

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Programa de Licenciatura en Ingeniería Electrónica



**Análisis de la eficiencia energética en los edificios
administrativos de la Municipalidad de Curridabat**

Informe de Trabajo Final de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Johan Chaves Zamora

San Carlos, 1 de diciembre de 2021

Declaro que el presente documento de tesis ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos y resultados experimentales propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de tesis realizado y por el contenido del presente documento.


Johan Chaves Zamora 7-0263-0584

Johan Chaves Zamora
San Carlos, 1 de diciembre de 2021

Céd: 7-0263-0584

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica
Proyecto de Graduación
Acta de Aprobación

Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado *Análisis de la eficiencia energética en los edificios administrativos de la Municipalidad de Curridabat*, realizado por el señor Johan Chaves Zamora y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador

Ing. Guillermo Castro Badilla
Profesor Lector

Ing. Luis Diego Gomez Rodriguez
Profesor Lector

Ing. Luis Miguel Esquivel Sancho
Profesor Asesor

San Carlos, 1 de diciembre de 2021

Resumen

La eficiencia energética dentro de la gestión ambiental es tendencia en las instituciones modernas, su factor comun es el desarrollo sostenible de la empresas. Por ende en este proyecto se desarrollo un análisis de la eficiencia energética de 3 edificios de la Municipalidad de Curridabat, centrados en tres pilares de acción, los cuales se basaron en la recolección de datos eléctricos, análisis de datos y definición de la situación energética actual, los mismos requeridos para completar el inventariado eléctrico del PGAI.

Además en este proyecto, se realizaron mediciones exhaustivas de los dispositivos eléctricos del edificio Palacio, junto a un enfoque investigativo de sectores como lo son las luminarias y aires acondicionados.

Por ultimo, para el edificio Palacio se diseñaron soluciones para la mejora de la situación energética las cuales principalmente fueron basadas en energía fotovoltaica y sistemas de aprovechamiento de iluminación natural.

Como síntesis, este documento proporciona una base para las instituciones publicas que requieran cumplir el rubro de eficiencia en la energía eléctrica del PGAI, junto al ahorro de costes por energía y implementación de soluciones energéticas modernas.

Palabras clave: Eficiencia Energética, PGAI, Plan Nacional de Energía 2015-2030, Energía Solar, Sistemas de iluminación, Inventariado Eléctrico, Instituciones publicas.

Abstract

Energy efficiency and the use of technological solutions based on renewable energy are a trend in the environmental management of modern institutions. Therefore, in this document was developed an analysis of the energy efficiency of 3 buildings of the Municipality of Curridabat, focused on three pillars of action which based on the collection of electrical data, data analysis, and definition of the current energy situation, the required to complete the PGAI Electrical Inventory.

In addition, in this project, were realized exhaustive measurement methodologies specifically for the Palacio building, designing solutions to improve the energy situation mainly based on photovoltaic energy and natural lighting systems.

The summary, this document provides a base for public institutions that need to comply with the electrical energy efficiency category of the PGAI, saving energy costs and implementing modern energy solutions.

Keywords: Energy Efficiency, PGAI, National Energy Plan 2015-2030, Solar Energy, Lighting Systems, Electrical Inventory, Public Institutions.

a mi querida familia

Agradecimientos

Primero doy gracias a mis padres Nelson e Isabel, por todo el esfuerzo realizado para completar esta etapa de mi vida, también agradezco sinceramente a todos mis compañeros de equipo en el Tecnológico y sin los cuales nunca hubiera logrado esto, en especial a mis amigos Adrián, Marcelo, Marvin, Tayron y Jordi.

Agradezco también a mis primos Brian, Dave y a mis hermanas Raquel y Naomi que siempre me han apoyado en toda la etapa universitaria y a mi novia Daniela que ha sido mi mayor apoyo emocional para lograr este proyecto.

Al ingeniero Luis Miguel Esquivel Sancho por el apoyo que me ofreció durante este trabajo y a Debbie Gutiérrez Mora que me instruyó y acompañó en todo el proceso realizado en la Municipalidad.

Finalmente doy gracias a la Municipalidad de Curridabat que me ofreció las instalaciones y equipo para concretar este proyecto, y al Tecnológico de Costa Rica por el apoyo educativo y financiero que me ha dado a lo largo de toda mi carrera.

Johan Chaves Zamora

San Carlos, 1 de diciembre de 2021

Índice general

Índice de figuras	III
Índice de tablas	V
1. Introducción	1
1.1. Eficiencia energética y huella de carbono	1
1.2. Municipalidad de Curridabat y PGAI	2
2. Meta y Objetivos	4
2.1. Meta	4
2.2. Objetivo General	4
2.3. Objetivo Específicos	4
3. Marco teórico	5
3.1. Energía Eléctrica en Costa Rica	5
3.2. Legislación y Medio ambiente en Costa Rica	11
3.3. Métodos Analíticos y Diseño de Ingeniería	13
4. Procedimiento metodológico	18
4.1. Problemática energética actual	18
4.2. Diagnostico energético actual	19
4.2.1. Limitaciones del diagnostico y análisis	20
4.3. Generación de una solución energética	20
5. Análisis de la situación actual	22
5.1. Análisis de la recopilación de datos	22
5.1.1. Cuestionario	22
5.1.2. Inventariado eléctrico	23
5.1.3. Consumo eléctrico	24
5.2. Análisis exhaustivo del Palacio Municipal	26
5.2.1. Estrategia de medición exhaustiva	26
5.2.2. Resultados de la Medición exhaustiva	29
5.2.3. Iluminación y Aire Acondicionado	30
5.3. Conclusiones de la condición energética	41
5.3.1. Resultados Generales	41

6. Propuestas de solución energética	42
6.1. Problemática y especificaciones	42
6.2. Soluciones Preliminares	43
6.2.1. Solución en comportamiento	43
6.2.2. Solución en reestructuración y renovación de equipo	43
6.2.3. Soluciones tecnológicas	44
6.3. Evaluación del soluciones preliminares	46
6.4. Soluciones definitivas	48
6.4.1. Soluciones de comportamiento	48
6.4.2. Soluciones de reestructuración y renovación de equipos	49
6.4.3. Soluciones tecnológicas	52
6.4.4. Resultado general	59
7. Conclusiones y Recomendaciones	60
7.1. Conclusiones	60
7.2. Recomendaciones	61
Bibliografía	62
A. Apéndice	67
A.1. Protocolos de medición	67
A.1.1. Machote de Medición	67
A.1.2. Hojas de Medición	67
A.1.3. Cuestionario: Hábitos de consumo eléctrico de los funcionario de la Municipalidad de Curridabat	71
A.2. Información sobre la Municipalidad	72
A.2.1. Descripción de la Municipalidad de Curridabat	72
A.2.2. Descripción de la Comisión Energética	72
A.3. Documentación Generada	73
B. Anexo	75

Índice de figuras

1.1. Estructura de desglose del trabajo (EDT) con las actividades y entregables realizados en el proyecto.	3
3.1. Producción bruta vs demanda energía eléctrica 2010-2020 del ICE [10]. . .	5
3.2. Esquema de interacción de la radiación solar con los componentes atmosféricos [2].	7
3.3. Irradiación global horizontal en San José [2].	8
3.4. Esquema técnico de instalación fotovoltaica conectada a la red [21].	8
3.5. Wattmetro Steren Her-42 [50].	10
3.6. Indicadores básicos para el PGAI institucional[42].	12
3.7. Resumen del semáforo de implementación según categoría de institución pública que remitieron el PGAI [26].	13
3.8. Proceso de inferencia estadística [4].	14
3.9. Distribución normal de probabilidad [4].	14
3.10. Distribución T- Student y distribución normal [4].	14
3.11. Ejemplo de Diagrama de pareto: Quejas de los clientes de un hotel [43]. . .	16
3.12. Ejemplo de una matriz de Pugh con pesos para una fabrica de calzado deportivo [59].	17
4.1. Consumo de energía eléctrica por área según categoría de institución pública del 2020 [26].	19
4.2. Ejemplo del Modelo de Pahl y Beitz adaptado por [24] para la creación de un producto.	21
5.1. Porcentaje de consumo eléctrico mensual por sector del edificio Plantel [17].	25
5.2. Porcentaje de consumo eléctrico mensual por sector del edificio Anexo [17].	25
5.3. Porcentaje de consumo eléctrico mensual por sector del edificio Palacio [17].	26
5.4. Diagrama de pareto: consumo mensual Palacio Municipal.	27
5.5. Porcentaje de consumo mensual por subsectores seleccionados del edificio Palacio.	28
5.6. Diagrama de pareto: Consumo mensual del Palacio Municipal por subsectores.	28
5.7. Barras comparativas de consumo mensual estimado vs consumo mensual real medido.	29
5.8. Porcentaje de luz reflejada según color de la pared [41].	30

5.9. Componentes de la tecnología de iluminación [56].	31
5.10. Tipos de tubos fluorescentes lineales [12].	32
5.11. Niveles mínimos de iluminación para zonas de trabajo [41].	33
5.12. Resultados finales del proyecto de renovación de luminarias del ICE [41]. . .	34
5.13. Ejemplo de equipo MultiSplit [12].	36
5.14. Machote de etiqueta energética utilizada por la NTC 5104 en Colombia. . .	38
6.1. Costo del kWh en colones del edificio palacio a lo largo de los meses del 2019 y 2020 según [33] [45].	48
6.2. Retorno de inversión de la renovación de equipos según vida útil de la solución.	52
6.3. Mapa de irradiación directa normal de Costa Rica [61].	53
6.4. Luminaria solar por tubos reflectores Modelo 290 DS [62].	54
6.5. Accesorios de extensión para tubos reflectores Solartube [62].	55
6.6. Planta solar interconectada a la red proporcionada por Fibrotel [31].	56
6.7. Retorno de inversión de sistema fotovoltaico según vida útil de la solución. .	58
6.8. Retorno de inversión de las luminarias solares según vida útil de la solución. .	59

Índice de tablas

3.1. Tarifa energética en colones del CNFL [22] para Comercios y Servicios, vigente desde el 1 Octubre 2021.	6
3.2. Calculo del recibo eléctrico según la tarifa de comercios y servicios del CNFL [22].	6
5.1. Resumen de Inferencias: Hábitos de Consumo eléctrico 2021 para el Palacio [19].	23
5.2. Inferencias utilizadas para el calculo de consumo eléctrico del Palacio [19].	24
5.3. Asignación de identificadores para cada sector de consumo eléctrico.	27
5.4. Asignación de identificadores para cada subsector de consumo eléctrico.	27
5.5. Datos de los dispositivos seleccionados para la medición exhaustiva.	29
5.6. Rangos de eficiencia energética (EER) según norma INTE 28-01-13-2015 [12].	37
5.7. Rangos de potencia para la eficiencia energética según ANSI/ASHRAE [8].	37
5.8. Rangos de la relación de eficiencia energética para equipos unitario según NTC 5104 [48].	38
5.9. Aires acondicionados del edificio Palacio con sus respectivos datos e indicadores de eficiencia COP, ERR y SEER.	39
5.10. Evaluación de los aires acondicionados del edificio palacio,anexo y plantel según las normas INTE, ANSI/ASHRAE, NTC 5104 y la Norma Mexicana. <i>Nomenclatura: 1= Cumple, 0 = No cumple.</i>	40
6.1. Matriz de Pugh: Evaluación de soluciones energéticas sin pesos en las especificaciones. Nomenclatura: E.1=Especificación 1 (ver 6.1) D.1 = Diseño 1 (ver 6.2.1).	46
6.2. Matriz de Pugh: Evaluación de soluciones energéticas con pesos en las especificaciones. Nomenclatura: E.1=Especificación 1 (ver 6.1) D.1 = Diseño 1 (ver 6.2.1).	47
6.3. Resultados obtenidos en el edificio Palacio asumiendo supuestos con los datos obtenidos de consumo mensual en 5.	49
6.4. Ahorros estimados sustituyendo aires acondicionados del edificio Palacio por aires acondicionados SEER 15.4 o superior.	50
6.5. Ahorros estimados sustituyendo luminarias no LED del edificio Palacio por luminarias LED.	51

6.6. Estimación de la radiación solar global horizontal de Curridabat para el 2021 según [2] y la tabla 3.3.	53
6.7. Datos técnicos de los modelos de luminaria solar de Solartube [62].	55
6.8. Tabla de ahorros estimados según sistema convertido del Palacio Municipal.	57

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo, se expondrá el contexto actual de la producción energética global y el impacto ambiental que genera el uso ineficiente de la energía eléctrica, esto desde la perspectiva nacional de las instituciones públicas y los programas para la disminución de la huella de carbono. Además, se expondrá la problemática energética de la municipalidad de Curridabat y la solución propuesta.

1.1. Eficiencia energética y huella de carbono

La energía eléctrica es un recurso esencial para las necesidades del humano moderno, siendo un medio de producción irremplazable para toda actividad empresarial. De la cual existen diferentes formas de generación que derivan en algunos casos problemáticas medioambientales.

Dentro de la gestión ambiental, el uso eficiente de la energía eléctrica representa un factor importante en la reducción de la huella de carbono. Esto debido a que la producción mundial de energía eléctrica es principalmente de fuentes fósiles las cuales generan dióxido de carbono en el medio ambiente. Según [15], en Costa Rica el Centro de Control de Energía (CENCE) estableció que la producción de energía eléctrica para Junio del 2021 fue de 99.87 % proveniente de fuentes renovables. Por otra parte, el 0.13 % fue generado a partir de fuentes fósiles importadas de mercados internacionales.

Para las organizaciones, la administración correcta de la energía eléctrica conduce a un ahorro monetario. Esto genera un mejoramiento en la productividad y competitividad empresarial. En Costa Rica, el uso eficiente de la energía en grandes instituciones, reduce la demanda eléctrica y por consiguiente las importaciones de energía no renovables, reduciendo así la huella de carbono.

En relación, la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) dentro de su Programa de Gestión Ambiental institucional (PGAI) proporciona herramientas para el diagnóstico energético en las instituciones públicas de Costa Rica con el objetivo de disminuir la huella de carbono en el país.

1.2. Municipalidad de Curridabat y PGAI

Asimismo la Municipalidad de Curridabat, en búsqueda de establecer los objetivos expuestos por el PGAI y a la falta de personal especializado, estableció un proyecto sobre el consumo energético donde se tiene como objetivo establecer un marco histórico del consumo de la institución, dado que se planea disminuir el consumo de energía eléctrica del edificio principal, el cual obtuvo un consumo promedió de 5,436.50 kWh/mes en el 2020 lo equivalente a 793,512 colones al mes [33].

Por lo tanto, se deduce la problemática de la municipalidad de Curridabat, como un alto consumo energético la cual no va acorde con las políticas nacionales de disminución de la huella de carbono y uso eficiente de la energía.

Para solucionar la problemática energética, se propone empezar con una investigación previa de los equipos eléctricos actuales, junto con una encuesta para aproximar el tiempo de uso de los dispositivos eléctricos. Después de la investigación previa se clasificarán los dispositivos por cantidad, tipo y modelo. Ya definidos los equipos se procederá a realizar una medición del consumo en watts de los componentes mas relevantes del edificio Palacio para establecer resultados exhaustivos del edificio.

Luego de completar la medición y documentación de componentes, se empezará el análisis de resultados y se completará la clasificación inicial, las cuales completaran el archivo de Excel proporcionado por el DIGECA para la generación del inventario de consumo eléctrico.

Con los datos recopilados en las mediciones y el inventario de consumo eléctrico, se comenzará a realizar un estudio energético, donde se tomará el histórico de consumo del 2019 y 2020, los cuales funcionaran como punto de comparación frente a los resultados obtenidos en las mediciones, esto con el fin de concretar proyecciones a futuro sobre el consumo eléctrico y definir sectores claves.

Por último se procederá a realizar un plan de medidas para el ahorro energético del edificio Palacio acorde a los resultados obtenidos en el estudio energético anterior, donde se presentarán propuestas para el ahorro energético clasificadas por comportamiento, tecnología y renovación, esto junto a el diseño de ingeniería de las mismas, proyecciones de consumo y costo monetario. Estos procedimientos se pueden apreciar en la figura 1.1 donde se presenta el desglose de actividades del proyecto.

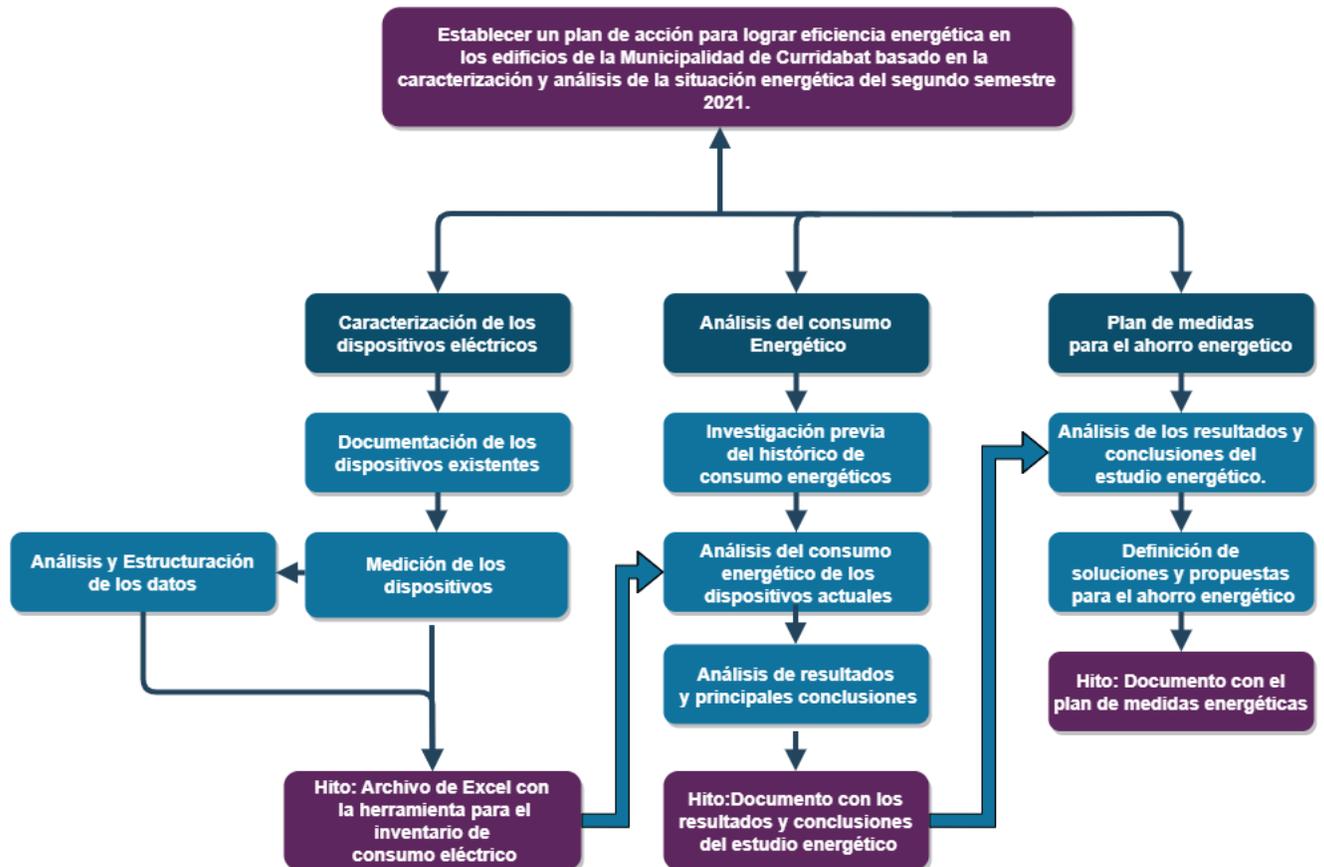


Figura 1.1: Estructura de desglose del trabajo (EDT) con las actividades y entregables realizados en el proyecto.

Capítulo 2

Meta y Objetivos

2.1. Meta

Mejorar el nivel de eficiencia energética de los edificios administrativos de la Municipalidad de Curridabat para cumplir con lo estipulado por el plan Nacional de Energía y los requerimientos del PGAI.

2.2. Objetivo General

Elaborar un estudio energético de los edificios de la Municipalidad de Curridabat basado en la caracterización y análisis de la situación eléctrica del segundo semestre 2021.

2.3. Objetivo Específicos

- Caracterizar los dispositivos eléctricos por tipo y modelo, de los edificios Palacio, Plantel y Anexo para la segunda mitad del año del 2021

Indicador: Documento de Excel con el inventario del consumo eléctrico, con un lista detallada de los dispositivos según modelo, cantidad, consumo eléctrico.

- Analizar el historial de consumo energético del 2019 y 2020 respecto al consumo medido del segundo semestre 2021 del edificio palacio.

Indicador: Un documento con los datos y resultados del análisis energético junto a las principales conclusiones.

- Proponer un plan de medidas para el ahorro energético del edificio palacio aplicable en la primera mitad del año 2022.

Indicador: Plan de medidas energéticas a tomar, según costos y nivel de implementación en función del estudio energético.

Capítulo 3

Marco teórico

En la investigación, es importante definir terminologías básicas que generen el contexto teórico para el entendimiento de lo tratado en este documento, por ende en esta sección se abarcaran conceptos básicos divididos por subtemas, donde se englobaran definiciones dentro de la energía, legislación, medio ambiente, métodos analíticos y diseño de ingeniería.

3.1. Energía Eléctrica en Costa Rica

Inicialmente, la energía eléctrica es la forma de energía de mayor uso globalmente, esta se mide en kilovatios-hora (kWh) y representa el trabajo (J) realizado durante una hora por una maquina con potencia en kilovatios (kW)[47].

En Costa Rica, la energía eléctrica producida es 98.71 % de fuentes renovables principalmente de centrales hidroeléctricas, este porcentaje faltante representa la porción de energía comprada a entes internacionales y sucede cuando la demanda nacional de energía supera a la producción de energía nacional, cabe recalcar que esta energía no es renovable y representa contaminación para el país. Estos picos de demanda pueden observar en la siguiente figura (Ver Figura 3.1) [10].

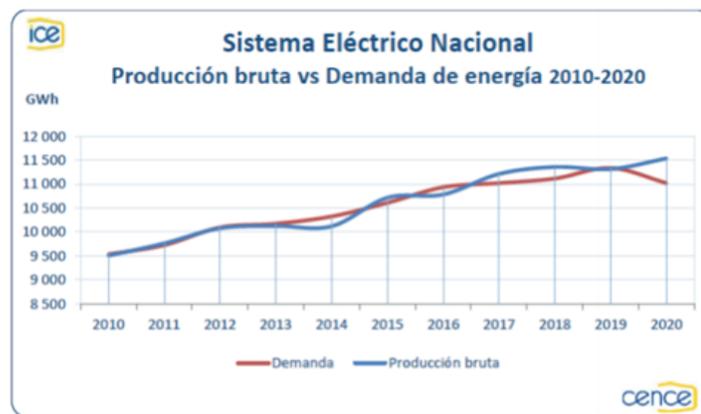


Figura 3.1: Producción bruta vs demanda energía eléctrica 2010-2020 del ICE [10].

