

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA PARA LA SITUACIÓN ACTUAL DEL
COMEDOR ESTUDIANTIL DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

PROYECTO DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

ADRIÁN FAUSTINO GÓMEZ GUILLÉN

CIUDAD UNIVERSITARIA RODRIGO FACIO
SAN JOSÉ, COSTA RICA

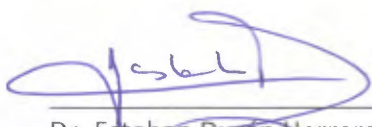
2019

Proyecto de graduación sometido a consideración de la Escuela de Ingeniería Química como requisito final para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química.

Sustentante:

Adrián Faustino Gómez Guillén

Aprobado por:



Dr. Esteban Durán Herrera
Director
Escuela Ingeniería Química

Presidente del Tribunal



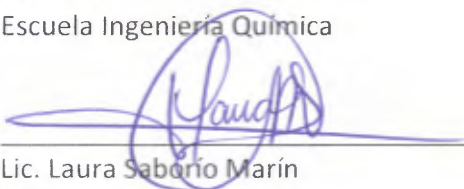
Lic. Esteban Gamboa Gamboa
Profesor
Escuela Ingeniería Química

Director del Proyecto



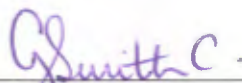
Lic. Natalia Montero Rambla
Profesora
Escuela Ingeniería Química

Lectora del Proyecto



Lic. Laura Saborío Marín
Profesora
Escuela de Ingeniería Química

Lectora del Proyecto



M.Sc. Gloriana Smith Carabaguíaz
Profesora
Escuela Ingeniería Química

Miembro invitado

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2019

Dedicatoria

Dedico de manera muy especial este trabajo a mi familia quien siempre estuvo ahí para apoyarme, motivarme y acompañarme; muchos de mis logros han sido gracias a ustedes. Agradezco enormemente a mis amigos que me ayudaron en todo este proceso y a mis profesores quienes fueron guías en el desarrollo de este proyecto.

Adrián Faustino Gómez Guillén

RESUMEN

Este proyecto consistió en la evaluación energética, siniestral y técnica de la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica para la búsqueda de oportunidades de mejora. Inicialmente se realizó un análisis de la demanda energética, posteriormente una evaluación de riesgos laborales mediante el método de William T. Fine, seguidamente una auditoría energética de campo en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica y finalmente se propusieron oportunidades de mejora, así como su viabilidad financiera asociada.

Lo anterior se realizó por medio de la recopilación de los datos de consumos históricos de energía del comedor estudiantil desde enero del año 2015 hasta diciembre del año 2018 por parte de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y se aplicaron estadísticas básicas para determinar la normalidad de los datos y obtener una curva predictiva del consumo eléctrico de las instalaciones, seguidamente se realizó un análisis de siniestralidad por medio de una evaluación de riesgo, determinación de índices de siniestralidad y factores de riesgo siguiendo pautas del Consejo de Salud Ocupacional (CSO) además se elaboró un croquis de las instalaciones y un análisis de extintores y sistema de gas según la NFPA 10 y 54 respectivamente, posteriormente se realizó una auditoría energética en donde se determinó el consumo energético de las tecnologías de mayor gasto de energía del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica. Se obtuvo la corriente y el voltaje del horno, la marmita, la freidora, el baño maría, los refrigeradores, además se determinó el nivel de iluminación del salón principal y la cocina que presentaban el mayor número de luminarias en el local. A continuación, se determinaron oportunidades de mejora para las cuales después de ser seleccionadas por medio de una herramienta de selección se obtuvo la relación costo-beneficio de los 22 escenarios principales en donde se proponen tecnologías con mayor eficiencia energética que las actualmente empleadas. Finalmente se comparan los cinco escenarios que presentaron un menor periodo de recuperación de la inversión es decir los casos en donde se obtuvo más pronto una relación costo-beneficio mayor a 1, de esta manera se obtiene un ahorro anual de ₡ 5 000 000 al sustituir la freidora, la marmita, el baño maría y la iluminación del comedor con un periodo de recuperación de 4 años al conseguir una relación coste-beneficio de 1.08 y se recomienda cuantificar el ahorro obtenido por potencia máxima consumida el cual no se pudo medir, pero sí disminuye la factura eléctrica e incluso puede disminuir el tiempo de recuperación de la inversión obtenido.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Justificación	2
Objetivos del proyecto	3
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	5
2.1 Fundamento teórico	5
2.1.1 Herramienta DMAIC de Six Sigma	5
2.1.2 Estadística básica	7
2.2 Metodología	8
2.3 Resultados y análisis de resultados	9
CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE RIESGOS LABORALES	23
3.1 Fundamento teórico	23
3.1.1 Seguridad Ocupacional y Siniestralidad	23
3.1.2 Leyes sobre riesgos de trabajo	24
3.1.3 Índices de riesgo	25
3.1.4 Evaluación de riesgo por el Método Fine	26
3.2 Metodología	28
3.3 Resultados y análisis de resultados	28
CAPÍTULO 4. AUDITORÍA ENERGÉTICA	39
4.1. Fundamento teórico	39
4.1.1 Auditoría energética	39
4.1.2 Protocolos para realizar una auditoría energética	40
4.1.3 Energías Renovables en Costa Rica	41
4.2 Metodología	42
4.3 Resultados y análisis de resultados	43
CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE OPORTUNIDADES DE MEJORA Y VIABILIDAD FINANCIERA	55
5.1 Fundamento teórico	55
5.1.1 Criterios de Evaluación Financiera de un Proyecto	55
5.1.2 Relación coste-beneficio	56

5.2 Metodología.....	57
5.3 Resultados y análisis de resultados.....	57
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
6.1 Conclusiones	67
6.2 Recomendaciones	67
NOMENCLATURA	69
BIBLIOGRAFÍA.....	73
APÉNDICES	77
A : DATOS EXPERIMENTALES.....	77
B: RESULTADOS INTERMEDIOS	89
C. MUESTRA DE CÁLCULO	98
C.1. Costo de la electricidad según la CNFL	98
C.2. Requerimiento de extintores según NFPA 10	99
C.3. Número de extintores requeridos según NFPA 10	100
C.4. Grado de riesgo para un riesgo presente en el comedor	100
C.5. Cálculo de potencia.....	101
C.6. Cálculo de consumo de energía	102
C.7. Determinación del valor de eficacia luminosa.....	102
C.8. Cálculo de la Potencia instalada en el edificio	103
C.9. Cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación	104
C.10. Determinación del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita	104
C.11. Cálculo del número de luminarias de un local.....	105
C.12. Cálculo de la distribución de luminarias a lo ancho de un local	105
C.13. Cálculo de la distribución de luminarias a lo largo de un local.....	106
C.14. Comprobación del nivel de iluminación media.....	106
C.15. Determinación del costo total de inversión.....	107
C.16. Determinación del consumo futuro de energía.....	108
C.17. Cálculo del ahorro energético expresado en colones.....	109
C.18. Determinación de la relación costo-beneficio	109
C.19. Cálculo del retorno de inversión.....	110
ANEXOS	111
I. Acta de constitución.....	111

II. Rotulación para mitigación de riesgo.....	113
III. Históricos de consumo acumulado del Comedor estudiantil de la UCR.....	114
IV. Matriz de evaluación de riesgo.....	115
V. Herramienta de selección.....	116
VI. Método de los lúmenes.....	117
VII. Hoja de cálculo para el escenario #1.....	118
VIII. Hojas para entrevistas.....	119
IX. Plan de implementación por prioridad de tecnología.....	121

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1.4.1. Código numérico para consecuencias según William T. Fine.....	27
Cuadro 3.1.4.2. Código numérico para probabilidad según William T. Fine	27
Cuadro 3.1.4.3. Código numérico para Exposición según William T. Fine	28
Cuadro 4.3.1. Tabla SIPOC.....	43
Cuadro 4.3.2 Datos obtenidos para los equipos principales de mayor consumo eléctrico.....	45
Cuadro 4.3.3 Consumos mensuales de los principales equipos eléctricos.....	46
Cuadro 4.3.4 Consumos principales de energía eléctrica	51
Cuadro 5.3.1 Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas	57
Cuadro 5.3.2 Costos fijos de inversión.....	62
Cuadro 5.3.3 Costos variables de inversión a un periodo de 10 años	62
Cuadro 5.3.4 Principales escenarios evaluados	63
Cuadro A1. Históricos de consumo acumulado para el comedor estudiantil de la UCR	77
Cuadro A2. Tarifas de consumo eléctrico para bloqu	
Cuadro 3.1.4.1. Código numérico para consecuencias según William T. Fine.....	27
Cuadro 3.1.4.2. Código numérico para probabilidad según William T. Fine	27
Cuadro 3.1.4.3. Código numérico para Exposición según William T. Fine	28
Cuadro 4.3.1. Tabla SIPOC.....	43
Cuadro 4.3.2 Datos obtenidos para los equipos principales de mayor consumo eléctrico.....	45
Cuadro 4.3.3 Consumos mensuales de los principales equipos eléctricos.....	46
Cuadro 4.3.4 Consumos principales de energía eléctrica	51
Cuadro 5.3.1 Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas	57
Cuadro 5.3.2 Costos fijos de inversión.....	62
Cuadro 5.3.3 Costos variables de inversión a un periodo de 10 años	62
Cuadro 5.3.4 Principales escenarios evaluados	63
Cuadro A1. Históricos de consumo acumulado para el comedor estudiantil de la UCR	77
Cuadro A2. Tarifas de consumo eléctrico para bloque de 3000 kWh de la CNFL.....	79
Cuadro A3. Tarifas de consumo eléctrico para bloque mayor a 3000 kWh de la CNFL.....	82
Cuadro A4. Dimensiones de los principales cuartos del comedor.....	84
Cuadro A5. Código numérico para consecuencias según William T. Fine	85
Cuadro A6. Código numérico para probabilidad según William T. Fine	85

Cuadro A7. Código numérico para Exposición según William T. Fine.....	85
Cuadro A8. Datos obtenidos de los principales equipos de análisis.....	86
Cuadro A9. Tiempos de uso para los equipos de mayor consumo del comedor.....	86
Cuadro A10. Datos medidos de flujo luminoso en el salón	86
Cuadro A11. Datos medidos de flujo luminoso en la cocina.....	87
Cuadro A12. Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas.....	88
Cuadro A12. Costos fijos de inversión.....	88
Cuadro A13. Costos variables de inversión a un periodo de 10 años.....	89
Cuadro B1. Costos facturados por la CNFL para el comedor estudiantil	89
Cuadro B2. Datos de los requerimientos de extintores según NFPA 10.....	91
Cuadro B3. Grados de los riesgos para los riesgos presentes en el comedor	91
Cuadro B4. Índices de siniestralidad para el periodo 2016-2018 del comedor estudiantil.....	93
Cuadro B5. Valores de potencias obtenidas para los principales equipos evaluados	93
Cuadro B6. Valores de consumo de energía obtenidos para los principales equipos evaluados.....	93
Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta	94
e de 3000 kWh de la CNFL	79
Cuadro A3. Tarifas de consumo eléctrico para bloque mayor a 3000 kWh de la CNFL.....	82
Cuadro A4. Dimension	
Cuadro 3.1.4.1. Código numérico para consecuencias según William T. Fine.....	27
Cuadro 3.1.4.2. Código numérico para probabilidad según William T. Fine	27
Cuadro 3.1.4.3. Código numérico para Exposición según William T. Fine.....	28
Cuadro 4.3.1. Tabla SIPOC.....	43
Cuadro 4.3.2 Datos obtenidos para los equipos principales de mayor consumo eléctrico.....	45
Cuadro 4.3.3 Consumos mensuales de los principales equipos eléctricos.....	46
Cuadro 4.3.4 Consumos principales de energía eléctrica	51
Cuadro 5.3.1 Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas	57
Cuadro 5.3.2 Costos fijos de inversión.....	62
Cuadro 5.3.3 Costos variables de inversión a un periodo de 10 años	62
Cuadro 5.3.4 Principales escenarios evaluados	63
Cuadro 5.3.5. Propuesta de implementación de las tecnologías de mejora energética	¡Error!
Marcador no definido.	
Cuadro A1. Históricos de consumo acumulado para el comedor estudiantil de la UCR	77

Cuadro A2. Tarifas de consumo eléctrico para bloque de 3000 kWh de la CNFL.....	79
Cuadro A3. Tarifas de consumo eléctrico para bloque mayor a 3000 kWh de la CNFL.....	82
Cuadro A4. Dimensiones de los principales cuartos del comedor.....	84
Cuadro A5. Código numérico para consecuencias según William T. Fine	85
Cuadro A6. Código numérico para probabilidad según William T. Fine	85
Cuadro A7. Código numérico para Exposición según William T. Fine.....	85
Cuadro A8. Datos obtenidos de los principales equipos de análisis.....	86
Cuadro A9. Tiempos de uso para los equipos de mayor consumo del comedor.....	86
Cuadro A10. Datos medidos de flujo luminoso en el salón	86
Cuadro A11. Datos medidos de flujo luminoso en la cocina.....	87
Cuadro A12. Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas.....	88
Cuadro A12. Costos fijos de inversión.....	88
Cuadro A13. Costos variables de inversión a un periodo de 10 años.....	89
Cuadro B1. Costos facturados por la CNFL para el comedor estudiantil.....	89
Cuadro B2. Datos de los requerimientos de extintores según NFPA 10.....	91
Cuadro B3. Grados de los riesgos para los riesgos presentes en el comedor	91
Cuadro B4. Índices de siniestralidad para el periodo 2016-2018 del comedor estudiantil.....	93
Cuadro B5. Valores de potencias obtenidas para los principales equipos evaluados	93
Cuadro B6. Valores de consumo de energía obtenidos para los principales equipos evaluados.....	93
Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta	94
es de los principales cuartos del comedor.....	84
Cuadro A5. Código numérico para consecuencias según William T. Fine	85
Cuadro A6. Código numérico para probabilidad según William T. Fine	85
Cuadro A7. Código numérico para Exposición según William T. Fine.....	85
Cuadro A8. Datos obtenidos de los principales equipos de análisis.....	86
Cuadro A9. Tiempos de uso para los equipos de mayor consumo del comedor.....	86
Cuadro A10. Datos medidos de flujo luminoso en el salón	86
Cuadro A11. Datos medidos de flujo luminoso en la cocina.....	87
Cuadro A12. Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas.....	88
Cuadro A12. Costos fijos de inversión.....	88
Cuadro A13. Costos variables de inversión a un periodo de 10 años.....	89
Cuadro B1. Costos facturados por la CNFL para el comedor estudiantil	89

Cuadro B2. Datos de los requerimientos de extintores según NFPA 10.....	91
Cuadro B3. Grados de los riesgos para los riesgos presentes en el comedor	91
Cuadro B4. Índices de siniestralidad para el periodo 2016-2018 del comedor estudiantil.....	93
Cuadro B5. Valores de potencias obtenidas para los principales equipos evaluados	93
Cuadro B6. Valores de consumo de energía obtenidos para los principales equipos evaluados.....	93
Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.3.1. Demanda facturada por el comedor desde el 2015 hasta el 2018 (Elaboración propia)	10
Figura 2.3.2. Gráfico de caja para todos los datos de consumo de energía (Elaboración propia) ...	12
Figura 2.3.3. Gráfico de caja para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia).....	13
Figura 2.3.4. Histograma para todos los datos de consumo de energía (Elaboración propia).....	13
Figura 2.3.5. Histograma para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia).....	14
Figura 2.3.6. Prueba de Anderson Darling para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia).....	14
Figura 2.3.7. Graficas de residuos para los datos de energía (Elaboración propia).....	15
Figura 2.3.8. Grafico X y R para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia).....	16
Figura 2.3.9. Distribución temporal para todos los datos de consumo de energía (Elaboración propia).....	17
Figura 2.3.10. Pronósticos para el año 2019 de la demanda de energía total (Elaboración propia)	18
Figura 2.3.11. Costo trimestral de la electricidad para 20 000 kWh desde el año 2013 al 2019. (Elaboración propia).....	19
Figura 2.3.12 Mapeo general del proceso de consumo energético del comedor (Elaboración propia).....	20
Figura 2.3.13 Mapeo específico del proceso de consumo energético del comedor (Elaboración propia).....	21
Figura 3.3.1. Croquis del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)	29
Figura 3.3.2. Croquis del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)	30
Figura 3.3.3. Matriz de evaluación de riesgo para la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)	31
Figura 3.3.4. Matriz de evaluación de riesgo para la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)	33
Figura 4.1.3.1 Porcentajes de repartición de la matriz energética en el 2015.....	41
Figura 4.3.1. Breaker de equipos principales de la cocina (Elaboración propia)	45

Figura 4.3.2 A) Distribución propuesta de iluminación en el salón principal y B) Distribución propuesta de iluminación en la cocina (Elaboración propia).....	49
Figura 4.3.3 Diagrama de causa y efecto para el problema de consumo energético del comedor (Elaboración propia).....	50
Figura 4.3.4 Consumos energéticos de los equipos y tecnologías de mayor consumo del comedor (Elaboración propia).....	52
Figura 4.3.5 Diagrama de la herramienta los 5 por qué para el consumo energético de los equipos. (Elaboración propia).....	53
Figura 4.3.6 Diagrama de la herramienta los 5 por qué para el consumo energético por iluminación. (Elaboración propia)	54
Figura 5.3.1 Gráfico comparativo del costo de la energía actual contra el costo de la energía con todas las tecnologías sustituidas (Elaboración propia).....	61
Figura 5.3.2 Retorno de la inversión para las sustituciones de menor periodo de recuperación	64

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La eficiencia energética es un tema que tiene sus inicios desde la primera crisis petrolera de 1973 en donde la mentalidad de guardar energía ante los aumentos en el precio del combustible y los problemas de suministros de petróleo generaron pequeñas medidas de ahorro energético, pero no sería hasta la década de los 80's a los 90's donde se vio el desarrollo de la conservación de la energía por medio del servicio denominado consultoría de gestión energética con un bajo costo el cual ofrecía beneficios que se reflejaban en el consumo de la energía de una industria o empresa en particular. Más adelante los gobiernos incluirían el término eficiencia energética y con ayuda de convenciones como el acuerdo de París se buscaría aumentar la eficiencia energética de cada país en el mundo (Castro F. V., 2018).

Pero ahora el mundo está experimentando un aumento poblacional de seres humanos sin precedentes y esto conlleva a una mayor urbanización, se estima que para el 2050 el 70% de la población mundial vivirá en ciudades, lo cual lleva a considerar el gigantesco consumo energético que las ciudades requerirán en un futuro, y esto motiva a una mejora continua de aprovechamiento de la energía en el diario vivir. Lo anterior ha promovido un auge en los proyectos de eficiencia energética, según la Agencia Internacional de Energía se estima que las mejoras propuestas por proyectos de esta índole han ayudado a ahorrar más del 50% de la energía consumida en los Estados Unidos, y es por esto que, aun contemplando los límites termodinámicos presentes en todos los equipos hay un potencial existente para mejorar la eficiencia energética de manera rentable tanto en edificios nuevos como ya existentes (Krtati, 2011).

Por otro lado, un punto a considerar es toda la energía proveniente de la biomasa, así como de fuentes hidroeléctrica, eólica y combustibles fósiles que tienen su origen de forma directa o indirecta con la radiación solar, nos lleva a debatir el aprovechamiento directo que se le da a esta energía renovable que nos llega a diario (Mataré, 2018).

Al lado de lo anterior acordando la meta de que Costa Rica llegue a la carbono neutralidad para el 2021 se debe incentivar a las Instituciones Públicas a un esfuerzo en la revisión de la eficiencia energética de sus edificios y de esta manera contribuyan junto con el Instituto Costarricense de Electricidad a generar una matriz energética eficiente para Costa Rica, lo cual a pesar de las limitaciones de las tecnologías actuales tienen aún un potencial por explorar (Arent, 2017).

Justificación

En Costa Rica por medio de la Ley de regulación del uso racional de la energía se ha tenido una mejora de la eficiencia energética y reducción de emisiones de carbono en donde su objetivo es “consolidar la participación del Estado en la promoción y la ejecución gradual del programa de uso racional de la energía. Asimismo, se propone establecer los mecanismos para alcanzar el uso eficiente de la energía y sustituirlos cuando convenga al país, considerando la protección del ambiente” por medio del ente competente el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (MINEREM, 1996). Ahora bien, considerando que el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica tuvo su construcción antes de 1996 cuando se publicó la ley de Regulación del Uso Racional de la Energía es probable que este no cumpla con un registro de eficiencia energética del edificio y por ello debe verificarse la misma con el propósito de obtener oportunidades de mejora en el ámbito energético principalmente.

Por otro lado es bien sabido que los Ingenieros Químicos son profesionales que fundamentan sus conocimientos en transferencia de masa, calor y momento, lo cual se relaciona directamente con el uso de combustibles; sin embargo, con la disminución actual del empleo de combustibles fósiles se deben pensar en alternativas energéticas para obtener energía eléctrica, las cuales son nuevas áreas de aplicación de los labores del Ingeniero Químico, al lado de ello al dominar los principios de la termodinámica los ingenieros Químicos están capacitados para evaluar la eficiencia energética de un edificio, industria o proceso. Además de esto, se deben contemplar los trámites y cálculos

correspondientes a la pre-inversión de un proyecto que son temas que competen a un profesional en la ingeniería química. Otro tema destacable es la aplicación y conocimiento de la siniestralidad contemplando toda la legislación vigente en el tema de seguridad ocupacional, ya que en muchos casos los ingenieros químicos deben supervisar las acciones de otros empleados o procesos, los cuales tienen implicados riesgos que se deben contemplar durante las jornadas laborales agregado a ello el servicio de revisión de extintores según la NFPA 10 y revisión de sistemas de gas según la NFPA 54 y 58 el cual es un campo común para el labor de un ingeniero químico.

