativas para la mejora de la eficiencia, energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos", 2011.
34. GlobalPetrolPrices. (Septiembre de 2021). Obtenido de <http://www.GlobalPetrolPrices.com>

35. Gómez Cañas J D. Determinación de cargas térmicas por el método RTSM Radiant Time Series Method en aulas de clase del edificio B de las Unidades Tecnológicas de Santander, Unidades Tecnológicas de Santander, 2020.
36. Gómez, A. Propuesta de arquitectura bioclimática para la localidad de Molinos (Distrito de Molinos, Jauja, Perú) 2018.
37. González García, Juan Manuel. Sistema de gestiones integrales servicio energético. Gestión de Hoteles. Sep.-octubre-1999 Pág 7-14.
38. González Jordan, R.; Ahorro de energía en Cuba. La Habana: Editorial científico – técnica, 1986.
39. Gracián Conrado F, Hernández Ortiz D. Diseño de un sistema de climatización óptimo para su instalación en la cafetería central de la Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, 2022.
40. Granma. (17 de septiembre de 2020). Unión Eléctrica de Cuba responde a inquietudes más frecuentes con respecto a la nueva tarifa del servicio. Obtenido de Granma.cu: <http://www.granma.cu>
41. Hernández, D. Proyecto técnico de la climatización de la Dirección de Trabajo Social y Educacional en Moa. Trabajo de Diploma. ISMM.2005.
42. Holguín Intriago G., Llosas Albuerne Y. y Pérez Rodríguez, Evaluación del sistema eléctrico de edificios de propósito educativo con respecto al uso racional y eficiente de la energía eléctrica, Revista científico-profesional 6 (5), 1196, 2021.
43. Iturralde Carrera L A, Jiménez Borges R, Molina Santana E. Potencialidades de generación fotovoltaica sobre la cubierta del edificio universidad de Cienfuegos, Universidad y Sociedad 14 (3), 318-330, 2022.
44. J Fresneda-Martos F. Calificación energética de un edificio de usos múltiples y estudio de mejoras mediante el SOTWARE CYPETHERM HE PLUS, 2022.
45. Jurado Camacho C. Diseño óptimo de envolvente e instalaciones en edificio terciario, 2021.

46. Kunusch, C. Identificación de Sistemas Dinámicos. Universidad Nacional de la Plata. Cátedra de control y servomecanismos, 2003. 39p.
47. Lamoth, Y. Cálculo térmico verificativo de la instalación de climatización del edificio de la empresa de Ingeniería y Proyectos de la unión del Níquel. Trabajo de Diploma. ISMM, 2005.
48. Manual de Aire Acondicionado: Estimación de carga térmica. Carrier Air Conditioning Company, 2da reimpresión, MARCOMBO, S.A. de Boisareu, Barcelona, España, 1972. P-244.
49. Marangoni A C, Giolo Júnior C, José de Lima O, Junqueira R. Validacao de protótipo de placa fotovoltaica híbrida: Validation of a hybrid photovoltaic prototype, Brazilian Journal of Development 8 (9), 60381-60997, 2022.
50. Martínez Beltrán P. Climatización y certificación energética de edificios, Universidad Miguel Hernández, 2022.
51. Martínez Pérez F. La eficiencia energética y el papel del mantenimiento en la misma: Energy Efficiency and the Role of Maintenance on it, *Ingeniería Energética* 43 (2), 11-11, 2022.
52. Martínez Torregrosa J. Diseño de una instalación geotérmica de baja entalpía para climatización y producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en el edificio del ayuntamiento de Vilamarxant (Valencia), *Universitat Politècnica de Valencia*, 2022.
53. Molina Alarcón P.V. y Sabando Espinosa M. G., Arquitectura. Estudio de caso: Edificio del Gobierno Provincial de Manabí en ciudad Portoviejo.
54. Monte Sousa Sobrinho F, Rau de Almeida Callou G. Multi-Objective Optimization Strategy Applied in Data Centers Electrical Subsystems, *IEEE Latin America Transactions* 100 (XXX), 2022.
55. Montero, R., Góngora, E. Algunos aspectos de la tecnología de la Gestión Total Eficiente de la Energía aplicados en hoteles de la provincia Holguín. 5to Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente, Abril de 2008. ISBN: 978-959-257-186-0



56. Murillos, Joaquín; Tréjos, Álvaro; Carvajal, Patricia. Estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica utilizando modelos de series de tiempo. Tomado de: www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/14423837-42.pdf-2003.
57. NC 45-7:1999. Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas: Parte 7: Requisitos de electro energético.
58. NC 45-8: 1999. Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas: Parte 12: Instrumentación y Automatización, Corrientes Débiles.
59. NC ILUMINACIÓN DE PUESTOS DE TRABAJO EN INTERIORES. (2003). La Habana, La Habana, Cuba.
60. NOM, N. O. M. 020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones. Envoltante de edificios para uso habitacional.
61. Oficina Nacional de Estadística e Información. Consumo de electricidad facturado en el Sector Estatal y Sector Privado. Cuba, (2021).
62. Oficina Nacional de Normalización (2004) NC ISO 14001:2004. Sistema de Gestión Ambiental. Orientación para su uso. Cuba
63. Oficina Nacional de Normalización (2004) NC ISO 19011:2004. Directrices para los sistemas de gestión de la calidad y ambiental. Cuba
64. Oficina Nacional de Normalización (2005) NC ISO 9001:2008. Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos. Cuba
65. Oficina Nacional de Normalización (2018).NC NORMA ISO 50001 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA
66. Olaya, J. (2002), Suavización y regresión no paramétrica. Santiago de Cali, Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías, Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística. [wwwhttp://pino.univalle.edu.co/jolaya/Seminario/Suynopar2.pdf](http://pino.univalle.edu.co/jolaya/Seminario/Suynopar2.pdf)