Por consecuente, el gobierno de Costa Rica junto a los encargados de administrar la energía eléctrica buscan disminuir esta demanda, dando herramientas para la eficiencia energética las cuales mas adelante serán expuestas.

En cuestión de cobros y entes encargados de administrar la energía eléctrica en Costa Rica, ARESEP [9] indica que, el servicio eléctrico que se brinda a la población a través de una red va desde la generación, transmisión, distribución y alumbrado público. También indica que el servicio eléctrico lo brindan 8 empresas autorizadas por Ley, según su cobertura geográfica: ICE (zonas rurales en todo el país), CNFL (San José), ESPH (Heredia), JASEC (Cartago), Coopeguanacaste (Guanacaste), Coopealfaroruz (Alfaro Ruiz), Coopesantos (Zona de los Santos) y Coopelesca (San Carlos). ARESEP regula la prestación de este servicio, las condiciones en que se brinda y define las tarifas.

Por ende el enfoque siguiente sera en la Compañía nacional de fuerza y luz (CNFL) y su tarifa, ya que es la encargada de suministrar la energía eléctrica a la institución estudiada. Tomando en cuenta que la Municipalidad tiene un consumo mayor a los 200 kWh/mensuales, se tiene la tabla 3.1 con la tarifa para Comercios y Servicios T-CO.

Consumo menor o igual a 3 kWh cada kWh		₡ 101,10
Por consumo de energia	Bloque de 0-3 kWh Cargo fijo	₡ 182 610
	Bloque mayor a 3 kWh cada kWh	₡ 60.87
Cargo por Potencia	Bloque de 0 -8 kW Cargo fijo	₡ 81 160.80
	Bloque mayor a 8 kW cada kW	₡ 10 145.10

Tabla 3.1: Tarifa energética en colones del CNFL [22] para Comercios y Servicios, vigente desde el 1 Octubre 2021.

Como se aprecia, la tabla 3.1 no incluye alumbrado publico el cual es un 3.07 colones el kWh consumido, también el impuesto de ventas del 13 % (IVA) y el tributo a bomberos, el cual para no residenciales con consumo superior a los 1750 kWh es

$$TRB = \frac{\$kWh}{kWh} * 1750 * 1,75 \%$$

Siendo \$ kWh el consumo por mes en colones y kWh el consumo por mes. Con estas tarifas se puede calcular el costo final del recibo eléctrico, sabiendo un estimado del consumo total y un estimado de la demanda máxima obtenida, como se muestra en el siguiente ejemplo 3.2 de Agosto del 2020 de la municipalidad de Curridabat tomado de [45] con un consumo de energía de 4976 kWh mes y 22.54 kWh mes de demanda máxima.

Rubrica	Formula	Resultado
Por consumo de energía	182610+(4976-3000)*60.87	₡ 302,889.12
Por Potencia	81160.8+(22.54-8)*10145.1	₡ 228,711.13
TRB	$(\frac{302889.12}{4976} * 1750) * 1.75 \%$	₡ 1,864.14
Alumbrado Publico	4976*3.07	₡ 15,276.32
Subtotal	302889.12+228711.13+1864.14+15.276	₡ 548,740.72
IVA	548740.72*0.13	₡ 71,336.29
Total	548740.72+71337.29	₡ 620,077.01

Tabla 3.2: Calculo del recibo eléctrico según la tarifa de comercios y servicios del CNFL [22].

El resultado de la tabla 3.2 fue de 620,077 colones los cuales son aproximados al valor real pagado el cual fue de 677,025 colones, recordando que la tarifa utilizada entro en vigencia el 1 de octubre del 2021.

Una rubrica importante de estos cálculos es la máxima demanda, la cual [20] define como la potencia instantánea (en kW ó KVA) promediada en un intervalo de tiempo definido, usualmente cada 15 minutos y la cual representa la cantidad máxima de potencia que requiere el edificio, esta potencia es medida durante todo el mes cada 15 minutos y se cobra el valor máximo obtenido durante todo el mes de medición. Por ello el objetivo de una buena gestión de energía eléctrica radica en controlar esta máxima demanda para obtener valores estándares que no eleven el costo de la factura eléctrica.[20] recomienda instalar un sistema que sea capaz de desconectar cargas eléctricas no críticas en momentos controlados, para evitar la simultaneidad en la conexión de estas. En el caso de un edificio administrativo desconectando cargas relacionadas con ventiladores o extractores, luces o aires acondicionados.

Ahora bien, un concepto que tomara relevancia en la sección de soluciones es la radiación solar, la cual [2] define como el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, la fuente de energía primaria de todas las formas de energía conocidas y esencial para la vida en la Tierra. Esta radiación es medida en W/m^2 y representa la potencia en watts recibida en un metro cuadrado, la cual incide sobre superficie de la tierra ha $1.367 W/m^2$.

El autor [2], indica que esta radiación no es igual en toda la tierra debido a factores como la atmósfera terrestre la cual atenúa la radiación solar de onda corta (radiación ultravioleta) debido a la reflexión, absorción y difusión que los componentes atmosféricos como las moléculas de aire, ozono, vapor de agua generan, como se aprecia en la figura 3.2.

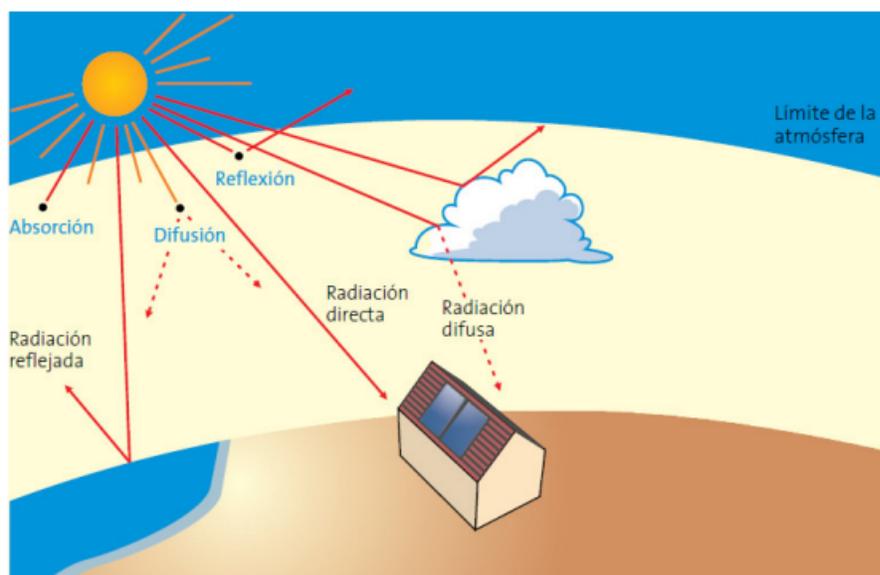


Figura 3.2: Esquema de interacción de la radiación solar con los componentes atmosféricos [2].

Un indicador representativo de la radiación solar es la irradiación global horizontal (Gh Radiación directa), medida en kWh/m² y utilizada para el calculo de sistemas fotovoltaicos. Otros indicadores para los sistemas fotovoltaicos son velocidad del viento (FF), precipitación anual (RR), días de precipitación (RD) y radiación difusa horizontal (Dh Radiación indirecta).

Para la provincia de San José, [2] estimo una tabla sobre la irradiación solar a lo largo de los meses 3.3 la cual funcionara mas adelante como guia para definir la radiación solar de sectores cercanos.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Gh [kWh/m ²]	164	154	172	179	167	145	151	155	147	147	136	152	1.869
Dh [kWh/m ²]	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	732
Ta [°C]	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7	21,7
FF [m/s]	6,3	6,7	5,7	5,2	3,8	3,0	3,7	3,5	2,7	2,7	3,5	5,2	4,3
RR [mm]	75	40	24	28	120	110	102	138	160	266	198	136	1.397
RD [d]	3	1	1	1	8	17	17	16	17	17	10	6	114

Figura 3.3: Irradiación global horizontal en San José [2].

Análogamente, para aprovechar esta energía se utilizan sistemas de recolección de energía solar o sistemas fotovoltaicos, los cuales se encargan de convertir la irradiación solar que incide sobre los paneles del sistema en energía eléctrica en Corriente Directa, la cual para su uso convencional es convertida por dispositivos llamados inversores. Estos dispositivos según [51] son un equipo de electrónica de potencia, que sirve para conectar los paneles con las cargas eléctricas a la red eléctrica y poder consumir la energía captada por los paneles fotovoltaicos.

Adicionalmente, los sistemas de inversores conectados a la red son conocidos como inversores On-Grid o también llamado Grid-Tie, los cuales [57] describe como un equipo con conexión a la red que convierte la corriente directa (DC) de los paneles solares en una corriente alterna (CA) adecuada para inyectar en una red eléctrica. Estos sistemas conectados a la red sirven para aprovechar la energía eléctrica del panel pero manteniendo la conexión a la red eléctrica convencional (Ver figura 3.4).

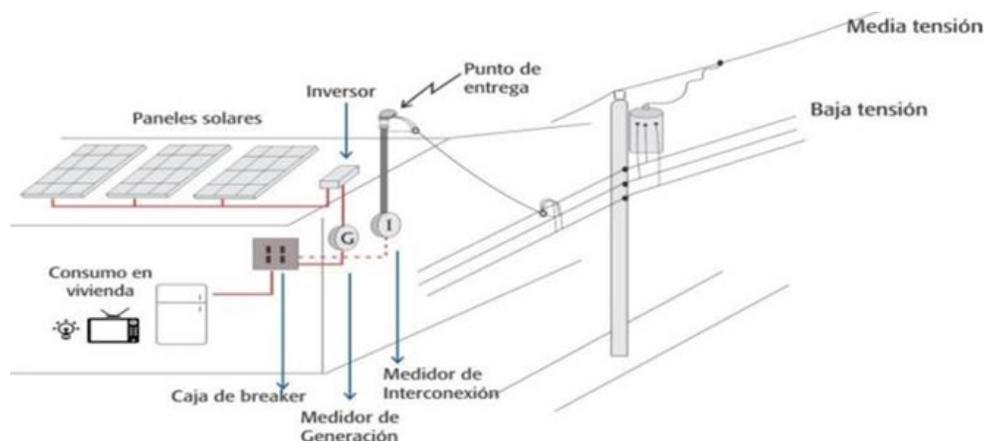


Figura 3.4: Esquema técnico de instalación fotovoltaica conectada a la red [21].

Por su parte, al estar este sistema conectado a la red el CNFL como encargado de la distribución eléctrica, define los siguientes requisitos mínimos para tramitar una conexión eléctrica de este tipo [21]:

- El cliente debe verificar que cuente con un contrato de servicio definitivo (no provisional) con al menos 6 meses de facturación en dicha condición para calcular la potencia a instalar según consumos históricos. Además, el servicio no debe contar con medición totalizada.
- Presentar la solicitud respectiva, con la memoria de cálculo del sistema de generación distribuida para auto consumo a instalar, realizada por un ingeniero colegiado.
- Complementar su consumo, con energía proveniente de la red eléctrica de distribución.
- Cubrir los respectivos costos que se desprenden por los estudios y otros servicios que deba brindar la empresa distribuidora.
- Asumir los costos tarifarios aplicables a la actividad regulada, asociada a la generación distribuida para auto consumo una vez interconectado (Tarifa de acceso).
- Acondicionar la instalación eléctrica del inmueble respectivo, según la normativa establecida por Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) y requisitos técnicos establecidos por la CNFL.
- Instalar los sistemas de medición en el límite de propiedad.
- Apegarse a lo indicado en el Decreto 39220 del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) en todos sus aspectos

Por otro lado, con respecto a la medición de los vatios o watts se tiene un dispositivo llamado Watímetro, el [50] define como el instrumento que permite calcular con precisión la corriente continua, la corriente alterna, la intensidad de corriente DC, la intensidad de corriente AC y la potencia en vatios entre otros posibles datos eléctricos relevantes, por lo cual es indispensable contar con ellos para realizar mediciones eléctricas. Para este proyecto se utilizó un Wattímetro de Steren Her-42 (Ver figura 3.5), el cual según [64] posee 7 modos de uso:

- Modo 1: Permite observar en pantalla el tiempo de funcionamiento, la cantidad de watts actuales y el costo del consumo actual (mientras este determinado en el dispositivo el precio del kWh).
- Modo 2: Permite observar en pantalla el tiempo de funcionamiento, la cantidad de watts consumidos y los días de medición transcurridos.

- Modo 3: Permite observar en pantalla el tiempo de funcionamiento, la tensión actual y la frecuencia actual de la tensión.
- Modo 4: Permite observar en pantalla el tiempo de funcionamiento, la corriente actual y el factor de potencia.
- Modo 5: Permite observar en pantalla el tiempo de funcionamiento y la potencia mínima registrada.
- Modo 6: Permite observar en pantalla el tiempo de funcionamiento y la potencia máxima registrada.
- Modo 7: Permite observar en pantalla el tiempo de funcionamiento y el costo de los kWh de consumidos.



Figura 3.5: Wattímetro Steren Her-42 [50].

Como se observa en los modos anteriores los wattímetros están diseñados para medir principalmente el consumo eléctrico, pero en dispositivos como el HER-42 existe la posibilidad de llevar un valor numérico preciso del costo del consumo de los dispositivos eléctricos.

Por último, dentro de los conceptos básicos tenemos la eficiencia energética, la cual según [53] es la reducción de la energía y de potencias (activa, reactiva o aparente) de un sistema eléctrico sin que se vean afectadas las actividades normales realizada en el edificio. Esto es posible con un conjunto de acciones que permitan el ahorro de la energía para tener así un menor impacto sobre el medio ambiente. Dichas acciones se pueden llevar a cabo con herramientas como las auditorías energéticas, la caracterización de la energía y planes de medidas.

También se hace indispensable definir una auditoría energética y un estudio energético, la cual según [53] es una herramienta sobre la cual se basa un plan de medidas para el ahorro energético. Es en esencia una revisión del edificio, de los equipos que se utilizan y de los hábitos que se tienen a la hora de usarlo, con el objetivo de encontrar oportunidades de mejora. En cambio un estudio energético es una auditoría energética a menor escala la cual lleva consigo el mismo propósito pero no requiere de instituciones que acrediten la realización de la misma.

3.2. Legislación y Medio ambiente en Costa Rica

Dentro de la gestión energética nacional según el Plan Nacional de Energía 2015-2030 [40], Costa Rica posee una política energética nacional guiada por una *orientación de sostenibilidad energética con un bajo nivel de emisiones*. Donde se requiere que el país debe aspirar a contar con un sistema energético nacional con un bajo nivel de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), basado en el uso de fuentes limpias y renovables en condiciones de absorber los aumentos en la demanda de manera consistente, con precios lo más competitivos que sea posible en el entorno internacional y capaz de sustentar el bienestar de la mayoría de la población.

Según el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) en el Plan Nacional de Energía 2015-2030 el sector público consumió el 12,6 % de la electricidad total del país durante el 2014 [40], lo cual resulta en un porcentaje significativo dentro del entorno Nacional. Ya que este sector está llamado a ser ejemplo de eficiencia energética por hacer uso de recursos públicos, por ende en Costa Rica se publicó la Directriz N.º 011-MINAE 2014 mediante la cual se establece la prohibición de adquirir equipos, luminarias y artefactos de baja eficiencia que provoquen alto consumo de electricidad para ser utilizados en los edificios e instalaciones.

Análogamente, un concepto importante de definir es el de Programa de Gestión Ambiental Institucional, el cual [42] define como un instrumento de planificación que parte de un diagnóstico ambiental del que hacer institucional que considera todos los aspectos ambientales inherentes a la organización, incluyendo los relacionados con eficiencia energética y cambio climático. El cual a partir de este diagnóstico, se priorizan y establecen medidas de prevención, mitigación, compensación o restauración de los impactos ambientales, ya sea a corto, mediano ó largo plazo, todo lo anterior bajo el principio de mejora continua.

En Costa Rica, el Programa de gestión ambiental institucional (PGAI) es liderado por la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA) y la ley N.º 8839 gestión integral de residuos del 2011. La cual impuso como requisito de todas las dependencias estatales, establecer un sistema de gestión ambiental institucional para el cumplimiento de los compromisos internacionales, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Objetivo N°12 de los ODS) y las recomendaciones en materia de buenas prácticas en la gestión pública

planteada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) [26].

Además la guía para la implementación del PGAI [42] define los objetivos del PGAI en las instituciones publicas de Costa Rica, los cuales son mitigar, reducir o eliminar los impactos ambientales basados en aspectos tales como el consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles fósiles, consumo de agua, consumo de papel, emisiones al aire, generación de aguas residuales y generación de residuos solidos. Los cuales son medidos por el ente calificador la Comisión Técnica Evaluadora (CTE), la cual se encarga de verificar el cumplimiento y avance de las medidas según los siguientes indicadores 3.6.

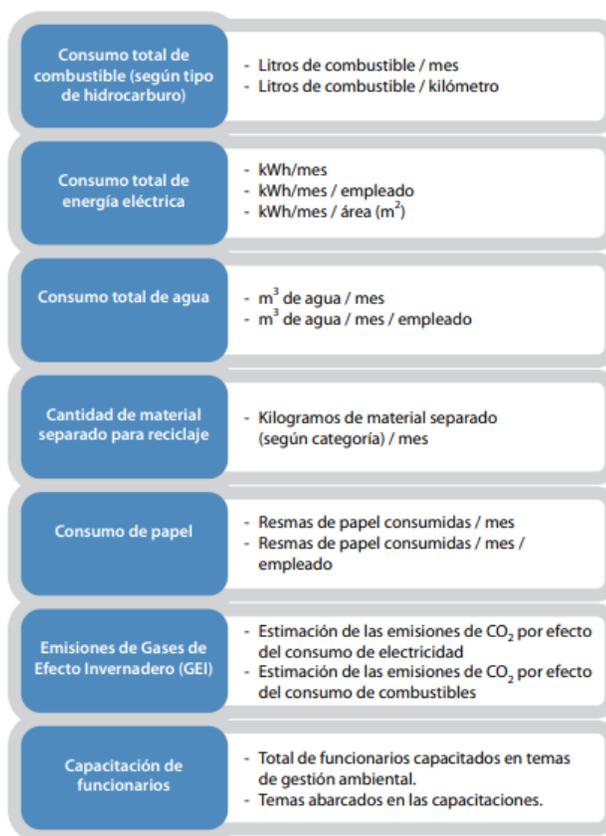


Figura 3.6: Indicadores básicos para el PGAI institucional[42].

Con los indicadores de 3.6 se genera una calificación según sea el nivel de implementación del PGAI, avalada por el artículo 5 del DE-36499-S-MINAET, donde se solicita que se categorice anualmente el nivel de avance de cada organización respecto a la implementación del PGAI y en apego también a lo dispuesto por la Contraloría General de la República en el Informe N° DFOE-AEIF-03-2013. Por ende se desarrolló una herramienta llamada semáforo en la cual se ubica el nivel de rendimiento de cada institución [26]. Para el 2020 se obtuvo los siguientes resultados según CTE (Figura 3.7).

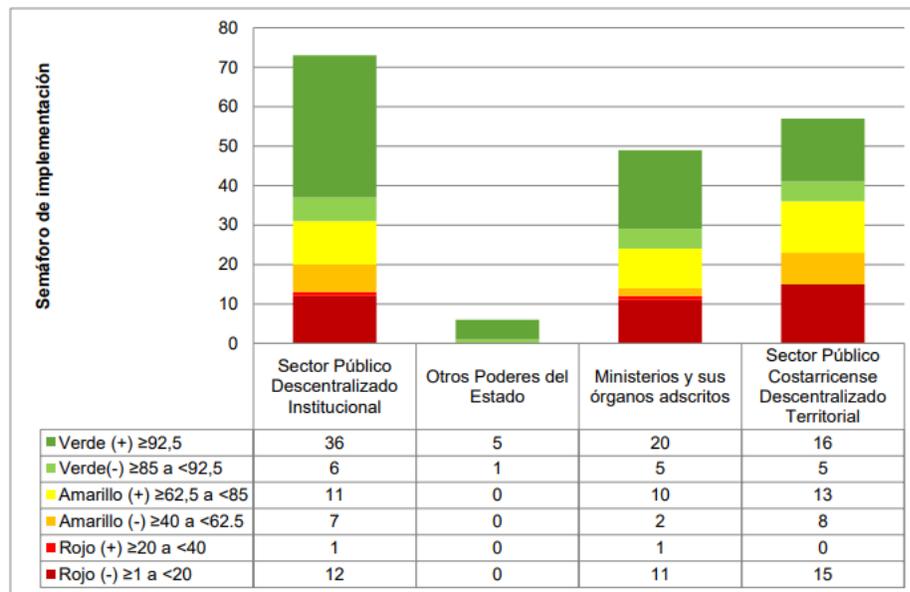


Figura 3.7: Resumen del semáforo de implementación según categoría de institución pública que remitieron el PGAI [26].

Es importante recalcar que la elaboración del PGAI se basa en la metodología de los sistemas de gestión ambiental (SGA) con la normas ISO 14000 que proporcionan un conjunto de estándares a seguir para mantener un sistema de gestión ambiental [42], el cual tendrá una vigencia de 5 años.

En contraste, cabe destacar que el ente estudiado en esta investigación es la Municipalidad de Curridabat la cual es importante definir en que parte del sector publico se encuentra, ya que para una correcta comparación de eficiencia energética es importante recalcar el sector específico en el cual se encuentra la misma. Por ende, según [39] las Municipalidades y órganos adscritos a ellas se encuentran en el sector Público Descentralizado Territorial. Esta caracterización nos ayudara mas adelante para comparar la situación energética de la Municipalidad de Curridabat contra la situación de los entes públicos descentralizados territorialmente.

3.3. Métodos Analíticos y Diseño de Ingeniería

Dentro de los métodos estadísticos a utilizar en esta investigación es necesario definir en primera instancia el concepto de estadística inferencial la cual esta definida como los procedimientos que por medio de inducción predicen las propiedades de una población estadística [44]. Estas se pueden realizar a variables cualitativas o cuantitativas en las que se haya realizado un muestreo aleatorio de la población a estudiar y que estén distribuidas normalmente. Un diagrama que explica el proceso a seguir para la generalización es el siguiente (Ver figura 3.10):



Figura 3.8: Proceso de inferencia estadística [4].