Es por esto que se presenta el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica el cual además de contar con su propios equipos abre sus puertas cada ciclo lectivo, prepara alimentos a diario para una parte considerable de la población estudiantil de la Universidad de Costa Rica y como edificio de una Institución Pública de Costa Rica debe considerarse la aplicación de un proyecto de eficiencia energética con el fin de disminuir la factura por consumo eléctrico del edificio que ronda el ₡ 1 500 000 en meses de actividad e incentivar a otros edificios e Instituciones a realizar evaluaciones de eficiencia energética y oportunidades de mejora como parte de su sistema energético. Además, se debe fomentar la seguridad de la institución desde adentro de cada edificación lo cual asegure un apto conocimiento por parte de los empleados de los riesgos implicados en sus trabajos.

Debido a todo lo anteriormente mencionado con el presente proyecto se busca proponer oportunidades de mejora que contemplen temas como posible disminución de la facturación por gasto energético empleando diferentes tecnologías a las actualmente empleadas, la búsqueda y el estudio financiero para estas tecnologías propuestas y medidas de seguridad para los empleados y los procesos que se realizan.

Objetivos del proyecto

El presente trabajo tiene como objetivo general evaluar energética, siniestral y técnicamente la situación actual el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica para la búsqueda de oportunidades de mejora.

Los objetivos específicos corresponden a:

- a. Analizar la demanda energética del comedor Universitario.
- b. Realizar un análisis de riesgos vinculados a la operación actual del comedor estudiantil.
- c. Realizar una auditoría energética de campo en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica.
- d. Proponer oportunidades de mejora.
- e. Analizar la viabilidad financiera de la propuesta.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

En este capítulo se observará, analizará y discutirá la información referente a la recopilación de datos de consumo eléctrico del comedor por medio de herramientas del DMAIC y estadística básica con el propósito de conocer la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica y una posible situación futura bajo las condiciones actuales.

2.1 Fundamento teórico

Para el desarrollo y comprensión del análisis de la demanda energética es necesario comprender previamente temas de relevancia como lo son la herramienta DMAIC de Six Sigma de la cual se emplearán múltiples pautas y conceptos de estadística básica-

2.1.1 Herramienta DMAIC de Six Sigma

En la actualidad cuando se desea evaluar el desempeño del proceso de un producto o servicio se piensa en metodologías de mejora continua, ya que estas promueven un mejoramiento a través del tiempo y puede aplicarse en repetidas ocasiones al mismo proceso dando resultados diferentes en cada una de sus aplicaciones. En el comedor estudiantil, así como en la mayoría de negocios hay implicado un proceso que se relaciona al servicio de alimentación y contemplando lo anteriormente comentado se plantea emplear parte de la metodología del DMAIC a dicho proceso.

Six Sigma consiste en una ideología que se enfoca en satisfacer al usuario por medio de un negocio, sus metodologías se fundamentan en disminuir el desperdicio por medio de una disminución de las variaciones de los procesos implicados. La metodología DMAIC por su parte se apoya en herramientas estadísticas y administrativas para mejorar de manera evidente el desempeño de los procesos y proyectos de una empresa (Socconini, 2015).

El esquema de la metodología DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) indica por sus siglas en inglés: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Esta estructura de cinco etapas asegura alcanzar los objetivos propuestos durante un proyecto de una empresa por medio de técnicas y herramientas estadísticas (Pérez, 2013). A continuación, se especifican cada una de las partes:

- Definir: En la primera parte del proceso se definen los objetivos del proyecto, la justificación, los miembros del equipo y las características críticas a la calidad, es importante destacar que el problema debe ser un dato cuantificable para poder obtener resultados con un impacto generalmente en ahorros, sin embargo, este también puede impactar en inversiones bajas o no tan elevadas, impacto sobre el cliente para el caso de productos específicos y sencilla aplicación. En cuanto a los miembros del equipo se recomienda personas con capacidades desarrolladas en cuanto a la aplicación y experiencia de procesos DMAIC (Peréz, 2013).
- Medir: En esta etapa se debe recopilar datos referidos al punto anterior, para realizarles análisis estadístico y cuantificable y de esta manera poder elegir la característica de calidad crítica correcta para desarrollar el proyecto, después de realizado esto, se debe establecer el nivel de rendimiento actual del proceso. Durante este paso se proponen tiempos específicos relacionados a metas a corto plazo, cada una de estas nos acerca al objetivo final, además en esta sección se puede expandir o limitar el alcance del proyecto (Peréz, 2013).
- Analizar: En esta fase el objetivo primordial es encontrar la raíz del problema en estudio, se debe distinguir objetivamente entre los indicios del problema y la verdadera causa del problema para no caer en confusiones. Durante este segmento de la metodología se recomienda cuestionar el porqué del problema, la razón de que ocurra y por qué no se logran los resultados deseados, además, el personal debe tener amplia experiencia sobre el tema en el estudio (Peréz, 2013).
- Mejorar: En este paso se lleva a cabo un ataque contra las raíces del problema por medio de un plan de acción que muestre las mejoras que contrarrestan el problema en estudio, dichas mejoras son analizadas por medio de herramientas estadísticas para validar su efectividad. Las acciones correctivas deben tener como objetivo mejorar el proceso y deben responder a si el problema está siendo atacado y si generan efectos secundarios indeseables, estas dos cuestiones deben

responderse satisfactoriamente de otra forma se debe buscar otras propuestas de mejoras que cumplan con estos requisitos (Peréz, 2013).

- **Controlar:** Esta consiste en la fase final de la metodología, y se basa en dirigir el proceso de manera que se mantengan controladas las mejoras presentadas y validadas, en caso de no ser así se debe repetir el procedimiento hasta poder cumplir con los resultados satisfactorios que se desean y de ser posible permanecer bajo una mejorar continua del proceso en estudio. Luego de realizado ello se debe incentivar al personal a tener un pensamiento de prevención y no de corrección y de esta manera actuar antes que suceda algún inconveniente (Peréz, 2013).

2.1.2 Estadística básica

Para la estadística aplicada al proyecto se definirán los términos de mayor relevancia para la comprensión del desarrollo del trabajo y los resultados obtenidos, los cuales se indican a continuación:

- **Diagrama de caja o bigotes:** corresponde a una representación gráfica de un número de datos con el propósito de estudiar la simetría de estos y así detectar valores atípicos y distinguir un ajuste a los datos, en dichos diagramas se tiene una caja en donde se encierran el 50% de los datos y se muestra por medio de una línea recta la mediana de los datos, si esta línea no está en el centro de los datos indica que no hay asimetría pero si está en el centro no es una prueba lo suficientemente válida para indicar que sí hay simetría de los datos con total certeza, sin embargo es una buena aproximación para comenzar con el estudio de normalidad de un grupo de datos (Llinás, 2017).
- **Histograma:** un histograma es una representación gráfica de una distribución de frecuencia, esta frecuencia puede ser absoluta, relativa, acumulada o relativa acumulada y se expresan por medio de barras o áreas de rectángulos (Llinás, 2017).

- Curva normal: este es uno de los primeros modelos utilizados y del cual se han construido múltiples teorías y prácticas de la estadística, su principal característica consiste en el patrón que siguen al distribuirse los errores, las mediciones y las observaciones. La curva normal cumple ciertas características importantes como lo son su área bajo la curva la cual es igual a 1, se trata de una función de densidad, es simétrica con respecto a la media aritmética y queda perfectamente determinada cuando se conoce la media aritmética y la desviación estándar de la variable x (Gómez, 2012).
- Gráficos de control: un gráfico de control es un gráfico en el que se representa el comportamiento de un proceso anotando sus datos ordenados a través del tiempo, de esta manera se pretende detectar cambios en el proceso, minimizar unidades defectuosas, obtener una mejora continua de calidad de productos, obtener datos atípicos, cambios en el valor del parámetro a analizar, tiempo medio entre desajustes y tendencias en el proceso (Llinás, 2017).
- Pronósticos por método de Winters: Una serie de tiempo puede presentar tres tipos de comportamientos entre ellos el estacionario, con tendencia y el estacional, en el caso del comedor estudiantil se tiene un comportamiento estacional este viene dado por el periodo lectivo de la Universidad de Costa Rica ya que se repite año con año por lo que se puede inferir una estacionalidad. Para pronosticar una serie de tiempo estacional se utiliza comúnmente la suavización exponencial lineal de tres parámetros o método de Winters para el cual no afecta si la serie de datos presenta o no una tendencia (Farrera, 2013).

2.2 Metodología

Para realizar el análisis de la demanda inicialmente se recopilaron los datos de consumos históricos de energía del comedor estudiantil desde enero del año 2015 hasta diciembre inclusive del año 2018 por parte de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) a través de la Oficina de Administración Financiera (OAF) de la Universidad de Costa Rica y se aplicaron estadísticas básicas como gráficos de caja, histogramas, pruebas de residuos,

prueba de Anderson Darling, gráficos de control, grafico de serie de tiempo y pronósticos por medio de la aplicación Minitab versión estudiantil para determinar la normalidad de los datos y obtener una curva predictiva del consumo eléctrico de las instalaciones, además se realizó un Acta de Constitución como guía de los alcances el proyecto según la metodología DMAIC, se graficó el costo trimestral de la electricidad por medio de la recopilación de datos desde el año 2013 hasta julio del 2019 obtenidos por medio de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) dados para la CNFL en zona preferencial o social y se obtuvieron mapeos específicos y generales del proceso en el comedor estudiantil.

2.3 Resultados y análisis de resultados

Es común que en todos los procesos incluidos los servicios de alimentación, cocción de comida o preparación de alimentos como lo es para el caso del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica hayan deficiencias que generen problemas en un producto o servicio determinado y para resolverlo se debe realizar un análisis, en este son fundamentales la justificación y demostración de la necesidad de solucionar el problema el cual en muchos casos es de ámbito económico, para ello se tienen múltiples herramientas y entre estas destaca el DMAIC para el cual se comenzó elaborando el Project Charter o Acta de constitución, el cual es esencial para delimitar la extensión y abarque del proyecto y de una manera puntual y concreta muestra a quién interese el propósito del proyecto y sus partes fundamentales como son las repercusiones y necesidades del mismo. Al emplear esta herramienta el contratista se da una medida de qué tanto vale la pena invertir o no en este proyecto, para este caso puntual se indica que el contratista al finalizar el proyecto tendrá el conocimiento de la situación de seguridad del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica, así como las oportunidades de mejora presentes en el edificio y las cuales pueden suponer un ahorro considerable para su futura gestión.

En la información anterior se mencionó un pilar fundamental que funciona como uno de los indicadores principales de una oportunidad de mejora y corresponde al ahorro económico, ahora bien para el caso del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica se puede

suponer que su mayor gasto económico se ve reflejado en el consumo energético para las actividades relacionadas con los alimentos como lo son la cocción, el enfriamiento y el mantener una temperatura determinada en la comida de manera que se ofrezca un buen servicio. Es por ello que es pertinente realizar un análisis de la demanda energética de la instalación y para ello se obtuvieron y analizaron los datos históricos de consumo acumulados desde el año 2015 hasta finales del año 2018 con el fin de relacionarlo a una curva predictiva que nos aproxime a valores energéticos que se esperan sean requeridos para la futura gerencia y así se pueda asegurar cuantitativamente en que porcentaje se tendrá un ahorro con respecto a las oportunidades de mejora que se desean proponer.

Además de la demanda de energía eléctrica (kWh) que consume el edificio registrada por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz se tiene el valor de Demanda facturada (kW) que corresponde al momento en que se obtuvo la máxima demanda de energía o el pico más alto a continuación se muestra la Figura 2.3.1 con el comportamiento de dichos datos durante los últimos 4 años:

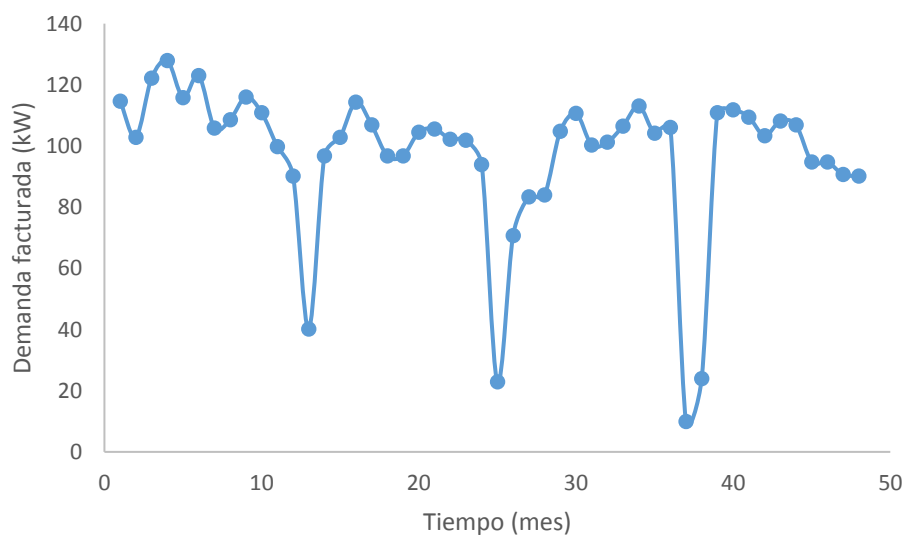


Figura 2.3.1. Demanda facturada por el comedor desde el 2015 hasta el 2018 (Elaboración propia)

De acuerdo a la figura anterior se tienen valores muy bajos pero estos corresponden a los meses de inactividad del comedor, este valor se cobra como consumo social o preferencial

en los meses donde la demanda de energía total sea superior a los 3 000 kWh, este valor ronda en promedio los 100 kW como se muestra en el gráfico anterior pero dado que la contabilización y medición exacta de cuanta energía se consume en un momento por todos los equipos del comedor es complicada ya que no se disponen de los recursos de tiempo, personal y equipos necesarios, no se analizaron estos datos con detenimiento. Se recomienda realizar un arranque escalonado en donde los equipos de mayor consumo se enciendan intercalados por los equipos de menor consumo alternándolos con un periodo de 15 minutos mínimos para así reducir este valor y por ende generar un ahorro no cuantificable esto según lo explica un miembro de la CNFL por medio del área de atención virtual debido a que el medidor de energía almacenará únicamente la lectura correspondiente al máximo valor registrado de demanda en cualquier momento en un intervalo de 15 minutos de cualquier día del ciclo de lectura sin embargo no se descarta la idea de que para un estudio futuro se analice este valor con el propósito de cuantificar el ahorro al realizar el procedimiento anteriormente descrito como arranque escalonado.

Volviendo a los datos de energía total (kWh), se analizaron estadísticamente con el propósito de poder afirmar que estos tienen un comportamiento normal para así construir una curva predictiva que nos pueda arrojar valores cercanos a los futuros consumos energéticos. Para los análisis de normalidad y otras estadísticas se utilizó la versión de prueba de Minitab, a continuación, se presenta la figura 2.3.2 con el diagrama de caja para los datos de energía.

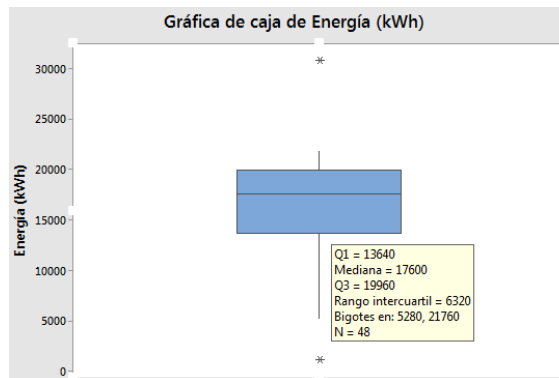


Figura 2.3.2. Gráfico de caja para todos los datos de consumo de energía (Elaboración propia)

La figura anterior muestra el diagrama de caja para la variable de energía eléctrica que representa los cuarenta y ocho meses de los últimos cuatro años de consumo energético en el comedor, observándose que el gráfico no tiene una distribución simétrica definida y además presenta dos valores atípicos lo cual implica que la mayor parte de los datos se concentran en la zona superior de la distribución y no de manera homogénea por lo que podrían no ser normales. Se debe destacar que estos valores contemplan la totalidad de los datos, es decir, se incluyen en el análisis los meses en donde la Universidad de Costa Rica se encuentra en periodo de tercer ciclo lectivo y vacaciones los cuales presentan una disminución de la población que transita por las instalaciones educativas, se realizó el análisis, pero excluyendo los datos respectivos a los meses de enero, febrero y diciembre que corresponden a los periodos que se mencionaron anteriormente, este se muestra a continuación en la figura 2.3.3.

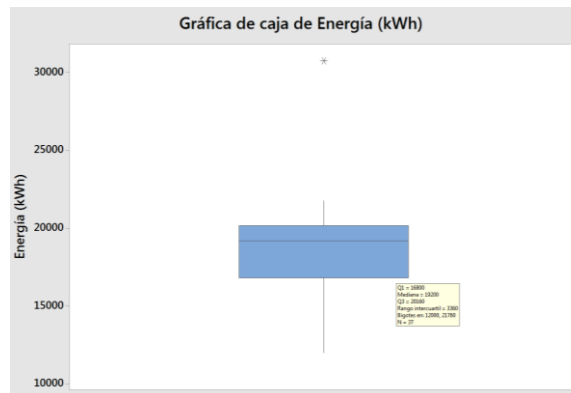


Figura 2.3.3. Gráfico de caja para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia)

Ahora bien, al contemplar los meses desde marzo hasta noviembre se obtiene para la gráfica de energía un valor atípico menos con respecto a la figura 2.3.2 y la simetría no mejora, sin embargo, la principal información que nos arroja este gráfico es la del dato atípico de 30 000 kWh correspondiente al mes de septiembre del 2018 el cual debe ser estudiado con detenimiento. Ahora con respecto a los histogramas se tiene la figura 2.3.4 la cual se muestra a continuación:

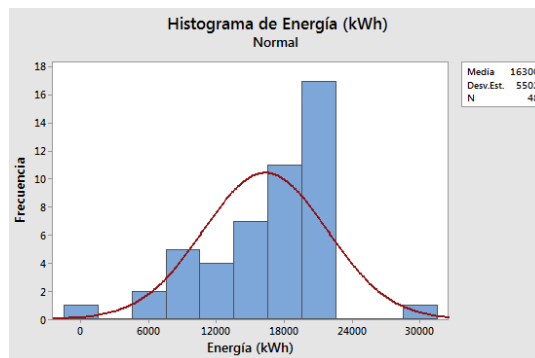


Figura 2.3.4. Histograma para todos los datos de consumo de energía (Elaboración propia)

Continuando con el análisis de normalidad de la distribución de los datos de energía se realizó el histograma anterior en donde se observa que para la energía se repite el valor atípico de 30 000 kWh que se sale de la distribución normal y además no se distingue con claridad una distribución que se ajuste a la normal es por esto que al igual que para los

diagramas de caja se procede a excluir los datos respectivos para enero, febrero y diciembre en la figura 2.3.5.

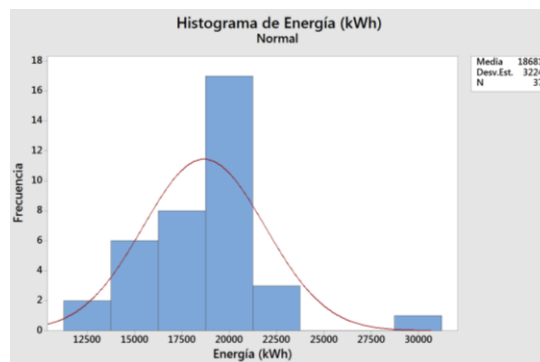


Figura 2.3.5. Histograma para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia)

Ahora se puede observar una mejoría en la figura 2.3.5 en cuanto a la distribución, sin embargo el dato de 30 000 kWh aún está presente y provoca una mayor desviación del ajuste normal, por ello se realizó la prueba de Anderson Darling la cual se muestra en la figura 2.3.6.

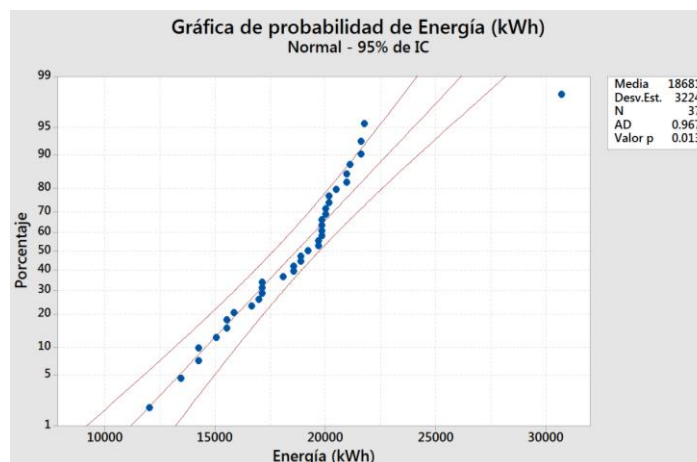


Figura 2.3.6. Prueba de Anderson Darling para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia)

En la figura anterior ya se excluyen los datos de enero, febrero y diciembre con el propósito de analizar únicamente los meses que corresponden al periodo lectivo sin embargo para el gráfico anterior obtenemos un valor p de 0.013. El principal objetivo de esta prueba es

determinar la normalidad de los datos por medio del indicador valor p el cual determina que una serie de datos se comportan de manera normal si este valor es mayor que 0.1 mientras que si el valor es menor a 0.1 significa que los datos no se comportan de manera normal lo cual ocurre en este caso, al observar el valor de 0.013 menor a 0.1 determinamos que aun eliminando los datos de enero, febrero y diciembre no hay un comportamiento normal por lo que no podemos suponer que los datos futuros vayan a tener un comportamiento de este tipo.