67. Palomino Sánchez C E, Velasco Cruz J L. Evaluación de la Eficiencia Energética del Sistema Eléctrico del Hospital General de Jaén, Universidad Nacional de Jaén, 2019.
68. Paneque-Vázquez M L, Rodríguez-Abreu R A, García-Sam J C. Guía para la evaluación de los requisitos de diseño arquitectónico de la eficiencia energética en hoteles de ciudad, Ciencia en su PC 1 (1), 77-93, 2021.
69. Paz, O. La mucha luz es como la mucha sombra: no deja ver... Revista Digital Universitaria, 19(3), 2018.
70. Pérez Sanchís B. Diseño de la instalación de climatización del edificio principal y residencia de estudiantes de un centro de estudio y conservación de aves urbanas, Universitat Politècnica de Valencia, 2021.
71. Pinto Costa Yunió CV, Manuelle da Silva M de S. Energetic and exergetic analysis of an off-grid photovoltaic system located, Brazilian Journal of Development, 58231-58257, 2022
72. Pinto, José. Como será el mundo en el 2050. Soberanía.org [En línea]. Tomado de: <http://www.Soberanía.org/1Profesores/Loeneisen/Ecuador-20050/mundo2050.15/09/05>
73. Piñeres Castillo A, Cabello Eras JJ, Hinojosa Riveras M., Factores determinantes para la evaluación de la eficiencia energética en las organizaciones: una visión desde las condiciones de Colombia, Revista Universidad y sociedad 14 (2), 509-520, 2022
74. Pocasangre C, Ramos J, Cáceres C, Cartagena J., Araujo J. Gestión energética y sustentabilidad bioclimática del edificio administrativo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador. Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad de El Salvador-Revista Minerva 5 (2), 69-90, 2022.
75. Poirier, D. L. (1973), 'Piecewise Regression using Cubic Splines', Journal of the American Statistical Association 68(343), 514–524.

76. Poirier, D. L., Hendricks, W. & Koenker, R. (1979), 'Residential Demand for Electricity: An Econometric Approach', Journal of Econometrics 9, 33–57. R Development Core
77. Polaino De Los Santos. Lázara: Instalaciones de climatización, Roberto Fuente. Ciudad de la Habana, ISPJAE, 1987
78. Poter, K. "Hhandling Huge Arrays" Dr. Dobb's Journal of software Tools for the Profesional Programmer, Vol. 13, No.3, 1988, Pág. 60-83.
79. Redondo Quintero, F; García Arevalo, J. M; N. REDONDO MELCHOR.; Desequilibrio y pérdidas en instalaciones eléctricas. [En línea] [2003-01-09].
80. Reges da Silva T, Frederico C. Análise da eficiencia energética da escola classe 01 do Riacho Fundo do Distrito Federal: Analysis of the energy efficiency of the escola classe 01 of Riacho Fundo..., 2022.
81. Ribeiro Filho, J.L, Treleaven, ph.c and Alippi. "Genetic-Algorithm Programming environments" IEEE Computer, June 1994, page. 28-43
82. Rodríguez Mendieta M. I, Evaluación de la eficiencia energética de paneles solares operando In Situ, Corporación Universidad de la Costa, 2022.
83. Rojas, D. Estudio de la Climatización del Hotel Miraflores, 2001. Departamento de Mecánica.
84. Romo D. y Morales D., Eficiencia en la universidad católica sede Azogues un enfoque de implementación técnico-económico basado en energía solar. Revista Técnica "energía"17 (2), 44-54, 2021.
85. Rosenfeld E, Discoli C, San Juan G, Czajkowski J, Ferreyro C O, Mejoramiento de la eficiencia energética y habitabilidad de dos edificios escolares en la región del gran La Plata, Avances de Energías Renovables y medio Ambiente-AVERMA, 256-269, 2022.
86. Rubio, A. M. (junio de 2016). Energía solar fotovoltaica integrada en la edificación modelizado y análisis del efecto sombreado en la captación de irradiación. España.