Donde el parámetro (P o μ) representan el valor de la característica a nivel población y el estimador (\hat{p} o \bar{x}) representa el valor de la característica a nivel de muestra [4]. También se observa el parámetro de variabilidad o varianza, la confianza ($1-\alpha$) que representa la probabilidad máxima de asegurar que el parámetro a estimar se encuentra en nuestro intervalo y por ultimo se observa el error (d) que representa cuanto error es tolerable o cuanto error contiene una nuestra estimación [4]. Para el calculo de los intervalo de confianza se utilizan los valores promedios y la desviación estándar junto al valor de confianza el cual es despejado ha α y dividido a la mitad para ser ingresado a la distribución normal de probabilidad y obtener un valor $Z_{\alpha/2}$.(Ver figura B)

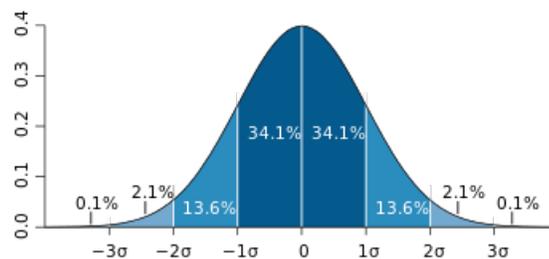


Figura 3.9: Distribución normal de probabilidad [4].

Cuando la muestra es menor ha 30 ($n < 30$) y esta distribuida normalmente se utiliza la distribución T- Student en lugar de la distribución normal de probabilidad. Esta tiene como diferencia ser mas achatada que la distribución normal y depende de los grados de libertad ($n-1$) [4]. (Ver tabla B)

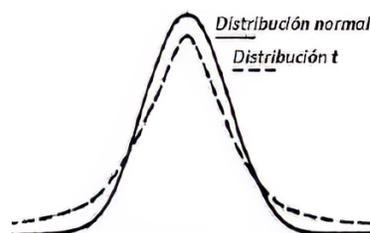


Figura 3.10: Distribución T- Student y distribución normal [4].

Otro elemento importante en el calculo del intervalo de confianza es el factor de corrección (FC), el cual ajusta la estimación de una población finita a intervalos mas precisos. Para ello utiliza el valor n de tamaño de las muestras y el valor N de tamaño de la población

$$FC = \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}. \quad (3.1)$$

Asimismo el error del estimador (e), es el cual representa la cantidad de error que puede tener la estimación. Este se calcula con la desviación estándar de la muestra S_x y el tamaño de las muestras

$$e = \frac{S_x}{\sqrt{n}}. \quad (3.2)$$

Ya con los cálculos antes vistos la formula para obtener el intervalo de confianza para un $n > 30$ es:

$$IC = [Li, Ls] = \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad (3.3)$$

y para un $n \leq 30$ con $n-1$ grados de libertad:

$$IC = [Li, Ls] = \bar{X} \pm T_{\alpha/2} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}}. \quad (3.4)$$

Utilizando el factor de corrección cuando se tiene el tamaño de la población y el error del estimador. Este calculo nos muestra el rango en donde se encuentra el valor real.

Además de la estadística inferencial es importante definir los diagramas de pareto, los cuales [43] define como un tipo especial de gráfica de barras donde los valores graficados están organizados de mayor a menor. Utilizado para identificar los defectos que se producen con mayor frecuencia, las causas más comunes de los defectos o las causas más frecuentes. También menciona [43] el principio de la regla 80/20 en los diagramas de Pareto. Es decir, el 20 % de las personas controlan el 80 % de la riqueza; o el 20 % de la línea de producto puede generar el 80 % de los desechos; o el 20 % de los clientes puede generar el 80 % de las quejas, etc. Para la creación de un diagrama de pareto [43] recomienda seguir los siguientes tips:

- Elegir las categorías cuidadosamente. Si su análisis de Pareto inicial no produce resultados útiles, es recomendable que se asegure de que sus categorías sean significativas y de que su categoría **Otro** no sea demasiado grande.
- Concentrarse en los problemas con la mayor frecuencia debería reducir el número total de elementos que necesitan reparación. Concentrarse en los problemas con el mayor costo debería aumentar los beneficios financieros de la mejora.
- La meta de un análisis de Pareto es obtener la máxima recompensa de los esfuerzos de calidad, pero eso no quiere decir que los problemas pequeños y fáciles de resolver deban ignorarse hasta que se hayan resuelto los problemas más grandes.

Un ejemplo de un diagrama de Pareto es el visto en la figura 3.11 el eje Y de la izquierda es la frecuencia de ocurrencia, mientras que el eje Y de la derecha es el porcentaje acumulado del número total de ocurrencias. El eje X muestra las categorías de los defectos, quejas, desperdicios, etc.

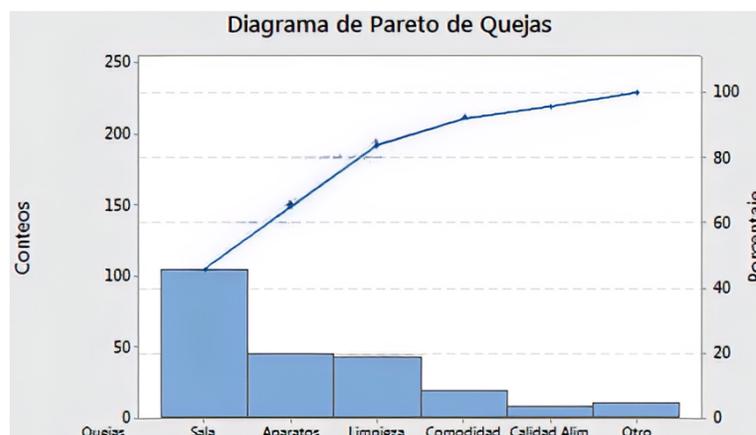


Figura 3.11: Ejemplo de Diagrama de Pareto: Quejas de los clientes de un hotel [43].

En el mismo orden de ideas, es importante definir el proceso para la creación y selección de las soluciones la cual está basada en la ingeniería de diseño, la cual [16] define como la tarea que consiste en pensar (idear) y descubrir una estructura que aparece como una portadora de características deseadas (particularmente funciones); el diseño como proceso lo describe como la acción de transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción de una estructura que la satisfaga. Por ende [16] cita que el cliente provee la información inicial pero esta información se alimenta de conocimiento propio del diseñador y el conocimiento adquirido en el proceso.

El proceso de diseño como lo describe [24] es un intento de elaborar mapas o modelos que simplemente describen secuencias de actividades que ocurren típicamente en el diseño o en otros casos intentan prescribir un patrón mejor o más apropiado para las actividades. En este caso se explicará un modelo prescriptivo razonablemente completo proporcionado por Pahl y Beitz basado en las siguientes etapas de diseño [24]:

- **Clarificación de la tarea (Especificación):** Recopilar información acerca de los requerimientos que deben incorporarse en la solución y también acerca de las restricciones.
- **Diseño conceptual (Concepto):** Establecer estructuras funcionales, buscar principios de solución apropiados; combinarlos en variantes de conceptos.
- **Arreglo Preliminar (Diseño para dar forma):** Partiendo del concepto, el diseñador determina el arreglo y las formas, y desarrolla un producto técnico o sistema de acuerdo con las consideraciones técnicas y económicas.
- **Arreglo definitivo (Diseño de detalles)** Finalmente se plantean o se desarrollan el arreglo, la forma, las dimensiones y las propiedades superficiales de todas

las partes individuales; se especifican los materiales; se vuelven a verificar los aspectos técnicos y la factibilidad económica; se preparan todos los dibujos y otros documentos para producción.

Estos pasos sistemáticos de Pahl y Beitz son analizados por [37] que indica una observación del método, ya que al diseñar se debe encontrar un equilibrio entre un enfoque intuitivo y uno sistemático, recordando que estos dos enfoques no son exclusivos sino que se apoyan mutuamente. Un ejemplo de los pasos para el modelo de Pahl y Beitz se pueden apreciar en la figura 4.2.

Al mismo tiempo para completar la etapa de **Diseño para dar forma** se utilizara la matriz de Pugh o método de convergencia controlada. La cual [25] explica su forma, primero en las filas se ubican los parámetros de comparación o criterios a evaluar. Segundo, en las columnas se ubican los productos o soluciones a evaluar. Luego de conformada la matriz el evaluador debe seleccionar un solución y comparar con el criterio. Ubicando en las celdas de la matriz un 1 si el parámetro de evaluación de la opción evaluada supera a el criterio; un -1 si es lo contrario; un 0 si son iguales. Para cada opción se suman las evaluaciones positivas y las negativas, la diferencias entre estas arroja un número. Los soluciones con mayores puntajes serán las mejores opciones.

Además [59], indica una modificación al esquema general de la matriz de Pugh, la cual se basa en un sistema de pesos por criterio donde supone que no todos los criterios poseen el mismo impacto sobre el cliente. En el ejemplo de la figura 3.12 la disponibilidad de colores no es tan crítica como el precio o la duración de la suela. Por ello se debe ponderar cada criterio para que el impacto de cada comparación no tenga el mismo peso y en este caso se asignaron pesos de 2 para el calzado y el diseño anatómico, 3 para la duración de la suela, 0.5 para la disponibilidad de colores y un 1 para el precio.

	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4	Diseño 5	Diseño 6
Peso del calzado	-2	-2	-2	2	-2	-2
Diseño anatómico	0	2	2	-2	0	2
Duración de suela	3	0	3	-3	3	-3
Disponibilidad de colores	-0,5	-0,5	0	0,5	-0,5	0
Precio	1	-1	1	-1	0	1
SUMA PONDERADA	1,5	-1,5	4	-3,5	0,5	-2
RANKING	2	4	1	6	3	5

Figura 3.12: Ejemplo de una matriz de Pugh con pesos para una fabrica de calzado deportivo [59].

Con el ejemplo 3.12 podemos observar un esquema con pesos para obtener una solución óptima, en cuyo caso del ejemplo el diseño 3 tiene el mejor puntaje dentro de todas las soluciones propuestas.

Finalmente, como observamos anteriormente el método de la matriz de Pugh sin y con pesos junto a el modelo de Pahl y Beitz representan una base critica para el diseño de las soluciones energéticas.

Capítulo 4

Procedimiento metodológico

En este capítulo se expondrá sobre la problemática energética, limitaciones en la investigación y el tipo de investigación experimental-histórica relacionada con el uso de cuestionarios y mediciones para el diagnóstico de la situación actual, tomando la *Guía de Eficiencia Energética para Oficinas* [23] y la *Guía práctica para la eficiencia energética en el sector público costarricense* [41] como esquemas generales para realizar la investigación. Además se definirá las metodologías a utilizar para el diseño de soluciones energéticas.

4.1. Problemática energética actual

La municipalidad de Curridabat ante las recomendaciones del PGAI para la gestión ambiental y la reducción del consumo energético, se propuso como objetivo completar la herramienta del PGAI para el inventariado energético, la cual contiene la información preliminar para la identificación de la situación energética actual, ya que por percepción general de los funcionarios se tiene que la Municipalidad consume mucha energía eléctrica de forma ineficiente. Este malestar se puede confirmar con los datos del 2019 al 2020 de la Hoja de Control del Consumo de energía eléctrica [33] [45], donde un indicador clave para establecer la existencia del problema es el consumo promedio por metro cuadrado kWh/m²/mes, el cual para el 2019 fue de 10.40 kWh/m²/mes promedio y para el 2020 un valor de 9.52 kWh/m²/mes promedio, los cuales a comparación de los datos del 2020 del informe del PGAI [26] sobre la gestión ambiental de la electricidad en el sector público se tiene que la municipalidad para el 2019 y para el 2020 tuvo un porcentaje de 266 % y 243 % más que el valor promedio del sector público descentralizado territorial y además en base al total promedio de las instituciones públicas la municipalidad consume un 213 % y 195 % más que el promedio de las 110 instituciones públicas estudiadas. (Ver 4.1).

Categoría	Número de instituciones consideradas	Área total (m ²)	Consumo total (kWh/mes)	Consumo por área (kWh/m ² /mes)
Ministerios y órganos adscritos	30	808320.9	2492361.0	3.08
Sector Público Descentralizado Institucional	40	4778941.3	25018599.7	5.24
Sector Público Descentralizado Territorial	29	65053.0	254105.9	3.91
Otros poderes del estado	6	274078.8	1226332.8	4.47
Total	105	5926394	28991399	4.89

Figura 4.1: Consumo de energía eléctrica por área según categoría de institución pública del 2020 [26].

Como se aprecia con mas detalles en la figura 4.1, la problemática radica en que en comparativa a los datos del PGAI la Municipalidad de Curridabat consume mucho mas que el promedio de lo otros entes públicos en el estudio, por ende existe un indicador principal que justifica el diagnostico y las propuestas de mejora del consumo energético actual. Además la municipalidad presenta según [27] una calificación entre 62.5 a 85 en la gestión ambiental (Semáforo color amarillo +) debido a el nivel de implementación del PGAI, esto para el corte del 5 de octubre del 2021.

4.2. Diagnostico energético actual

Para completar el inventariado eléctrico propuesto por el PGAI y el informe completo de consumo eléctrico, se realizo una medición y documentación de los dispositivos eléctricos para obtener el valor en Watts de consumo por hora de los dispositivos eléctricos del Palacio, Anexo y Plantel; donde se tomaron los datos en campo que se especifican en el machote de medición A.1.3, cabe resaltar que toda la información recopilada fue confirmada por las hojas de datos disponibles en la web, el reporte de activos del año 2020 y las mediciones del Wattmetro Steren Her-42 el cual se detallo anteriormente.

En relación con la información requerida para estimar el tiempo de uso de los dispositivos, se realizó un cuestionario a los funcionarios municipales de los edificios Palacio y Anexo para establecer los tiempos de uso promedio de los dispositivos eléctricos, las preguntas realizadas se pueden apreciar en A.1.3 y están basadas en las preguntas de [23]. También, para la identificación específica del problema se realizaron mediciones de los dispositivos del Palacio con el fin de obtener información precisa del consumo eléctrico.

La información recopilada por el cuestionario descrito anteriormente, las mediciones preliminares, la documentación de activos de la municipalidad en 2020 y el uso de internet para la búsqueda de hojas de datos sera utilizada posteriormente en los análisis de la situación actual.

Asimismo, se realizó una medición exhaustiva de los dispositivos eléctricos del palacio Municipal donde se utilizo el Wattmetro Her-42 para medir el consumo de los dispositivos seleccionados en el análisis 5, los cuales fueron medidos entre 2 y 3 días seguidos para obtener estimaciones de consumo diario de los mismos. Conviene señalar que las mediciones están ubicadas en un espacio temporal entre Agosto y Octubre del 2021.

4.2.1. Limitaciones del diagnostico y análisis

En el tema de las limitaciones se tiene que ante la cantidad de activos disponibles en el reporte de activos, se delimito la cantidad de edificios a 3 siendo estos el Palacio, Anexo y Plantel. Junto a un medición exhaustiva a solamente los dispositivos del Palacio, el cual posee un histórico de mayor consumo y alberga la mayor cantidad funcionarios de la Municipalidad.

Cabe recalcar que ante el difícil acceso en la medición exhaustiva de aires acondicionados y luminarias, estos se excluyeron de mediciones especializadas y en contra parte se realizo una investigación mas detallada para estas familias de dispositivos.

4.3. Generación de una solución energética

Esta sección es la mas importante de la investigación ya que se exponen los datos recopilados, la investigación histórica y el análisis situacional para diseñar soluciones energéticas que incluyan indicadores claves como lo son la innovación tecnológica, el recurso económico necesario, el tiempo de implementación y el impacto energético que traerá consigo. Además el diseño de ideas se realizo desde 3 enfoques basados en soluciones en comportamiento, soluciones en reestructuración- renovación del equipo y soluciones tecnológicas.

La metodología ha utilizar se basa en los métodos prescriptivos de Pahl y Beitz denominado el Embodiment Design (Ver Figura 4.2) y el método de convergencia controlada de Pugh, con el fin de seguir una mezcla de pasos descriptivos y prescriptivos para desarrollar las etapas del diseño de ingeniería para la generación de soluciones.

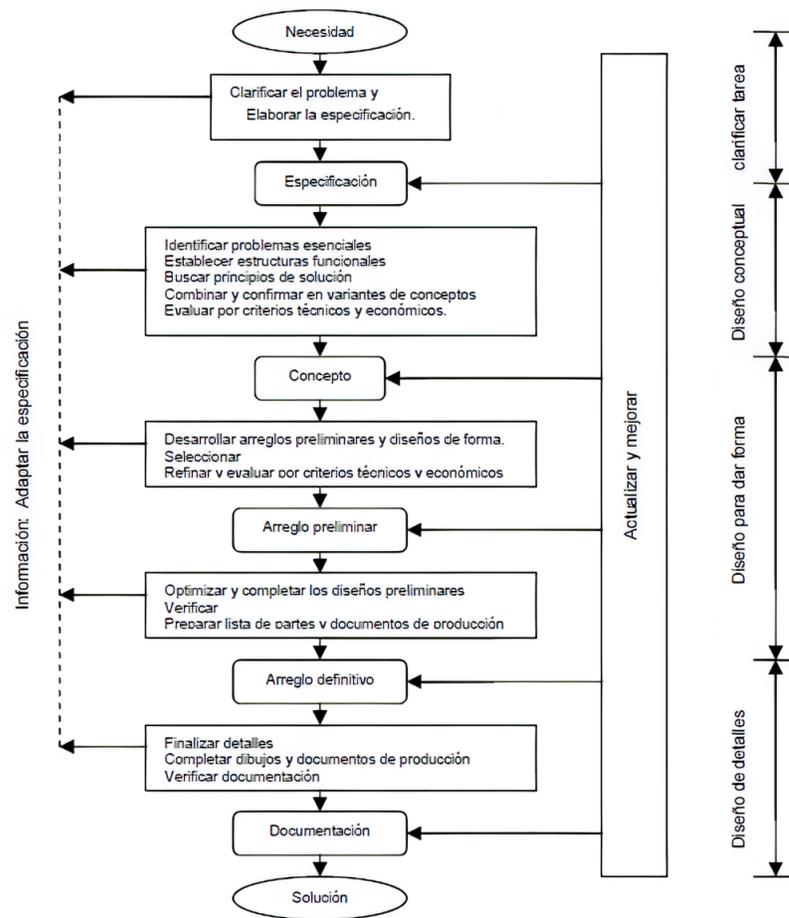


Figura 4.2: Ejemplo del Modelo de Pahl y Beitz adaptado por [24] para la creación de un producto.

Como se observa en la Figura 4.2 el enfoque usado por [24] en el diagrama es dirigido a la creación de un producto comercial, por ende para esta investigación se utilizó las principales secciones expuestas por Pahl y Beitz en el Embodiment Design junto a la Matriz de Pugh, para complementar el arreglo preliminar. Por ello es claro contrastar que se dará un uso general de los modelos y se complementará con el recurso creativo para la generación de soluciones debido al tipo de tema ha mejorar. El orden ha seguir en la creación de las soluciones es:

- **Problemática y especificaciones:** Engloban los pasos de necesidad y especificación.
- **Soluciones preliminares y evaluación de soluciones preliminares:** Abarca el concepto y arreglos preliminares.
- **Soluciones definitivas:** Abarca el arreglo definitivo y la documentación.

Capítulo 5

Análisis de la situación actual

En esta sección se presentaran los análisis realizados a la información recopilada, los principales resultados y las conclusiones sobre la situación energética actual de la Municipalidad de Curridabat. Esta sección sera la base para las soluciones energéticas y representa un estudio energético de menor escala.

5.1. Análisis de la recopilación de datos

5.1.1. Cuestionario

Como primer análisis, con la base de datos obtenida con el Cuestionario de *Hábitos de consumo eléctrico* se utilizo estadística inferencial para obtener un aproximado poblacional del tiempo de uso de los dispositivos eléctricos por parte de los funcionarios, esto debido a que una porción de la población de funcionarios del Palacio y Anexo contesto el cuestionario, por ende es necesario realizar estimaciones muestrales para obtener promedios y rangos de ubicación del valor real.

Este análisis se realizo con una muestra de 24 y 10 funcionarios del Palacio y Anexo respectivamente, se utilizo un nivel de confianza $(1-\alpha)=95\%$, se utilizo la distribución t de Student y se realizaron 7 estimaciones:

1. Promedio de Días Laborales
2. Tiempo de uso promedio del aire acondicionado
3. Tiempo de uso promedio de la Luminarias
4. Tiempo de uso promedio de Computadoras y Laptops
5. Frecuencia de uso de los Coffee Makers
6. Frecuencia de uso de los Microondas

7. Frecuencia de uso de las Impresoras

Para el edificio Palacio se obtuvieron los siguientes resultados del análisis (Ver tabla 5.1)

Estimación	Promedio	Error del estimador	Intervalo Confianza		Punto medio
			Lim. Inferior	Lim. Superior	
1	3.292	0.304	2.728	3.855	3.292
2	3.875	0.791	2.408	5.342	3.875
3	7.563	1.544	4.700	10.425	7.563
4	8.217	1.677	5.107	11.328	8.217
5	1.708	0.349	1.062	2.355	1.708
6	1.417	0.289	0.880	1.953	1.417
7	3.625	0.740	2.253	4.997	3.625

Tabla 5.1: Resumen de Inferencias: Hábitos de Consumo eléctrico 2021 para el Palacio [19].

Como se aprecia en la tabla 5.1 el error del estimador es bajo, con las excepciones de las luminarias y computadoras que al tener respuestas repetitivas genera un mayor porcentaje de error por la probabilidad de contener una muestra cerrada de la población e indicar un posible sesgo. Para mayor información de cálculos y los resultados del edificio Anexo y Plantel ver el archivo de Excel *Análisis Estadístico de Cuestionario Hábitos de consumo eléctrico de los funcionarios de la Municipalidad de Curridabat A.1.3* donde se realizaron los cálculos presentados anteriormente.

Por otra parte, con respecto al histórico de consumo mensual 2019-202 del palacio Municipal se obtuvo un error del estimador de un 134.45 kWh y el valor real se encuentra establecido en un Rango de 5369,48 kWh a 5932,33 kWh con un punto medio de 5650,90 kWh y un promedio de 5651 kWh. Cabe destacar que este análisis se realizó con los datos del 2019 al 2020 de la Hoja de Control del Consumo de energía eléctrica [33] [45].

5.1.2. Inventariado eléctrico

Como segundo análisis, con los datos recopilados en campo de los dispositivos eléctricos y los resultados obtenidos del análisis del cuestionario, se calculó la potencia consumida y la potencia mes consumida obteniendo consigo un total de consumo estimado mes de 5440.46 kWh para el Palacio, 3910.13kWh para el Anexo y 2475.15 kWh para el Plantel. Este resultado se obtuvo con las inferencias indicadas en la siguiente tabla 5.2.