Además, se realizaron los gráficos de residuos los cuales se muestran en la figura 2.3.7.

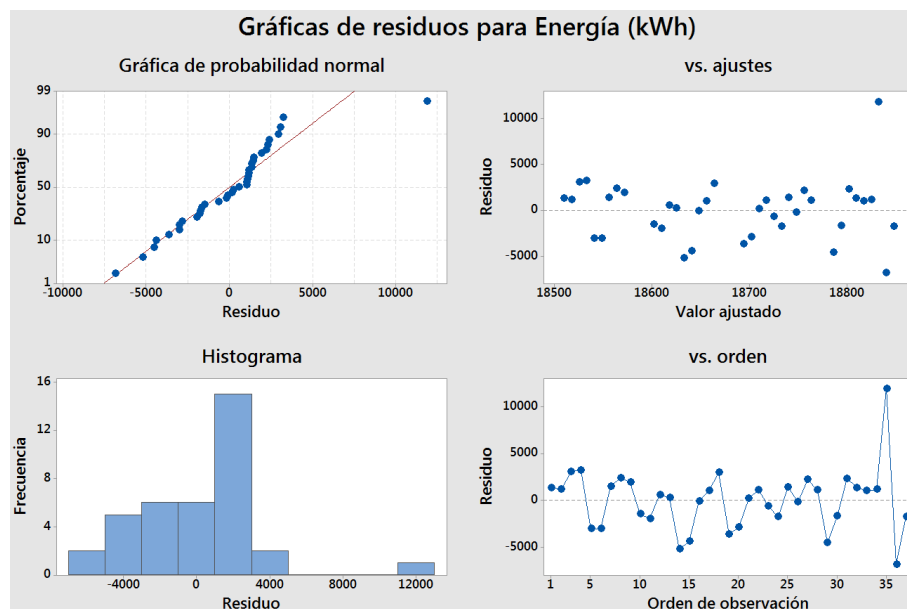


Figura 2.3.7. Graficas de residuos para los datos de energía (Elaboración propia)

En la gráfica de probabilidad los datos no se ajustan a línea recta, en el histograma los datos no se ajustan a la curva de normalidad y para los residuos contra ajustes y orden de observación se observa una tendencia ondulatoria es por todo ello que se puede asegurar que la distribución de datos de energía para el consumo del comedor estudiantil no tiene un comportamiento normal.

Dado que no se obtuvo un comportamiento normal se realizaron los gráficos de control con el propósito de analizar la posible presencia de tendencias lo que se puede observar con la

figura 2.3.8 denominada gráfico \bar{X} y adicional a ello observar la variabilidad de los datos con el gráfico R. Los valores graficados se comparan contra un valor constante respecto a un valor medio preestablecido, seguidamente se tiene el gráfico inferior correspondiente al gráfico R en el cual se monitorea la variabilidad de los datos utilizando el rango para delimitarlo. Cabe mencionar que dichos gráficos se realizaron analizando los datos de los meses desde marzo hasta noviembre inclusive para los últimos cuatro años a partir del 2015 hasta el 2018 inclusive y se muestran en la siguiente figura 2.3.8.

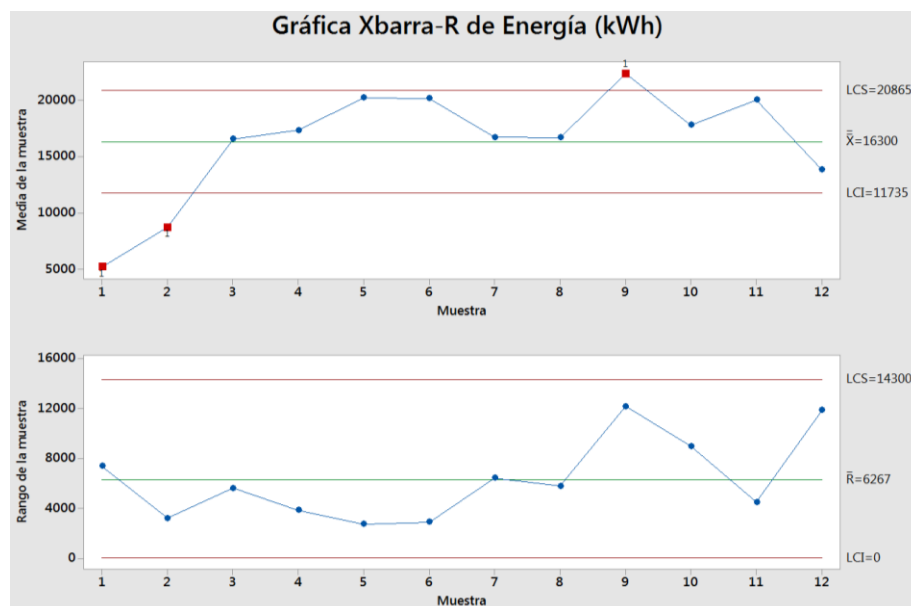


Figura 2.3.8. Grafico \bar{X} y R para los datos de consumo de energía en periodo lectivo (Elaboración propia)

Los gráficos anteriores realizados con un intervalo de los límites de control de 6 desviaciones estándar hacen referencia a la variable energía, en el gráfico \bar{X} se observan tendencias en donde se indica que los meses de mayo, junio y septiembre tienen los mayores picos de consumo esto es algo que se ha mantenido durante los últimos 4 años por otro lado para el gráfico R se tiene que en cuanto a la variabilidad es alta debido principalmente al valor de 30 000 kWh reportado en septiembre del 2018 el cual al ser estudiado con más detenimiento se descubrió que su motivo recae principalmente en el mantenimiento que se le dio a la cámara de congelamiento y la cámara de refrigeración en

el año 2018 y agregado a ello el cambio de administración en donde la gerencia se estaba adaptando al número de clientes y cantidad de comida demandada para el comedor.

Ahora es pertinente conocer el comportamiento de la demanda energética del año 2019 la cual será de gran ayuda en la elaboración de los cálculos para la viabilidad financiera de las propuestas de mejora y por esto es necesario la obtención de pronósticos así que se construyó un gráfico de series de tiempo representado en la figura 2.3.9 en donde se observa la presencia de periodos estacionales o tendencias ya que estas definirán el modelo que se empleara para realizar los pronósticos.

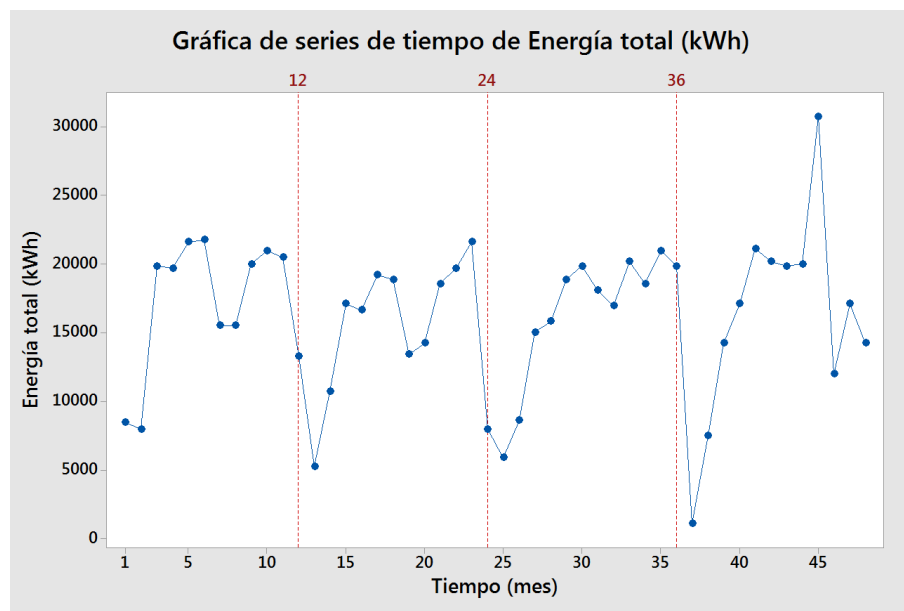


Figura 2.3.9. Distribución temporal para todos los datos de consumo de energía (Elaboración propia)

En la figura anterior se determina que para los dos primeros años y parte del tercero había un periodo estacional muy marcado pero durante el tercer y cuarto año se pierde esta continuidad principalmente en el cuarto año en donde ocurre un cambio de administración del comedor durante el mes de julio, es por ello que para el análisis total de los datos se determina que sí hay un periodo estacional definido a pesar de los factores de administración y cambio de personal que no se pueden controlar y para el caso de una tendencia hay una pequeña predisposición de los datos de manera levemente decreciente,

sin embargo esta no es determinante ya que no es una tendencia muy marcada, es por ello que se decide realizar los pronósticos por medio de un modelo de descomposición multiplicativo el cual se emplea cuando la serie de datos presenta un periodo estacional y con o sin tendencia, además que este presenta un error porcentual absoluto medio menor que los que exhiben los análisis de series de tiempo de promedio móvil o el método de Winters en la figura 2.3.10.

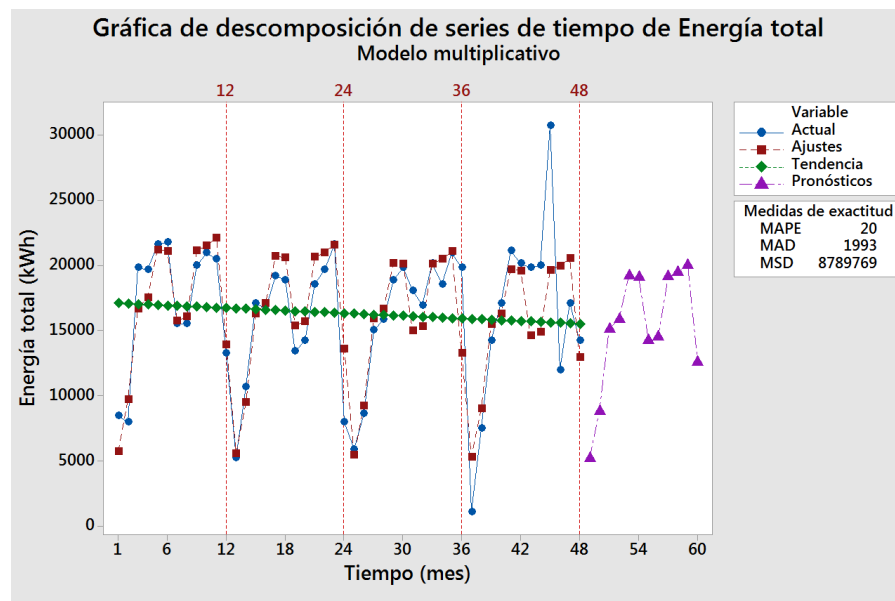


Figura 2.3.10. Pronósticos para el año 2019 de la demanda de energía total (Elaboración propia)

En la figura 2.3.10 se observan los pronósticos para el año 2019 y el comportamiento de estos datos con un error porcentual absoluto medio (MAPE) de un 20% el cual es aceptable, estos valores son generalmente mayores al 10% esto debido a la no linealidad de las variables de análisis (Frechtling, 2016), el MAPE indica el desempeño del pronóstico y al mismo tiempo que los datos esperados estarían con un valor inferior de aproximadamente 14 000 kWh hasta un valor superior de 20 800 kWh, esto se verificó solicitando los nuevos consumos del año 2019 del cual se obtuvo que en promedio se consumen 15 000 kWh hasta julio de 2019 valor contemplado en el intervalo de los pronósticos obtenidos. Se obtuvo que en promedio el consumo energético en periodo lectivo corresponde a 17 408 kWh lo cual

indica un gasto económico de ₡ 810 000 al mes el cual es producto principalmente de los equipos eléctricos como el horno, la freidora, los refrigeradores, las marmitas, los baños maría, la cámara de enfriamiento y la cámara de congelación. Además de esto se construyó un gráfico de series de datos para los costos de la electricidad asociados a un consumo de 20 000 kWh determinados por ARESEP para el consumo eléctrico en zona preferencial o social desde enero del 2013 hasta julio del 2019 el cual se presenta en la figura 2.3.11.

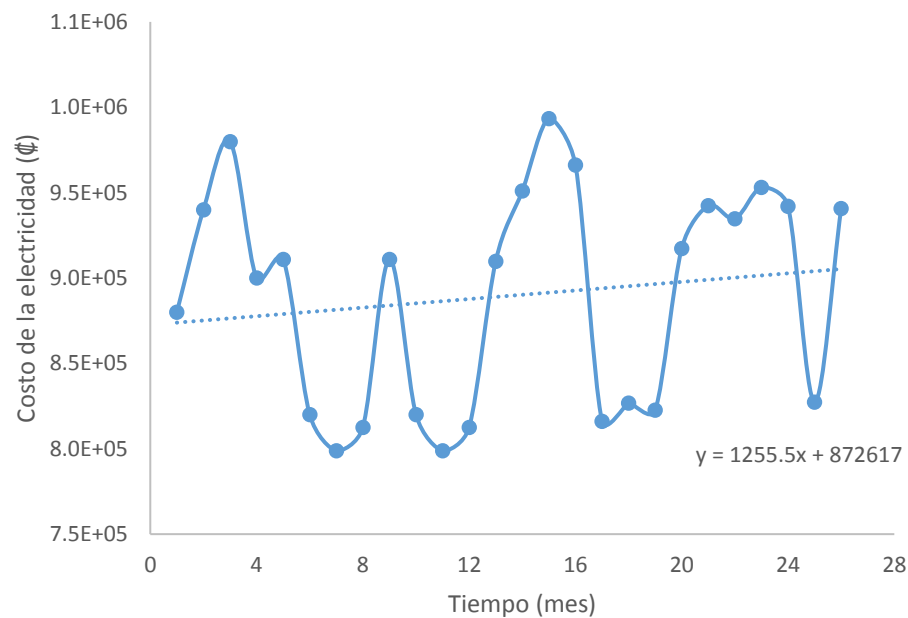


Figura 2.3.11. Costo trimestral de la electricidad para 20 000 kWh desde el año 2013 al 2019. (Elaboración propia)

Del gráfico anterior se determinó que hay una tendencia creciente debido a la pendiente positiva en la línea de ajuste en los datos de costo de la energía eléctrica para la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), y un comportamiento que se repite es el que se observa después de un punto mínimo en donde el costo comienza a subir, se puede apreciar en el año 2014, 2015 y 2017 en donde se tienen los valores mínimos y al año siguiente comienzan a crecer por lo cual se puede suponer que para el año 2019 estos valores de igual manera van a subir e incluso se podrían extender hasta el 2020.

A partir del análisis realizado se pronostica que para futuras gestiones el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica estará consumiendo aproximadamente una cantidad de 18 000 kWh por concepto de energía eléctrica con un valor asociado de alrededor de ₡ 810 000 durante su periodo de actividad, anualmente el cual corresponde a ₡ 9 000 000 aproximados y solo por la energía eléctrica consumida, valor que se puede reducir considerablemente al buscar oportunidades de mejora en cuanto a un menor consumo eléctrico al reemplazar los equipos que actualmente se utilizan.

Con base en lo anterior y como primer paso del DMAIC se muestran los mapeos del proceso respectivo al comedor por medio de la figura 2.3.12 y 2.3.13 generados por medio de observación del flujo de alimentos crudos y cocidos por el comedor el cual tiene como principal servicio la alimentación de sus clientes, las cuales sirven de guía para la auditoría energética y de seguridad.

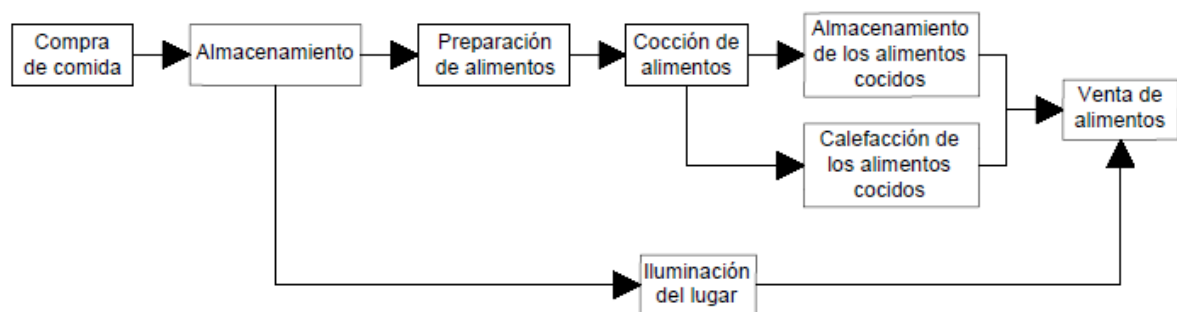


Figura 2.3.12 Mapeo general del proceso de consumo energético del comedor (Elaboración propia)

En la figura anterior se obtuvo una vista general del proceso que se da en el comedor, la auditoría energética se realizó principalmente en el área de la cocina en donde se tienen el mayor número de equipos, la cocina estaría contemplada desde la preparación de alimentos hasta la calefacción de los mismos, teniendo en cuenta la iluminación necesaria para llevar a cabo la labor de los cocineros es por ello que se realizó un enfoque en ese intervalo detallado con un mapeo específico del área sensible al consumo energético por medio de la figura 2.3.13. Es importante destacar que para materia de seguridad si

contempló la totalidad del mapeo general ya que en los lugares de almacenamiento y venta de alimentos se debe procurar que presenten las medidas de seguridad pertinentes.

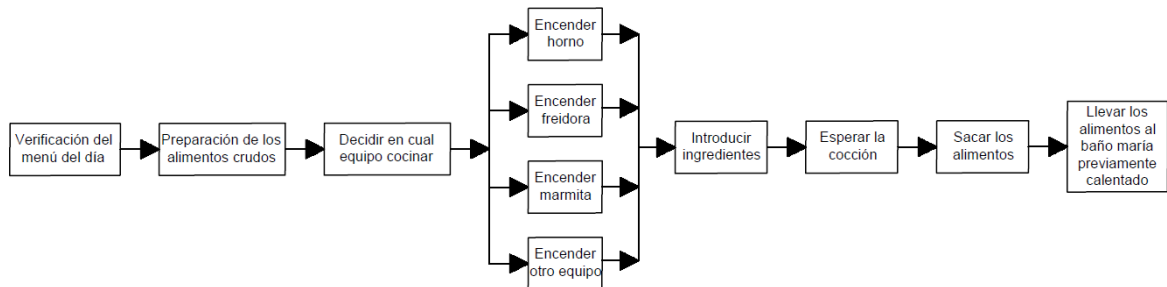


Figura 2.3.13 Mapeo específico del proceso de consumo energético del comedor (Elaboración propia)

El mapeo específico ayuda a conocer la cantidad de equipos y el nivel de consumo energético de cada equipo, se determina el nivel de uso de cada equipo y la manera en cómo se opera. En este caso el mapeo indica que efectivamente la auditoría energética debe tener un enfoque en el área de la cocina más específicamente enfocada a los equipos como el horno, la freidora, las marmitas y el baño maría, con el propósito de obtener oportunidades de mejora para la operación realizada de cada equipo.

Así en este capítulo se determinó la estacionalidad del comportamiento de los datos con lo que se obtuvieron pronósticos para el año 2019 los cuales ayudaran en los cálculos de viabilidad financiera, al mismo tiempo se determinó que el comedor consume en promedio 18 000 kWh correspondiente a un valor financiero de aproximadamente ₡ 810 000.

CAPÍTULO 3. EVALUACIÓN DE RIESGOS LABORALES

En este capítulo se explicará y discutirá la información referente a la evaluación de riesgos laborales en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica con el propósito de conocer su situación actual en cuanto materia de seguridad.

3.1 Fundamento teórico

Para una mejor explicación del análisis de la evaluación de riesgos laborales es necesario comprender previamente temas de relevancia como lo son la seguridad ocupacional y siniestralidad, leyes sobre riesgo del trabajo, índices de riesgo y evaluación de riesgos por el método de William T. Fine.

3.1.1 Seguridad Ocupacional y Siniestralidad

En un proceso siempre existirán riesgos así es en para el caso del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica debido a su naturaleza los empleados se verán expuestos a riesgos que pueden afectar su salud a corto o largo plazo. La salud ha sido un tema de interés para la humanidad desde tiempos antiguos ya que está directamente relacionada con el fin de satisfacer las necesidades de cada individuo así como el desarrollo de sus habilidades, la Organización Mundial de la Salud define la salud como el completo bienestar físico, mental y social de un individuo y no solamente la ausencia de una enfermedad , lo anterior implica que el entorno de un individuo debe promover los buenos hábitos de salud y bienestar para una persona lo cual en tiempos modernos es equivalente al incremento de las leyes de protección para los trabajadores. El propósito de estas regulaciones es proveer al trabajador de beneficios que asistan y mantengan a los trabajadores seguros hasta donde sea posible, generando de esta manera empleados que se sientan a gusto con sus actividades a realizar y con un buen desempeño, cabe destacar que la salud laboral contempla prevención, diagnóstico, tratamiento, rehabilitación y control de accidentes (Álvarez, 2012). Ahora en referencia al concepto de siniestralidad este se refiere a la tasa de incidencia de un siniestro en una empresa u organización específica en un tiempo determinado y bajo el concepto de

siniestro se abarca toda eventualidad que genera una indemnización para la autoridad a cargo de la víctima (Guixá, 2015).