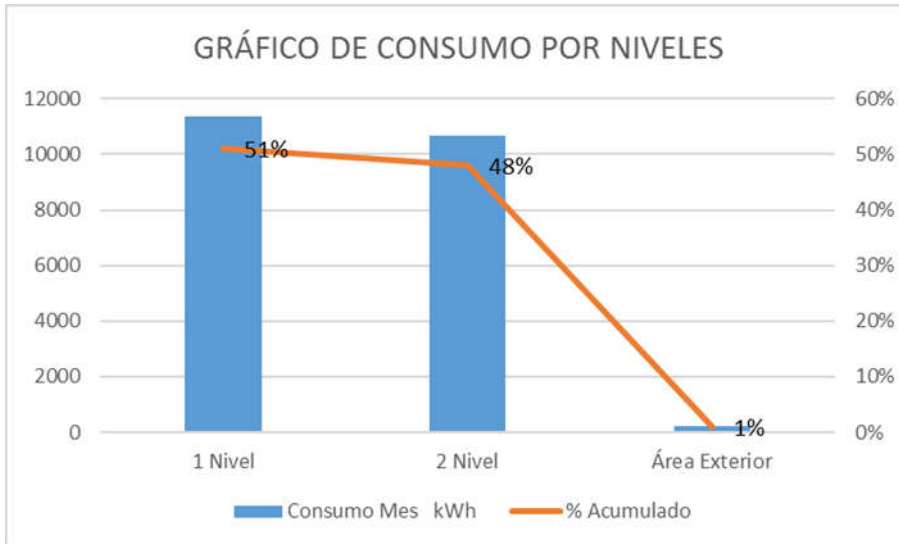
87. Ruiz, A. Cálculo térmico verificativo de la instalación de Climatización del Hospital Guillermo Luis Hernández Fernández Vaquero. Trabajo de Diploma, 2004.
88. Salazar Aguilar Jairo D. Determinación de la eficiencia energética del sistema térmico de la casa de máquinas del Hospital General Ambato (IESS) usando la metodología propuesta por ISO 50001, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2022.
89. San Juan G., Rosenfeld E., Discoli C., Czajkowski J. y Ferreyro C., Reciclado de dos edificios escolares en el gran La Plata. Mejoramiento de su eficiencia energética y habitabilidad hidrotérmica. *Avances en energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 13-19, 2022.
90. San Juan G., Rosenfeld E., Mejoramiento de las redes edilicias de educación en la provincia Buenos Aires Avances en energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA, 73-80, 2022.
91. Sánchez Martínez A, La eficiencia energética de edificios. Análisis regulatorio y caso práctico, *Universitat Politècnica de Valencia*, 2021.
92. Sánchez-Cisneros, B. L. Propuesta para lograr confort térmico en las aulas de la escuela primaria Domingo Becerra Rubio en Tepic, Nayarit (Master's thesis, ITESO), 2016.
93. Saoud A, Carles Bruno J, Boukhchana Y, Prieto J, Fellah A. Performace analysis and assessment ot a highly energy-intergrad solar trigeneration system using advanced absorption chillers, *Universidad Politècnica de Cartagena. Ediciones UPCT*, 2022.
94. Silva e Serpa F, Alex Dantas da Cuncha R, Araújo Nascimento L. Energy efficiency through analysis of the contrated demand, consumption and framework group Ä"tariff: case study at IFPA Parauapebas campus, *Brazilian Journal of Developmet* 8(10), 65088-65098, 2022.
95. Silveiro Valle L, Quintero Cabrera D A, Fariñas Wong E Y. Eficiencia energética en edificios de oficinas mediante tecnología de iluminación LED y parque solar FV, *Ingeniería Energética* 42 (2), 69-80, 2021.

96. Soriano Hijuelos, A. Cálculo de la carga térmica del local de los servidores de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Introducción a los conductos PERSYSTEM. 2002. Departamento de Mecánica.
97. Suárez R B, Jacobo G J, M Alías H. Comportamiento térmico de carpinterías de edificios del norte argentino, 2019.
98. Team (2006), R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. ISBN 3-900051-070. <http://www.r-project.org.http>
99. Torres, E. Estudio de la climatización del centro de proyectos de la Unión del Níquel, 1999. Departamento de Mecánica.
100. Torres-Araya J. Propuesta de mejora para el agua helada en el acondicionamiento de aire de la compañía Micro Technologies SA-Coyol de Alajuela; mediante análisis y diagnóstico...). Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2022.
101. Urteche E., FondosoOssola T.S., Martini I. y Barbero DA, "Metodología para el mejoramiento de la eficiencia energética de la envolvente edilicia del sector de salud. Revista de la Facultad de la Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca 11 (21), 209-228, 2022.
102. Urteche E., Fondoso Ossola T.S., Martini I. y Barbero DA, Methodology toimproving energy efficiency of building envolpe of heath, *Revista ESTOA 11 (21), 141-154, 2022.*
103. Valdespino, L. Estudio de la climatización de los locales del Sistema de la Vivienda en Moa. Trabajo de Diploma. ISMM, 2004.
104. Valencia, A. L. (2005), Diagnóstico del modelo de pronóstico de demanda de potencia y energía eléctrica de EPSA, Tesis de pregrado, Ingeniería Eléctrica, Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías. Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
105. Vázquez. L; Brossard. F. Fundamento de la Ventilación Industrial: Lic. Aurora Beatón Regalado, Editorial EMPES. La Habana, 1986. 168p.