Inferencias			
Consumo Estimado kWh	Consumo Promedio kWh		
5440.460221	5650.904762		
Equipos	Mes de trabajo	Porcentaje de Días laborales	Aforo Teorico
Para los demas equipos	15.21	0.676	0.6
Para Luminarias y Aires acondicionados	18	0.8	0.6
Hora promedio Uso Coffee Maker			
0.143333333			
Hora promedio Uso Microondas	Microondas	Personal Promedio	Uso promedio de microondas
0.29406	6	73.008	0.024166667
Hora promedio uso Impresoras	Tiempo de Impresión Promedio (Web) Hora	Personal Promedio	Cantidad de Impresiones Promedio
0.307696552	0.016666667	73.008	3.954545455

Tabla 5.2: Inferencias utilizadas para el calculo de consumo eléctrico del Palacio [19].

La tabla 5.2 muestra datos relevantes para la definición de las horas de consumo promedio de algunos dispositivos y la definición de los días laborales mes de la Municipalidad esto debido a la introducción a gran medida del Teletrabajo, el aforo mínimo por ley y el horario de 5 días que utiliza la misma. Otro punto importante en esta tabla es la utilización de los datos de frecuencia obtenidos en el análisis del cuestionario, ya que con los datos de frecuencia se realizo estimaciones de uso para dispositivos que funcionan por tiempos constantes tales como la impresión de un par de hojas o el tiempo para calentar un almuerzo en un microondas. Para mayor información de los cálculos y las inferencias usadas para el edificio Anexo y Plantel, ver [17] sobre el archivo de Excel *Consumo e Inventario eléctricos de los edificios Anexo, Plantel y Palacio de la Municipalidad de Curridabat*.

5.1.3. Consumo eléctrico

Para el análisis del consumo eléctrico se realizo una categorización de los dispositivos eléctricos las cuales por sector fueron Cocina, Cpu, Laptop, Ventilador, Monitor, Oficina, Impresora, Teléfono, Otro, Aire acondicionado y Iluminación. Con esta información se realizaron los siguientes gráficos resumen según porcentaje de consumo eléctrico.

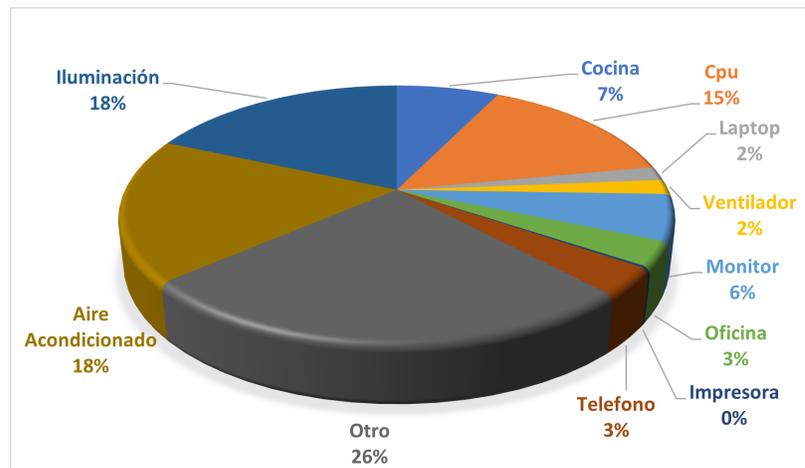


Figura 5.1: Porcentaje de consumo eléctrico mensual por sector del edificio Plantel [17].

Con el gráfico 5.1 se puede observar que el sector de mayor consumo fue *Otro* con un 26%, debido a que el edificio Plantel es un edificio mayoritariamente Industrial donde se utilizan maquinas de corte y equipo de soldadura los cuales fueron incluidas en el sector *Otro*. Otro resultado de este gráfico 5.1, son los porcentajes de consumo de Iluminación y Aire acondicionado, los cuales normalmente en los edificios administrativos representan la mayor cuota de consumo eléctrico y que en este caso tienen un porcentaje bajo con respecto al total.

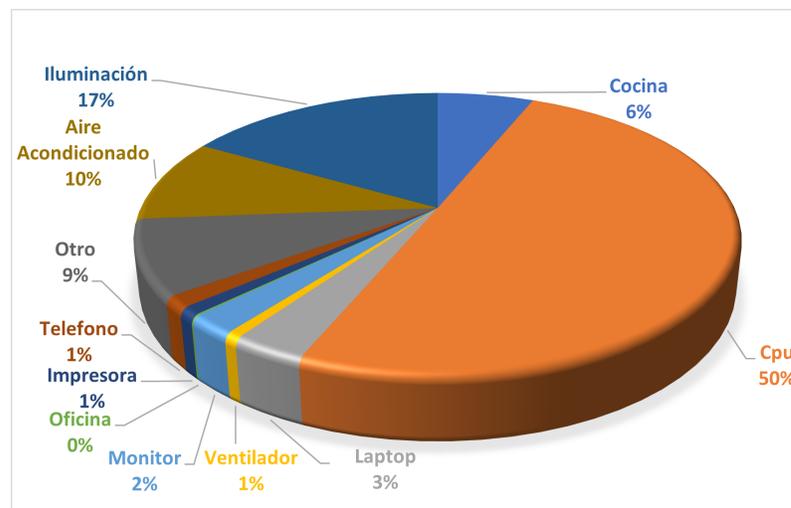


Figura 5.2: Porcentaje de consumo eléctrico mensual por sector del edificio Anexo [17].

En el gráfico 5.2 se puede observar la cuota de mayor consumo representada por el sector *Cpu* en un 50% el consumo total, este resultado debido a que el edificio Anexo contiene los servidores de la Municipalidad. Igualmente se puede observar los típicos dos sectores de mayor representación energética los cuales son iluminación y aire acondicionado. Se debe destacar que este edificio alberga a 69 funcionarios y es un edificio de 2 pisos.

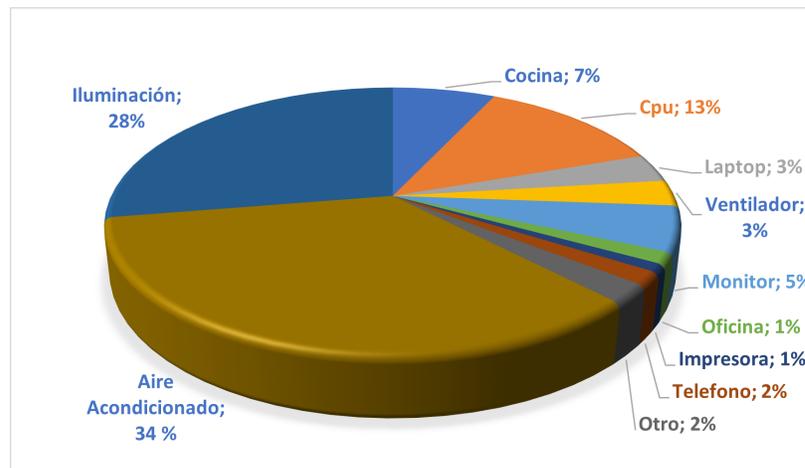


Figura 5.3: Porcentaje de consumo eléctrico mensual por sector del edificio Palacio [17].

En el gráfico 5.3 se puede observar la conclusión antes mencionada, donde la *iluminación* y el *aire acondicionado* representan la cuota de mayor consumo siendo en este caso un 28 % y un 34 % respectivamente. Esto refleja los sectores prioritarios para la definición de medidas de ahorro energético y contemplan los datos necesarios para el establecimiento de los objetivos de reducción.

Análogamente en el Palacio Municipal se observó durante la recolección de datos eléctricos, deficiencias en el diseño de los puntos de luz junto y el no aprovechamiento de la luz natural principalmente por la antigüedad del edificio. Asimismo para los aires acondicionados se observó un uso inadecuado de los dispositivos por parte de los funcionarios, junto a las características constructivas del edificio.

Cabe destacar que para evitar problemas relacionados con la variación dentro de las mediciones, la recolección de datos y el cuestionario, se agregó un 1 % de consumo extra a cada dispositivo dando un porcentaje de compensación ante errores.

5.2. Análisis exhaustivo del Palacio Municipal

5.2.1. Estrategia de medición exhaustiva

Para el análisis exhaustivo del Palacio Municipal se realizó diagramas de Pareto con el análisis del inventariado eléctrico, con el fin de definir los sectores con mayor consumo y la selección de los mismos para una medición exhaustiva. Para la realización del primer diagrama de Pareto se asignó un número a los sectores 5.3, para un mayor orden y claridad en los gráficos.

Numeración	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sector	Cocina	Cpu	Monitor	Ventilador	Laptop	Oficina	Impresora	Teléfono	Otro	Aire Acondicionado	Iluminación

Tabla 5.3: Asignación de identificadores para cada sector de consumo eléctrico.

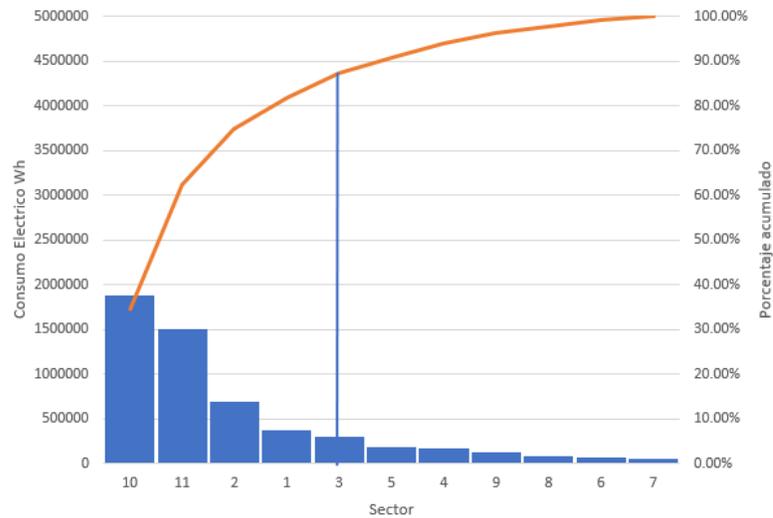


Figura 5.4: Diagrama de Pareto: consumo mensual Palacio Municipal.

Como se observa en 5.4 los sectores más representativos son aire acondicionado, iluminación, cpu, cocina y monitor, los cuales representan el 87 % del consumo del edificio junto a el 45 % de las causas. Dado que las luminarias y los aires acondicionados presentan dificultades para la medición, se excluyeron resultando en un nuevo porcentaje de efectos del 25 % y causas del 27 %. Cabe destacar que los aires acondicionados y las luminarias serán expuestos a un mayor detalle en la siguiente subsección 5.2.3.

A causa del primer diagrama de Pareto se realizó un gráfico de pastel con los sectores seleccionados para la medición, los cuales fueron subdivididos a mayor detalle resultando en los siguientes nuevos subsectores:

Numeración	1	2	3	4	5	6	7
Sector	Microondas	Coffee maker	Refrigerador	Horno	Cpu	TV	Monitor

Tabla 5.4: Asignación de identificadores para cada subsector de consumo eléctrico.

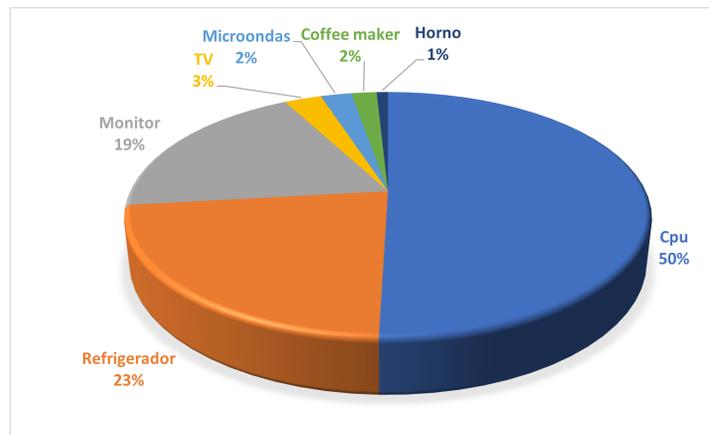


Figura 5.5: Porcentaje de consumo mensual por subsectores seleccionados del edificio Palacio.

Visto que el gráfico 5.5 resultó en que la representación mayoritaria fue de las Cpu en un 50 %, se realizó un segundo diagrama de Pareto para definir una segunda selección de subsectores.

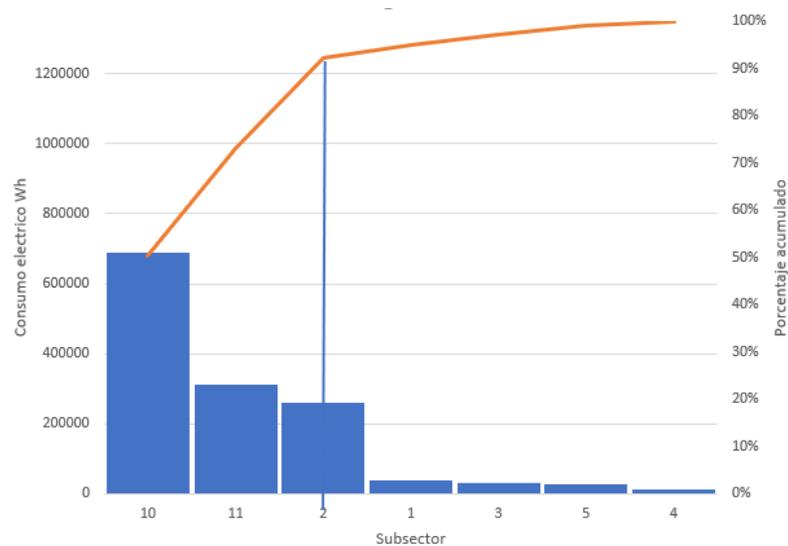


Figura 5.6: Diagrama de Pareto: Consumo mensual del Palacio Municipal por subsectores.

Según el gráfico 5.6 se concluye que las Cpu, refrigeradoras y monitores representan el 92 % del consumo y estos a su vez representan el 43 % de las causas, por ende serán los subsectores seleccionados para la medición.

Por otra parte, dentro de los subsectores seleccionados se tiene 40 diferentes dispositivos específicos de los cuales 15 fueron seleccionados como los adecuados para la medición ya que representan el 75.59 % del consumo de estos subsectores y los dispositivos seleccionados son los presentados en la tabla 5.5.

Cantidad	Descripción	Consumo Diario (kWh)	Consumo diario total (kWh)	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
39	Cpu Hp Pro Desk 600 G5	537.017	20736.30	25.00 %	25.00 %
1	Refrigerador Yeti	10100	10000.00	12.06 %	37.06 %
57	Monitor Hp E233	156.9742	8858.94	10.68 %	47.74 %
5	Apple IMAC MC813II	1404.506	6953.00	8.38 %	56.13 %
1	Refrigerador Frigidaire FRDWO73MBKW	4545	4500.00	5.43 %	61.55 %
1	Refrigerador Gold Star peq	2020	2000.00	2.41 %	63.97 %
1	Hp compaq pro 6300	1982.832	1963.20	2.37 %	66.33 %
1	IMAC PRO	1891.9522	1873.22	2.26 %	68.59 %
1	Refrigerador XS11OF	1696.8	1680.00	2.03 %	70.62 %
1	Refrigerador Daewoo	1333.2	1320.00	1.59 %	72.21 %
3	Compaq 6200	371.781	1104.30	1.33 %	73.54 %
1	Refrigerador Lg	568.125	562.50	0.68 %	74.22 %
1	Aoc 2216SW	404.8282	400.82	0.48 %	74.70 %
1	Acer A1 191	380.0428	376.28	0.45 %	75.16 %
1	Refrigerador Daewoo	366.64384	363.01	0.44 %	75.59 %

Tabla 5.5: Datos de los dispositivos seleccionados para la medición exhaustiva.

Cabe destacar que en dicha medición se descartaron los servidores y dispositivos los cuales los funcionarios no permitieron la medición, ya sea por factores como dificultad de conectar otros dispositivos al toma corriente (por el tamaño del wattmetro) o porque el funcionario no permitía una medición.

5.2.2. Resultados de la Medición exhaustiva

Después de la selección, se realizó la medición de los dispositivos y se comparo el consumo teórico de los mismos vs el consumo medido, como se aprecia en la siguiente gráfica 5.7.

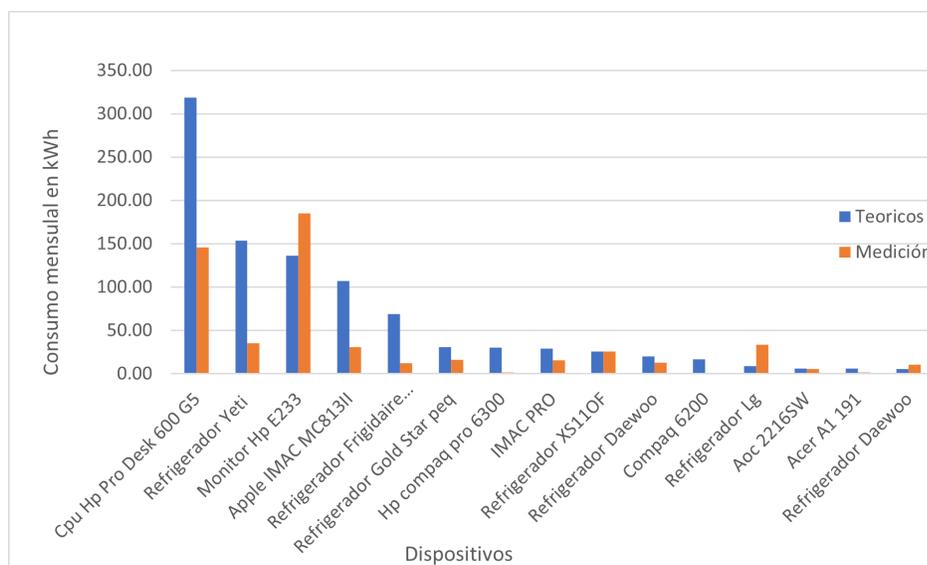


Figura 5.7: Barras comparativas de consumo mensual estimado vs consumo mensual real medido.

Con las barras de la figura 5.7 podemos observar como la estimación del consumo de la refrigeradora Yeti estaba sobreestimada con un 77% menos de consumo real y por el contrario la estimación teórica de la refrigeradora LG estaba subestimada ya que se obtuvo un 284.82% más de consumo eléctrico real, como resultado se logró encontrar que el consumo mensual de estos dispositivos era en total de un 44.66% menor que el consumo mensual total teórico.

Se tiene que en general la medición exhaustiva demostró que el consumo del conglomerado de dispositivos medidos es un 44.66% menor que lo estimado teóricamente, lo cual es posible inferir que el conjunto completo de subsectores también tiene un porcentaje de disminución equivalente. Se encontró que las Cpu en conjunto consumen 61% menos de lo estipulado teóricamente, los refrigeradores un 53% y los monitores un 29% más.

En resumen los resultados de la medición exhaustiva son positivos y reflejan sectores donde se debe realizar acciones, como lo es el uso eficiente de los monitores, también se deduce que el consumo real del Palacio después de la medición exhaustiva es de 4986.580 kWh/mes y es un 11.76% menor que el promedio mensual del 2019-2020.

5.2.3. Iluminación y Aire Acondicionado

En esta subsección se presentara un estado del arte de los aires acondicionados y luminarias, donde se busco información específica del funcionamiento, eficiencia y estudios previos donde se exponga la situación de la luminarias y aires acondicionados en edificios.

Iluminación

La visión humana depende de la luz que incide en lo observado, ya que es la fuente de mayor información para el humano en el momento de realizar actividades cotidianas, por ello el rol de diseño de la iluminación es proveer un entorno adecuado donde el sentido de la vista se pueda desempeñar efectiva y confortablemente. Esto se relaciona directamente con las condiciones del lugar iluminado ya que según [41] el color de las paredes y techos influyen en la proyección de luz, como se observa en la figura 5.8.



Figura 5.8: Porcentaje de luz reflejada según color de la pared [41].

La iluminación supone uno de los principales sectores de consumo energético de un edificio, por lo que cualquier acción dirigida a reducir este consumo tendrá una repercusión representativa en el consumo eléctrico total. Hay que contar además que los sistemas de iluminación también generan energía disipada en forma de calor, lo cual contribuye a aumentar la carga térmica interna de las instalaciones, provocando incrementar las necesidades de refrigeración por aire acondicionado.

Según [35] la función principal de las luminarias es distribuir, difundir y dirigir la luz emitida artificialmente por las lamparas sobre una superficie o sector deseado. Estos sistemas están integrados en algunos casos por una combinación de componentes, lo cuales se pueden observar en la figura 5.9.

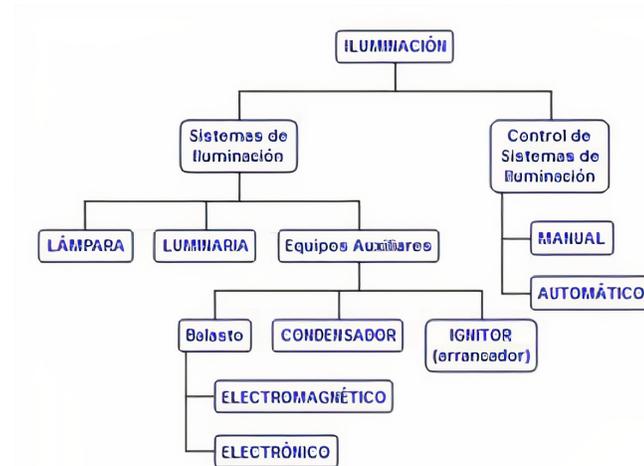


Figura 5.9: Componentes de la tecnología de iluminación [56].

Además las fuentes de iluminación artificial se pueden categorizar según su características físicas, donde los dispositivos mas comunes en el mercado son las incandescentes no-halogenas, tubos fluorescentes lineales y las tecnologías Diodo emisor de luz (LED).

Como se ha dicho los dispositivos incandescentes no-halogenas (Bombillos) son los mas comunes y los que lideran el mercado de la mayoría de países, estas lamparas o bombillos son los mas ineficientes del mercado pero son los mas accesibles en precio [56]. Por otra parte en cuanto a sectores que requieran mayor iluminación, se utiliza comúnmente los tubos fluorescentes lineales los cuales están disponible en T12 (12/8 = 38mm), T8 (8/8 = 26mm) y T5 (5/8 = 16mm) (Ver Figura 5.10), según [56] los dispositivos T12 están obsoletos y se fabrican en tipos como: Precalentamiento, Arranque instantáneo y arranque rápido.



Figura 5.10: Tipos de tubos fluorescentes lineales [12].

De las características de los sistemas de iluminación es importante mencionar los equipos auxiliares, específicamente los balastos los cuales [35] define como equipo necesario para lámparas de descarga que permiten el encendido y funcionamiento de las mismas, además influyen directamente con la eficacia de la propia lámpara. Estos dispositivos existen de dos categorías uno electrónico y otro electromagnético, siendo este primero más eficiente que el segundo, según [14] en Europa los balastos se clasifican según el índice de eficiencia energética (IEE) en 5 clases: siendo los A1, A2 y A3 para balastos electrónicos y los B1, B2 para balastos electromagnéticos.