3.1.2 Leyes sobre riesgos de trabajo

Al lado de lo comentado en el párrafo anterior se debe saber que en Costa Rica se tiene una legislación en materia de protección al trabajador en caso de que este realice un trabajo que presente riesgos para su bienestar, fundamentalmente se debe contemplar el artículo 83 del código de trabajo inciso G en donde se especifica que el patrono debe velar por la seguridad del trabajador o la de su familia cuando exista peligro en su trabajo ya que el patrono está obligado a proporcionar buenas condiciones higiénicas, medidas de prevención y seguridad respectivas (Ley N°2, 1943). Además, se debe destacar el artículo 193 concordantes y siguientes de la Ley 6727 de riesgos del trabajo que indica que todo trabajador que este bajo un riesgo de trabajo obliga a su patrono a que lo asegure en el Instituto Nacional de Seguros (Ley N°6727, 1982), por ello contemplando lo anterior se debe proveer de medidas de disminuyan los riesgos que además de reducir gastos por parte del patrono aseguran un buen desempeño de sus empleados y un ambiente saludable de trabajo.

Además se debe conocer que el Consejo de Salud Ocupacional (CSO) pone a disposición normas técnicas de prevención (NTP) las cuales son recopiladas por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo (CINSST) del Gobierno de España, entre estas la CSO recomienda utilizar las referentes a temas como las estadísticas de accidentabilidad en la empresa, señalizaciones de conducciones, señalización de vías de evacuación, identificación de producto químicos por etiqueta, sobre soldaduras, reglamentaciones relativas a productos químicos, líquidos inflamables y combustibles, almacenamiento en recipientes móviles y resguardo.

3.1.3 Índices de riesgo

Según la NTP 1: Estadísticas de accidentabilidad en la empresa, se tienen los siguientes índices estadísticos que permiten relacionar cifras relativas y las características de accidentabilidad de una empresa, los cuales corresponden a

- Índice de frecuencia: este índice relaciona el número de accidentes por el número de horas trabajadas debe quedar claro que los accidentes que se hayan producido en horas fuera del trabajo quedan excluidos de los cálculos, se recomienda realizarlo por niveles o áreas de la empresa en interés y se obtiene por medio de la siguiente relación:

$$IF = \frac{N^{\circ} \text{ accidentes}}{N^{\circ} \text{ horas trabajadas}} \times 10^6 \quad (3.1.3.1)$$

Donde:

IF: Índice de frecuencia, adim

N° accidentes: número de accidentes, adim

N° horas trabajadas: número de horas trabajadas, adim

- Índice de gravedad: este valor expresa el número de jornadas perdidas por cada mil horas trabajadas, estas jornadas perdidas corresponden aquellas por incapacidades temporales e incapacidades permanentes teniendo en cuenta que solo se contabilizaran las jornadas perdidas en días laborales, se expresa de la siguiente manera:

$$IG = \frac{N^{\circ} \text{ jornadas perdidas}}{N^{\circ} \text{ horas trabajadas}} \times 10^3 \quad (3.1.3.2)$$

Donde:

IG: Índice de gravedad, adim

N° jornadas perdidas: número de jornada perdidas, adim

N° horas trabajadas: número de horas trabajadas, adim

- Índice de incidencia: este índice representa el número de accidentes ocurridos por cada mil personas expuestas, se emplea generalmente cuando no se dispone de la información de horas trabajadas y se expresa de la siguiente manera:

$$II = \frac{N^{\circ} \text{ accidentes}}{N^{\circ} \text{ trabajadores}} \times 10^3 \quad (3.1.3.3)$$

Donde:

II: Índice de incidencia, adim

N° accidentes: número de accidentes, adim

N° trabajadores: número de trabajadores, adim

- Índice de duración media: este valor indica el tiempo medio de duración de las bajas por accidentes y se obtiene con el número de jornadas perdidas y el número de accidentes y se expresa de la siguiente manera:

$$IDM = \frac{N^{\circ} \text{ jornadas perdidas}}{N^{\circ} \text{ accidentes}} \quad (3.1.3.4)$$

Donde:

IDM: Índice de duración media, adim

N° jornadas perdidas: número de jornadas perdidas, adim

N° accidentes: número de accidentes, adim

3.1.4 Evaluación de riesgo por el Método Fine

Ahora para mejorar el cumplimiento de las leyes en materia de seguridad se emplean herramientas específicas para ello las cuales se denominan como métodos de evaluación de riesgo los cuales ayudan a los profesionales de la seguridad en la toma de decisiones con respecto a los riesgos evaluados en un lugar determinado. En este proyecto se empleó el método de William T. Fine el cuál es un método de evaluación matemática para control de riesgos, su principal característica diferenciadora es que se basa en tres factores los cuales son la exposición o frecuencia (f) con la que se produce la situación de riesgo, la probabilidad (p) de que se dé la situación de riesgo y la consecuencia (q) la cual se relaciona directamente con el daño esperado por dicho riesgo, de esta manera se obtiene un

parámetro llamado magnitud de riesgo (r) por medio del producto de los tres factores de la siguiente manera:

$$r = f \times q \times d \quad (3.1.4.1)$$

Donde:

r : Magnitud del riesgo, adim

f : Frecuencia, adim

q : Probabilidad, adim

d : Consecuencia, adim

Además, este método emplea tablas numéricas para asignar los valores de los factores según sea el caso a continuación, se muestran los cuadros para frecuencia, probabilidad y consecuencia (Rubio, 2009):

Cuadro 3.1.4.1. Código numérico para consecuencias según William T. Fine

Clasificación	Consecuencias, <i>Conc</i> (adim)
Varias muertes y efectos nocivos	50
Muerte y/o enfermedad ocupacional	25
Lesiones extremadamente graves o posible enfermedad ocupacional	15
Lesiones incapacitantes	5
Heridas leves, contusiones y pequeños daños	1

Cuadro 3.1.4.2. Código numérico para probabilidad según William T. Fine

Clasificación	Probabilidad, <i>Prob</i> (adim)
Es el resultado más probable y esperado si la situación de riesgo continua	10
Es completamente posible, nada extraño	6
Sería la conclusión más probable de la cadena de hechos que culmine en accidente	3
Sería una coincidencia remotamente posible	1
Nunca ha sucedido en muchos años, pero puede ocurrir	0.5

Cuadro 3.1.4.3. Código numérico para Exposición según William T. Fine

Clasificación	Exposición, <i>Ex</i> (adim)
Continuamente en la jornada	10
Frecuentemente en la jornada	6
Ocasionalmente en la jornada	3
Raramente (pero se sabe que ocurre)	1
Remotamente posible (no se sabe que haya ocurrido)	0.5

Los parámetros anteriores son fundamentales para determinar el grado de riesgo de cada actividad en una evaluación de riesgo para este método se espera que la magnitud de los riesgos encontrados sea menor o igual a 100 (utilizando los códigos numéricos de la valoración de riesgos asociados al método Fine tabulados anteriormente), de no ser así se deben dar recomendaciones con el propósito de determinar oportunidades de mejora en el ámbito de siniestralidad (García, 2014).

3.2 Metodología

Para esta sección se inició realizando un recorrido de observación complementado con entrevistas al personal del comedor estudiantil siguiendo lineamientos del Consejo de Salud Ocupacional (CSO) (Oncins, 2018) de esta manera por medio de la observación se identifican los riesgos, las consecuencias y la probabilidad y con las encuestas se determina la exposición a estos, así con la recopilación de información se ejecutó un análisis de siniestralidad por medio de una evaluación de riesgo por el método de William T. Fine del cual se obtuvieron recomendaciones y oportunidades de mejora en materia de seguridad laboral. Se determinaron los índices de siniestralidad de los últimos 4 años según la información registrada con la NTP 1 del CSO además se elaboró un croquis de las instalaciones con sus respectivas salidas de emergencia y un análisis de extintores y sistema de gas según la NFPA 10 y 54 respectivamente.

3.3 Resultados y análisis de resultados

Se realizó un análisis de siniestralidad en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica y para ello se debe tener el conocimiento claro de las dimensiones del lugar y su

distribución en el espacio donde residen los riesgos es por ello que se comenzó realizando un croquis de las instalaciones el cual se muestra a continuación:

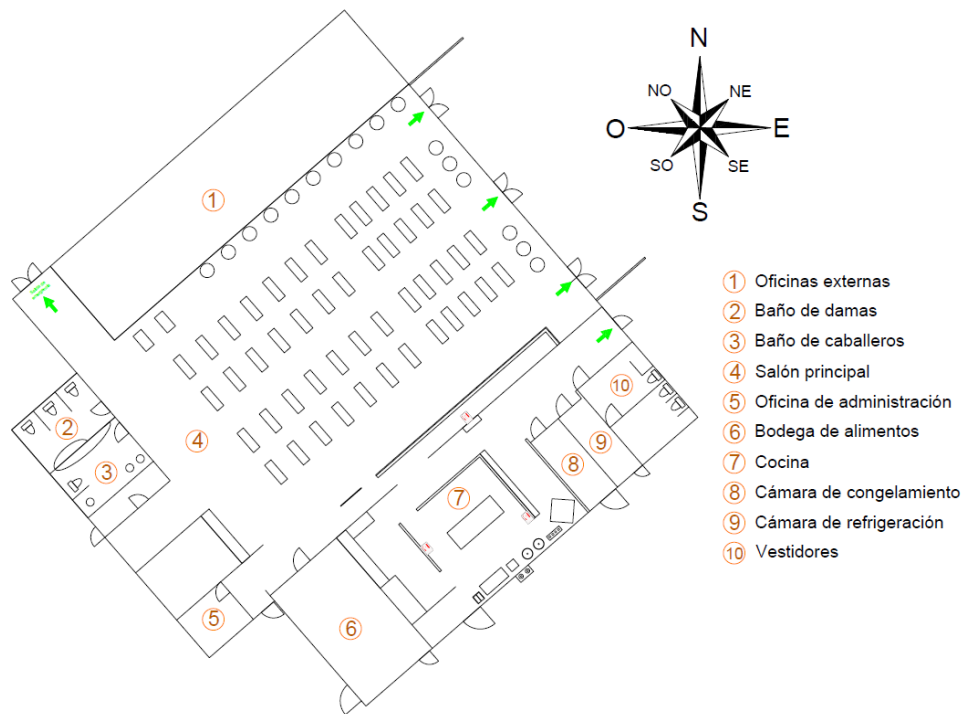


Figura 3.3.1. Croquis del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)

En la figura anterior se muestra la totalidad de las instalaciones con un área de construcción de 1354 m² incluyendo los baños, la sala principal del comedor, cámara de congelamiento, cámara de refrigeración, oficinas, bodega y el área de la cocina, el análisis de siniestralidad se realizó principalmente en el área de la cocina ya que ahí es donde se realizan la mayoría de trabajos de los empleados del comedor sin embargo no se ignorará el salón principal en lo que respecta a la instalación de equipos de seguridad contra incendio. En el comedor se encuentran tres extintores, uno tipo ABC ubicado al oeste en la cocina, otro tipo ABC ubicado cerca de la barra de alimentos en el salón principal y uno tipo K ubicado al este en la cocina sin embargo, conforme el reglamento de la NFPA 10 sobre extintores portátiles contra incendio en el cual se basa el Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica la

cantidad de extintores necesarios corresponde a ocho extintores los cuales corresponde a los tres existentes y a cinco extintores de tipo ABC ubicados en la bodega de alimentos, los vestidores, la oficina de administración y dos ubicados en el salón de donde se propone la ubicación de uno en la pared suroeste contigua a los baños de hombres y el otro en la pared norte del salón esto con el propósito de tener una distancia máxima de recorrido menor a 23 m siguiendo las normas establecidas por la Norma para extintores portátiles (NFPA 10), a continuación se muestra la figura 3.3.2 con la propuesta de la ubicación de los extintores:

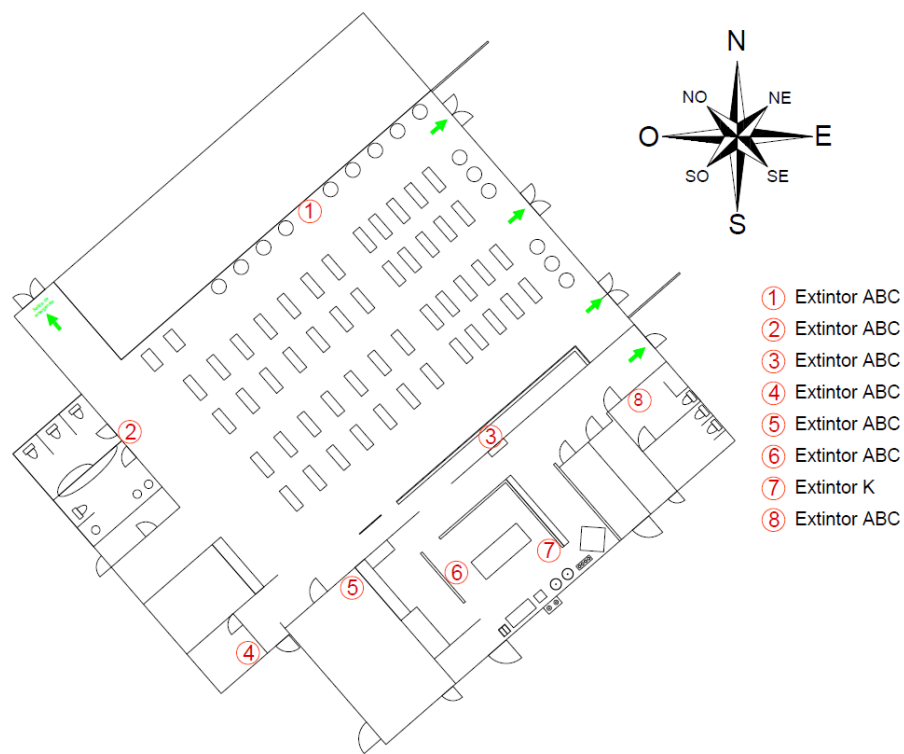


Figura 3.3.2. Croquis del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)

La cantidad de extintores se obtuvo teniendo en cuenta un riesgo extraordinario en la cocina con un área de 189.5 m² y un riesgo leve para el caso de la bodega de alimentos, salón, oficina administrativa y vestidores con un área total de 850.6 m², el riesgo extraordinario debido a que en el historial de accidentes en el comedor se encuentra un

incendio provocado por los aceites de las freidoras hace 4 años según testimonios de trabajadores.

Ahora en cuanto a la evaluación de riesgo se presenta la figura 3.3.3 en donde se emplea el método William T. Fine y se indica la categoría y el tipo de riesgo, su consecuencia, probabilidad y exposición asociada y su grado con su respectiva clasificación.

Categoría	Riesgo	Evaluación			Grado	Clasificación del riesgo				
		Consecuencias	Probabilidad	Exposición		Soportable	Grave	Muy grave	Extremo	Insoportable
Físico	Calor en el ambiente	5	6	6	180			X		
	Mala iluminación	1	1	0.5	0.5	X				
	Atrapamiento en las cámaras de enfriamiento	15		0.5	0					
Químicos	Ruidos	5	6	3	30		X			
	Polvos	1	6	3	18	X				
	Vapores	5	10	1	50		X			
Biológicos	Hongos	1	1	1	1	X				
	Virus	5	3	0.5	7.5	X				
	Insectos	1	3	0.5	1.5	X				
	Animales	1	3	0.5	1.5	X				
Ergonómicos	Mala postura	15	6	1	30			X		
	Sobreesfuerzo	5	6	3	30		X			
	Movimiento repetitivo de cuello	15	10	3	450					X
	Movimiento repetitivo de brazos	5	10	10	500					X
	Movimiento repetitivo de muñecas	15	10	10	1500					X
	Largos tiempos estando de pie	5	6	10	300				X	
	Largos tiempos caminando	1	6	6	36		X			
	Flexionamiento de espalda	15	10	6	300					X
	Movimiento repetitivo de cintura	5	6	3	30		X			
Psicosociales	Monotonía	1	10	3	30	X				
	Carga de trabajo	5	3	1	15	X				
	Estrés	5	6	6	180			X		
Mecánicos	Cortes/heridas	15	10	6	300					X
	Salpicaduras	15	10	1	150			X		
	Caidas por escalones	15	3	0.5	22.5	X				
	Golpes contra y por objetos	15	3	0.5	22.5	X				
	Atrapamiento	15	3	0.5	22.5	X				
	Pellicazo	5	6	1	30	X				
	Resbalones	5	6	1	30	X				
	Quemaduras	15	6	3	270				X	
Eléctricos	Caída de objetos	1	3	1	3	X				
	Contacto directo	25	1	0.5	12.5	X				
	Contacto indirecto	5	6	1	30	X				
	Cables sueltos	25	1	0.5	12.5	X				
Emergencias tecnológicas	Equipo dañado	5	3	3	45		X			
	Incendios	25	1	1	25	X				
	Equipos no profesionales de GLP	25	3	1	75		X			

Figura 3.3.3. Matriz de evaluación de riesgo para la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)

En la matriz de evaluación de riesgo anterior se evalúan riesgos de tipo físico, químico, biológico, ergonómico, psicosocial, mecánico, eléctrico y de emergencia tecnológica, todos

estos fueron determinados por medio de observación y entrevistas al personal de las instalaciones, de ellos cabe destacar que los riesgos que se encuentran en el rango como insoportables, extremo y muy grave corresponden a problemas ergonómicos como el movimiento repetitivo de cuello, brazos, muñecas, espalda y largos periodos estando de pie, cortes y heridas, estrés, quemaduras, salpicaduras de agua hirviendo y calor en el ambiente en orden de prioridad, para cada uno de estos riesgos se propone una recomendación, responsable de mitigación y responsable de revisión que asegure una reducción del peligro con su respectiva fecha recomendada lo cual se muestra a continuación en la figura 3.3.4.

Riesgo	Acción de mitigación	Responsable	Responsable de la revisión	Fecha de finalización
Calor en el ambiente Mala iluminación Atrapamiento en las cámaras de enfriamiento Ruidos Polvos Vapores	Colocar ventiladores	Jefe de Almacén de materiales y herramientas Unidad de Logística y	Gerencia del comedor	sep-19
Hongos Virus Insectos Animales				
Mala postura Sobreesfuerzo Movimiento repetitivo de cuello Movimiento repetitivo de brazos Movimiento repetitivo de muñecas Largos tiempos estando de pie Largos tiempos caminando Flexionamiento de espalda Movimiento repetitivo de cintura	Capacitación sobre problemas ergonómicos	Encargado de la unidad de salud ocupacional, ambiental y de primeros auxilios de la UCR	Gerencia del comedor	nov-19
Monotonía Carga de trabajo				
Estrés	Capacitación para afrontar el estrés	Encargado de la unidad de salud ocupacional, ambiental y de primeros auxilios de la UCR	Gerencia del comedor	nov-19
Cortes/heridas	Capacitación sobre seguridad al emplear cuchillos			
Salpicaduras Caídas por escalones Golpes contra y por objetos Atrapamiento Pellizco Resbalones	Equipo de protección y mantenimiento de equipos	Jefe de Almacén de materiales y herramientas Unidad de Logística y	Gerencia del comedor	sep-19
Quemaduras	Equipo de protección y mantenimiento de equipos	Jefe de Almacén de materiales y herramientas Unidad de Logística y	Gerencia del comedor	sep-19

Figura 3.3.4. Matriz de evaluación de riesgo para la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica (Elaboración propia)

El mayor de los riesgos que se obtuvo al realizar el trabajo fueron los problemas de ergonomía con un grado de 500 y clasificado como insoportable entre los cuales destacan el movimiento repetitivo, largas jornadas de pie y mal flexionamiento de espalda, es por ello que se plantean una serie de recomendaciones con el propósito de disminuir el impacto perjudicial en la salud que provocan estas actividades. Las largas jornadas de pie pueden provocar molestias como dolor lumbar, dolor en la zona central de la espalda, en el cuello

y parte superior de los hombros e incluso mayor riesgo de lesiones lo que a su vez puede ocasionar daños en la espalda como hipercifosis, hiperlordosis, escoliosis o rectificación cervical, dorsal o lumbar de manera que para reducir el riesgo se recomienda procurar una ligera flexión de las rodillas para no generar un exceso de tensión en la zona lumbar, elevar lentamente la punta de los pies para favorecer el retorno venoso y alternancia de postura, emplear una gradilla de unos 20 cm de alto que permita intercambiar los pies de manera que se corrija la postura de la curvatura lumbar esto para cada puesto de trabajo que requiera estar largos periodos de pie, también se debe realizar una organización espacial del equipo que necesite utilizar el trabajador por medio de las características anatómicas y antropométricas del individuo ya que todo utensilio como cuchillos, paletas, caja registradora, entre otros debe estar a una distancia que sea alcanzable con solo estirar el brazo y preferiblemente a la altura del codo, para tareas que requieran el peso del cuerpo se trabaja por debajo del codo y para tareas que requieran precisión por encima del codo, además se deben dar pequeños periodos de dos a cinco minutos de descanso por cada tres horas de trabajo realizado con el propósito de realizar cambios de postura y estiramientos (Bayoglu, 2017).