106. Vilchez José. El Instaladol, Artículo Técnico. Febrero del 2003. Pág. 28 - 54
107. Villa Real, D. Modelos para la predicción de la demanda de energía eléctrica. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Andalucía [En Línea] Tomado de: <http://www.fondosdigitales.us.es/publicthesis/388/9081.pdf>.2005
108. WIKIPEDIA. (9 de 2021). Obtenido de [http://es.m.wikipedia.org/wiki/eficiencia energética](http://es.m.wikipedia.org/wiki/eficiencia_energética)

ANEXOS

Anexo No.1 Muestreo energético de la propuesta del (PTE) del centro de capacitación empresa eléctrica Holguín.



Fuente: Autor

Anexo No. 2. Tabla: Cálculo de luminarias tecnología leed.

local	ancho	largo	alto	h 2.15	a*b	K	EM	Cu	Cm	flujo lumi	numero lum	N	N		
Anfiteatro	6.85	6.00	2.70	1.24	41.10	15.93	2.58	500.00	0.78	0.74	35602.91	41.89	42	7.12058212	7
Dirección	4.25	5.00	2.70	1.24	21.25	11.47	1.85	500.00	0.78	0.74	18407.83	21.66	22	3.68156618	4
Administración	2.50	5.00	2.70	1.24	12.50	9.30	1.34	500.00	0.78	0.74	10828.14	12.74	13	2.16562717	2
Secretaría Docente	3.20	5.00	2.70	1.24	16.00	10.17	1.57	500.00	0.78	0.74	13860.01	16.31	16	2.77200277	3
Biblioteca	6.15	5.00	2.70	1.24	30.75	13.83	2.22	500.00	0.78	0.74	26637.21	31.34	31	5.32744283	5
Oficina Personal docente	6.60	5.80	2.70	1.24	38.28	15.38	2.49	500.00	0.78	0.74	33160.08	39.01	39	6.63201663	7
Aula	9.60	4.75	2.70	1.24	45.60	17.79	2.56	500.00	0.78	0.74	39501.04	46.47	46	7.9002079	8
Aula	9.15	6.35	2.70	1.24	58.10	19.22	3.02	500.00	0.78	0.74	50331.34	59.21	59	10.0662682	10
Aula	9.15	6.10	2.70	1.24	55.82	18.91	2.95	500.00	0.78	0.74	48349.79	56.88	57	9.66995842	10
Almacén	4.00	5.80	2.70	1.24	23.20	12.15	1.91	500.00	0.78	0.74	20097.02	23.64	24	4.01940402	4
Comedor	5.80	6.70	2.70	1.24	38.86	15.50	2.51	500.00	0.78	0.74	33662.51	39.60	40	6.73250173	7
Jefe de servicio	2.50	3.00	2.70	1.24	7.50	6.82	1.10	500.00	0.78	0.74	6496.88	7.64	8	1.2993763	1
Dormitorio 2P	4.10	5.00	2.70	1.24	20.50	11.28	1.82	500.00	0.78	0.74	17758.14	20.89	21	3.55162856	4
Dormitorio 2P	4.00	5.00	2.70	1.24	20.00	11.16	1.79	500.00	0.78	0.74	17325.02	20.38	20	3.46500347	3
Dormitorio 6P	6.70	5.80	2.70	1.24	38.86	15.50	2.51	500.00	0.78	0.74	33662.51	39.60	40	6.73250173	7
Dormitorio 6P	6.85	5.80	2.70	1.24	39.73	15.69	2.53	500.00	0.78	0.74	34416.15	40.49	40	6.88322938	7
Dormitorio 6P	6.60	6.60	2.70	1.24	43.56	16.368	2.66	500.00	0.78	0.74	37733.89	44.39	44	7.54677755	8
Dormitorio 12P	6.50	5.00	2.70	1.24	32.5	14.26	2.28	500.00	0.78	0.74	28153.15	33.12	33	5.63063063	6
Dormitorio 12P	6.10	6.00	2.70	1.24	36.6	15.004	2.44	500.00	0.78	0.74	31704.78	37.30	37	6.34095634	6
Sala de Juegos	9.6	4.75	2.70	1.24	45.6	17.794	2.56	500.00	0.78	0.74	39501.04	46.47	46	7.9002079	8

Fuente del Autor



Anexo No. 3. Caracterización de Sistema de iluminación.