Otro componente auxiliar, relacionado con los balastos es el condensador, el cual [38] define como componente que es utilizado para compensar la potencia reactiva del sistema y por ende corregir el factor de potencia para evitar cobros extras de la compañía de luz.

Además existen equipos de control automático o manual, que regulan el uso de las luminarias. Un ejemplo de un equipo de control manual pero con un potencial de ahorro de energía son los reguladores (Dimmer) el cual [56] define como dispositivo que adaptan los niveles de potencia y la salida de luz gradualmente a lo largo de un intervalo de temporal, permitiendo utilizar eficientemente la iluminación.

Por otra parte, [56] expone que los equipos de control automático permiten cambiar automáticamente la cantidad de luz según condiciones de luminosidad, ocupación o horarios, ahorrando grandes cantidades de energía con ello. Estos dispositivos se basan en tres componentes principales, los cuales son control, sensor y actuador. Cabe destacar que los sensores tienen en algunos casos inconvenientes cuando las actividades se realizan con poco movimiento debido a que el sensor las considera irrelevantes, por ende esta solución es menos eficiente en edificios de oficina con una movilidad nula.

Dentro de las características luminotécnicas de las lámparas se tiene que el flujo luminoso según [56] es la cantidad de luz visible emitida por una lámpara o luminaria en lúmenes (lum), cuánto mayor es el número más luz emite. También se debe mencionar otro indicador, el cual es lux (lx) es cual es equivalente a un lum/m² y nos permite cuantificar la luz según una superficie. Este es importante para un mapa lumínico ya que según [41] los requerimientos de luz mínimos de iluminación por tipo de sector, se pueden establecer según la tabla 5.11.

Áreas del puesto de trabajo	Nivel mínimo de iluminación (lux)
Zonas donde se ejecuten tareas con:	
-Exigencias visuales bajas	100
-Exigencias visuales moderadas	200
-Exigencias visuales altas	500
-Exigencias visuales muy altas	1000
Zonas o locales de uso ocasional	50
Zonas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Figura 5.11: Niveles mínimos de iluminación para zonas de trabajo [41].

Un punto importante de la tabla 5.11 es la altura de la luminaria, ya que estos niveles de iluminación son de 85 cm sobre el suelo para trabajos de oficina y para zonas de circulación la medida será desde el suelo. Recordando que entre más se acerque uno a la fuente de luz, la cantidad de lux será mayor. Otro punto importante de esta tabla es utilizar al menos el doble de estos niveles cuando la iluminación es en vías de circulación como escaleras o balcones que presentan riesgo de caída y de igual forma cuando en la zona se realizan trabajos donde una mala apreciación visual atente contra la seguridad del trabajador.

En cuanto a indicadores para comparar la eficiencia lumínica se tiene la eficacia de luminancia, la cual [56] define como la eficiencia energética con la que una lámpara convierte la electricidad en luz y es medida en lúmenes por watt (lm/W). Los valores típicos de eficacia para las luces incandescentes son de 15 lm/W, para tubos fluorescentes lineales de alta eficiencia con balastro electrónico 108 lm/W. Estos equipos de alta eficiencia fluorescente a pesar de tener valores altos de eficiencia logran igualar en la misma cantidad de eficacia que un tubo LED T8, pero con la diferencia de tener la mitad de la duración de vida útil de un LED.

Un ejemplo de implementación de tecnologías más eficientes para la disminución del consumo eléctrico es el Caso ICE, presentado por [41] donde el objetivo era reducir la facturación eléctrica entre un 30 % y un 40 % del edificio central, implementando 8 acciones:

- Inventario de luminarias
- Mediciones de los niveles de iluminación
- Pruebas de laboratorio
- Pruebas piloto en pisos 2 y 5
- Encuesta sonde exploratorio
- Elaboración cartel de licitación
- Instalación de analizadores de energía
- Instalación de sistemas eficientes

Estos pasos son importantes, debido a el nivel de documentación necesaria para implementar un proyecto como este en una institución publica. Para este caso se sustituyeron las luminarias por tubos fluorescentes lineales T8 de alta eficiencia con balastos electrónicos, reflectores y difusores junto a una reubicación de lamparas según un mapa lumínico.

Los resultados de este proyecto fueron los presentados en la figura 5.12 donde se identifica la reducción de un 34 % del consumo y un 33 % de la demanda, junto ha ahorros en gastos por consumo de alrededor 33 millones anuales.

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO	
Energía Mensual Ahorrada	91 974 KWH/Mes
Demanda Eléctrica ahorrada	274 KW/Mes
Reducción Porcentual de energía	34%
Reducción porcentual de demanda	33%
Monto Mensual Ahorrado	2 772 598 Colones/Mes
Monto Anual Estimado de Ahorro	33 271 173 Colones/ Año
Inversión en sistemas eficientes	23 725 174 Colones
Mano de obra	2 512 174 Colones
Período de recuperación	0.79 años
Período de recuperación	10 Meses
Porcentaje reducción recibo eléctrico	35%
Total de sistemas reconvertidos	2 170

Figura 5.12: Resultados finales del proyecto de renovación de luminarias del ICE [41].

Como se observa en la figura 5.12 el proyecto es sumamente exitoso y convirtió 2170 luminarias, donde además se obtuvieron otros beneficios como reducción en perdidas de distribución, reducción de carga térmica, igual o mejor nivel de iluminación, mayor vida útil del sistema y menor inversión en balastos y tubos. Un punto importante de este caso es el año de realización ya que se estima que fue entre el 2009 al 2011 y por ende la implementación de las luminarias LED no estaba en auge.

Finalmente se tiene que la solución para mantener la eficiencia, seguridad y comodidad de la iluminación en el 2021 son las luminarias LED, debido principalmente a que estas luminarias según [56] ya son mas eficientes que cualquier otra lampara y superan los 100 lm/W de eficacia, junto a mayores tiempos de vida útil.

Aire Acondicionado

Según [60] se entiende por aire acondicionado a la condición del aire tratado en temperatura (calentándolo o enfriándolo), en humedad (humidificación o deshumidificación), en pureza (eliminación de contaminantes indeseables) y suministrado al ambiente con una impulsión adecuada y una distribución uniforme. Este condicionamiento es realizado para crear un ambiente adecuado el cual es visto como un servicio climatización, como lo define [30] para mantener e incrementar los niveles de calidad de vida, la climatización de edificios se ha convertido en una necesidad, en gran parte de los casos para lograr que sus condiciones de habitabilidad cumplan las exigencias de confort de sus ocupantes, lo que redunde en su mayor satisfacción y, en otros casos como equipamiento fundamental del edificio para satisfacer las funciones intrínsecas del mismo.

Por otra parte, dicho servicio o proceso de climatización representa uno de los elementos importantes de un edificio debido a los siguientes motivos [63]:

- En el aspecto de la inversión por su elevado valor económico, que puede constituir entre 10 % y 20 % del importe del edificio en instalaciones centralizadas en edificios de nueva construcción.
- En el aspectos de la explotación por el importe del consumo energéticos de las técnicas convencionales que constituye el más importante de
- En el aspecto del mantenimiento y conservación por la dedicación que exigen, el costo de sus componentes y las necesidades de personal especializado en estas labores.
- En el aspecto funcional por la elevada incidencia que, en la actividad del edificio y de sus usuarios, supone la falta de este servicio en un momento determinado.

Como lo expone [63] con los motivos anteriores, estos factores de mayor importe de consumo eléctrico son la inversión inicial junto a costo del mantenimiento lo cuales marcan los puntos claves para la selección aire acondicionado, además otro factor de gran relevancia es la cantidad de uso que se dará al dispositivo, ya que como se mencionaba anteriormente el uso del aire acondicionado esta basado en incrementar la calidad de vida y lograr condiciones de habitabilidad, por ende no es un componente de uso opcional en edificios con ventilación escaza.

A partir de esto entran valoración conceptos como la zonificación la cual según [60] es el procedimiento para dar respuesta a las condiciones y requerimientos de distintos edificio que surgen del análisis de la carga térmica. Se puede zonificar según factores como la

orientación la cual es el objeto de compensar la incidencia de la radiación solar sobre el edificio, ya que los requerimientos de acondicionamiento son variables durante el día de acuerdo a la orientación del edificio. Por ello, se debe seleccionar una ubicación adecuada de los aires acondicionado ya que esto junto a las condiciones de diseño del edificio pueden representar una mayor ventilación a cierto sector con mayor requerimiento de ventilación.

De manera similar, los horarios laborales variables junto a la condiciones de ventilación requeridas en cierto sector, involucran soluciones como equipos conectados en Multisplit, para alimentar distintas unidades de enfriamiento que sean requeridas en cierto horario.

A su vez es importante mencionar la estructura de los aires acondicionados comunes, los cuales cuentan con una unidad interior y una exterior para los equipos Split o una unidad exterior conectada ha varias interiores las cuales son conocidas como Multisplit como se ilustra en 5.13.



Figura 5.13: Ejemplo de equipo MultiSplit [12].

Dentro de los indicadores comunes para medir la eficiencia energética de los aires acondicionados se tiene los indicadores Seasonal Efficiency Ratio (SEER) y el Energy Efficiency Ratio (ERR). Según [54] el SEER es definido como la producción de energía prevista durante una temporada de refrigeración o calefacción, el resultado de la operación de BTU dividida por la aportación de energía (vatios entre horas) y el ERR [54] lo define como la potencia de salida (BTU por hora) dividido por la entrada de potencia, usualmente calculada en vatios. Por ende este indicador depende de la temperatura exterior e interior y se proporciona bajo condiciones específicas.

Para la conversión de estos indicadores a otros se tiene la formula

$$EER = 1,12 * SEER - 0,02 * (SEER)^2 \quad (5.1)$$

la cual permite conocer el valor del EER teniendo el valor del SEER, también existe su contra parte

$$SEER = \left(1,12 - \frac{\sqrt{1,2544 - 0,08 * EER}}{0,04}\right) \quad (5.2)$$

Se puede señalar otro indicador de eficiencia, el cual esta mas correlacionado con calefacciones pero posee una relación directa con los aires acondicionados el cual es Coeficiente de rendimiento (COP) el cual es equivalente ha

$$EER = COP * 3,41 \quad (5.3)$$

el cual nos permite establecer equivalencias con los indicadores comunes.

Por otra parte [12] expone, que se conocen una variedad en aires acondicionados llamada *Inverter* los cuales no son un tipo, sino una tecnología que se incluye para controlar el motor del compresor, siendo este un sistema de eficiencia. Además individualmente es posible determinar la eficiencia de un aire acondicionado, comparándolo con los rangos o indicadores establecidos en la norma INTE 28-01-13-2015.

Capacidad de enfriamiento (BtU/h)	Rangos de eficiencia energética (EER)		
	Tipo Ventana	Tipo Paquete	Tipo Split o Dividido
24.000	10.9	N.A.	12.2
>24.000 a 36.000	N.A.	11	12.2
>36.000 a 60.000	N.A.	11	11.5

Tabla 5.6: Rangos de eficiencia energética (EER) según norma INTE 28-01-13-2015 [12].

Como se aprecia en la tabla 5.6 de la Directriz 11 (Dirección de Energía, junio 2016) los valores recomendados de EER están por encima de los indicados en la tabla y estos se pueden comparar con ciertos datos de los aires ya medidos en este proyecto, asociando la siguiente formula (**Calculo de la eficiencia = Capacidad de enfriamiento (BTU/h) / Energía de entrada (W)**) [12].

Dentro de la normativa internacional sobre la eficiencia energética de los aires acondicionados, se tiene normativas que definen los niveles adecuado de funcionamiento, entre estos encontramos las establecidas por la ANSI/ASHRAE [8] con normas como la ANSI/ASHRAE 79-1984 (RA-91): Room Fan-coil y ANSI/ASHRAE 37-1988R: unitary air conditioners and heat pumps para equipos multisplit y split respectivamente, junto a normas tecnicas como la NTC-5104 las cuáles sugieren las siguientes tablas de eficiencia energética.

Potencia (W)	COP (Wt/We)
1200-2900	2.9
3500-5900	3.1
7000-7900	3.2

Tabla 5.7: Rangos de potencia para la eficiencia energética según ANSI/ASHRAE [8].

Como se observa en la tabla [8] el coeficiente de rendimiento COP es el valor que indica la potencia calorífica contra la potencia absorbida del equipo y en algunos casos es el mismo valor para su contra parte el Ratio de refrigeración el cual mide la potencia de refrigeración contra la potencia absorbida.

Rangos de eficiencia energética COP (Wt/We)		
Rango	Limite inferior (Incluido)	Limite superior
A	4.35	ECC
B	4.00	4.35
C	3.65	4.00
D	3.30	3.65
E	2.95	3.30
F	2.60	2.95
G	0.00	2.60

Tabla 5.8: Rangos de la relación de eficiencia energética para equipos unitario según NTC 5104 [48].

La NTC 5104 en la tabla 5.8 muestra la relación de eficiencia en COP para los aires acondicionados, la cual es identificable según la siguiente etiqueta energética 5.14 la cual muestra la estructura de una etiqueta energética en la implementación de a norma técnica en Colombia, otro estándar importante es el que expone [49] donde según la norma mexicana lo valores mínimos de eficiencia son EER=10 para sistemas Multisplit.

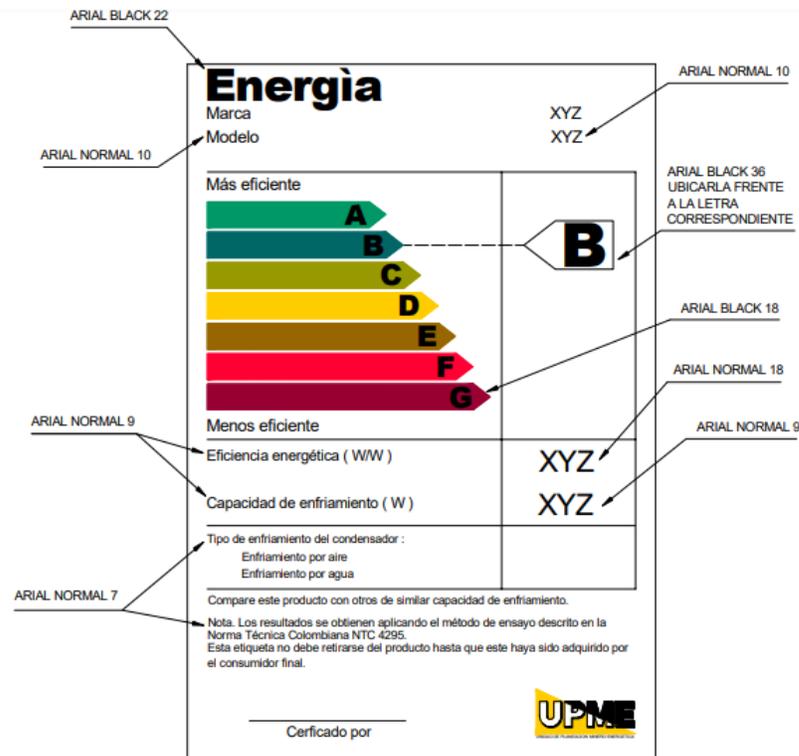


Figura 5.14: Machote de etiqueta energética utilizada por la NTC 5104 en Colombia.

Por lo consiguiente con los datos mínimos de eficiencia según las normativas expuestas anteriormente se realizó una tabla comparativa, donde se verificó si los aires acondicionados del edificio palacio cumplen con las normativas. Por ende, como primer paso se estableció los valores en COP, EER y SEER de los aires acondicionados los cuales se observan en la tabla 5.9.

Descripción	BTU	Potencia en placa	Sistema	SEER	EER	COP
Innovair Vortex UV36C2DB1	36000	3718	Multi Split	13.0	11.2	3.3
Sankey ES-12RB1EC	12000	1330	Split	9.7	9.0	2.6
Telstar TAS1207MD	12000	1330	Split	9.7	9.0	2.6
Innovair Oasis WO18C2DB2	18000	1848	Split	12.5	10.9	3.2
Carrier n-ice-day 42LFC018308	18000	1800	Split	10.0	9.2	2.7
Innovair Oasis WO18C2DB2	18000	1848	Multi Split	12.5	10.9	3.2
Innovair Oasis WO18C2DB2	18000	1848	Multi Split	12.5	10.9	3.2
TGM MWFFT12S	12000	1386	Split	9.3	8.7	2.5
Innovair Oasis WO13C2DB2	12000	1254	Multi Split	12.5	10.9	3.2
York YJHXC024BAR-FX	24000	1142.86	Split	21.0	14.7	4.3
Ciak CH41C-012-H3H1C C	12000	1500	Split	13.0	11.2	3.3
E-cold E18POLAR G001	18000	1440	Split	16	12.8	3.75
Comfort Star CTC24CD	24000	1142.86	Split	21.0	14.7	4.3
Everwell Mc2423	24000	2150	Split	15.0	12.3	3.6
Telstar Smart Inverter TAI012110MB	12000	1700	Split	14.44	12	3.52
Air pro	18000	2020	Split	9.6	8.9	2.6
Comfort Star CCE12CD	12000	1300	Multi Split	10.0	9.2	2.7
TGM MWFFT24S	24000	2310	Split	11.8	10.4	3.0
Comfort star Inverter CSC18CDM	18000	857.14	Multi Split	21.0	14.7	4.3
Air pro	13000	1185	Split	12.7	11.0	3.2
Innovair Oasis WO24C2DB2	24000	2508	Multi Split	12.5	10.9	3.2
Tropicool TRMEP-18K	18000	1980	Split	13.0	11.2	3.3
Comfort Star CCE12CD	12000	1300	Split	10.0	9.2	2.7

Tabla 5.9: Aires acondicionados del edificio Palacio con sus respectivos datos e indicadores de eficiencia COP, ERR y SEER.

Con los valores COP, ERR y SEER de la tabla 5.9 y los valores expuestos en 5.8, 5.7, 5.6 y la norma mexicana, se estableció la evaluación estipulada en 5.10 donde se verifica el cumplimiento de las normas y se calcula el porcentaje de equipos que cumplen la norma. Cabe recalcar que la norma mexicana establece un valor mínimo de eficiencia para los equipos multisplit y no para equipos split.

Cant.	Descripción	INTE	ANSI/ ASHRAE	NTC 5104	Norma Mexicana
1	Innovair Vortex UV36C2DB1	0	1	D	1
1	Sankey ES-12RB1EC	0	0	F	-
1	Telstar TAS1207MD	0	0	F	-
4	Innovair Oasis WO18C2DB2	0	1	E	-
1	Carrier n-ice-day 42LFC018308	0	0	F	-
1	Innovair Oasis WO18C2DB2	0	1	E	1
1	Innovair Oasis WO18C2DB2	0	1	E	1
1	TGM MWFFT12S	0	0	G	-
1	Innovair Oasis WO13C2DB2	0	1	F	1
1	York YJHXCO24BAR-FX	1	1	B	-
1	Ciak CH41C-012-H3H1C C	0	1	D	-
1	E-cold E18POLAR G001	1	1	C	-
1	Comfort Star CTC24CD	1	1	B	-
1	Everwell Mc2423	1	1	D	-
1	Telstar Smart Inverter TAI012110MB	0	1	D	-
1	Air pro	0	0	F	-
1	Comfort Star CCE12CD	0	0	F	0
1	TGM MWFFT24S	0	1	E	-
1	Comfort star Inverter CSC18CDM	1	1	B	1
1	Air pro	0	1	E	-
2	Innovair Oasis WO24C2DB2	0	1	E	1
1	Tropicool TRMEP-18K	0	1	D	-
1	Comfort Star CCE12CD	0	0	F	-
27	Resultados aprobación y moda	18.5 %	74.1 %	E	87.5 %

Tabla 5.10: Evaluación de los aires acondicionados del edificio palacio, anexo y plantel según las normas INTE, ANSI/ASHRAE, NTC 5104 y la Norma Mexicana. *Nomenclatura: 1= Cumple, 0 = No cumple.*

Como resultado se observa en la tabla 5.10 un alto grado de no cumplimiento, con solo un 18.5% de cumplimiento de la norma INTE, un 74.1% de la norma ANSI/ASHRAE y una moda en la norma NTC 5104 de eficiencia nivel E. Por otra parte se debe destacar que los equipos Multisplit del edificio cumplen en su mayoría la Norma mexicana y con la norma ANSI/ASHRAE.

Con estos resultados se puede concluir que la mayoría de los aires acondicionados del edificio Palacio no son eficientes y no cumplen con las normas antes estipuladas, mostrando resultados importantes para afrontar el consumo eléctrico de los aires acondicionados esto con la renovación de los aires acondicionados por equipo de calidad tipo Inverter o Multisplit, que cumplan con las normativas expuestas.

5.3. Conclusiones de la condición energética

5.3.1. Resultados Generales

Como resultado inicial de la tabla 5.2 se puede determinar que las luminarias son utilizadas casi en toda la jornada laboral, representando como primer punto un uso excesivo de la luminarias tomando en cuenta que las jornadas laborales son diurnas y como segundo punto una inadecuada estructuración del edificio Anexo y Palacio que no permiten el uso de la luz natural.

Otro resultado clave extraído de la tabla 5.2 es la cantidad de días laborales en los edificios, ya que por concepto de teletrabajo se tiene que alrededor de 16 días es lo que labora un funcionario por mes en las instalaciones, pero se debe tomar en cuenta que esta situación puede ser temporal por la pandemia del COVID-19 por ende la cantidad de funcionarios en el edificio posiblemente aumentara, aumentando consigo la cuota de consumo eléctrico.

Un resultado positivo de la tabla 5.2 es la poca frecuencia de uso de las impresoras por parte los funcionarios. Representando un beneficio ambiental debido a la disminución del gasto del papel.

Como resultado del inventariado eléctrico, se observo el uso de coffee maker y microondas personales, los cuales podrían aumentar la carga energética ya que son dispositivos externos ha la municipalidad y por ende no cumplen con las recomendaciones sobre el uso de dispositivos industriales para este propósito. Cabe recalcar que los dispositivos de esta índole encontrados en la mayoría de los casos no son industriales (Excepción comedor comunal plantel) y no son eficientes.

Como se pudo observar en la figura 5.1 el sector *Otro* esta conformado por herramientas de corte, equipo de soldadura y otros equipos industriales fue el que tuvo mayor consumo en el edificio Plantel, lo cual fue un resultado esperable y un indicador de que el edificio Plantel cumple su objetivo específico y utiliza los recursos eléctricos en los sectores primordiales.

Para el edificio Anexo se obtuvo como resultado de la figura 5.2 un consumo del 50 % del total por concepto de *Cpu*, este por su parte justificado por los servidores que alberga el mismo.