Al flexionar la espalda para agacharse se debe evitar el exceso de presión sobre los discos intervertebrales por lo que se recomienda flexionar las rodillas y cadera manteniendo la espalda recta, otra manera correcta para agacharse al sujetar un objeto cercano al suelo o una actividad similar es apoyar una rodilla de forma alterna en el suelo con la otra semiflexionada y manteniendo la espalda recta y si el caso es levantar un objeto pesado primero se debe verificar que el recorrido que se deba realizar esté libre de obstáculos, se debe sujetar la carga con los pies separados flexionando las rodillas y manteniendo la espalda recta, al elevar la carga se debe tratar de girar la carga para mejorar el agarre, finalmente se debe mantener cerca del cuerpo durante todo el transcurso manteniendo brazos estirados y pasos cortos (Fremap, 2016). Ahora otro tema de importancia es el de los movimientos repetitivos los cuales pueden llegar a ocasionar tendinitis, isquemias, síndrome del túnel carpiano y tenosinovitis y los cuales contemplan movimientos

repetitivos de cuello, brazos y muñecas, para ellos se recomienda emplear herramientas con agarres cómodos y suaves, manejar una posición de la mano neutra para evitar la desviación radial o cubital de la mano, el peso de los objetos involucrados en movimientos repetitivos no debe superar el 30% de la capacidad muscular del trabajador, se debe garantizar una posición adecuada al realizar estos movimientos y se deben evitar la presiones directas sobre la empuñadura con las articulaciones (Chavarría, 2013). Todas las recomendaciones antes mencionadas deben recopilarse y exponerse ante los trabajadores por medio de una capacitación sobre principios ergonómicos en donde se aclare y refresque las buenas prácticas relacionadas con ergonomía que procuren una disminución de los riesgos ergonómicos presentes en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica, estas actividades abarcan la limpieza, cocción de alimentos, preparación de alimentos, área de mantenimiento y cajas.

Otro riesgo importante es el de cortes y heridas con un valor de 900 y clasificado como insoportable los cuales se dan principalmente en el área de la cocina sobre la mesa de picar o cortar los alimentos con cuchillos esto debido a las condiciones de los cuchillos los cuales presentan cogedores flojos o en mal estado, según las entrevistas realizadas una empleada en el año 2016 habría perdido la movilidad de uno de sus dedos en el cual hirió unos de sus tendones al estar cortando carne durante su jornada laboral con el propósito de reducir este riesgo para la futura actividad se propone almacenar los cuchillos u objetos punzocortantes correctamente en bloques portacuchillos y evitar la placa magnética pues con un golpe fuerte podría ocurrir un accidente, no caminar por la cocina con ellos porque regularmente el piso se encuentra mojado y una caída con cuchillo puede ser mortal, mantener los mangos de los cuchillos en buenas condiciones y reemplazarlos de ser necesario, no colocarlos en lugares altos y también emplearlos con la técnica correcta para ello se propone dar una capacitación para el empleo correcto y seguro del cuchillo al realizar las actividades diarias en la cocina.

En cuanto al estrés con un grado de 180 clasificado como muy grave es otro gran riesgo el cual se debe primero aclarar que se habla del Distress y no de su contra parte el Eustress (estrés beneficioso que promueve la competitividad y productividad), el Distress corresponde a la respuesta fisiológica, psicológica y de comportamiento de un individuo cuando este trata de ajustarse a una demanda intensa o prolongada de actividad y exigencias entre las cuales se tienen novedad, impredecibilidad, sensación de descontrol y percepción de una amenaza, las cuales después de estar presente durante un periodo considerable pueden convertirse en características negativas de una acción, el Distress debe evitarse ya que provoca ansiedad, agresividad, incrementan la posibilidad de accidentes en el trabajo, disminuye el rendimiento, altera el estado de ánimo, puede desencadenar un desorden mental, favorece el síndrome de *burnout* (síndrome causado por estrés excesivo por sobrecarga de trabajo), tensión muscular, mala coordinación mano-ojo o pie-ojo, mayor susceptibilidad a enfermedades infecciosas, insomnio, aumento en la frecuencia cardiaca, presión e hiperventilación (Sánchez, 2016). Es por ello que se proponen capacitaciones sobre cómo afrontar el estrés, definir las competencias de cada trabajador, promover el trabajo en equipo y la rotación de puestos, prevenir y controlar los riesgos psicosociales y generar un espacio donde los trabajadores puedan expresar cualquier inconformidad con la gerencia con el propósito de proveer un buen ambiente de trabajo libre de estrés.

Con respecto al riesgo de quemaduras con un valor de 270 y clasificado como extremo se tienen dos casos el primero por salpicaduras de agua hirviendo y el segundo relacionado con las quemaduras por contacto con superficies calientes. Para el primer caso se debe colocar la señalización respectiva alrededor de los equipos que presenten estas características tales como el horno, la freidora, las marmitas, los baños maría, la plancha y las plantillas de gas así como asegurar el mantenimiento respectivo de las unidades que presenten riesgo de salpicadura como lo son las marmitas y los baños maría con el propósito de disminuir dicho riesgo, por otro lado se debe proveer a los trabajadores el equipo de protección necesario como lo son los guantes de protección térmica con marca registrada, que deben renovarse periódicamente de ser necesario, se debe tener visible y cerca de los

equipos un manual de buenas prácticas para el empleo de los mecanismos de mayor riesgo térmico como la marmita, el horno y los baños maría en donde se detalle el procedimiento seguro y se especifiquen los cuidados para realizar las actividades pertinentes, se deben suministrar las pinzas para recipientes o moldes calientes principalmente en el uso del horno, se recomienda cubrir con aislantes las partes sensibles de los equipos o zonas expuestas en las que sea necesario tener un contacto físico para operarlas como las tapas y paredes de las marmitas, los bordes de la plancha y las agarraderas para los recipientes del baño maría, finalmente se debe demarcar el área con color amarillo de precaución según indica el Ministerio de Economía, Industria y Comercio de Costa Rica (MEIC) y el Instituto Nacional de Seguros (INS) en la Norma oficial para la utilización de colores en seguridad y su simbología No. 12715-MEIC la cual está actualmente vigente y sin cambios desde 1973, esto alrededor de las marmitas y la plancha y dejar las asas o mangos de las ollas en dirección contraria a los lugares transitados o pasillos (MEIC, 1973).

El calor en el ambiente presente en la cocina con un valor de 180 y clasificado como muy grave se puede disminuir por medio de ventilación ya sea por efecto mecánico o natural utilizando ventiladores en las mesas de trabajo y techo o construir ventanas en la zona sureste del edificio frente a la quebrada los negritos de manera que se disminuya la temperatura en la zona del trabajo.

En cuanto al sistema de gas instalado este no cumple algunos parámetros del Código Nacional de Gas Combustible (NFPA 54) y Código del Gas Licuado de Petróleo (NFPA 58), estos incumplimientos son falta de revestimiento de las tuberías de gas, las tuberías de gas no cumplen con los estándares de calidad según las normas citadas en la NFPA (ANSI/ASME B36.10, ASTM A53 y ASTM A106), presenta roscas de tuberías y válvulas oxidadas, solo presenta un regulador de presión, la tubería tiene mayor longitud de la necesaria, las válvulas y tuberías no son las indicadas para sistemas de gas, los soportes están elaborados con láminas de zinc dobladas lo cual tampoco cumple con reglamento y no presenta ensambles resistentes a fuego.

Otros riesgos que son de atención a pesar de no arrojar valores mayores a 100 en la evaluación de riesgos es el empleo de equipo no profesional para el empleo de gas licuado de petróleo el cual presenta válvulas que no son diseñadas para sistemas de gas y por tanto no son las adecuadas para el equipo, tuberías internas sin reguladores y además distancias de 15 cm entre el sistema de gas y los sistemas eléctricos lo cual va en contra del artículo 59 del Decreto N° 30131 (MINAE, 1973). Otro riesgo a considerar es el del piso mojado constante ya que a pesar de no tener caídas según reportan los trabajadores este si es muy resbaloso y una caída en dichas condiciones puede provocar consecuencias muy graves desde lesiones leves hasta fracturas, contusiones, heridas o traumatismos craneoencefálicos.

Respecto a los índices de riesgo se obtuvieron para los años 2016, 2017 y 2018 el índice de frecuencia con un valor de 379, 0 y 0 respectivamente, el índice de gravedad con un valor de 3.78, 0 y 0 correspondientemente, el índice de incidencia con un valor de 8.33%, 0 y 0 respectivamente y el índice de duración media con un valor de 10, 0 y 0 correspondientemente, estos valores dan cero debido a que no se tienen registros de accidentes, solamente por medio de entrevistas se logró registrar 1 en el año 2016 en el que una cocinera perdió movilidad de un dedo al cortarse un tendón mientras cortaba carne, además de este incidente no se tiene otro reportado en los últimos 3 años. Por ello dichos valores no se pueden comparar contra las estadísticas del Ministerio de trabajo y seguridad social (MTSS) y en cambio se recomienda llevar un registro de cualquier inconveniente que suceda en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica con el propósito de llevar un mayor control para el futuro.

Lo anterior indica que existen una serie de oportunidades de mejora en el ámbito de siniestralidad en el comedor estudiantil las cuales disminuirían el grado de los riesgos analizados y aportarían un ambiente de seguridad y mejor desempeño en el trabajo para sus ocupantes.

CAPÍTULO 4. AUDITORÍA ENERGÉTICA

En este capítulo se aborda todo el trabajo de campo relacionado con la realización de la auditoría energética en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica y se discutirán los resultados obtenidos durante su desarrollo.

4.1. Fundamento teórico

Para el desarrollo y comprensión de la auditoría energética realizada es necesario comprender previamente temas de relevancia como lo son auditorías energéticas, protocolos para realizar auditorías energéticas y sobre el campo de energías renovables en Costa Rica.

4.1.1 Auditoría energética

Una auditoría energética es un procedimiento sistemático que nos ofrece un conocimiento claro del comportamiento de los consumos energéticos de una instalación, todo ello con el fin de obtener ahorros energéticos desde el punto de vista técnico y económico. Estas mejoras se enfocan generalmente en mejoras de los servicios, mejoras económicas o mejoras medioambientales (FENERCOM, 2017).

Las auditorías ayudan a la situación energética actual, así como el funcionamiento de equipos e instalaciones, obtener valores y parámetros eléctricos de los equipos en conjunto e independiente, se analizan opciones de optimización de los suministros energéticos y recursos como el agua o combustibles, abre la posibilidad de emplear energías renovables en una instalación. Es importante destacar que las auditorías energéticas responden a la necesidad energética de la empresa auditada, contemplando todos los equipos, servicios, productos que forman parte de ella y proponiendo oportunidades de mejora principalmente en el ámbito económico (FENERCOM, 2017).

Una auditoría energética tiene tres partes fundamentales inicialmente evaluar la situación actual de las instalaciones, seguidamente recopilar información, realizar mediciones in situ, interpretar los resultados y finalmente proponer mejoras, analizarlas y documentarlas. Este proceso al estar ligado con tecnologías nuevas que mejoran con el tiempo puede repetirse

continuamente y así mantener a la empresa con una eficiencia energética controlada y con muchas oportunidades de mejora potenciales (FENERCOM, 2017).

Es importante destacar que al realizar una auditoría energética se debe conocer el tipo de edificación en la que se trabajará ya que algunas observaciones se deben realizar de acuerdo a la actividad que se realiza (residencial, comercial, industrial, etc), propiedad (pública o privada), sistema estructural (hormigón, madera, metálica, etc) y disposición (entre medianeras, aislado o adosado) para así determinar algunas condiciones de aprovechamiento de la estructura en materia energética (Hulin, 2010).

4.1.2 Protocolos para realizar una auditoría energética

Para realizar una auditoría energética se deben contemplar principios básicos recomendados durante este proceso con el propósito de asegurar ahorros cuantificables y un comportamiento eficiente energéticamente. El 14 de abril del 2013 entró en vigencia en España el Real Decreto 235/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo con el objetivo de establecer condiciones técnicas y administrativas para la realización de certificaciones de eficiencia energética de los edificios así como una metodología de cálculo para determinar el ahorro energético, todo ello al considerar los factores que tienen más incidencia sobre el consumo energético en los edificios de estudio, además, promueve la información objetiva en donde los usuarios de los edificios o posibles compradores tendrán vasto conocimiento sobre las características energéticas del edificio resumidas en un certificado de eficiencia energética que permite darle un valor y contrastar los servicios del edificio. El Real Decreto 235/2013 recomienda el uso del Documento básico HE: Ahorro de Energía el cual es una metodología clara de los principales consumos energéticos que se deben revisar y como se debe proceder en el caso en que no cumplan con los valores propuestos por el documento (MINETAD, 2013).

Otra medida de eficiencia energética que se emplea es la ISO 50001 publicada el 15 de junio del 2011 por la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Norma ISO 50001 es una guía para mejorar satisfactoriamente la eficiencia energética sin embargo no es

obligatoria sino solamente se toma como referencia, en Costa Rica se tiene la adaptación de esta como la INTE/ISO 50001:2018. En donde se implante esta metodología se fomentará el ahorro de costos, mejoramiento del rendimiento energético, competitividad y la disminución de la energía primaria, emisiones de CO₂, dependencia exterior e intensidad energética. Esta se basa inicialmente en planificar y documentar, se continúa realizando una mejora de acuerdo a la documentación y observación realizada, seguido a ello se verifica las mejoras propuestas y en respuesta a esta verificación se decide si se repite el proceso o se implementan dichas propuestas, de esta manera se asegura una mejora continua (Carretero, 2015).

4.1.3 Energías Renovables en Costa Rica

Al realizar una búsqueda de oportunidades de mejora un tema a contemplar es el de las energías renovables que consisten en toda energía que provenga de una fuente inagotable a escala humana o que se puedan renovar. Las principales energías renovables exploradas en la actualidad son la energía solar, la hidroeléctrica, la geotérmica, la eólica, la biomasa y la energía del movimiento del mar (Jarauta, 2015). En Costa Rica se han realizado muchos esfuerzos por aumentar el porcentaje de energía renovable que abarca el total de la energía que se contempla en la matriz energética esto hace destacar al país a nivel internacional.

Matriz energética registrada en el 2015

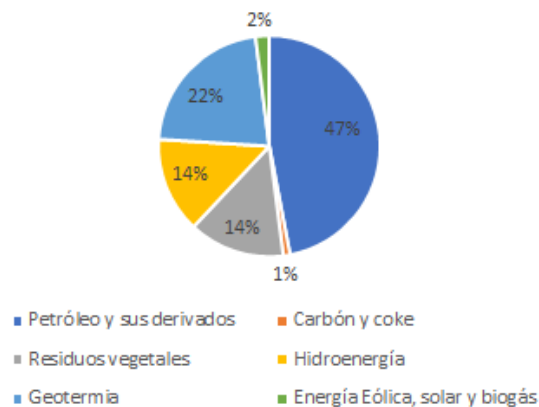


Figura 4.1.3.1 Porcentajes de repartición de la matriz energética en el 2015.

(Zárate, 2016)

Según el tipo de energía, las fuentes se clasifican como primaria y secundaria, la primaria contempla toda aquella energía que se extrae directamente de la naturaleza y la secundaria es la energía transformada para ser consumida directamente al diario vivir. En el gráfico izquierdo de la figura 4.1.3.1 se tiene la repartición de la oferta primaria de energía lo que demuestra que la energía geotérmica explotada en la zona de Guanacaste es la principal generadora potencial de energía eléctrica a partir de una energía renovable esto en respuesta a que es una alternativa económica y de muy buen rendimiento, cabe destacar que la eólica y la solar a pesar de no destacar en la actualidad tienen mucho potencial que aún no ha sido abordado y desarrollado, actualmente se tienen parques solares en San Carlos, Santa Cruz, en la Fortuna de Bagaces y Sabana y parques eólicos en los Santos, en la Fortuna, Liberia, Tilarán y Tejona (Campos, 2009). Por otro lado, es destacable que un 40% aproximadamente de la matriz energética de Costa Rica sea renovable, esto corresponde a 62 097 terajulios lo que coloca a Costa Rica en el quinto puesto en países con mayor porcentaje de matriz energética renovable según el REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) solo siendo superados por Noruega, Suecia, Letonia y Finlandia (REN21, 2017).

Ahora bien, para el caso de la aplicación en el comedor se buscará un enfoque de la energía solar principalmente para iluminación ya que para otros equipos las tecnologías en Costa Rica de energía solar son muy costosas y se debería además contemplar la adaptación al proceso del comedor estudiantil la cual generará un costo adicional y por tanto un mayor tiempo de recuperación de inversión.

4.2 Metodología

Se realizó una auditoría energética de campo en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica durante jornadas laborales, se comenzó realizando una observación por medio de recorridos en las instalaciones. Para ingresar a la cocina se empleó equipo de asepsia como cofia, cubre bocas y gabacha, se determinó el consumo energético de las tecnologías de mayor gasto de energía del comedor utilizando un multímetro para obtener

la corriente y el voltaje del horno, la marmita, la freidora, el baño maría, los refrigeradores de esta manera se identificaron los posibles equipos de mayor consumo y se compararon contra equipos más sencillos o de menor consumo como olla de cocimiento lento, licuadora, refrigeradora, entre otros equipos de menor consumo, además el luxómetro se empleó para determinar el nivel de iluminación del salón principal y la cocina que presentaban el mayor número de luminarias en el lugar, seguidamente se determinaron oportunidades de mejora en cuanto a la eficiencia energética de los equipos.

4.3 Resultados y análisis de resultados

Ahora repasando la metodología DMAIC se continua con la segunda parte denominada “Medir”, esta sección comienza desde los análisis de los históricos expuestos anteriormente y ahora con la información recopilada y los mapeos realizados en la primera parte se elaboró un SIPOC (Suppliers-Inputs-Process-Output-Customers) representado en el cuadro 4.3.1 con el propósito de observar los elementos claves del proceso de consumo energético en el comedor (Shankar, 2009).

Cuadro 4.3.1. Tabla SIPOC

Proveedor	Entrada	Proceso	Salida	Cliente
<ul style="list-style-type: none"> • CNFL • Gerente del comedor • Universidad de Costa Rica • Cocineros 	<ul style="list-style-type: none"> • Menú del día • Equipos • Orden del Gerente • Comida • Observaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de alimentos crudos • Cocción de los alimentos • Preparación de equipos • Preparación de alimentos cocidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de la orden • Consumo energético por equipo • Consumo energético por iluminación • Menú preparado 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumidor del comedor

Con el cuadro anterior se determinan cinco partes importantes del servicio del comedor de los cuales el proveedor y cliente no fueron incluidos para la auditoría energética con la excepción de análisis de la demanda para el cual fue necesario recurrir a la CNFL, en cuanto a las entradas y salidas se deben tomar como puntos de enfoque los equipos y los consumos de dichos equipos pero en donde se tiene la mayor información es en la sección del proceso, ya que es aquí en donde se realiza el consumo energético y al conocer la preparación de los alimentos y la manipulación de los equipos se puede obtener información importante sobre las posibles oportunidades de mejora además de determinar si el alto consumo es debido al estado de los equipos o a la manera en que estos se emplean.

Se comenzó la auditoría energética definiendo el tipo de edificación de trabajo y para ello se clasificó en el ámbito de uso, propiedad, sistema estructural y disposición, por ello el edificio del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica se clasificó como un edificio de uso comercial, propiedad pública, sistema estructural de hormigón y disposición exento al no tener colindante otro edificio a una distancia menor a 30 m, esto debido a que trabaja bajo licitación a pesar de pertenecer a una institución pública como lo es la Universidad de Costa Rica para un servicio comercial de alimentación y con respecto a su disposición es aislado debido a que no colinda con otros edificios a menos de 30 m (Hulin, 2010). El comedor estudiantil se considera una microempresa debido a que laboran 12 personas (Pérez, 2017) es por ello que solo seguirán pautas puntuales del Real Decreto 235/2013 y del Documento Básico de ahorro de energía en la realización de esta auditoría energética.

Para todos los equipos de conexión eléctrica y alto consumo se midió el voltaje y la corriente con el propósito de obtener la potencia consumida por cada uno de estos equipos y de esta manera se obtuvo valores referencia para el cálculo de ahorros al finalizar la auditoría, las mediciones de voltaje y corriente para la marmita, el horno y freidora se realizaron en la caja de breaker ubicada en la zona suroeste de la cocina a continuación, se muestran imágenes del lugar por medio de la figura 4.3.1:



Figura 4.3.1. Breaker de equipos principales de la cocina (Elaboración propia)

Al observar la figura anterior se debe notar el mal estado y mantenimiento de la instalación eléctrica debido a que esta no presentaba todas las indicaciones de cada disyuntor y algunos no se sabía a qué equipo iban dirigidos sumado a ello la necesidad de al menos un equipo de 2 personas para obtener los datos dado que se necesitaba emplear guantes de protección eléctrica para 500 V y fundas de protección térmica como equipo de seguridad esto debido a que el ingreso a los cables era estrecho y además simultáneamente se debían sostener tapas pesadas es por ello que la medición fue complicada y debido a la ubicación del breaker se interrumpía la labor de los cocineros y se ponía en riesgo la asepsia del lugar ya que dentro de la caja de breaker había suciedad por falta de mantenimiento, a pesar de ello se obtuvieron mediciones con un multímetro las cuales se presentan a continuación en el cuadro 4.3.2:

Cuadro 4.3.2 Datos obtenidos para los equipos principales de mayor consumo eléctrico

Equipo	Corriente, I (A)	Tensión, V (V)	Potencia, P (kW)
Horno	30	250	7.5
Freidora	22	250	5.5
Marmita	66	249	32.9
Baño maría	15.6	240	3.7
Refrigerador	1.05	122	0.1

De acuerdo al cuadro anterior se identifican las marmitas como el equipo de mayor potencia seguido por el horno, la freidora y el baño maría y por otra parte se descartan los refrigeradores debido a su bajo consumo de potencia. Es importante considerar que los trabajadores no varían las condiciones de trabajo de los equipos en ningún momento a pesar de que estos tengan reguladores de temperatura siempre se trabaja con los mismos valores simplemente se encienden o apagan los equipos de acuerdo a las entrevistas realizadas, esto facilita los cálculos ya que no se deben realizar aproximaciones de consumo ni mediciones adicionales al variar la temperatura del equipo e indica una oportunidad de mejora relacionada con la manipulación de los equipos de manera que se pueda dar un mejor aprovechamiento de la energía de cada uno, así el horno trabaja a una temperatura de 180 °C, las marmitas a 120 °C, el baño maría a 80 °C y la freidora 95 °C, de esta manera conociendo el uso promedio que se le da a cada equipo durante el mes se puede obtener la cantidad de kWh consumida por cada equipo al mes, este es un valor importante para los cálculos de ahorro y a continuación se muestran los valores obtenidos por medio del cuadro 4.3.3:

Cuadro 4.3.3 Consumos mensuales de los principales equipos eléctricos

Equipo	Uso diario, t_d (h)	Uso mensual, t_m (h)	Energía consumida, E (kWh)
Horno	2	44	330
Freidora	4	88	486
Marmitas	5	110	6262
Baño maría	12	264	988

Esto implica que dichos equipos consumen en total aproximadamente 8 066 kWh al mes, lo cual es alrededor de la mitad del consumo promedio del comedor, es por ello que la revisión y posible sustitución de estos equipos es fundamental para disminuir la factura eléctrica y generar ahorros económicos.