No. Local	Columna1	Cantidad Luminarias	Potencia (W)	Demanda
3	Anfiteatro	18	40	720
4	Dirección	4	40	160
5	Administración	2	40	80
6	Secretaría docente	4	40	160
7	Biblioteca	12	40	480
8	Oficina Personal docente	12	40	480
9	Aula	24	40	960
9	Aula	24	40	960
9	Aula	16	40	640
12	Almacén General	2	40	80
13	Jefe de servicios	1	40	40
14	Comedor	12	40	480
17	Local de servicio	2	40	80
20	Almacén de alimentos	6	40	240
24	Dormitorio dos personas	4	40	160
24	Dormitorio dos personas	2	40	80
25	Dormitorio seis personas	12	40	480
25	Dormitorio seis personas	10	40	400
25	Dormitorio seis personas	10	40	400
26	Dormitorio doce personas	12	40	480
26	Dormitorio doce personas	18	40	720
26	Dormitorio doce personas	18	40	720
27	Sala de juegos	16	40	640

Fuente: del autor

Anexo No. 4. Tabla. Levantamiento de los equipos de ambos niveles del centro de capacitación

No. Local	Local	Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Demanda
3	Anfiteatro	TV	4	53	212
3	Anfiteatro	Refrigerador	1	150	150
3	Anfiteatro	Monitor	1	190	190
3	Anfiteatro	PC	1	400	400
3	Anfiteatro	Video Bing	1	370	370
3	Anfiteatro	Split 2 Ton	2	3500	7000
4	Dirección	Monitor	3	190	570
4	Dirección	PC	3	400	1200
4	Dirección	Impresora laser	1	990	990
4	Dirección	Aire 2 Ton	1	2450	2450
4	Dirección	Micronondas	1	1500	1500
5	Administración	Monitor	2	190	380
5	Administración	PC	2	400	800
5	Administración	Impresora laser	1	990	990
5	Administración	Aire 2 Ton	1	2450	2450
6	Secretaria Docente	Monitor	2	190	380
6	Secretaria Docente	PC	2	400	800
6	Secretaria Docente	Impresora laser	1	990	990
6	Secretaria Docente	Aire 2 Ton	1	2450	2450
7	Biblioteca	Monitor	4	190	760
7	Biblioteca	PC	4	400	1600
7	Biblioteca	Impresora laser	2	990	1980

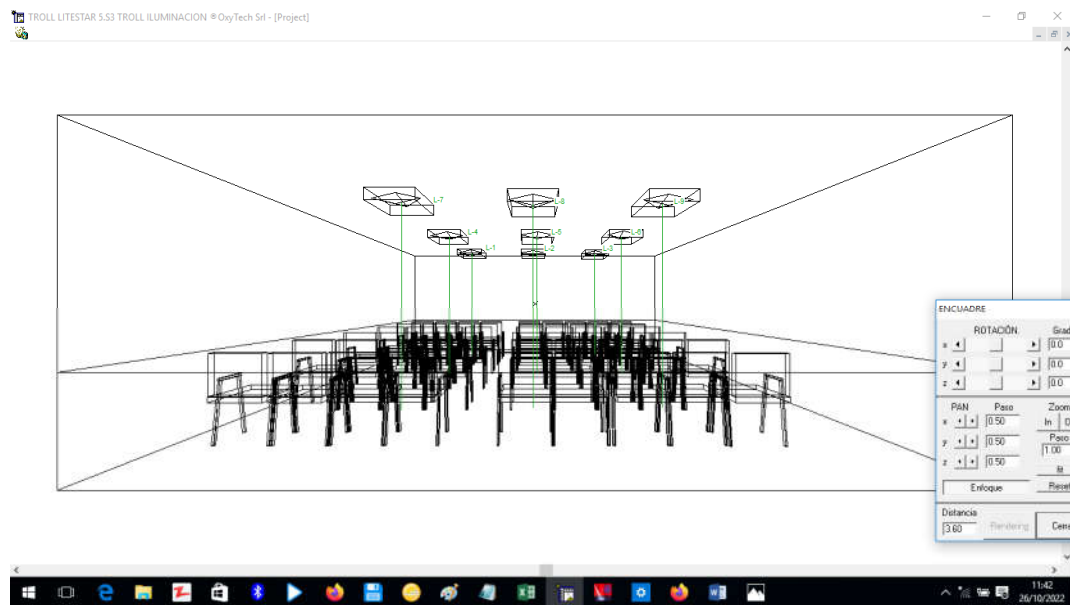
90



7	Biblioteca	Split 2 Ton	1	3500	3500
8	Oficina Personal Docente	Monitor	7	190	1330
8	Oficina Personal Docente	PC	7	400	2800
8	Oficina Personal Docente	Impresora laser	2	990	1980
8	Oficina Personal Docente	Split 2 Ton	1	3500	3500
9	Aula	TV	2	53	106
9	Aula	Split 2 Ton	2	3500	7000
12	Almacén	Aire 2 Ton	1	2450	2450
12	Almacén	Pesa	1	150	150
12	Almacén	Nevera	2	150	300
13	Jefe de servicio	Monitor	1	190	190
13	Jefe de servicio	PC	1	400	400
13	Jefe de servicio	lapto	1	200	200
13	Jefe de servicio	Aire 2 Ton	1	2450	2450
14	Comedor	Caja de agua	2	150	300
14	Comedor	TV	2	53	106
14	Comedor	Micronondas	2	1500	3000
14	Comedor	Equipo de musica	1	120	120
21	taquillero	Turbina	1	800	800
24	Dormitorio de dos personas	Aire 2 Ton	1	2450	2450
25	Dormitorio de seis personas	Split 5 Ton	1	7625	7625
26	Dormitorio de 12 personas	Split 5 Ton	1	7625	7625
27	Sala de juegos	Split 5 Ton	2	7625	15250
					92244