En el edificio Palacio según la figura 5.3 se obtuvo un consumo de 34 % del total por concepto de *Aires Acondicionados* y un 28 % de *luminarias*, siendo estos indicadores importantes debido a que representan fallas en la correcta iluminación y ventilación del edificio.

En resumen, según el promedio de consumo que mantenía la Municipalidad de Curridabat en el 2019 y 2020 se tiene un aumento del 7.97 % del consumo eléctrico del edificio Anexo, un -11.76 % del Palacio y un 14.44 % del Plantel, cabe destacar que en el año 2020 y 2021 se tienen caídas en el consumo eléctrico debido a la pandemia global.

Capítulo 6

Propuestas de solución energética

En este capítulo se implementa un modelo adaptado de Pahl y Beitz para el diseño de soluciones energéticas de la situación actual de la Municipalidad de Curridabat, también se utilizara la matriz de Pugh como respaldo para calificar las soluciones preliminares.

6.1. Problemática y especificaciones

Dado el estudio y las mediciones realizadas anteriormente en el edificio Palacio, se obtuvo como resultado un alto consumo eléctrico en sectores como la iluminación y aires acondicionados, malos hábitos de uso de equipo eléctrico, equipos ineficientes y problemas relacionados con la estructuración del edificio.

Por ende, con los resultados de la sección 5 se crean los siguientes criterios o especificaciones de mejora:

1. Reducir en al menos 5% el consumo de los aires acondicionados.
2. Reducir en al menos 10% el consumo de las luminarias
3. Implementación en un periodo máximo de 1 año.
4. Inversión máxima de 15 millones de colones.
5. Reducir en al menos 10% el consumo mensual.
6. Mantener la demanda máxima a un tope 28 kWh (Promedio 2020).
7. Disminuir 1.4 kWh/m² el indicador de consumo por metro cuadrado evaluado para el semáforo del CTE. (8.12 kWh/m²)
8. Tiempo de recuperación 5 a 6 años.

Con las especificaciones anteriores se espera lograr un mejor uso de la energía eléctrica, que mejore el indicador de consumo en kWh/m² del Palacio Municipal y disminuya el costo monetario percibido en recibos eléctricos. Cabe destacar que los requerimientos son objetivos supuestos que fueron creados para establecer un criterio de comparación entre las opciones de solución y los mismos no representan una meta obligatoria definida por la Municipalidad de Curridabat.

6.2. Soluciones Preliminares

Para lograr los objetivos se presenta un serie de soluciones donde se observara una descripción general de la solución, el costo estimado, vida útil , tiempo de implementación y potencial de ahorro de la misma.

6.2.1. Solución en comportamiento

Diseño 1

- **Descripción:** Una solución para disminuir el consumo eléctrico es la implementación de un programa de *Buenos hábitos de consumo eléctrico* para generar consciencia en el consumo generado por los funcionarios de la Municipalidad.

Costo: 0 colones

Vida Útil: No aplica.

Tiempo de implementación: 2 a 9 meses.

Potencial de ahorro: Bajo, debido a que depende el cumplimiento de las recomendaciones y no representa un cambio en los dispositivos eléctricos actuales.

6.2.2. Solución en reestructuración y renovación de equipo

Diseño 2

- **Descripción:** Sectorizar las luminarias según un mapa lumínico, que determine los usos de las diferentes zonas de trabajo para lograr la iluminación mínima requerida de las mismas (Ver 5.2.3), también para aire acondicionados generar un correcto aislamiento térmico de puertas y ventanas para evitar infiltraciones de aire caliente, esto se puede realizar con burletes, silicona o masilla en los marcos y para las ventanas con conexión al exterior utilizar vidrios reflectores o filtros solares que disminuyan la radiación solar entrante.

Costo: 4 a 6 millones de colones debido al cambio de cielo-raso, el nuevo sistema eléctrico, el cambio de las bases para luminarias, filtros solares [1] y costos de mano de obra.

Vida Útil: 10 años tomando como base el cielo raso, el sistema eléctrico y los filtros solares.

Tiempo de implementación: 3 meses a 6 meses depende de la disponibilidad de horarios para la construcción.

Potencial de ahorro: Medio, debido a que se basa en cambiar las posiciones de las luminaria, llegando a tener un diseño con menos luminarias que las actuales y la implementación de filtros que eviten aumentar la temperatura en sectores con aire acondicionados.

Diseño 3

- **Descripción:** Renovación de equipos poco eficientes en los sectores de iluminación y aire acondicionado. Primero con la sustitución de bombillos incandescentes por bombillos LED, barras lumínicas T-12 por barras T-8 o menor con balastro electrónico o barras T-8 o menor tipo LED. Segundo para aires acondicionados renovar los equipos ineficientes por dispositivos tipo Split o Multisplit con tecnología Inverter, los cuales tengan un ERR mayor a 12.

Costo: 15 a 20 millones de colones debido al precio de lo aires acondicionados inverter, el cual en promedio es de 65000 colones sin instalación [32] y los cuales se asume que se renovaran alrededor 10 de los 17 existentes en el edificio palacio.

También se incluyen los costos de la renovación de 99 luminarias lineales por LED con un valor promedio de luminaria LED de 9000 colones [29] sin contar bases o difusores. Por ultimo se debe agregar el costo de todas las instalaciones antes mencionada.

Vida Útil: 10 años los aires acondicionados [36] y las luminarias 5 años si se mantuvieran todo el tiempo encendidas [28], pero en las condiciones de uso de la municipalidad de 6 a 8 años.

Tiempo de implementación: 2 a 3 meses dependiendo de la apertura para la instalación.

Potencial de ahorro: Alto, debido a que se utilizara dispositivos de bajo consumo y se atacara los dos sectores de consumo mas importantes.

6.2.3. Soluciones tecnológicas

Diseño 4

- **Descripción:** Implementar un set de paneles fotovoltaicos con interconexión a la red eléctrica que produzcan al menos 850 kWh mensuales.

Costo: 10 a 15 millones de colones se tomo en cuenta la noticia de la [13] donde menciona (Fibrotel ofrece una mini planta solar en configuración distribuida para

uso residencial de menos de 1 millón de colones, la cual consta de un inversor de 1,5 kilovatios de potencia y 6 paneles solares de 300 watts cada uno; esta planta genera un promedio diario de 7 Kilovatios hora y de 200 Kilovatios hora mensuales y garantiza un ahorro promedio de 25 mil colones en su factura mensual).

Vida Útil: 10 años [55].

Tiempo de implementación: 1 a 6 meses debido al proceso en el CNFL

Potencial de ahorro: Alto, con una planta que produzca 850 kWh mensuales se ahorra un 15.5 % del consumo promedio mensual de la Municipalidad.

Diseño 5

- **Descripción:** Implementar luminarias con dimmer que controlen la cantidad de luz emitida por la lampara en función de la luz natural que haya en la zona, además en zonas de paso la implementación de sensores de movimiento con excepción de las zonas con escaleras.

Costo: 13 a 15 millones asumiendo las sustitución de 230 luminarias por luminarias LED dimmeables las cuales en promedio según [5] un set de 4 barras LED con dimmer cuesta 161 mil colones mas costos de instalación y sensores de movimiento.

Vida Útil: 25 años [11].

Tiempo de implementación: 2 a 9 meses dependiendo de la apertura para la instalación.

Potencial de ahorro: Alto, debido a que el ahorro principal esta en la sustitución de las luminarias por LED variables que puedan ajustar según la cantidad de luz solar.

Diseño 6

- **Descripción:** Implementar un sistema de iluminación solar por tubos reflectores, que proyecten la luz del exterior dentro del edificio sin utilizar energía eléctrica, también se necesita la implementación de luces LED de emergencia para días no soleados o en las noches.

Costo: 20 millones a 27 millones se asume la implementación de 60 sistemas de iluminación por tubos reflectores de un valor de 720 dolares cada uno [62], que sustituyan un promedio de 120 barras T8 por energía solar.

Vida Útil: 15 años y 10 años de garantía según [62] .

Tiempo de implementación: 2 a 5 meses dependiendo de la apertura para la instalación.

Potencial de ahorro: Alto, se sustituye gran cantidad de luminarias por iluminación solar, reduciendo directamente el consumo de energía eléctrica.

Diseño 7

- **Descripción:** Implementar un sistema de desconexión y conexión de la energía eléctrica según sectores, para mantener una demanda máxima estipulada y evitar el uso en paralelo de todos los dispositivos.

Costo: 5.5 a 7 millones debido a que según [7] el costo del dispositivo ronda los 300 mil colones mas envíos internacionales, los cuales se necesitan al menos uno por piso. También se debe incluir el costo de la instalación el cual representa el mayor importe monetario.

Vida Útil: 13 años [58].

Tiempo de implementación: 2 a 3 meses.

Potencial de ahorro: Bajo-Medio, ya que el objetivo de esta solución es evitar el uso en paralelo de los dispositivos eléctricos y el ahorro de energía se basa en mantener una carga energética constante.

6.3. Evaluación del soluciones preliminares

Se evaluaron las soluciones con dos Matrices de Pugh, la primera sin pesos asignados 6.1 la cual tiene como diseño actual, la situación actual de la Municipalidad. Para las matrices se utilizaron los criterios o especificaciones 6.1 y los diseños propuestos según su numeración 6.2.1.

<i>Especificaciones</i>	<i>Alternativas de diseño</i>							
	D. Actual	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7
E.1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
E.2	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
E.3	1	1	1	1	1	1	1	1
E.4	1	1	1	-1	1	1	-1	1
E.5	-1	0	-1	0	1	0	1	0
E.6	-1	-1	0	0	0	0	0	1
E.7	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1
E.8	1	1	-1	-1	0	-1	0	1
Total	-2	-1	-3	0	2	0	2	1

Tabla 6.1: Matriz de Pugh: Evaluación de soluciones energéticas sin pesos en las especificaciones. Nomenclatura: E.1=Especificación 1 (ver 6.1) D.1 = Diseño 1 (ver 6.2.1).

Según 6.1 los diseños que tienen mejor calificación son el diseño 6 y el 4. El primero debido a la implementación de luminarias solares las cuales que tienen un costo unitario según [62] de 720 dolares para una luminaria equivalente a 6 bombillos de 100 W junto a el enfoque directo a eliminar luminarias por energía limpia que no consume, reduce la demanda máxima y reduce los indicadores de consumo por área.

Especificaciones	Alternativas de diseño								
	D. Actual	D.1	D.2	D.3	D.4	D.5	D.6	D.7	Ideal
E.1	-10	-10	-10	10	-10	-10	-10	-10	10
E.2	-9	-9	-9	9	-9	9	9	-9	9
E.3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
E.4	20	20	20	-20	20	20	-20	20	20
E.5	-15	0	-15	0	15	0	15	0	15
E.6	-19	-19	0	0	0	0	0	19	19
E.7	-22	-22	-22	-22	22	-22	22	-22	22
E.8	15	15	-15	-15	0	-15	0	15	15
Total	-50	-35	-31	-18	43	2	21	3	115
Total relativo	0	9	12	19	56	32	43	32	100

Tabla 6.2: Matriz de Pugh: Evaluación de soluciones energéticas con pesos en las especificaciones. Nomenclatura: E.1=Especificación 1 (ver 6.1) D.1 = Diseño 1 (ver 6.2.1).

En la tabla 6.2 se aprecia la evaluación con diferentes pesos por especificación, dándole mayor importancia al posicionamiento de la Municipalidad en el control de consumo de la energía PGAI medido en kWh/m², la inversión y la demanda máxima producida la cual esta correlacionada con el importe por electricidad pagado mensualmente. Estos pesos se pueden observar en la columna *Ideal* donde se tiene una calificación perfecta según el total relativo.

Como resultado de la tabla 6.2 se tiene que el diseño 4 es el que tiene mayor puntuación con un 56 de 100, seguido por el Diseño 6 con un 43, el Diseño 7 con un 32 y el diseño 5 con un 32 relativo. Los diseños 4 y 6 tienen un factor en común el cual es la superación del criterio 7 de establecer el consumo en kWh/m² igual al de las instituciones descentralizadas territorialmente el cual para la asignación de pesos fue el que tuvo mayor importancia. Además los diseños con mayor puntuación que requieren menor inversión son, el diseño 7, 5 y 4 los cuales requieren menos de los 15 millones estipulados.

En síntesis, los diseños seleccionados para un mayor análisis fueron uno por categoría con excepción de las soluciones tecnológicas las cuales tuvieron dos diseños seleccionados los cuales fueron el diseño 4 con la implementación de paneles fotovoltaicos y el diseño

6 sobre las luminarias solares. Para las soluciones de reestructuración y renovación de equipo se selecciono el diseño 3 sobre renovación de todos los equipos no eficientes. Por ultimo, como solución de comportamiento se escogió el diseño 1 sobre el manual de buenos hábitos de consumo debido a su facilidad de implementación y ser una solución que puede complementarse con las anteriores estipuladas.

6.4. Soluciones definitivas

En esta sección se detallaran las soluciones elegidas anteriormente y se definirá una ruta de seguimiento para la implementación de la mismas, junto a valoración de resultados y retorno económico.

Para realizar proyecciones de ahorro estimado se utilizo el siguiente grafico 6.1 creado según el histórico de cobros del 2019 al 2020 del edificio Palacio [33] [45].

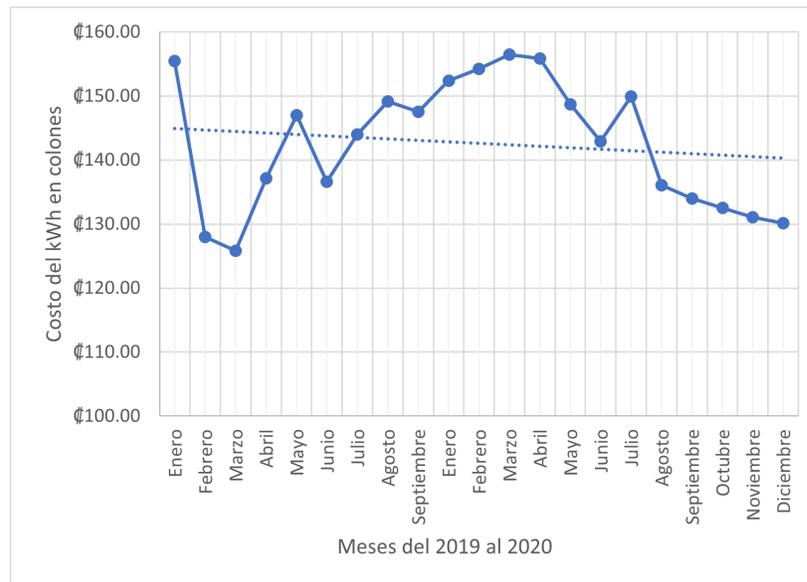


Figura 6.1: Costo del kWh en colones del edificio palacio a lo largo de los meses del 2019 y 2020 según [33] [45].

Según la gráfica 6.1 se estimo un promedio de 142.62 colones el kWh el cual sera utilizado en los siguientes cálculos de requerimientos y retorno monetarios.

6.4.1. Soluciones de comportamiento

En las soluciones de comportamiento el diseño 1 fue elegido como el diseño adecuado, ya que como resultados generales se tiene que dicho diseño provee una solución rápida y de nula inversión para la situación actual de la municipalidad.

Implementación y Diseños

Este diseño requiere de un manual de buenos hábitos de consumo eléctrico el cual contemple hábitos específicos para los equipos disponibles, por ende se realizó el *Manual de buenas prácticas para el uso de los dispositivos eléctricos* (Apéndice A) donde se diseñó un manual con diversas recomendaciones para el uso de aire acondicionado, luminarias y equipos varios. Este mismo documento fue adaptado y caricaturizado por la Municipalidad de Curridabat para una mejor divulgación en el área de trabajo, el cual se puede apreciar en (Anexo B).

Con estos dos pasos concretados, el nivel de impacto se basará en la divulgación que se le da al documento (Anexo B), el cual se puede presentar en diversos sectores de los edificios como un afiche informativo y se puede enviar a todos los funcionarios vía correo electrónico.

Resultados esperados

Los resultados esperados en este diseño son difíciles de estimar debido al factor humano que implica esta solución, pero asumiendo un escenario ideal con 3 supuestos se obtienen los siguientes resultados.

Supuesto	Reducción en (kWh)	Porcentaje de disminución del consumo mensual
Reducir a 6 horas diarias el uso de las luminarias	291.67	5.31 %
Apagar monitores cuando no se usan (Lograr 7 horas y media de uso diario)	21.44	0.39 %
Reducir 20 minutos diarios el uso de aires acondicionados.	223.41	4.06 %

Tabla 6.3: Resultados obtenidos en el edificio Palacio asumiendo supuestos con los datos obtenidos de consumo mensual en 5.

Con el supuesto de la tabla 6.3 se tiene una disminución total del consumo del Palacio de 9.76 %, logrando consigo la especificación 5 de los criterios de mejora y ahorrando 536.52 kW mes.

6.4.2. Soluciones de reestructuración y renovación de equipos

En las soluciones de reestructuración y renovación de equipos se seleccionó el diseño 3 con el puntaje de 46 según 6.2 el cual está basado en una renovación total de equipos eléctricos obsoletos o de poca eficiencia. La renovación está basada en la sección 5.2.3 donde se explicaron las tecnologías eficientes en el ámbito de luminarias y sistemas de aire acondicionado.

Implementación y Diseños

Para esta solución se propone renovar 10 aires acondicionados del edificio palacio, específicamente los de menor evaluación según la tabla 5.10 los cuales poseen una categoría menor a D y no cumplen las normas INTE y ANSI/ASHRAE.

Los sustitutos propuestos deben cumplir las normas de las tablas 5.7 y 5.6 junto a una valoración mayor a C dentro de la norma NTC 5104. Por ende la opción idónea es dispositivos inverter con SEER mayor a 15.

Adicionalmente se propone renovar 99 luminarias no LED del edificio Palacio para utilizar de forma completa iluminación LED. Se debe destacar que 177 luminarias del edificio actualmente funcionan con tecnología LED, por ende la meta es la conversión total.

Resultados esperados

Renovando los 10 aires acondicionados con peor calificación se tiene la siguiente tabla comparativa 6.4 tomando como sustituto equipos Ecold Inverter de 12000 BTU (SEER 17.56), 18000 (SEER 16), 24000 (SEER 15.4) [3].

Cantidad	Aires Acondicionados	Potencia en Watts	Consumo mensual kWh/mes	Sustitutos	Potencia en Watts	Consumo mensual kWh/mes	Reducción kWh/mes
1	Innovair Vortex UV36C2DB1	3718	227.541	Ecold-24 Polar	1920	117.504	110.037
1	Everwell Mc2423	2150	131.580	Ecold-24 Polar	1920	117.504	14.076
1	Sankey ES-12RB1EC	1330	81.396	Ecold-12 Polar	960	58.752	22.644
1	Air pro	2020	123.624	Ecold-18 Polar	1440	88.128	35.496
1	Comfort Star CCE12CD	1300	79.560	Ecold-12 Polar	960	58.752	20.808
1	TGM MWFFT24S	2310	141.372	Ecold-24 Polar	1920	117.504	23.868
1	Air pro	1185	72.522	Ecold-12 Polar	960	58.752	13.770
2	Innovair Oasis WO24C2DB2	2508	306.979	Ecold-24 Polar	1920	117.504	71.971
1	Comfort Star CCE12CD	1300	79.560	Ecold-12 Polar	960	58.752	20.808
Total			1244.134	Total		910.656	333.478

Tabla 6.4: Ahorros estimados sustituyendo aires acondicionados del edificio Palacio por aires acondicionados SEER 15.4 o superior.

Con estas renovaciones la municipalidad reduciría 333.478 kWh mensuales equivalentes al 17.7% en consumo de aires acondicionados. Para luminarias se propone sustituir 99 luminarias no LED por sustitutos LED de [6], en la tabla 6.5 se observan los resultados esperados con esta sustitución.

Cantidad	Luminarias actuales	Potencia en Watts	Consumo mensual kWh/mes	Sustitutos	Potencia en Watts	Consumo mensual kWh/mes	Ahorro mensual kWh/mes
2	Tubo T8 fluorescente Blanca	133.5	17.85429	Led Ilukon T8 6500k	36	9.62928	8.22501
2	T8 Blanca	32	8.56	Led T8 3000k	16	4.27968	4.27968
28	Alto Phillips Blanca	133.5	499.92	Led Ilukon T8 6500k	36	134.80992	365.1102
5	Tubo Fluorescente Amarillo T8	60.16	40.23	Led T8 3000k	16	10.6992	29.529792
10	Phillips Blanca T12	75.2	100.57	Sylvania T8 6500k	18	24.0732	76.49928
1	Bombillo Incandescente Amarillo	75	10.03	Bombillo Led Tecnolite	11	1.47114	8.55936
25	Phillips T12 Blanca	75.2	251.43	Sylvania T8 6500k	18	60.183	191.2482
5	Sylvania T8 Blanca	60.16	40.23	Sylvania T8 6500k	18	12.0366	28.192392
7	T8 Delgados	60.16	56.32	Led t8 3000k	16	14.97888	41.3417088
2	Bombillo redondo Amarilla	75	20.06	Bombillo Led Tecnolite	11	2.94228	17.11872
3	T8 Delgados Blanca	60.16	24.14	Led T8 3000k	16	6.41952	17.7178752
3	Bombillos Fluorescentes Amarillos	23.0	9.23	Bombillo Led Tecnolite	11	4.41342	4.81464
2	Phillips Alto Largos Blanca	141	0.00	Led Ilukon T8 6500k	36	9.62928	-9.62928
1	Largos Phillips Blanca	141	18.86	Led Ilukon T8 6500k	36	4.81464	14.0427
2	T12 Blanca	75.2	20.11	Sylvania T8 6500k	18	4.81464	15.299856
1	Phillips Blanca T8	60.16	8.05	Led T8 3000k	16	2.13984	5.9059584
Total			1125.590612	Total		307.33452	818.2560924

Tabla 6.5: Ahorros estimados sustituyendo luminarias no LED del edificio Palacio por luminarias LED.

Según 6.5 se tiene como resultado un ahorro de 818.25 kWh/mes con esta sustitución, logrando disminuir alrededor de un 54 % el consumo derivado por luminarias. Esto sumado a los ahorros estimados por renovación de aire acondicionados se tiene un ahorro global de **1151.728 kWh/mes** equivalente al 20.96 % del consumo mensual del edificio Palacio.

Requerimientos monetarios y retorno económico

Para la renovación de 10 aires acondicionados se utilizo los precios según [3] para sustitutos marca Ecold los cuales fueron mencionados en 6.4. Estos dispositivos sin instalación tienen un costo de 7 millones de colones y se estima 3 millones en instalación.