Otro aspecto de vital importancia es la iluminación del edificio del comedor la cual es en su totalidad de fluorescentes de argón y neón, lo cual genera un gasto excesivo para la iluminación del salón y la cocina con un consumo energético aproximado de 1635 kWh y

608 kWh respectivamente, valores obtenidos por medio de la relación de lúmenes con potencia para fluorescentes de 120 cm (González, 2017). Dados los elevados consumos de energía por iluminación es que se analizó la eficiencia de la iluminación por medio de la verificación de los lúmenes en el recinto siguiendo pautas del documento básico de ahorro de energía como recomienda el Real Decreto 235/2013 sobre sobre eficiencia energética.

Primero se comenzó determinando el valor de eficacia luminosa (EL) relacionando la cantidad de lúmenes con la potencia de la luminaria en estudio (CTE, 2017) para el salón principal y la cocina, obteniendo los valores de 1,6 % y 20 % respectivamente los cuales indican que hay una deficiente iluminación en el salón principal tomando en consideración que los valores hacen referencia a la cantidad de lúmenes emitidos por watt consumido, esto cuestiona la cantidad de energía que debería consumir el comedor estudiantil, para ello se revisan tablas del Documento básico de ahorro de energía en donde se indica la potencia máxima instalada de distintos usos de edificios en unidades de watt por metro cuadrado, para el caso del comedor estudiantil se debe tener una potencia máxima instalada de 18 W/m^2 valor correspondiente para uso de restaurantes este valor se contrasta contra un 29.4 W/m^2 valor obtenido para el comedor lo cual indica que supera en un 63 % el máximo que debería tener instalado es decir, hay un exceso de equipo luminaria en el lugar y agregado al parámetro de eficacia luminosa indica que hay un mal aprovechamiento de la energía que se emplea para iluminar.

Lo anterior asocia la situación a una mala eficiencia energética en el lugar sin embargo hay un parámetro clave en la toma de decisión sobre cambio o sustitución de luminarias y es el Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) el cual se calculó para cada zona de actividad diferenciada y comparar contra un valor límite, para el salón principal se tiene un VEEI 9.05 mayor al valor límite de 8 para hostelería y restauración, la cocina presenta un valor de 2.6 menor al valor límite de 4 para cocina y los demás lugares presentan un valor de 1.93 menor al valor límite de 4 para habitaciones y baños, esto implica que el salón principal no cumple con la eficiencia que debería tener y por ello es necesario realizar una

intervención en el modo actual de iluminación del lugar de manera que se corrija dicho valor al emplear otras tecnologías luminosas. La iluminación de la cocina a pesar de no arrojar VEEI alarmantes se debe revisar ya que al igual que el salón principal utiliza tecnologías anticuadas y a pesar de cumplir con los requerimientos de iluminación se podría ahorrar en cuanto al consumo energético.

Utilizando el método de los lúmenes (Castilla, 2011) se calcula el flujo luminoso que un determinado local o zona necesita para estar iluminada por medio del nivel de iluminación medido y contrastado con el requerido según la norma INTE/ISO 8995-1:2016 de Niveles de iluminancia y condiciones de iluminación en los centros de trabajo interiores del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) que recomiendan tener en los centros de trabajo, de esta manera se obtiene un flujo luminoso necesario de 184 129 lm y 112 798 lm para el salón y la cocina respectivamente, con dichos valores se procede a calcular la cantidad de luminarias necesarias para satisfacer ambos flujos luminosos obteniendo un total de 15 tragaluces de 2 m² y 48 luminarias de 2 fluorescentes LED de 120 cm cada una para el salón y 35 luminarias de 2 fluorescentes LED de 120 cm cada una para la cocina, en la figura 4.3.2 se muestra la distribución propuesta.

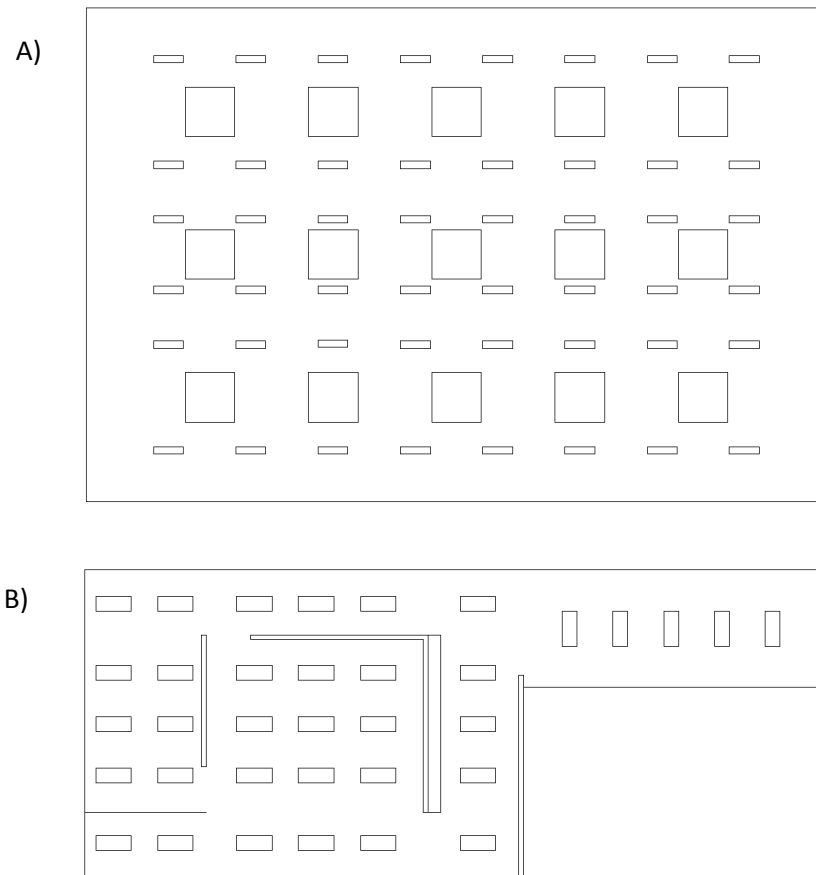


Figura 4.3.2 A) Distribución propuesta de iluminación en el salón principal y B) Distribución propuesta de iluminación en la cocina (Elaboración propia)

De esta manera se muestra el cálculo de la distribución de las luminarias de acuerdo a las dimensiones del local. Cabe destacar que para el salón principal se propone la instalación de un sistema de luz natural y luz LED ya que fomentando el aprovechamiento de las energías renovables se propone una iluminación natural durante las horas diurnas de 7:00 am hasta las 5:00 pm el cual se ilustra en la sección A de la figura 4.3.2 por medio de las formas cuadradas e iluminación LED de 5:00 pm hasta las 7:00 pm hora en la que cierra el comedor correspondientes a los rectángulos de la figura 4.3.2.

Continuando con la metodología DMAIC (Shankar, 2009) se realizó un Ishikawa o diagrama causa-efecto el cual se muestra en la figura 4.3.3, con el propósito de orientar la información recopilada y encontrar un posible origen del problema.

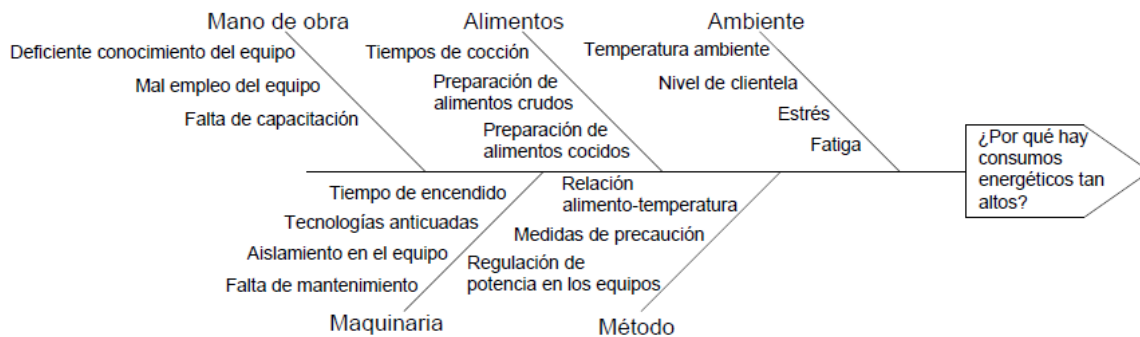


Figura 4.3.3 Diagrama de causa y efecto para el problema de consumo energético del comedor (Elaboración propia)

De acuerdo al diagrama de causa-efecto obtenemos múltiples posibles raíces del problema principal propuesto para el DMAIC, las cuales se detallan a continuación:

- En la mano de obra o labor de los trabajadores del comedor se tiene una mala utilización del equipo debido a que estos no varían temperatura a pesar de las diferentes necesidades del alimento, por ejemplo, se cocinarían vegetales a la misma temperatura que granos variando únicamente el tiempo de residencia de los alimentos en los equipos, esto deja una brecha de desperdicio energético al calentar las resistencias más de lo necesario.
- Los problemas de las maquinarias las cuales en algunos casos presentan conexiones eléctricas ineficientes como lo es el caso de la marmita la cual tiene una conexión bifásica a partir de un circuito que originalmente era trifásico.
- La falta de mantenimiento ya que solo se realiza mantenimiento correctivo y no preventivo.
- Los niveles de estrés que podrían confundir o distraer a los cocineros en cuanto a qué equipo se encuentra encendido o apagado.

Las razones anteriores indican la necesidad de una buena instrucción del uso de equipos, regulación de temperaturas y capacitación sobre técnicas de disminución de consumo energético que podrían responder a la reducción de consumo eléctrico.

Sin embargo, las principales fuentes de oportunidades de mejora cuantificables corresponden a las relacionadas con los equipos, por ello se muestra el cuadro resumen 4.3.4 que indica el equipo y la potencia consumida al mes por dicho equipo teniendo en cuenta que la factura promedio ronda los 16 000 kWh al mes.

Cuadro 4.3.4 Consumos principales de energía eléctrica

Equipo o tecnología	Energía consumida, <i>E</i> (kWh)
Horno	330
Freidora	486
Marmita	6262
Baño María	988
Fluorescentes del salón principal	1635
Fluorescentes de la cocina	608

Así se obtuvo que el horno, la freidora, la marmita, el baño maría, la iluminación del salón principal y cocina comprenden un valor total aproximado de 10 309 kWh mensual de los 18 000 kWh que consumen todos los equipos (incluyendo equipos de bajo consumo) promedio mensual, esto indica que la diferencia de esos valores corresponde al resto de los equipos como refrigeradores, caja registradora, mantenedor de alimentos, olla arrocera, licuadora, batidora, proyector, parlantes, entre otros que consumen en promedio 7 700 kWh por mes por lo que se consideran equipos de bajo consumo. Las cámaras de congelación y refrigeración se conservan con mantenimiento y se incluyen también en los 7 700 kWh mensuales y se prefiere enfocar el análisis y las propuestas de mejora a los equipos de mayor consumo tabulados anteriormente.

Así para una mayor comprensión y claridad en cuanto a la prioridad de sustitución de equipo y dando continuidad a la metodología DMAIC con su tercera parte denominada “Análisis” se presenta se presenta un gráfico de consumo energético por medio de la figura 4.3.4:

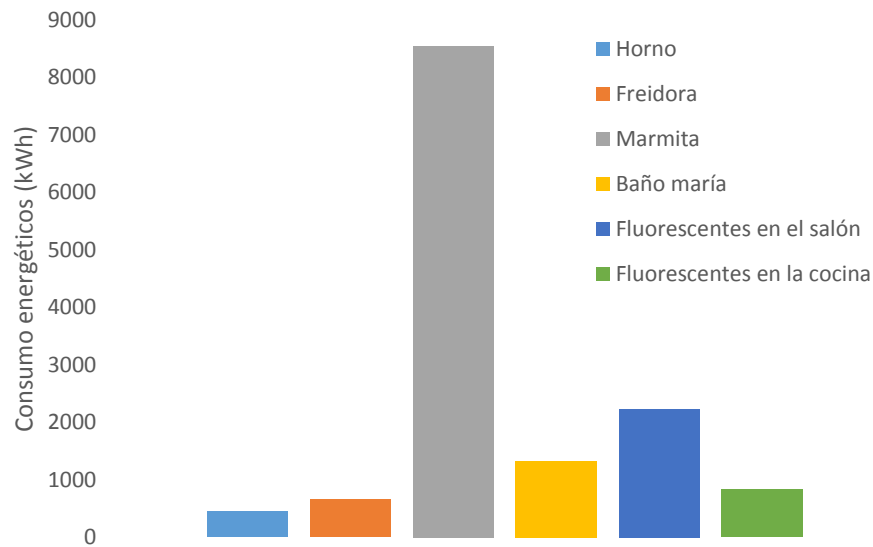


Figura 4.3.4 Consumos energéticos de los equipos y tecnologías de mayor consumo del comedor (Elaboración propia)

Del gráfico anterior obtenemos la prioridad de sustitución, la cual indica claramente las 3 principales oportunidades de mejora correspondientes a la marmita, la iluminación del salón y el baño maría debido a que presentan los mayores consumos energéticos de los equipos de mayor consumo, aunque no se debe despreciar que el consumo de fluorescentes en la cocina también es alto, esta prioridad se tendrá en cuenta al realizar la elección de las tecnologías por medio de la herramienta de selección para las posibles mejoras.

Ahora con todo el material recopilado y cálculos realizados se aplica la herramienta del DMAIC llamada los 5 por qué (Quick, 2019) para determinar las oportunidades de mejora que responden al problema del consumo energético por medio de la figura 4.3.5 y 4.3.6.

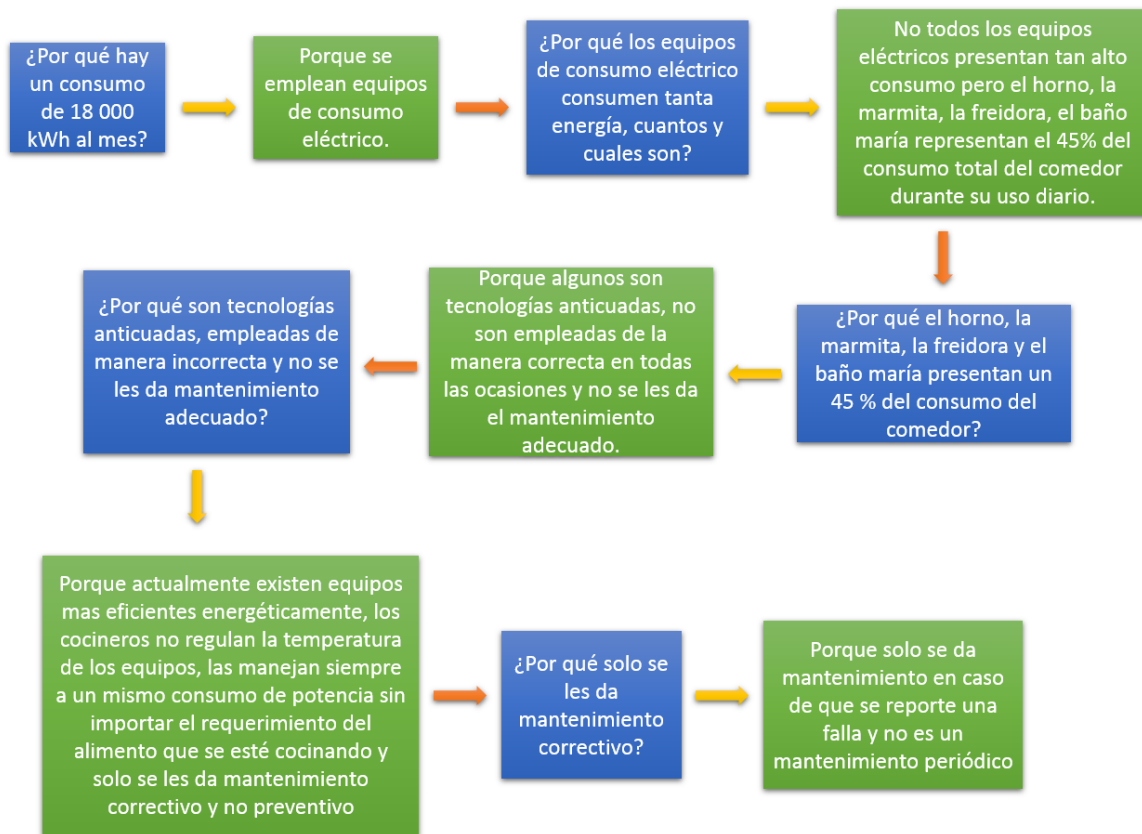


Figura 4.3.5 Diagrama de la herramienta los 5 por qué para el consumo energético de los equipos. (Elaboración propia)

Con el análisis anterior se determina que el problema para el consumo energético de los equipos es provocado por la falta de capacitación para uso de equipo, la falta de mantenimiento preventivo de los equipos y además el hecho de que algunos equipos son anticuados como las marmitas y la freidora.

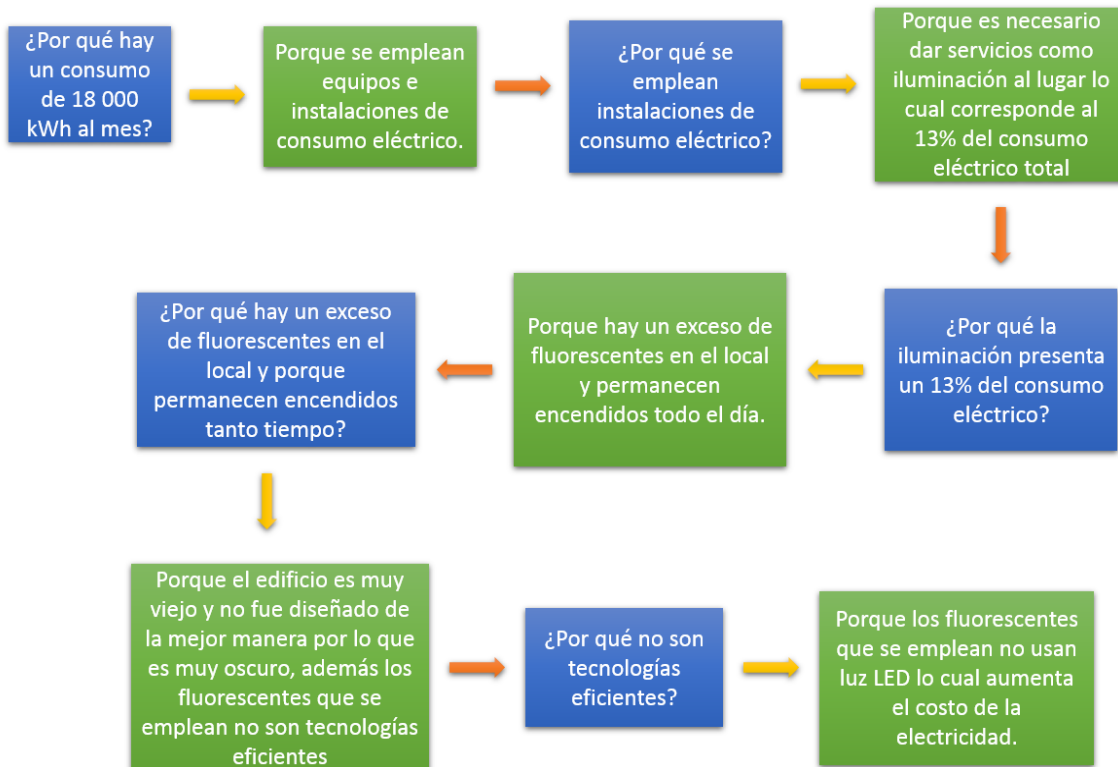


Figura 4.3.6 Diagrama de la herramienta los 5 por qué para el consumo energético por iluminación. (Elaboración propia)

Con la figura anterior se determinó los motivos del alto consumo de la iluminación entre los cuales destacan el diseño de la infraestructura vieja del lugar y a la carencia de iluminación LED, de esta manera al conocer que el consumo de los equipos y la iluminación abarca un 57.5 % del consumo eléctrico total del comedor se buscó orientar las oportunidades de mejora a resolver estos problemas y disminuir dicho porcentaje por medio de la cotización de equipos y relación costo-beneficio de la sustitución de los equipos energéticamente deficientes.

De esta manera se identificaron los principales consumos energéticos y las posibles oportunidades de mejora asociadas a estos, entre ellos destacan equipos como las marmitas, la iluminación en el salón y el baño maría con un 49% del consumo total promedio del comedor.