Fuente del autor

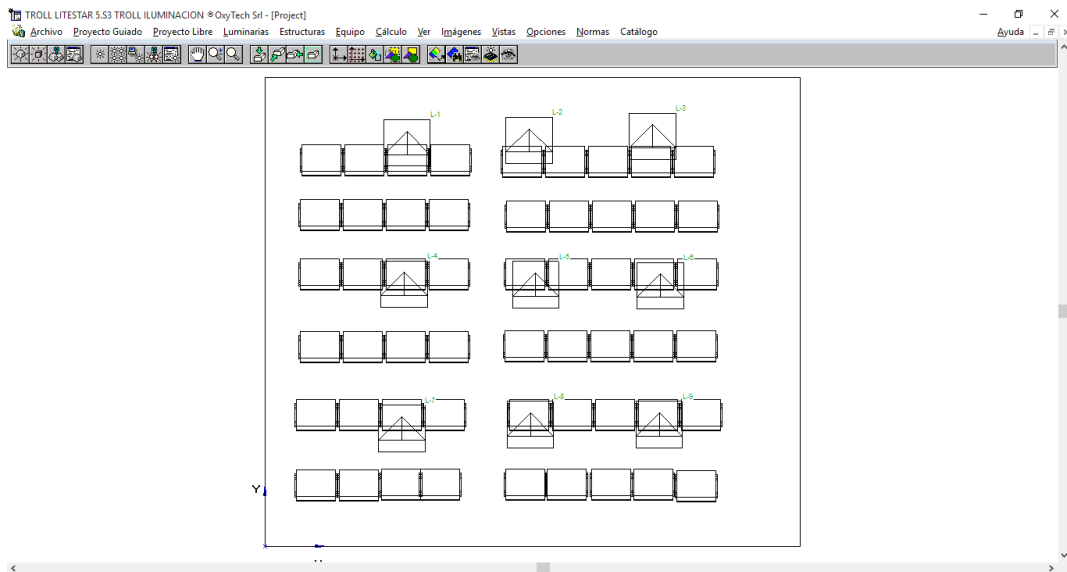
Anexo No. 5



Fuente: Modelación software

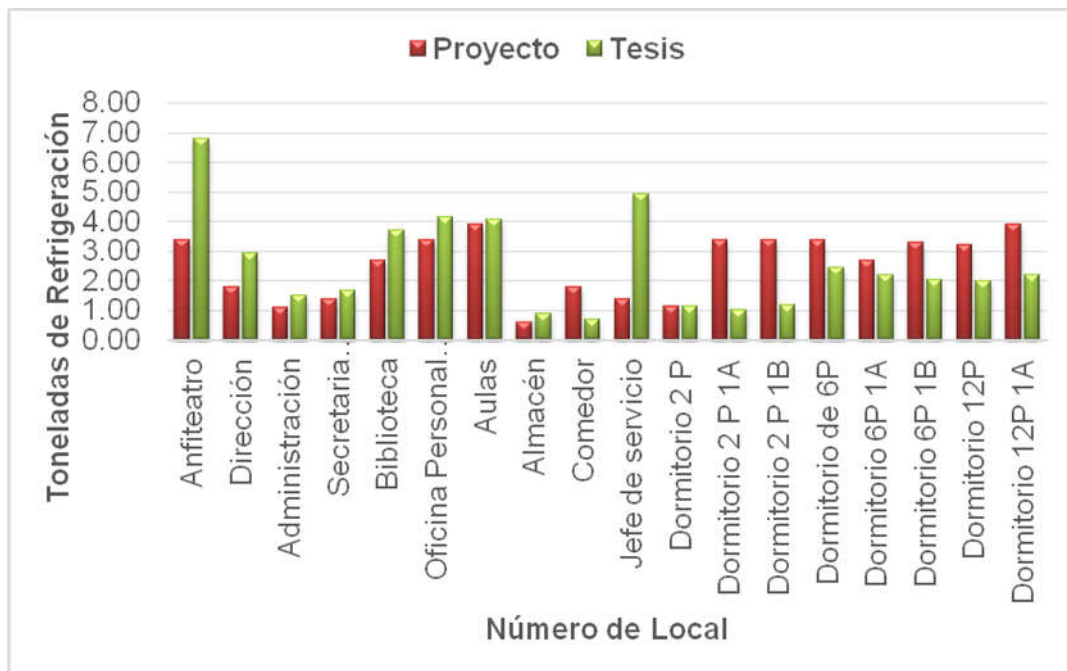


Anexo No. 6 Distribución de iluminación



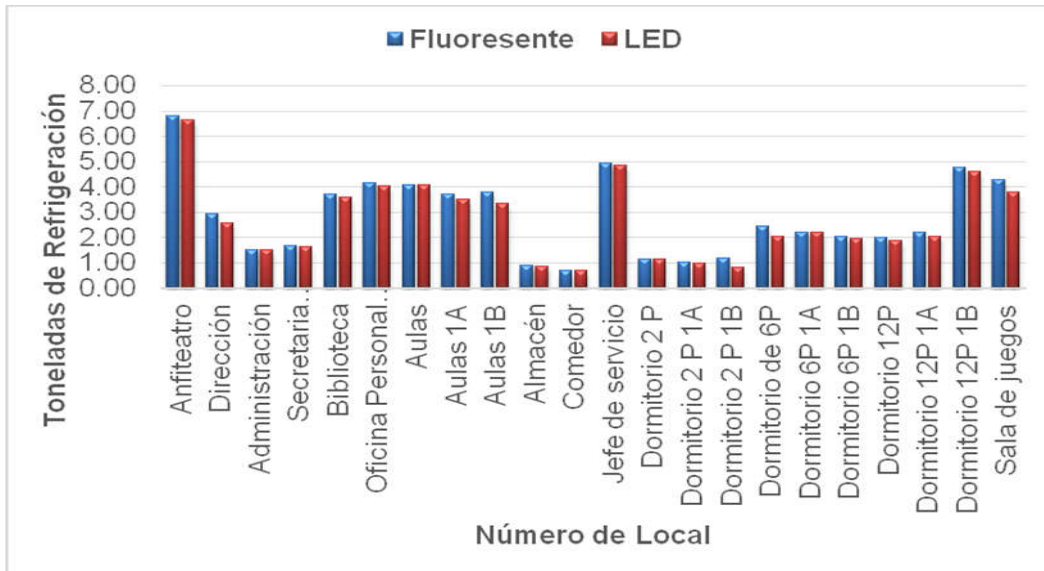
Fuente: Simulación software