Adicionalmente para la renovación de luminarias se utilizo los precios de [6] y los modelos a sustituir son los mencionados en 6.5. Para solo las luminarias se obtiene un total de 800 mil colones al cual se debe agregar 2.5 millones de colones en difusores, interruptores y cableado, mas el costo por instalación el cual ronda los 4 millones de colones ya que se necesita modificar toda la instalación actual para agregar sistemas LED.

La inversión para la sección de luminarias es aproximadamente 7.3 millones de colones y en conjunto con aires acondicionados rondan los 17.3 millones de colones.

Con los datos anteriores de kWh ahorrados y inversión inicial se tiene la siguiente gráfica de retorno de inversión ROI asumiendo un promedio mensual de 142.62 colones el kWh 6.1.

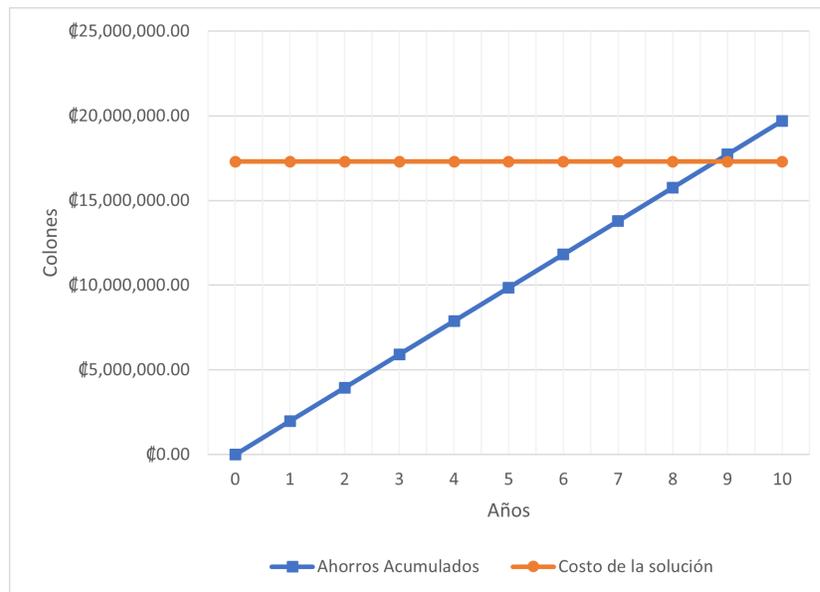


Figura 6.2: Retorno de inversión de la renovación de equipos según vida útil de la solución.

En base a la figura 6.2 y las tarifas previstas, esta inversión se pagaría en 8 años, 9 meses y 10 días, la misma ahorraría 2.4 millones de colones según el tiempo de vida útil de los aires acondicionados. Por ultimo se tiene que la tasa interna de retorno TIR es de 2.45 %.

6.4.3. Soluciones tecnológicas

Para las soluciones tecnológicas se seleccionaron dos diseños basados en energía solar, los cuales fueron el diseño 4 sobre paneles fotovoltaicos y el diseño 6 relacionado con luminarias solares, estos con puntuaciones de 56 y 43 según 6.2 y representando preliminarmente las 2 soluciones mas adecuadas para la Municipalidad.

Implementación y diseños

En el mercado actual la implementación de soluciones fotovoltaicas han acaparado el sector energético el cual antes era pensado como exclusivo, pero actualmente muchas empresas a nivel nacional proporcionan sistemas fotovoltaicos ha bajos costos.

1. Paneles fotovoltaicos

Primero para el diseño 4 es necesario calcular la cantidad de potencia en paneles, necesaria para producir los 850 kWh mensuales estipulados. Antes de mencionar los sistemas requeridos para estas soluciones, es importante conocer la radiación solar que incide en la zona del edificio Palacio Municipal.

Para Curridabat [52] en el periodo (29 Octubre al 12 Noviembre del 2021) (Ver página <https://www.radiacionsolar.es/curridabat.html>) se pronostica según 15 días de radiación 56.7732 kWh/m² y los cuales extrapolados al factor de consumo típico del mes de noviembre de San José, se tiene los siguientes cálculos:

Indicador	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
San José kWh/m ²	164	154	172	179	167	145	151	155	147	147	136	152	1869
Curridabat kWh/m ²											113.5		
Extrapolación kWh/m ²	136.9	128.5	143.5	149.4	139.4	121.0	126.0	129.4	122.7	122.7	113.5	126.9	1559.8

Tabla 6.6: Estimación de la radiación solar global horizontal de Curridabat para el 2021 según [2] y la tabla 3.3.

Obteniendo un aproximado de 1559.8 kWh/m² año y recordando que esta estimación nace porque la radiación no es constante a lo largo de los meses y acorde a los datos de San José por [2] se realiza un estimado de los meses de mayor y menor radiación.

Según [61] y su mapa de irradiación directa normal en Costa Rica 6.3, el sector de Curridabat aproximadamente recibe una irradiación de 1461 kWh/m² por año.

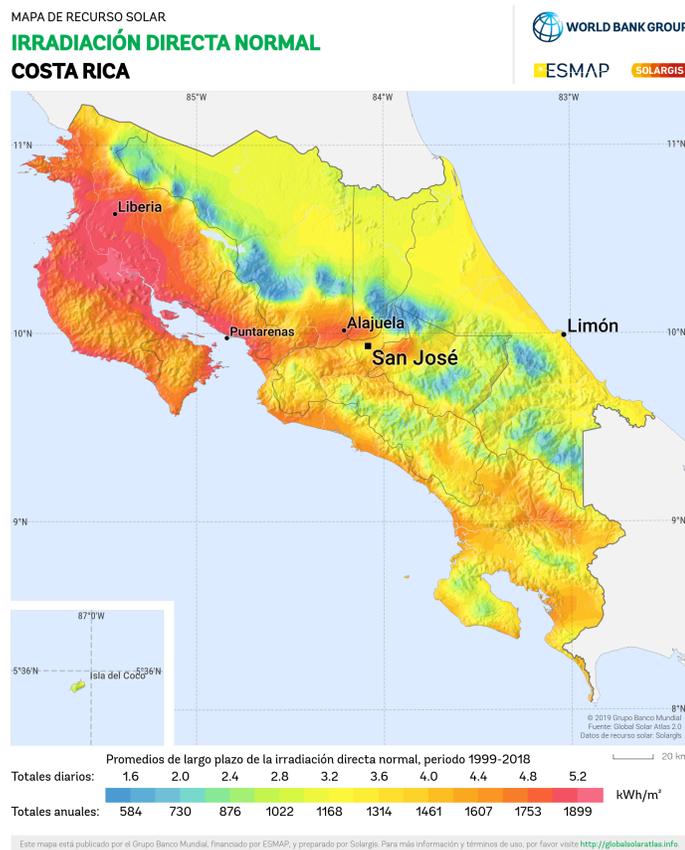


Figura 6.3: Mapa de irradiación directa normal de Costa Rica [61].

Con los datos anuales estimados y asumiendo una relación lineal se tiene que la radiación solar mes promedio de estas dos referencias es de 125.86 kWh/m², por ende para la obtención de los 850 kWh de potencia requerida se estima la potencia total de los paneles como

$$Potencia = \frac{125,86}{850} = 6,75 \quad (6.1)$$

con este dato se tiene que la potencia de la configuración de paneles debe ser de mas de 6750 W. Además esta instalación al producir solo un porcentaje del consumo eléctrico del edificio Palacio, sera un tipo de instalación interconectada a la red con inversor Grid-Tie de como mínimo 7000 W. Como resumen del sistema se tiene:

- Configuración de paneles en paralelo o serie que conformen un total de 6750 W.
- Inversor Grid Tie de 7000 W ha 240 V, 60 Hz.
- Medidor eléctrico de generación
- Tablero de distribución 240 V, 60 Hz.

2. Luminarias Solares

Para el diseño 6 sobre luminarias solares se tiene que el sistema ofrecido a nivel nacional es por parte de SOLATUBE y se basa en un dispositivo 6.4 que refleja la luz exterior y la proyecta dentro del edificio.



Figura 6.4: Luminaria solar por tubos reflectores Modelo 290 DS [62].

Este dispositivo tiene como tamaño estándar 30 cm pero existen accesorios de extensión 6.5.



Figura 6.5: Accesorios de extensión para tubos reflectores Solartube [62].

Según [62] las siguientes opciones de luminarias por tubos reflectores son 6.7.

Modelo	Diámetro (cm)	Superficie Iluminada (m2)	Cant. máxima de iluminación (lumens)	Nivel de iluminación (lux)
160DS	25	16	4000	250
290DS	35	24	8000	333
750DS	53	35	16000	457

Tabla 6.7: Datos técnicos de los modelos de luminaria solar de Solartube [62].

Con los datos de 6.7 y la figura 5.11 se puede concluir que los sistemas ofrecidos pueden proporcionar exigencias visuales moderadas, las cuales son aceptables para el edificio Palacio el cual es un edificio administrativo. Por ende como diseño se plantea implementar 60 luminarias modelo 290 DS con capacidad de iluminación de 1440 m2 totales en el piso 4 y 3 del edificio palacio.

Un factor importante de esta solución es la comparación contra la tecnología T8 de luminarias fluorescentes lineales la cuales según [34] un dispositivo T8 de 58 W proporciona entre 4350 ha 4600 lumen, por ende una luminaria solar 290 DS sustituirían alrededor 2 T8 de alta potencia o una T12.

Resultados esperados

1. Paneles fotovoltaicos

Para el sistema fotovoltaico, asumiendo la adquisición de la planta solar Grid Tie 7700 Watts (Ver figura 6.6) ofrecida por la compañía Fibrotel S.A [31].

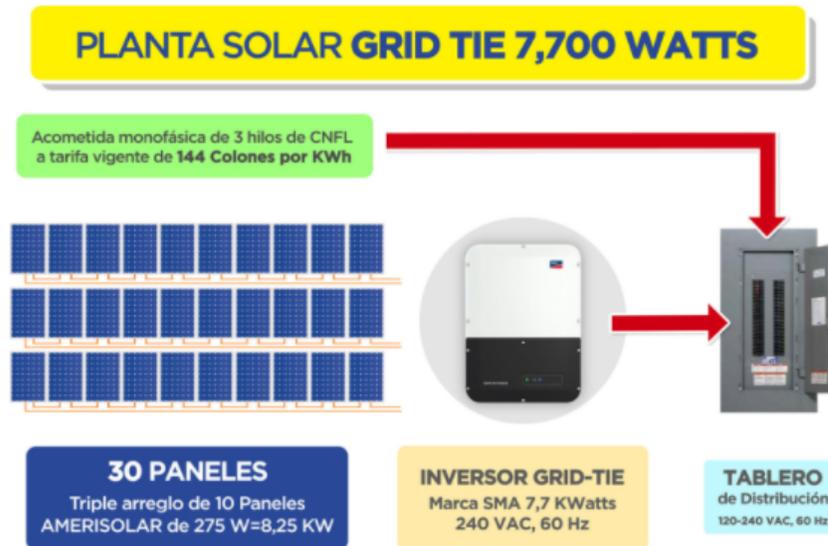


Figura 6.6: Planta solar interconectada a la red proporcionada por Fibrotel [31].

Se obtiene en base a los 125.86 kWh/m² de radiación mensual y los 8.25 kW de configuración de los paneles, un valor máximo de 1038.345 kWh mensuales pero al tener este sistema un inversor de solo 7.7 kW se asume dicho valor como máximo y se obtiene una producción de 969.122 kWh mensuales.

Con el ahorro de **969.122 kWh** mensuales se logra cumplir con las especificaciones 5, 6 y 7 (Sección 6.1) y reduciendo en un 17.6 % el consumo del edificio Palacio.

2. Luminarias Solares

Asumiendo la instalación de 60 luminarias 290 DS y sustituyendo la luminarias documentadas en *Consumo e inventarios eléctricos de los edificios Anexo, Plantel y Palacio de la Municipalidad de Curridabat* se tiene las siguiente tabla de resultados:

Sistema Convertido	Cantidad	Equivalente en 290 DS	Consumo mensual kWh / mes
Alto Phillips T12	28	28	499.920
Tubo T8 Blanca largos	2	2	17.854
Sylvania T8 Blanca	5	3	40.228
T8 Amarillo	5	3	40.228
Phillips T12	24	24	241.373
Total	64	60	839.603

Tabla 6.8: Tabla de ahorros estimados según sistema convertido del Palacio Municipal.

Según 6.8 se tiene un ahorro de **839.603 kWh** lo equivalente ha 15.3% del consumo estimado del Palacio Municipal. Logrando las especificaciones 2, 3, 5, 6 y 7 de la sección 6.1.

Requerimientos monetarios y retorno económico

1. Paneles fotovoltaicos

Utilizando la planta solar Grid tie 7700 W y extrapolando el precio según la noticia [13] sobre el precio de Fibrotel para una planta de 200 kW mensuales con 6 paneles, se estima un valor de 5 millones de colones para el sistema sin inversor incluido mas instalación, inversor y estudio previo se estima 6 millones de colones extra, dándonos como resultado 11 millones de colones como inversión.

Con los datos anteriores de kWh ahorrados y inversión inicial se tiene la siguiente gráfica de retorno de inversión ROI asumiendo un promedio mensual de 142.62 colones el kWh

6.1.

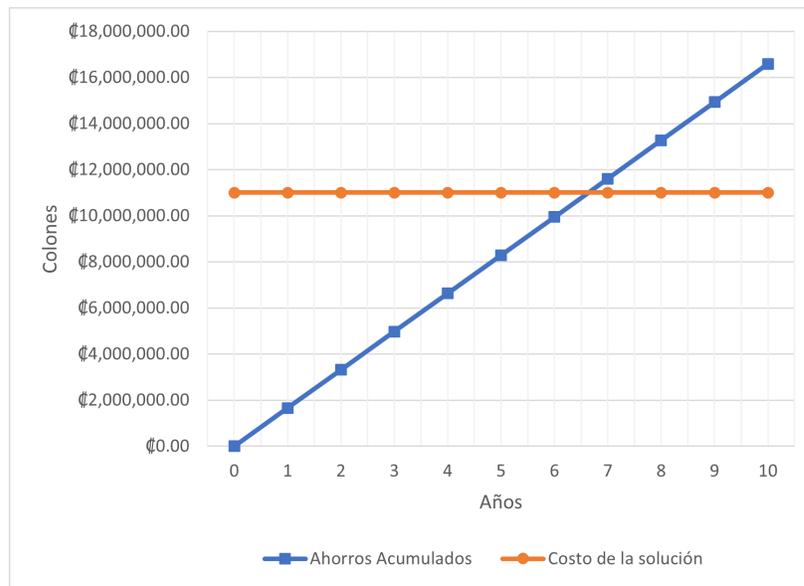


Figura 6.7: Retorno de inversión de sistema fotovoltaico según vida útil de la solución.

En base a la figura 6.7 y las tarifas previstas, esta inversión se pagaría en 6 años, 7 meses y 17 días, la misma ahorraría 5.6 millones de colones según el tiempo de vida útil de los paneles. Por último se tiene que la tasa interna de retorno TIR es de 8.260 %.

2. Luminarias Solares

El costo de las luminarias 290 DS según [62] es de 720 dolares la unidad. Tomando en cuenta las 60 requeridas se tiene un precio de 43200 dolares (26.8 millones de colones), este precio puede variar ya que los 720 dolares incluyen instalación y al realizar la instalación de 60 a la vez se pueden reducir los costos relacionados.

Con los datos anteriores de kWh ahorrados y inversión inicial se tiene la siguiente gráfica de retorno de inversión ROI asumiendo un promedio mensual de 142.62 colones el kWh 6.1.

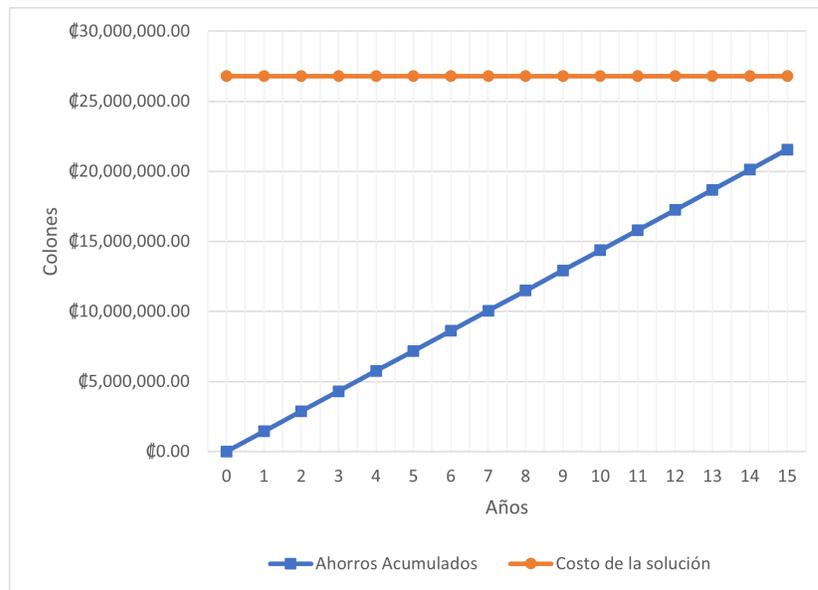


Figura 6.8: Retorno de inversión de las luminarias solares según vida útil de la solución.

En base a la figura 6.8 y las tarifas previstas, esta inversión se pagaría en 18 años, 7 meses y 24 días y la misma no lograría ahorros durante toda su vida útil recomendada. Por último se tiene que la tasa interna de retorno TIR es de -2.6 %.

Notas Monetarias

Como nota general para la sección económica se tiene que todos los cálculos presentados acá son aproximados y representan una guía ya que los costos finales dependerán de la infraestructura exacta del edificio, estudios de instalación y oferta real de los proveedores, ya que lo proporcionado en este trabajo es realizado con fuentes web y contactos ha proveedores que están sujetas al espacio temporal de Noviembre del 2021.

6.4.4. Resultado general

Como resultado general de los cuatro diseños analizados se tiene como mejor solución el diseño 4 basado en el sistema de paneles fotovoltaicos. Esto debido ha ser el diseño que genera mas ahorros monetarios y el cual posee una mayor tasa de retorno de la inversión, cumpliendo con 6 de los 8 criterios especificados en 6.1.

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

En esta sección se presentaran los resultados finales del proyecto, los objetivos logrados y las principales conclusiones del mismo. Debido a la cantidad de resultados y procesos realizados en este proyecto, se enumeraron las conclusiones según logros específicos obtenidos y conclusiones generales. Además se agrego una sección con recomendaciones para el seguimiento de lo realizado en este proyecto.

7.1. Conclusiones

Se logro completar el documento con el inventariado eléctrico de los edificios Palacio, Anexo y Plantel estipulados por el DIGECA, junto a un inventariado de consumos eléctricos exhaustivos del edificio Palacio.

Se logro establecer la situación energética actual de la municipalidad de Curridabat la cual concluyo en un aumento del 7.97 % del consumo eléctrico del edificio Anexo, un aumento del 14.44 % en el edificio Plantel y una disminución del 11.76 % del edificio Palacio, todos en base al promedio de consumo del 2019 y el 2020.

En el edificio Palacio se obtuvo que el consumo por aire acondicionado y luminarias son los que poseen mayor impacto en el consumo eléctrico total y aunque los resultados generales del palacio reflejen una reducción de un 11.76 % en el consumo promedio estimado, se sabe que la situación podría ser temporal por la pandemia de COVID 19 y porque se planea adquirir un nuevo ascensor ya que el anterior dejo de funcionar a principio de año y no se incluyo en los cálculos.

Se establecieron soluciones energéticas de gran impacto en la situación eléctrica actual del edificio Palacio, las cuales fueron recopiladas en el documento de plan de medidas energéticas.

Se realizo un manual de buenas practicas en el uso de los dispositivos eléctricos, el cual recopilo medidas de comportamiento de fácil implementación que potencialmente pueden disminuir hasta un 9.76 % el consumo del Palacio.

Finalmente, como mejor solución energética se obtuvo el diseño 4 sobre paneles fotovoltaicos, los cuales ahorrarían 5.6 millones de colones en facturación eléctrica del edificio Palacio.

En síntesis, se logro elaborar el estudio energético de los edificios de la municipalidad de Curridabat desde el proceso de medición, análisis y situación energética actual. Adicionalmente se crearon los diseños de soluciones energéticas para el edificio Palacio.

7.2. Recomendaciones

Establecer un nuevo proyecto que de continuidad al diseño del sistema de paneles fotovoltaicos explicado preliminarmente acá.

Realizar el inventariado eléctrico definido en este proyecto al menos cada 2 años, con el objetivo de implementar estos esfuerzos en el PGAI de la municipalidad.

Utilizar los medidores Steren HER-42 utilizados en el proyecto para el monitoreo de dispositivos municipales, ya que si se configura el dispositivo en modo 7 se apreciara el costo monetario del uso de los mismos, ayudando ha generar conciencia del gasto económico que representa los malos hábitos de uso.

Se recomienda implementar una mezcla de soluciones ya que la sustitución de equipos, la implementación de las luminarias solares y los cambios en los hábitos de consumo representan en combinatoria una solución con un mayor alcance en reducción y uso eficiente.

Para la compra del nuevo ascensor mencionado anteriormente, se recomienda basar la compra en la eficiencia energética del mismo y la futura interconexión al sistema eléctrico actual.

Bibliografía

- [1] 3M. (2021). «Película para Ventanas 3M,» dirección: https://www.3m.co.cr/3M/es_CR/p/d/v100036153/.
- [2] Abarzúa, «Guía práctica para las instalaciones fotovoltaicas en Costa Rica: Energías Renovables y Eficiencia Energética en Centroamérica,» 2013. dirección: https://www.sica.int/documentos/guia-practica-para-las-instalaciones-fotovoltaicas-en-costa-rica_1_96983.html.
- [3] Aires LG. (2021). «Precios de aire acondicionado mini split inverter,» dirección: <https://www.aireslg.com/producto-categoria/precios-de-aire-acondicionados-costa-rica/>.
- [4] E. A. Alfaro, *Estimación. Estadística General 2*, Universidad de Costa Rica, 2021.
- [5] Almacén Mauro Costa Rica. (18 de oct. de 2021). «PANEL LED LEVITON 2x4 52W 5000K DIMMABLE UL,» dirección: <https://www.mauroenlinea.com/producto/panel-led-leviton-052-sky24-47d-2x4-52w-5000k-57201m-dimmable-ul-sku21-2033-leviton/>.
- [6] —, (2021). «Precios Luminarias LED,» dirección: https://www.mauroenlinea.com/page/1/?s=led+t&post_type=product&dgwt_wcas=1.
- [7] Amazon. (2021). «Circuitor mdc-4 - Sistema control maxima demanda,» dirección: <https://www.amazon.es/Circuitor-mdc-4-Sistema-control-demanda/dp/B01NC19G07>.
- [8] ANSI/ASHRAE, *Ashrae Handbook: 2000 HVAC Systems and equipment*, 2000.
- [9] Aresep, *Aresep Electricidad*. dirección: <https://aresep.go.cr/electricidad>.
- [10] R. G. K. Astorga, *Diagnóstico de consumo electro-energético en organizaciones*. DIGECA, 2020.
- [11] Autosolar. (2021). «¿Qué vida útil tiene un panel solar? — Blog Solar,» dirección: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/vida-util-de-los-paneles-solares>.
- [12] O. Bermudez, *Plantilla general para Inventario Consumos Eléctricos*, 2016.