CAPÍTULO 5. PROPUESTA DE OPORTUNIDADES DE MEJORA Y VIABILIDAD FINANCIERA

En este capítulo se discutirá la viabilidad financiera del proyecto, así como variaciones en el mismo que mejorarían dicha viabilidad por medio de un análisis costo beneficio de las propuestas planteadas para el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica y se buscará seleccionar el mejor escenario tomando como parámetro de decisión el tiempo de recuperación de la inversión.

5.1 Fundamento teórico

Para el desarrollo y comprensión de la viabilidad financiera realizada es necesario comprender previamente temas de relevancia como lo son criterios de evaluación financiera y la relación coste-beneficio.

5.1.1 Criterios de Evaluación Financiera de un Proyecto

Un proyecto de inversión consiste en un plan que tiene asociado un monto determinado de capital con el fin de producir un bien útil, estos surgen de necesidades concretas que buscan la solución de un problema o deficiencia en un proceso. El ciclo de un proyecto consiste en una idea, la preinversión (Perfil-Prefactibilidad-Factibilidad), la inversión y la Operación, en la primera etapa se definen los problemas y las oportunidades financieras que se tengan, la preinversión corresponde a todos los estudios necesarios previos a la realización de la inversión y tiene distintos niveles de profundidad de estudio los cuales corresponden al Perfil (estudio bajo) en donde solo se toma información teórica como el estudio de mercado, tamaño, localización, tecnología, marco legal e institucional, monto de inversiones, entre otras, y con ella se hacen estimaciones financieras del proyecto, Prefactibilidad (estudio medio) en este caso adicionado al estudio de Perfil se profundiza en investigación de campo y Factibilidad (estudio alto) para el cual se tiene el primer nivel de investigación y sumado a lo que se contempla en los dos casos anteriores en este se definen estrategias para la materialización del proyecto, el propósito de esta etapa es la toma de decisiones respecto a la viabilidad del proyecto, ya sea positivamente o negativamente. La etapa de Inversión es el momento donde se materializa todo lo definido anteriormente incluyendo el estudio

técnico, esta se toma después de analizar la viabilidad del proyecto y esta termina al comenzar la etapa final correspondiente a la operación en donde se comienza la producción de un bien o un servicio y en este punto se inicia el ciclo de vida útil (Meza, 2010).

5.1.2 Relación coste-beneficio

El análisis coste-beneficio es una metodología que se emplea en la toma de decisiones de un proyecto que tiene una viabilidad financiera asociada, este análisis consiste básicamente en reproducir el comportamiento racional de un individuo cuando contrapone las ventajas y desventajas de una acción. El beneficio se refiere la ventaja relacionada a la acción la cual puede ser un aumento en las ventas, una disminución de los costos, un crecimiento empresarial o un ahorro como lo es en el caso de este proyecto, sin embargo debe quedar claro que el beneficio no es siempre cuantificable ya que en algunos casos el beneficio puede ser de obra social, implicar en la salud de los individuos o en su salud mental lo cual no se puede expresar de una manera tangible en dinero. Por otro lado, se tiene el costo de dicha relación el cual consiste en el valor financiero que se necesita para llevar a cabo la obra o costo total de proyecto, se debe tener claro que los valores cuantificables tanto para ahorro como para proyecto deben ser calculados en el mismo periodo para tener concordancia. Así finalmente se obtiene la relación costo-beneficio de la siguiente manera:

$$R = \frac{B}{C} \quad (5.1.2.1)$$

Donde:

R : Relación coste-beneficio, adim

B : Beneficios, ₡

C : Costos, ₡

El valor obtenido da como resultado la factibilidad del proyecto, si este es mayor a 1 el proyecto se acepta ya que indica que los beneficios superan a los costos en el periodo de análisis y si el valor es menor a 1 se rechaza el proyecto en el periodo de análisis, es por ello que aunque un proyecto arroje una relación coste-beneficio menor a 1 no debe descartarse

antes de analizar el periodo de recuperación ya que si este aumenta la relación coste-beneficio también aumentará sin embargo no suelen manejarse periodos de recuperación mayores a 10 años ya que en algunos casos dejan de ser atractivos para pequeños proyectos (Rus, 2009).

5.2 Metodología

Se comenzó realizando una cotización en diversas compañías y se elaboró y utilizó una herramienta de selección para determinar qué equipos respondían a las características buscadas. Se obtuvo la relación costo-beneficio de los 22 escenarios principales en donde se implementarán tecnologías con mayor eficiencia energética que las actualmente empleadas, además se calculó el retorno de la inversión para los dos casos con menor tiempo de recuperación.

5.3 Resultados y análisis de resultados

En la búsqueda de oportunidades de mejora se realizaron cotizaciones en las compañías Equipos AB, JOPCO, Tecnolite y EPA para equipos como hornos, freidoras, marmitas, baños maría y fluorescentes y se obtuvo la información tabulada en el cuadro 5.3.1.

Cuadro 5.3.1 Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas

Tecnología	Largo, c (cm)	Ancho, a (cm)	Altura, h (cm)	Temperatura de trabajo, T (°C)	Potencia, P (W)	Consumo de gas, Q_{glp} (kg/h)	Costo, C (¢)
Horno HPP-2.00	77	73	68	180	2 800	NA	782 654
Horno HPP-3.00	66	66	65	250	2 400	NA	239 112
Horno RECOD1	113	87	158	250	NA	1.5	2 428 806
Horno SRCOH	112	97	160	250	NA	1.16	1 771 762
Horno RY-RCOS-1	79	72	70	180	NA	1.72	2 627 316

Cuadro 5.3.1 (Continuación) Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas

Tecnología	Largo, c (cm)	Ancho, a (cm)	Altura, h (cm)	Temperatura de trabajo, T (°C)	Potencia, P (W)	Consumo de gas, Q_{glp} (kg/h)	Costo, C (₺)
Freidora F2T2CE1 800WBA	45	30	25	180	1 800	NA	321 343
Freidora VN-SFG-1-2	33	27	10	180	NA	0.34	58 320
Marmita MG-9300, 317 L	140	115	106	250	NA	1.79	7 877 282
Marmita MBM-9250, 150 L	100	90	85	250	NA	1.36	3 646 166
Baño maría BMEX17 5	170	110	90	150	1 500	NA	789 070

En el cuadro anterior se incluyen las principales características que se tomaron en cuenta para la selección de la tecnología, para el caso de las dimensiones de largo, ancho y alto los modelos de horno HPP-2.00, HPP-3.00, RY-RCOS-1 y la freidora VN-SFG-1-2 no cumplen con los requerimientos de dimensiones sin embargo presentan un ahorro energético con respecto a los equipos que se emplean actualmente es por ello que se debe considerar como opciones secundarias en caso que sean implementadas en un futuro proyecto no obstante las características de dimensión son vitales debido a que responden a la capacidad de los equipos la cual está directamente relacionada con la demanda, es por ello que deben ser descartadas esas opciones. En cuanto a los parámetros de temperatura, potencia y consumo de gas los valores son aceptables ya que suponen ahorros mensuales con respecto a las potencias actualmente consumidas, por lo anterior que el costo se considera como el

parámetro final de decisión tomando en cuenta el más viable económicamente que a su vez responda positivamente a los demás parámetros, de esta manera para el caso de los hornos se elige el horno SRCOH con un costo de ₡1 771 762, para las freidoras se elige la freidora VN-SFG-1-2 con un costo de ₡ 58 320, para el caso de las marmitas se selecciona la marmita MBM-9250, 150 L con un costo de ₡ 3 646 166, sin embargo se debe considerar que el comedor requiere de 2 unidades de marmitas por lo que se deben comprar 2 con un valor total de ₡ 7 292 332, para el baño maría se selecciona el modelo BMEX175 con un costo de ₡ 789 070.

En cuanto a los fluorescentes LED y la iluminación natural se consideran aceptables las propuestas de acuerdo a los parámetros de precio, dimensiones y consumo energético con un valor de ₡ 6 500 la unidad de fluorescente, sin embargo, debido a que el requerimiento de fluorescentes LED es de 166 unidades en total el costo es de ₡ 1 079 000 y se revisó el Manual de Valores Base del Ministerio de Hacienda del 2017 se obtiene que al contemplar la sustitución del techo, la instalación eléctrica, cerchas y cielo da un total de ₡ 20 902 000 para el costo de inversión de la construcción de 15 tragaluces en el salón principal del edificio y para la cocina se necesitan 70 fluorescentes LED y un cambio en la instalación eléctrica y cielo por lo que se requiere de ₡ 5 122 000, así se tiene un costo de inversión total de ₡ 37 559 484. El costo para la construcción de tragaluces se estimó por medio de la consulta en el Manual de valores base unitarios por tipología constructiva del Ministerio de Hacienda para un edificio educativo que responde a las necesidad del área de preparación, servicio de alimentos y cocina denominado EA04 con un valor de ₡ 235 000 por metro cuadrado y considerando que el promedio ponderado para las secciones de la construcción es de 7 % para los techos, 6% para la instalación eléctrica, 7% para las cerchas y 7% para el cielo, en el caso del salón se necesitan 15 tragaluces de 2 m² cada uno (Vargas, 2017).

Es importante destacar que al proponer equipos de gas licuado de petróleo se consideró el sistema de gas que utilizaría, actualmente el comedor emplea un tanque de 100 lb para

operar una plantilla de gas y una plancha, no obstante, al aumentar la demanda de gas con los equipos sugeridos se plantea un nuevo sistema de uso y trasiego de gas. Para ello se propone la instalación de un sistema de gas licuado de petróleo el cual considera una demanda máxima de 4.22 kg/h de gas, caso en el que todos los equipos de gas trabajen simultáneamente, lo que implica un consumo semanal de 42 gal lo cual se propone sea abastecido por un tanque de 120 gal respondiendo al 60 % de la capacidad volumétrica a la que se llenan comúnmente los tanques de 120 gal a diferencia del 80 % de capacidad en masa para los tanques de 100 lb, dicho valor de 60% de la capacidad de 120 gal corresponde a 72 gal.

Este tanque debe ser abastecido cada 8 días asegurando el flujo necesario del comedor, además se calcula el costo mensual del gas empleando la tarifa fijada por el ARESEP vigente a partir del 29 de agosto del 2019 correspondiente a ₡ 267 por litro obteniendo un costo de ₡ 104 604 mensuales. Agregado a lo anterior se realiza la cotización del costo de inversión para la construcción de un sistema de gas de un tanque de 120 gal con la tubería, reguladores, detectores de fugas, mangueras, conexiones y válvulas requeridas de ₡1000000.

Continuando con la metodología DMAIC más específicamente con la sección denominada “Mejorar” se realiza un análisis de regresión lineal del costo de la energía actual y el costo de la energía en el futuro con la sustitución de los equipos el cual se muestra a continuación en la figura 5.3.1.

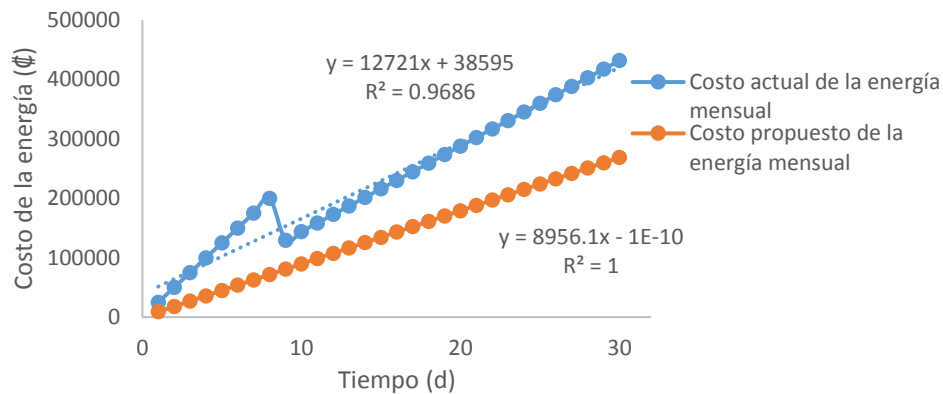


Figura 5.3.1 Gráfico comparativo del costo de la energía actual contra el costo de la energía con todas las tecnologías sustituidas (Elaboración propia)

En el gráfico anterior la curva superior corresponde a la regresión para el sistema energético actual y la curva inferior corresponde a el sistema energético propuesto contemplando los equipos planteados tanto de energía eléctrica como los que emplean gas licuado de petróleo. Se demuestra que cuantitativamente hay oportunidades de mejora en cuanto a la sustitución de los equipos propuestos esto porque en las regresiones lineales obtenidas podemos comparar las pendientes, para este caso una menor pendiente estaría ligada a un menor costo de la energía a través del tiempo, así comparando el valor de 8 956 $\$/d$ contra el valor de 12 721 $\$/d$ obtenemos que el escenario de los equipos sustituidos presenta ahorros en comparación con el sistema actual.

Para la elección de las tecnologías energéticas se realiza un análisis de costo-beneficio en donde el costo corresponde al costo de los equipos, inversión de la iluminación natural, instalación del tanque, instalación de fluorescentes y de mantenimiento anual de los equipos (Peters, 1991) y el beneficio corresponde al ahorro energético mensual expresado en colones. Dicho cálculo se realizó tomando un consumo de energía promedio del comedor de 18 000 kWh, restando los equipos que se sustituyen y contemplando el costo del GLP consumido al mes, con los datos de energía se obtuvieron los valores económicos del ahorro utilizando la tarifa de la CNFL para julio del 2019 y para el GLP se empleó la tarifa fija dada por el ARESEP de $\$ 267$ por litro. Cabe destacar que para los cálculos se supuso una inflación del 3 % correspondiente a la meta por el Banco Central de Costa Rica para 2019 y se utilizó

un valor de ₡ 582.11 como tipo de cambio del dólar, valor obtenido para el 13 de Julio del 2019 por el Banco Central (Castro O. , 2018). A continuación, se muestran los costos fijos y variables por medio de los cuadros 5.3.2 y 5.3.3 respectivamente.

Cuadro 5.3.2 Costos fijos de inversión

Motivo del costo	Costos fijos, C_f (₡)
Compra del horno	1 771 762
Compra de la freidora	58 320
Compra de la marmita	7 292 333
Compra del baño maría	789 070
Tragaluces del salón	20 902 000
Construcción del tanque	1 000 000

Cuadro 5.3.3 Costos variables de inversión a un periodo de 10 años

Año	Costos variables, C_v (₡)		
	Fluorescentes del salón	Fluorescentes de la cocina	Mantenimiento anual de los equipos
1	624 000	455 000	1 075 887
2	642 720	468 650	1 108 164
3	662 002	482 710	1 141 409
4	681 862	497 191	1 175 651
5	702 317	512 107	1 210 921
6	723 387	527 470	1 247 248
7	745 089	543 294	1 284 666
8	767 441	559 593	1 323 206
9	790 465	576 380	1 362 902
10	814 178	593 671	1 403 789

Para dichos cálculos se determinó un periodo de recuperación de 10 años y se visualizaron todos los escenarios con el fin de obtener los cinco principales escenarios que mostraran el menor periodo de recuperación, de esta manera se presenta la tabla resumen 5.3.4 en orden descendente de menor periodo de recuperación, se debe contemplar que a partir del periodo indicado para cada caso en adelante solo se obtendrán beneficios y ahorros ya que el costo total en ese lapso se habrá pagado, sin embargo, se debe observar que la sustitución de los fluorescentes de la cocina es anual, los fluorescentes del salón cada 4

años y el mantenimiento anual de los equipos con los valores antes expuestos y la inflación indicada.

Los escenarios planteados se obtuvieron a partir de las 22 combinaciones que incluían 4 tecnologías o más propuestas y para cada uno se calculó la viabilidad financiera por medio de la relación costo-beneficio. Al observar los resultados de cada escenario se identifica que la sustitución del baño maría y las marmitas son las que contribuyen en mayor medida a la viabilidad financiera esto debido al alto consumo energético de dichos equipos y por otra parte se determina que la sustitución de la iluminación contemplando el salón y la cocina generan un mayor periodo de recuperación. La totalidad de los cálculos para múltiples escenarios se muestran en el apéndice C.

Cuadro 5.3.4 Principales escenarios evaluados

Escenario propuesto	Equipos a sustituir	Relación costo-beneficio, R (adim)	Periodo de recuperación, t (año)
#8	Horno - Freidora Marmita - Baño María	1.13	4
#12	Freidora - Marmita Baño María - Cocina	1.08	4
#19	Horno - Marmita Baño María - Cocina	1.03	5
#10	Horno - Freidora Marmita - Cocina	1.02	5
#11	Freidora - Marmita Baño María - Salón	1.12	7

También se debe considerar que los equipos propuestos pueden mejorar la situación de seguridad del lugar debido a que algunos equipos como la marmita y el baño maría generan

quemaduras por salpicaduras; y el equipo de gas presenta serias deficiencias las cuales se verían solucionadas al implementar el tanque incluyendo la correcta instalación de tuberías para el sistema, este beneficio no se puede cuantificar sin embargo se debe considerar para el escenario más factible. Para el caso #8 y el #12 que presentan menores periodos de recuperación se calculó el retorno sobre la inversión (ROI) para los años cuatro hasta el año diez mostrado en la figura 5.3.2.

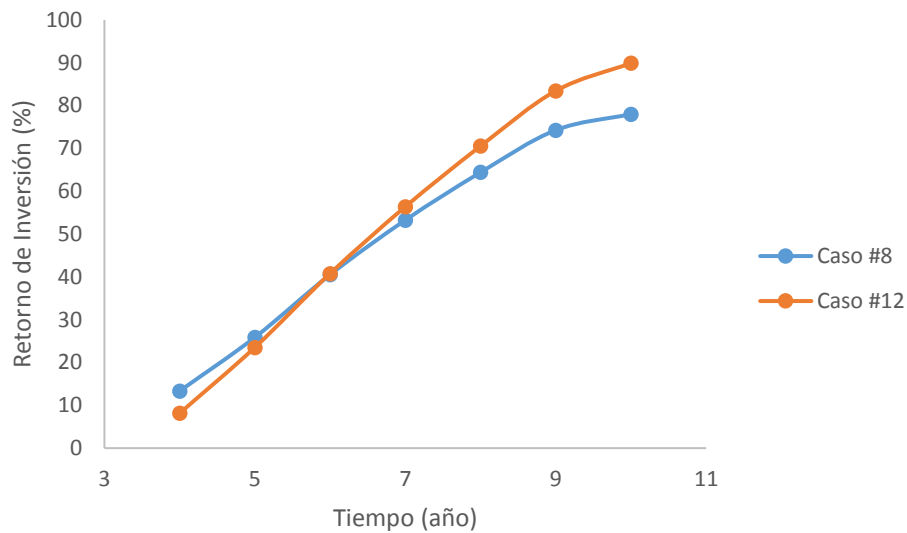


Figura 5.3.2 Retorno de la inversión para las sustituciones de menor periodo de recuperación

Esto indica que el retorno de la inversión (ROI) para el año 10 en el caso #12 correspondería a un 90% contra el ROI para el caso #8 de 78%, implicando que aunque el caso #8 presenta una mayor relación costo-beneficio el caso #12 es mejor en cuanto a recuperación de la inversión y por tanto es más viable financieramente; y además contribuye en mayor medida a disminuir los riesgos en el comedor por motivo de a que el horno no presenta grandes riesgos ya que no es un equipo tan anticuado pero la buena iluminación además de hacer cumplir la norma de INTECO ayuda a disminuir riesgos en la cocina. Unido a lo anterior, se cumple el objetivo del DMAIC contemplando una reducción de alrededor de \$ 420 000 mensuales mediante el arranque escalonado y las tecnologías propuestas, anualmente un ahorro mínimo de \$ 5 000 000, que al final podría ser mayor debido a que no se están

cuantificando los ahorros por arranque escalonado lo que disminuiría el costo de la factura eléctrica por demanda facturada teniendo en cuenta que los equipos propuestos son de tecnologías de gas licuado de petróleo. Cabe destacar que los otros tres escenarios principales también tienen ahorros similares, sin embargo, al considerar sus periodos de recuperación mayores no son atractivos en comparación con los escenarios #8 y #12.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se determina que hay un periodo estacional marcado en la demanda energética del comedor lo cual implica un comportamiento similar para futuros años de servicio.
- Se pronostica que el comedor tendrá un consumo de 18 000 kWh con las tecnologías actuales mayor al pronosticado con las propuestas de mejora de 7 350 kWh.
- Se establece que son necesarios 8 extintores según la Norma para extintores portátiles de los cuales 5 son inexistentes actualmente.
- Los principales riesgos en el comedor responden a cortes y heridas, quemaduras, salpicaduras, estrés, problemas ergonómicos y calor en el ambiente con grados mayores a 100 según el método de evaluación de riesgo William T. Fine.
- La prioridad de sustitución de equipos responde a la marmita, la iluminación en el salón y el baño maría en orden descendente en el que ocupan 49% del consumo energético promedio correspondiente a 18 000 kWh.
- Los ahorros son de al menos ₡ 5 000 000 (\$ 8 590) anuales con la sustitución de la freidora, las marmitas, el baño maría y la iluminación en la cocina respectivos al caso #12 del análisis de viabilidad financiera.
- La viabilidad financiera para la sustitución de la freidora, las marmitas, el baño maría y la iluminación de la cocina es aceptable con un periodo de recuperación de 4 años.
- Se concluyó la sección del DMAIC denominada “Mejorar” con una propuesta de ahorro de ₡ 412 307 mensual correspondiente al 49% del costo de la demanda de energía total (kWh) actual.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda la realización de una cuantificación del ahorro por arranque escalonado debido a que esta acción generaría una disminución en la factura energética la cual no se contempla en el análisis de este proyecto.