Anexo No. 6. Distribución de las ganancias de calor en dos variantes



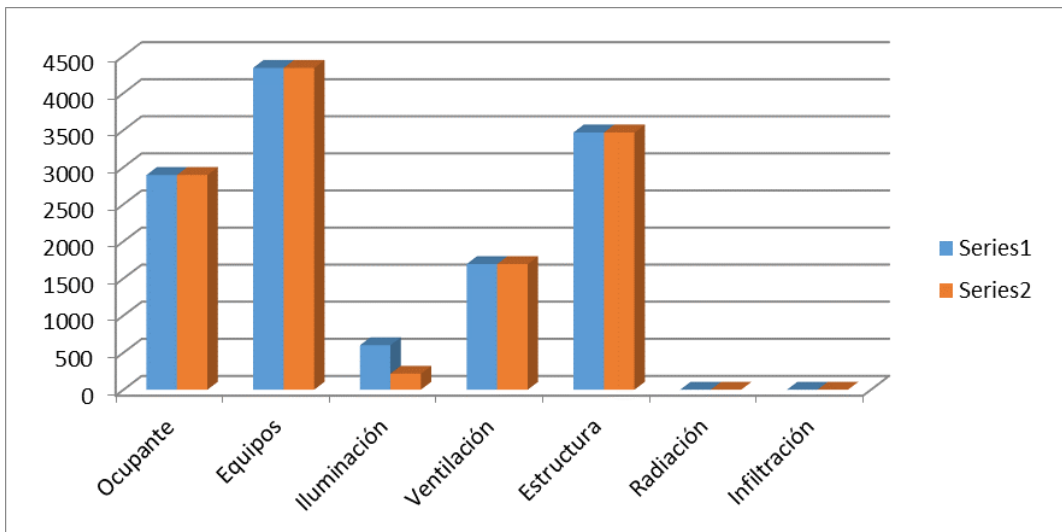
Fuente del autor

Anexo No.8. Distribución de las ganancias de calor por iluminación variación de sistema propuesto y calculado.