- [13] B. Carrillo, *La energía solar en Costa Rica es y será la más barata de todas: Ricardo Trujillo, Gerente, Fibrotel*, 2021. dirección: <https://www.larepublica.net/noticia/la-energia-solar-en-costa-rica-es-y-sera-la-mas-barata-de-todas-ricardo-trujillo-gerente-fibrotel>.
- [14] CELMA. (2009). «Guide for the application of the commission regulation (EC) No. 245/2009 on Tertiary lighting sector products.»
- [15] CENCE, *Generación y Demanda; Informe Mensual de Junio 2021*. Instituto Costarricense de Electricidad, 2021.
- [16] J. Chaur Bernal, *Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
- [17] J. Chaves, *Análisis Estadístico de Cuestionario Hábitos de consumo eléctrico de los funcionarios de la Municipalidad de Curridabat (Archivo de Excel)*. 2021. dirección: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1C05-msSuJThRlZSQGZ1VJI1y0ev-MCeX/edit?usp=sharing&oid=106746544839779808126&rtpof=true&sd=true>.
- [18] —, *Manual de buenas practicas para el uso de los dispositivos eléctricos*. 2021. dirección: <https://docs.google.com/document/d/1ZrP6JzJSL3idjGYOHR5KwtwVFJXpPU3D/edit?usp=sharing&oid=106746544839779808126&rtpof=true&sd=true>.
- [19] —, *Selección y Medición exhaustiva de dispositivos eléctricos del Palacio de la Municipalidad de Curridabat (Archivo de Excel)*. 2021. dirección: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1z6cR9gvoZW7RcXq7UcW3-HZfPU_ilGcd/edit?usp=sharing&oid=106746544839779808126&rtpof=true&sd=true.
- [20] Circutor. (1 de jul. de 2014). «Cómo evitar penalizaciones por máxima demanda,» dirección: <http://circutor.es/es/documentacion-es/articulos/972-como-evitar-penalizaciones-por-maxima-demanda>.
- [21] CNFL. (5 de oct. de 2021). «Generación Distribuida: Preguntas frecuentes,» dirección: <https://www.cnfl.go.cr/otros-servicios-os/generacion-distribuida-os#documentos>.
- [22] —, (4 de oct. de 2021). «Tarifa Comercios y Servicios T-CO,» dirección: <https://www.cnfl.go.cr/servicios-electricos-para-inmuebles/tarifas-vigentes/tarifa-comercios-y-servicios-t-co>.
- [23] —, *Guía de Eficiencia Energética para Oficinas*. Departamento de Eficiencia Energética de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.
- [24] N. Cross, *Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos*. Limusa Wiley, 1999.
- [25] Cruz, Presiga-Lucena y Rodriguez-Cortes, «Medición de la Eficiencia del Método Datum para seleccionar Tecnologías Biomédicas,» 2009. dirección: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v11n5/v11n5a09.pdf>.

- [26] DIGECA, «Informe anual sobre los programas de gestión ambiental institucionales 2020,» 2020. dirección: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/informe_anual_2020_pgai.pdf.
- [27] —, «PGAI (Decreto Ejecutivo No. 36499) Nivel de implementación del PGAI según institución pública,» oct. de 2021. dirección: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/semaforo_actualizado_5-10-2021.pdf.
- [28] Endesa. (26 de jul. de 2021). «Bombillas Led duración y ahorro,» dirección: <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funciona-cuanto-duran-led>.
- [29] EPA. (2021). «Tubos LED y fluorescentes,» dirección: <https://cr.epaenlinea.com/tubos-led-y-fluorescentes.html>.
- [30] S. Escoda, *Manual de ventilación*, 2000.
- [31] Fibrotel. (2021). «Plantas Solares Interconectadas a la Red – Fibrotel S.A.» inglés, dirección: <http://www.fibrotel.cr/plantas-solares-conectadas-a-la-red-grid-tie/>.
- [32] GOLLO. (2021). «TCL Aire Acondicionado WIFI / TAC24CSAXA82 / 24000 BTU,» dirección: <https://www.gollotienda.com/tcl-aire-acondicionado-wifi-tac24csaxa82-24000-btu>.
- [33] D. Guitiérrez, *PGAI - Control de consumo de energía eléctrica*. Municipalidad de Curridabat, 2020.
- [34] ILUMOR. (27 de oct. de 2019). «Equivalencia Lumen a Vatios tubos fluorescentes,» dirección: <https://llumor.es/info-led/equivalencia-lumen-a-vatios-tubos-fluorescentes/?v=3a52f3c22ed6>.
- [35] International Energy Agency (IEA). (2006). «Light's Labour's lost policies for energy-efficient lighting.»
- [36] IRTESC. (14 de sep. de 2021). «¿Cuándo debo de cambiar mi aire acondicionado?» Dirección: <https://irtesc.es/antiguedad-aparato-de-aire-acondicionado/#:%7E:text=Por%20lo%20general%20la%20vida,un%20consumo%20de%20energ%C3%ADa%20elevado..>
- [37] Jensen y Andreasen. (2010). «DESIGN METHODS IN PRACTICE - BEYOND THE 'SYSTEMATIC APPROACH' OF PAHL BEITZ.» inglés, dirección: <https://www.designsociety.org/publication/29347/DESIGN+METHODS+IN+PRACTICE+-+BEYOND+THE+%27SYSTEMATIC+APPROACH%27+OF+PAHL+%26+BEITZ>.
- [38] JOSFEL. (1994). «Manual de iluminación.»
- [39] MIDEPLAN, *Sector Público Costarricense y su organización*. Unidad de Estudios Especiales Sector Público Costarricense y su organización, 2010.
- [40] MINAE, *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030*, 1ed. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, 2015.

- [41] MINAET y Embajada Británica. (2011). «Guía practica para la eficiencia energética en el sector publico costarricense,» dirección: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_de_energia_0.pdf.
- [42] MINAET y Ministerio de salud, «Guía para la elaboración de Programas de Gestión Ambiental Institucional (PGAI) en el sector público de Costa Rica,» 2011. dirección: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/guia_elaboracion_programas_gestion_ambiental_institucional.pdf.
- [43] Minitab, *Elementos básicos de un diagrama de Pareto*, 2019. dirección: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/supporting-topics/pareto-chart-basics/>.
- [44] E. Miranda, F. Palacín, M. Sánchez, M. Márquez, A. Chía, A. Navas y C. Franco, *Inferencia estadística*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2009.
- [45] Municipalidad de Curridabat, *PGAI - Control de consumo de energía eléctrica*. Municipalidad de Curridabat, 2019.
- [46] —, *Manual de buenas practicas para el uso de los dispositivos eléctricos*. 2021. dirección: https://drive.google.com/file/d/1HBAAv_vFu1_dx0aNYz3TehTt5zqEHCEs/view?usp=sharing.
- [47] NIST, *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*. 2008. dirección: <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>.
- [48] NTC, *NTC-5104 Normas de eficiencia energética y ensayo de equipos*, 2002.
- [49] C. A. Orozco, *Ahorro de energía y eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado y refrigeración*, 2004. dirección: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4844923.pdf>.
- [50] Pce-Instruments, *Wattmetro*. dirección: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/watimetro-kat_155770.htm.
- [51] U. POTOSINOS, «Energía solar fotovoltaica,» *Siguenos:@ revupotosinos Universitarios Potosinos*, vol. 25, 2019.
- [52] RadiacionSolar. (2021). «Energía solar en Curridabat (Costa Rica) - Radiación solar 15 días,» dirección: <https://www.radiacionsolar.es/curridabat.html>.
- [53] J. Rangel, *Análisis de la eficiencia energética en los edificios de mecánica e industria de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.
- [54] Resurtidora de aire y calefacción. (2020). «¿Cuál es la diferencia entre EER y SEER en aire acondicionado?» Dirección: <https://blog.resurtidora.mx/diferencias-eer-seer-aire-acondicionado>.

- [55] Roca. (2019). «Científicos del MIT acaban con el mantra de la vida útil de los paneles solares: los módulos con una duración de 10 años pueden ser económicamente viables,» dirección: <https://elperiodicodelaenergia.com/cientificos-del-mit-acaban-con-el-mantra-de-la-vida-util-de-los-paneles-solares-los-modulos-con-una-duracion-de-10-anos-pueden-ser-economicamente-viables/>.
- [56] E. Saavedra, F. J. Rey y J. Luyo, «Sistemas de Iluminación, situación actual y perspectivas,» *TECNIA*, pág. 44, dic. de 2016. dirección: <http://www.revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnica/article/view/57>.
- [57] P. a. b. l. o. San Juan. (2018). «Energía Solar: Que es un inversor On-grid o Grid-tie?» Dirección: <https://www.suriaenergy.com/energia-solar-que-es-un-inversor-ongrid-o-gridtie>.
- [58] Schneider Electric. (2021). «¿Cuál es la vida útil de la oferta de interruptores Compact NSX-DC?» Dirección: <https://www.se.com/co/es/faqs/FA336509/>.
- [59] R. . Sejzer. (28 de oct. de 2021). «La Matriz de Pugh para la toma de decisiones,» dirección: <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>.
- [60] J. Serrano, *Manual de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial 1*, 2013.
- [61] Solargis y The World Bank. (2020). «Solar resource maps of Costa Rica: Global Solar Atlas 2.0.» inglés, dirección: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/costa-rica>.
- [62] SolartubeCR. (2021). «Información general Iluminación Natural SOLATUBE [Correo Electrónico].»
- [63] A. Stephen, *Sustainable development handbook*, 2007.
- [64] Steren, *Manual de instrucciones Wattmetro Steren Her-42*). dirección: <https://descargas.steren.com.mx/HER-432-instr.pdf>.

Palacio

Municipalidad de Curridabat
Inventario de Consumo Eléctrico
Hoja de inventariado para Luminarias

Encargado: Johan Chaves Zamora

Fecha: 18/09/2021

Numero de Hoja: #14

Cant	Tipo de luminaria y condición	Ubicación	Estado	Dimensiones	Potencia en placa	Limpieza	Sistema de ahorro
2	Tubo fluorescente	P1	13 IM	1 metro		Bien	
32	led T8 18W	P1		-	18W	Bien	
22	led T8 LED	"		-	18W	Bien	
9	led T8	"	38 IM	70cm	32W	"	
15	Emergency Sylvio	"			3.5W	Bien	
2	CP Belartia	"				"	
32	Marca Alto Phillia	"		1 metro	75W		
5	Arco de Belartia	"					
10	Phillia I	"		1 metro	40W		
1	Bombillo Incand	"			75W		
7	Luces Rueda Incand	"					
10	Bombillo rodando Blanca			4	5W	30W	
8	Halo T8				18W		
4	Phillips T5 alto						
25	Phillips T5-T12				40W		
5	T8 Sylvio				32W		
7	Fluorescente blanco	1/2 x	T2		15W		
7	T8 delgado				32W		
2	Bombillo Amarillo				75W		

tas: 4 Phillipr Alto Mayor

3 T8 delgado 32W

3 fluorescente amarillo 23W

Palacio

Municipalidad de Curridabat
Inventario de Consumo Eléctrico
Hoja de inventariado para otros equipos

Encargado: Johan Chaves Zamora

Fecha: 18/08/2021

Numero de Hoja: #1

Cant	Descripción	Ubicación	Estado	Antigüedad	Potencia en placa	Sistema de ahorro	Place
x 57	Monitor Hp E233	P1	USO	2019	15.64W	Si	703
1	Grandstream Gxp2140	P1	USO	—	12W 12-150mA	No	437
x 39	CPU HP Mx1949 ^{next} INL-H	P1	USO		2.3A	Equilibrio	701
1	Yeti Refrigerador	"	"	—		NO	
1	Refrigerador X5110F	"	"	—	110V/4A	NO	
7	Leiko WTA	"	DESUSO	—	120V/3A	No	360
1	Cafe Maker CN 50101	"	USO	—	1330W	NO	
x 12	Leiko WTA	"	USO	—	120V/4A	NO	300
2	Monitor AOC P2370J	"	USO	2015	120V-1.5A		460
1	CPU Thinkcentre SL10F2562	"	"	"	400W/2.7A		540
2	Impresora EPSON M188A	"	"	"	1.4W		910
131	Reloj de pulsera DR-120TM	"	"	"	120V/0.2A		570
1	Contador V7-200	"	"	viejo	120V/500A		570
1	Bill Counter	"	"	viejo	≤90W		—
4	Imp. Hp Laserjet E52545	"	"	—	3.3W	No	—
3	Ventilador Pared Leiko	P1	"	—	79W	NO	✓
6	Detonador	P1	"	—	8V/3A	NO	
40	Grandstream Gxp1405	"	"		5V/400mA	NO	
5	HP scorjet 7500	"	"		3.00W	NO	

Notas: Equipo electrónico en desuso 15 PowerBois
4 Monitores, 3 CPU, 1 ventiladores

Municipalidad de Curridabat
 Inventario de Consumo Eléctrico
 Hoja de inventariado para Aire Acondicionados
 Encargado: Johan Chaves Zamora

Fecha: _____

Numero de Hoja: #11

Cant	Descripción	# placa activo	Ubicación	Estado	BTU	Potencia en placa	Control estatico o remoto	Termostato programable	Sistema	Puerta de acceso
1	Invoir Vortex	5425	P1 Izq	USO			Remoto	Si	SPLIT	Sellada
1	Sony	00041	P1 Izq	11	12000	1300W	11	Si	SPLIT	11
1	Falstar		A1 Izq	USO	11		11	Si	SPLIT	11
4	Invoir Oasis	3164	Pontal			1200W	11	Si	SPLIT	11
1	Carrier A-ico-das	42LF	Oeste 1		18000		11	11	Tsplit	Norma
1	Invoir Oasis		A2 Izq	11		1200W				11
1	Invoir	4673								
1	TBM	4673								
2	Invoir Oasis	4640	Reg			2400W	11			
1	York					12000				15/5
1	CIAR CH1					12000				
1	E-cold									
1	Confort Sto	CTC94CD								
1	Iverwell									

Notas: 1) 1700W
 los otros acondicionador medidos el 1er dia elobor anagador todos

En el A1 Izq, la puerta no funciona debidamente y se mantiene abierta.
 1 AIR RRS 18000 2020W

A.1.3. Cuestionario: Hábitos de consumo eléctrico de los funcionarios de la Municipalidad de Curridabat

Encuesta: Hábitos de consumo eléctrico de los funcionarios de la Municipalidad de Curridabat

El objetivo de esta encuesta es obtener el tiempo promedio de uso de los dispositivos eléctricos y los hábitos de consumo eléctrico, para establecer el inventariado eléctrico propuesto por Programa de Gestión Ambiental Institucional.

andres12631318@gmail.com [Switch account](#)

* Required

Email *

Your email

Next

Page 1 of 6

Clear form

Las preguntas utilizadas para el cuestionario *Hábitos de consumo eléctrico de los funcionarios de la municipalidad de curridabat* fueron:

- ¿Cuál es su horario de trabajo? Eje: 8:00 am-4:00 pm; 5 días
- ¿Realiza usted teletrabajo?
- ¿Cuántos días trabaja en los edificios de la municipalidad?
- ¿ En cuál edificio trabaja normalmente?
- Dentro de su horario y área de trabajo ¿Cuántas horas diarias permanece el aire acondicionado o bien los ventiladores encendidos?
- ¿A qué temperatura suele programar el termostato del aire acondicionado? Ej: 24 grados
- ¿Abre las ventanas y puertas con el aire acondicionado funcionando?
- ¿Utiliza los microondas que están en los comedores comunales?
- ¿Utiliza los Coffee makers que están en los comedores comunales?
- ¿Utiliza los refrigeradores que están en los comedores comunales?

- ¿Con que frecuencia utiliza el Coffee Maker? (diaria)
- ¿Con que frecuencia utiliza el Microondas? (diaria)
- ¿Utiliza equipo de cocina propio?
- Dentro de su horario y área de trabajo: ¿Cuántas horas diarias permanece encendido la computadora de escritorio? o si usa computadora portátil, ¿Cuánto tiempo permanece conectada al toma corriente?
- Dentro de su horario y área de trabajo: ¿Cuántas veces al día utiliza las impresoras?
- ¿Desenchufa aparatos eléctricos cuando no los utiliza o al terminar la jornada laboral?
- ¿Cuántas veces carga su teléfono celular en su horario de trabajo?
- Dentro de su horario y área de trabajo ¿Cuántas horas diarias permanecen las luces encendidas?
- ¿Qué opina sobre la ubicación y cantidad de luminarias en su área de trabajo?

Para mas información ver archivo <https://forms.gle/y1gc1zCRqKnuMuPd8> con el cuestionario realizado.

A.2. Información sobre la Municipalidad

A.2.1. Descripción de la Municipalidad de Curridabat

La municipalidad de Curridabat es uno de los 20 centros municipales de la provincia de San José, ubicada en la Vía Calle 093, San José, Curridabat. Donde es dirigida por el alcalde Lic. Jimmy Cruz Jiménez.

Este centro municipal dentro de sus activos posee 10 edificios municipales, de los cuales destacan como los más importantes el edificio o palacio Municipal, el edificio Anexo y el plantel siendo los primeros dos los edificios más antiguos de la municipalidad y los seleccionados para el proyecto de eficiencia junto al edificio del plantel. Los cuales en total laboran 322 empleados.

A.2.2. Descripción de la Comisión Energética

La comisión energética es un departamento temporal creado por el Jefe de Voluntariado y responsabilidad social el Lic. Julio Román Jiménez específicamente para el proyecto de eficiencia energética, cuya encargada y colaboradora es la funcionaria Br. Debbie Gutiérrez Mora la cual tiene funciones dentro de la municipalidad en la gestión de residuos sólidos y ambiente.

A.3. Documentación Generada

Debido a que la documentación generada presenta cálculos y fue realizada por hojas de calculo de Excel, se presenta la portada de los documentos y un link de acceso publico para ver los cálculos realizados a mayor detalle.

Comisión de ahorro energetico Municipalidad de Curridabat	
<i>Consumo e Inventario eléctricos de los edificios Anexo, Plantel y Palacio de la Municipalidad de Curridabat</i>	
Proyecto:	Análisis de la eficiencia energética en los edificios administrativos de la Municipalidad de Curridabat
Autor:	Johan Chaves Zamora
Descripción: Este archivo contiene información energética detallada de los dispositivos eléctricos presentes en los edificios Plantel, Palacio y Anexo de la Municipalidad de Curridabat. Además se tiene análisis de Pareto para la selección de un sector de consumo relevante del palacio Municipal con el fin de obtener datos detallados de consumo eléctrico.	
Descripción de las Hojas:	
Aire Acondicionado: Hoja con el inventario eléctrico de los Aires Acondicionados del Anexo, Plantel y Palacio.	
Otros Equipos Anexo: Hoja con el inventario eléctrico de los dispositivos del Anexo.	
Otros Equipos Palacio: Hoja con el inventario eléctrico de los dispositivos del Palacio.	
Otros Equipos Plantel: Hoja con el inventario eléctrico de los dispositivos del Plantel.	
Luminarias Anexo: Hoja con el inventario de luminarias del Anexo.	
Luminarias Palacio: Hoja con el inventario de luminarias del Palacio.	
Luminarias Plantel: Hoja con el inventario de luminarias del Plantel.	
HA-Anexo: Hoja con todos los dispositivos eléctricos del edificio Anexo junto al consumo eléctrico diario y mensual del mismo.	
HA-Palacio: Hoja con todos los dispositivos eléctricos del edificio Palacio junto al consumo eléctrico diario y mensual del mismo.	
HA-Plantel: Hoja con todos los dispositivos eléctricos del edificio Plantel junto al consumo eléctrico diario y mensual del mismo.	
Gráficos resumen: Hoja con el resumen gráfico de las hojas acumuladas de los edificios.	
Nomenclatura General:	
P1: Piso 1	SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio
P2: Piso 2	EER: Energy efficiency ratio
BTU: British thermal unit	

Para obtener acceso al archivo de Excel y verificar los cálculos (Ver [19]).

Comisión de ahorro energético Municipalidad de Curridabat	
<i>Análisis Estadístico de Cuestionario Hábitos de consumo eléctrico de los funcionarios de la Municipalidad de Curridabat</i>	
Proyecto:	Análisis de la eficiencia energética en los edificios administrativos de la Municipalidad de Curridabat
Autor:	Johan Chaves Zamora
Descripción: Este archivo contiene las inferencias estadísticas recopiladas del cuestionario realizado a los funcionarios de la Municipalidad de Curridabat en Septiembre del 2021, el objetivo de esta es recopilar datos estimados de uso de dispositivos eléctricos con el fin de completar el Inventariado de dispositivos eléctricos propuesto por el PGAI y establecer las fases iniciales del proyecto.	
Nomenclatura: N= Población total de estudio n= Muestra FC= Factor de Corrección por finitud IC= Intervalo de Confianza Prom= Promedio Muestral Desv. Est = Desviación estándar Muestral T= Distribución T student	

Para obtener acceso al archivo de Excel y verificar los cálculos (Ver [17]).

Municipalidad de Curridabat
Comisión de Ahorro energético
Programa de Voluntariado y Responsabilidad Social
Autor: Johan Chaves Zamora
Proyecto: Análisis de la eficiencia energética en los edificios administrativos de la Municipalidad de Curridabat.
Manual de buenas prácticas para el uso de los dispositivos eléctricos

Para obtener acceso al archivo (Ver [18]).

Apéndice y Anexos B

Anexo

Tablas de probabilidad de las distribuciones normal estándar y distribución T-student.

TABLA A: Probabilidades de la normal estándar										
z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
-0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

TABLA B Valores críticos de la distribución t de Student												
gl	Probabilidad de la cola <i>p</i>											
	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.02	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	31.82	63.66	127.3	318.3	636.6
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	22.33	31.60
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.21	12.92
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
50	0.679	0.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.937	3.261	3.496
60	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.099	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
80	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
1000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.056	2.330	2.581	2.813	3.098	3.300
z*	0.674	0.841	1.036	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.091	3.291
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	96%	98%	99%	99.5%	99.8%	99.9%
	Nivel de confianza <i>C</i>											

Con los datos del Manual de buenas prácticas para el uso de los dispositivos eléctrico se realizó una versión representativa la cual es la siguiente:



Para obtener acceso al archivo (Ver [46]).