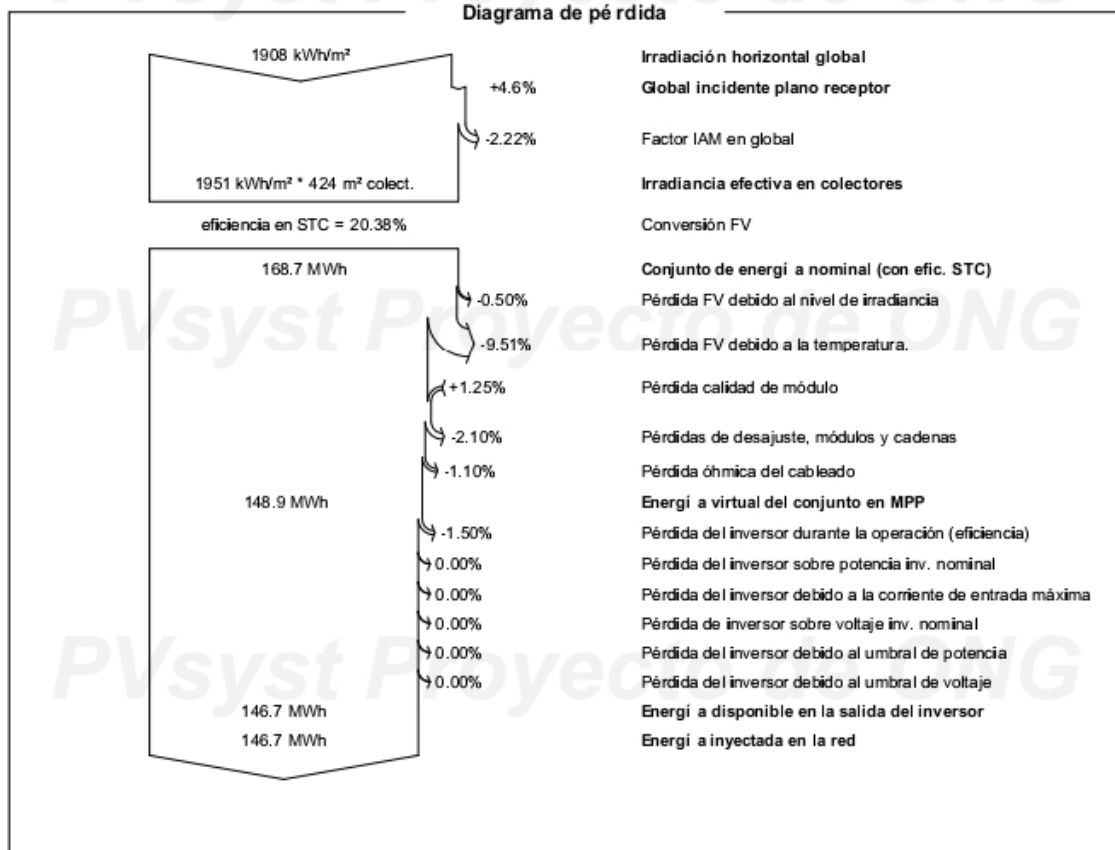
Fuente del autor

Anexo No.9. Distribución de las ganancias de calor en dos variantes local (biblioteca).



Fuente del autor

Anexo No. 10. Diagrama de pérdidas variante de simulación *software fotovoltaic PVsyst* V7.2.16



Fuente: simulación *software fotovoltaic PVsyst* V7.2.16

Anexo No. 11 Propuesta Plan de acciones

Acciones	Personal	Funciones	Tiempo de ejecución
Dotar de conocimiento referente al tema de implementación de fuentes renovables de energía (FRE) en las edificaciones.	Especialistas del Grupo técnico (GT). Unidad Empresarial de Base (UEB) Construcción Y Mantenimiento.	Inversionistas encargados de inicio y conceptualización de la proyección de obras.	Una vez concluido el proceso investigativo con resultados de la tesis en opción de mester en eficiencia energética, de la inversión centro de capacitación empresa eléctrica Holguín (CCEEH).
Implementar auto-preparación, de las normativas que regula la implementación de uso eficiente de la energía, en la concepción de inversiones con características de edificaciones, (Obras estructurales).	Especialista "A" en Diseño. Especialista "A" en obras de Ingeniería. Especialista "C" en Inversiones. Del grupo Técnico.	Especialistas del (GT), encargadas del proceso de pre-inversión de las obras estructurales en la empresa eléctrica Holguín (EEH).	De forma permanente
Implementar Memoria descriptiva de uso obligatorio que en su contenido, se tracen soluciones con características de uso de alternativas de eficiencia energética, así como uso de (FRE).	Especialistas de la (EEH) con necesidades de solicitud de ejecución de inversiones con características de edificaciones.	A directores de la (EEH)	Circular a través del correo intencional de (EEH), en un período no mayor de 15 días posteriores al inicio de captación del proceso de inversionista, que inicia en el mes de noviembre y concluye en marzo cada año, para incorporar en el (AIBALAM) programa del Ministerio de la Construcción en Cuba.
Dotar de memorias a solicitar en las Empresas de Proyectos que soliciten y finalmente se contraten servicios para	Empresas de proyecto a contratar,	Personal contratado para ejecución de Proyectos Técnicos Ejecutivos.	Iniciando el proceso de negociación de cada inversión con características estructurales

<p>ejecución de PTE, la inclusión en uso de FRE, cálculo adecuado de cargas térmicas de los locales que se consideren en cada inversión, con equipamiento a propuesta de ahorro de energía. Dígase uso de sistemas de iluminación y sistemas de clima eficiente, calentadores solares para agua y uso de sistemas fotovoltaicos como fuente alternativa de energía.</p>	<p>Iniciando por el área comercial y concluyendo por los especialistas principales de grupos de proyecto.</p>		<p>y definidas como edificaciones.</p>
<p>Solicitar incluir en los estudios de factibilidad a contratar con las empresas de proyectos, la inclusión de análisis de resultados en la implementación de energía eficiente y uso de FRE, en los indicadores financieros VAN y TIR.</p>	<p>Personal de empresas de proyecto contratadas para ejecución de servicios de estudio de factibilidad.</p>	<p>Personal contratado para ejecución de servicio de estudio de factibilidad.</p>	<p>Incorporar en la solicitud de servicio implementada en las empresas que prestan este tipo de servicio y durante el proceso de aportes de datos por el cliente.</p>

Fuente: Autora