- Para una auditoría futura se plantea la inclusión equipos de bajo consumo eléctrico ya que podrían obtenerse oportunidades de mejora que contribuyan al ahorro energético.
- Se debe revisar el consumo de gas de la plantilla de gas y la plancha debido a que este no se regula y podría ser un gasto excesivo para lo que requieren en realidad dichos equipos.
- En cuanto a la seguridad se recomienda la determinación del cumplimiento con demás normas de seguridad obligatorias y no obligatorias como lo es la ISO 45001 de Sistemas de Gestión para la salud y seguridad en el trabajo, entre otras.
- Respecto a la mitigación de riesgos se sugiere la verificación del cumplimiento de dichas acciones con el fin de obtener un nuevo grado de riesgo en la evaluación de riesgo y comprobar que las mitigaciones disminuyeron el valor por debajo de 100.
- Se aconseja la realización de una estimación de costos para la iluminación natural del salón contemplando solo la construcción de los tragaluces sin intervenir con las luminarias actuales ya que para este caso se contempló la posibilidad de cambiar las luminarias actuales lo cual generó un mayor costo de inversión.
- Otro aspecto a considerar es el planteamiento un sistema de luz LED en el salón utilizando las luminarias actuales ya que eso disminuiría el costo de inversión debido al aprovechamiento de la infraestructura actual.

NOMENCLATURA

Mayúsculas

<i>A</i>	Área, m ²
<i>B</i>	Beneficio, ¢
<i>C</i>	Costo, ¢
<i>Cm</i>	Coefficiente de mantenimiento, adim
<i>Conc</i>	Consecuencias, adim
<i>Cu</i>	Coefficiente de utilización, adim
<i>D</i>	Longitud, m
<i>E</i>	Energía consumida, kWh
<i>EL</i>	Eficacia luminosa, lux/W
<i>Ex</i>	Exposición, adim
<i>G</i>	Grado de riesgo, adim
<i>H</i>	Ahorro, ¢
<i>I</i>	Corriente, A
<i>IF</i>	Índice de frecuencia, adim
<i>IG</i>	Índice de gravedad, adim
<i>II</i>	Índice de incidencia, adim
<i>Illum</i>	Iluminación, Lux
<i>IDM</i>	Índice de duración media, adim
<i>L</i>	Intensidad Luminosa, Lux
<i>N</i>	Distribución de luminarias en el local, adim
<i>NL</i>	Número de luminarias, adim
<i>P</i>	Potencia, kW
<i>PI</i>	Potencia instalada, W/m ²
<i>Prob</i>	Probabilidad, adim
<i>Q</i>	Consumo de gas, kg/h
<i>R</i>	Relación coste-beneficio, adim
<i>Re</i>	Requisito de extintor, m ² /extintor
<i>Ri</i>	Tipo de riesgo según NFPA 10, m ² /extintor
<i>ROI</i>	Retorno de la inversión, %
<i>T</i>	Temperatura, °C
<i>V</i>	Tensión, V
<i>VEEI</i>	Valor de eficiencia energética instalada, W/m ² -lux

Minúsculas	<i>X</i>	Número de extintores requerido, extintores
	<i>a</i>	Ancho, m
	<i>c</i>	Largo, m
	<i>d</i>	Consecuencia, adim
	<i>f</i>	Frecuencia, adim
	<i>h</i>	Altura, m
	<i>n</i>	Número de lámparas de una luminaria, adim
	<i>p</i>	Tarifa eléctrica, ₱/kWh
	<i>q</i>	Probabilidad, adim
	<i>t</i>	Tiempo, h

Letras Griegas

Subíndices	Φ	Flujo luminoso, lm
	<i>Amb</i>	Indica condiciones ambiente
	<i>E</i>	Hace referencia a energético
	<i>F</i>	Indica fijos
	<i>GLP</i>	Indica que se refiere al gas licuado de petróleo
	<i>T</i>	Indica total
	<i>Tanq</i>	Indica tanque de GLP
	<i>V</i>	Indica variables
	<i>actual</i>	Indica que el valor es actual
	<i>ancho</i>	Hace referencia a la dimensión de anchura
	<i>const</i>	Indica construcción y sistema eléctrico
	<i>co</i>	Hace referencia a la cocina
	<i>d</i>	Indica diario
	<i>e</i>	Indica consumo eléctrico
	<i>eq</i>	Indica equipos
	<i>fluor</i>	Indica fluorescentes
	<i>futuro</i>	Indica que el valor es a futuro
	<i>largo</i>	Hace referencia a la dimensión de largo
	<i>ln</i>	Indica luz natural
	<i>m</i>	Indica mensual

<i>mant</i>	Indica mantenimiento
<i>prom</i>	Indica valor promedio
<i>prop</i>	Indica propuesta
<i>sa</i>	Hace referencia al salón
<i>sust</i>	Indica que se sustituirán

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, F. F. (2012). *Salud ocupacional y prevención*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Arent, D. (2017). *Renewable Energy Focus: News Digest* . Colorado: Elsevier.
- Bayoglu, R. G. (2017). Twente spine model: A complete and coherent dataset for musculo-skeletal modeling of the thoracic and cervical regions of the human spine. The Netherlands: Elsevier .
- Campos, H. (2009). *Desarrollos Geotérmicos en parques nacionales, una posibilidad constitucional*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Carretero, A. G. (2015). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. España: AENOR ediciones.
- Castilla, N. B. (2011). Luminotecnia: Cálculo según el método de los lúmenes. España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Castro, F. V. (2018). The 2018 International Energy Efficiency Scorecard. Washington D. C: American Council for an Energy-Efficient Economy .
- Castro, O. (2018). Revisión Programa Macroeconómico 2018-2019. Costa Rica: Banco Central de Costa Rica.
- Chavarría, V. (2013). Principios Ergonómicos. Costa Rica: Consejo de Salud Ocupacional.
- Criado, E. (2012). *Cerámica y Vidrio*. España: Consejo superior de investigaciones científicas.
- CTE. (2017). *Documento básico de ahorro de energía*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- EVO. (2012). *International Performance Measurement and Verification Protocol*. Canadá: Efficiency Valuation Organization.
- Farrera, A. (2013). *Manual de pronósticos para la toma de decisiones*. México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey .
- FENERCOM. (2017). *Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la Comunidad de Madrid*. España: Dirección General de Industria, Energía y Minas.
- Frechtling, D. (2016). State of the world's tourism statistics and what to do about it. USA: Tourism Economics.
- Fremap. (2016). Guía para el cuidado de la espalda. Barcelona: Ministerio de Empleo y Seguridad Social.
- García, E. (2014). Función del mando intermedio en la prevención de riesgos laborales. España: Paraninfo, S. A.

- Gómez, M. (2012). *Elementos de estadística descriptiva*. San José: EUNED.
- González, S. (2017). *Medidas de ahorro energético viables en el Campus Universitario*. España: Ebook Central.
- Guixá, J. (2015). *Gestión y organización de la prevención. Siniestralidad, seguridad y salud laboral*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Hulin, J. (2010). *Building works*. New York: EDU Academy.
- Jarauta, L. (2015). *Las energías Renovables*. Barcelona: UOC.
- Krarti, M. (2011). *Energy Audit of Building Systems*. Florida: CRC Press.
- Ley N°2. (27 de agosto de 1943). Código de trabajo. Costa Rica: Editec Editores S.A.
- Ley N°6727. (24 de marzo de 1982). Ley sobre Riesgos del trabajo. Costa Rica: La Gaceta.
- Linares, V. (2017). *Replanteo de instalaciones solares térmicas*. España: Innovación y Cualificación, S.L.
- Llinás, H. R. (2017). *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. Colombia: Universidad del Norte.
- MEIC. (1973). Norma oficial para la utilización de colores en seguridad y su simbología No. 12715-MEIC. Costa Rica: La Gaceta.
- Meza, J. (2010). *Evaluación financiera de proyectos*. Colombia: ECOE ediciones.
- Meza, J. (2013). *Evaluación financiera de proyectos, Tercera Edición*. Bogotá: ECOE ediciones.
- MINAE. (1973). Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos. Costa Rica: La Gaceta.
- MINEREM. (1996). Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía. Costa Rica: La Gaceta.
- MINETAD. (13 de Abril de 2013). *Real Decreto 235/2013*. España: BOE.
- Oncins, M. (2018). NTP 283: Encuestas: metodología para su utilización. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Pérez, F. (2017). *Proyecto y viabilidad del negocio o microempresa*. Madrid: CEP S.L.
- Peréz, M. (2013). *Seis Sigma: Guía Didáctica para Pymes*. Colombia: Universidad de Ibagué.
- Peters, M. T. (1991). *Diseño de plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos*. New York: McGraw Hill.
- Quick, T. (2019). *Splitting the DMAIC*. Wisconsin: ASQ Quality Press.
- REN21. (2017). *Avanzando en la transición mundial hacia la energía renovable*. Francia: Secretariado de REN21.

- Rey, F. V. (2010). Eficiencia energética en edificios: Certificación y Auditorías Energéticas. Madrid: Paraninfo.
- Rubio, J. (2009). *Métodos de Evaluación de Riesgos Laborales*. España: Díaz de Santos.
- Rus, G. (2009). Análisis Coste-Beneficio. España: Ariel Economía.
- Sánchez, N. (2016). Estrés en el trabajo. Costa Rica: Consejo de Salud Ocupacional.
- Shankar, R. (2009). Process improvement using Six Sigma. Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Socconini, L. (2015). *Certificación Lean Six Sigma Green Belt para la excelencia en los negocios*. Barcelona: Marge Books .
- Vargas, C. P. (2017). Manual de valores base unitarios por tipología constructiva. Costa Rica: Ministerio de Hacienda.
- Zárate, D. R. (2016). *Matriz Energética de Costa Rica: Renovabilidad de las fuentes y reversibilidad de los usos de energía*. Costa Rica: Friedrich Ebert Stiftung.

APÉNDICES

A : DATOS EXPERIMENTALES

Cuadro A1. Históricos de consumo acumulado para el comedor estudiantil de la UCR

Periodo	Energía total, E (kWh)
01-2015	8 480
02-2015	8 000
03-2015	19 840
04-2015	19 680
05-2015	21 600
06-2015	21 760
07-2015	15 520
08-2015	15 520
09-2015	20 000
10-2015	20 960
11-2015	20 480
12-2015	13 280
01-2016	5 280
02-2016	10 720
03-2016	17 120
04-2016	16 640
05-2016	19 200
06-2016	18 880
07-2016	13 440
08-2016	14 240
09-2016	18 560
10-2016	19 680
11-2016	21 600
12-2016	8 000
01-2017	5 920
02-2017	8 640
03-2017	15 040

Continuación del Cuadro A1. Históricos de consumo acumulado para el comedor estudiantil de la UCR

Periodo	Energía total, E (kWh)
04-2017	15 840
05-2017	18 880
06-2017	19 840
07-2017	18 080
08-2017	16 960
09-2017	20 160
10-2017	18 560
11-2017	20 960
12-2017	19 840
01-2018	1 120
02-2018	7 520
03-2018	14 240
04-2018	17 120
05-2018	21 120
06-2018	20 160
07-2018	19 840
08-2018	20 000
09-2018	30 720
10-2018	12 000
11-2018	17 120
12-2018	14 240

Cuadro A2. Tarifas de consumo eléctrico para bloque de 3000 kWh de la CNFL

Periodo	Tarifa eléctrica, p (¢/kWh)
01-2013	135 000
02-2013	135 000
03-2013	135 000
04-2013	149 600
05-2013	150 000
06-2013	150 000
07-2013	150 000
08-2013	150 000
09-2013	150 000
10-2013	126 000
11-2013	123 000
12-2013	123 000
01-2014	132 000
02-2014	132 000
03-2014	132 000
04-2014	141 000
05-2014	141 000
06-2014	141 000
07-2014	147 000
08-2014	147 000
09-2014	147 000
10-2014	135 000
11-2014	135 000
12-2014	135 000
01-2015	133 935
02-2015	138 000

Continuación de Cuadro A2. Tarifas de consumo eléctrico para bloque de 3000 kWh de la CNFL

Periodo	Tarifa eléctrica, p (¢/kWh)
03-2015	138 000
04-2015	123 000
05-2015	123 000
06-2015	123 000
07-2015	119 820
08-2015	119 820
09-2015	119 820
10-2015	121 890
11-2015	121 890
12-2015	121 890
01-2016	136 470
02-2016	136 470
03-2016	136 470
04-2016	142 650
05-2016	142 650
06-2016	142 650
07-2016	149 010
08-2016	149 010
09-2016	149 010
10-2016	144 930
11-2016	144 930
12-2016	144 930
01-2017	122 430
02-2017	122 430
03-2017	122 430
04-2017	124 020
05-2017	123 990
06-2017	123 990
07-2017	123 390

Continuación de Cuadro A2. Tarifas de consumo eléctrico para bloque de 3000 kWh de la CNFL

Periodo	Tarifa eléctrica, p (¢/kWh)
08-2017	123 390
09-2017	123 390
10-2017	137 610
11-2017	137 610
12-2017	137 610
01-2018	141 360
02-2018	141 360
03-2018	141 360
04-2018	140 220
05-2018	140 220
06-2018	140 220
07-2018	142 980
08-2018	142 980
09-2018	142 980
10-2018	141 300
11-2018	141 300
12-2018	141 300
01-2019	124 110
02-2019	124 110
03-2019	124 110
04-2019	141 120
05-2019	141 120
06-2019	141 120
07-2019	124 110

Cuadro A3. Tarifas de consumo eléctrico para bloque mayor a 3000 kWh de la CNFL

Periodo	Tarifa eléctrica, p (¢/kWh)
01-2013	45.00
02-2013	45.00
03-2013	45.00
04-2013	49.87
05-2013	50.00
06-2013	50.00
07-2013	50.00
08-2013	50.00
09-2013	50.00
10-2013	42.00
11-2013	41.00
12-2013	41.00
01-2014	44.00
02-2014	44.00
03-2014	44.00
04-2014	47.00
05-2014	47.00
06-2014	47.00
07-2014	49.00
08-2014	49.00
09-2014	49.00
10-2014	45.00
11-2014	45.00
12-2014	45.00
01-2015	44.65
02-2015	46.00
03-2015	46.00
04-2015	41.00
05-2015	41.00
06-2015	41.00

Continuación de Cuadro A3. Tarifas de consumo eléctrico para bloque mayor a 3000 kWh de la CNFL

Periodo	Tarifa eléctrica, p (¢/kWh)
07-2015	39.94
08-2015	39.94
09-2015	39.94
10-2015	40.63
11-2015	40.63
12-2015	40.63
01-2016	45.49
02-2016	45.49
03-2016	45.49
04-2016	47.55
05-2016	47.55
06-2016	47.55
07-2016	49.67
08-2016	49.67
09-2016	49.67
10-2016	48.31
11-2016	48.31
12-2016	48.31
01-2017	40.81
02-2017	40.81
03-2017	40.81
04-2017	41.34
05-2017	41.33
06-2017	41.33
07-2017	41.13
08-2017	41.13
09-2017	41.13
10-2017	45.87
11-2017	45.87
12-2017	45.87

Continuación de Cuadro A3. Tarifas de consumo eléctrico para bloque mayor a 3000 kWh de la CNFL

Periodo	Tarifa eléctrica, p (¢/kWh)
01-2018	47.12
02-2018	47.12
03-2018	47.12
04-2018	46.74
05-2018	46.74
06-2018	46.74
07-2018	47.66
08-2018	47.66
09-2018	47.66
10-2018	47.10
11-2018	47.10
12-2018	47.10
01-2019	41.37
02-2019	41.37
03-2019	41.37
04-2019	47.04
05-2019	47.04
06-2019	47.04
07-2019	41.37

Cuadro A4. Dimensiones de los principales cuartos del comedor

Ubicación	Área, A (m ²)
Bodega de alimentos	65.1
Vestidores	36.9
Oficina de administración	27.4
Cocina	189.5
Salón principal	655.3

Cuadro A5. Código numérico para consecuencias según William T. Fine

Clasificación	Consecuencias, <i>Conc</i> (adim)
Varias muertes y efectos nocivos	50
Muerte y/o enfermedad ocupacional	25
Lesiones extremadamente graves o posible enfermedad ocupacional	15
Lesiones incapacitantes	5
Heridas leves, contusiones y pequeños daños	1

Cuadro A6. Código numérico para probabilidad según William T. Fine

Clasificación	Probabilidad, <i>Prob</i> (adim)
Es el resultado más probable y esperado si la situación de riesgo continua	10
Es completamente posible, nada extraño	6
Sería la conclusión más probable de la cadena de hechos que culmine en accidente	3
Sería una coincidencia remotamente posible	1
Nunca ha sucedido en muchos años, pero puede ocurrir	0.5

Cuadro A7. Código numérico para Exposición según William T. Fine

Clasificación	Exposición, <i>Ex</i> (adim)
Continuamente en la jornada	10
Frecuentemente en la jornada	6
Ocasionalmente en la jornada	3
Raramente (pero se sabe que ocurre)	1
Remotamente posible (no se sabe que haya ocurrido)	0.5

Cuadro A8. Datos obtenidos de los principales equipos de análisis

Equipo	Corriente, I (A)	Tensión, V (V)
Horno	30	250
Freidora	22	250
Marmita	66	249
Baño maría	15.6	240
Refrigerador	1.05	122

Cuadro A9. Tiempos de uso para los equipos de mayor consumo del comedor

Equipo	Uso diario, t_d (h)	Uso mensual, t_m (h)
Horno	2	44
Freidora	4	88
Marmitas	5	110
Baño maría	12	264

Cuadro A10. Datos medidos de flujo luminoso en el salón

Iluminación del salón, $Ilum_{sa}$ (Lux)	Iluminación del salón, $Ilum_{sa}$ (Lux)
66	127
115	156
132	156
87	91
40	85
19	63
34	103
62	126
94	106
97	115
111	148
78	190
100	161
54	100
41	97
94	96
52	112
73	103
100	97

Continuación del cuadro A10. Datos medidos de flujo luminoso en el salón

Iluminación del salón, lum_{sa} (Lux)	Iluminación del salón, lum_{sa} (Lux)
99	131
168	91
166	98
160	117
126	121
131	121
154	111
141	96
128	87
130	69
66	73

Cuadro A11. Datos medidos de flujo luminoso en la cocina

Iluminación de la cocina, lum_{co} (Lux)	Iluminación de la cocina, lum_{co} (Lux)
416	380
361	102
441	142
420	279
216	175
451	250
531	380
1061	317
733	450
922	457
505	956
465	731
312	763
145	733
168	870
948	614
327	113
324	388

Cuadro A12. Parámetros para la toma de decisión de las tecnologías propuestas

Tecnología	Largo, c (cm)	Ancho, a (cm)	Altura, h (cm)	Temperatura de trabajo, T (°C)	Potencia, P (W)	Consumo de gas, Q_{glp} (kg/h)	Costo, C (₺)
Horno HPP-2.00	77	73	68	180	2 800	NA	782 654
Horno HPP-3.00	66	66	65	250	2 400	NA	239 112
Horno RECOD1	113	87	158	250	NA	1.5	2 428 806
Horno SRCOH	112	97	160	250	NA	1.16	1 771 762
Horno RY-RCOS-1	79	72	70	180	NA	1.72	2 627 316
Freidora F2T2CE1800WBA	45	30	25	180	1 800	NA	321 343
Freidora VN-SFG-1-2	33	27	10	180	NA	0.34	58 320
Marmita MG-9300, 317 L	140	115	106	250	NA	1.79	7 877 282
Marmita MBM-9250, 150 L	100	90	85	250	NA	1.36	3 646 166
Baño maría BMEX175	170	110	90	150	1 500	NA	789 070

Cuadro A12. Costos fijos de inversión

Motivo del costo	Costos fijos, C_f (₺)
Compra del horno	1 771 762
Compra de la freidora	58 320
Compra de la marmita	7 292 333
Compra del baño maría	789 070
Tragaluces del salón	20 902 000
Construcción del tanque	1 000 000

Cuadro A13. Costos variables de inversión a un periodo de 10 años

Costos variables, C_v (€)		
Fluorescentes del salón	Fluorescentes de la cocina	Mantenimiento anual de los equipos
624 000	455 000	3 960 000
642 720	468 650	4 078 800
662 002	482 710	4 201 164
681 862	497 191	4 327 199
702 317	512 107	4 457 015
723 387	527 470	4 590 725
745 089	543 294	4 728 447
767 441	559 593	4 870 301
790 465	576 380	5 016 410

B: RESULTADOS INTERMEDIOS**Cuadro B1.** Costos facturados por la CNFL para el comedor estudiantil

Periodo	Energía total, E (kWh)
01-2015	1 253 720
02-2015	598 440
03-2015	1 919 500
04-2015	1 794 225
05-2015	1 758 290
06-2015	1 814 205
07-2015	1 384 500
08-2015	1 392 290
09-2015	1 638 180
10-2015	1 667 025
11-2015	1 579 595
12-2015	1 194 190

Continuación del Cuadro B1. Costo facturados por la CNFL para el comedor estudiantil

Periodo	Energía total, <i>E</i> (kWh)
01-2016	548 910
02-2016	1 264 115
03-2016	1 628 780
04-2016	1 741 920
05-2016	1 840 615
06-2016	1 744 800
07-2016	1 505 895
08-2016	1 631 110
09-2016	1 874 330
10-2016	1 871 310
11-2016	1 955 975
12-2016	1 174 250
01-2017	445 340
02-2017	869 165
03-2017	1 243 225
04-2017	1 283 650
05-2017	1 561 055
06-2017	1 643 910
07-2017	1 500 580
08-2017	1 460 305
09-2017	1 641 655
10-2017	1 722 855
11-2017	1 844 755
12-2017	1 802 975
01-2018	98 230

Continuación del Cuadro B1. Costos facturados por la CNFL para el comedor estudiantil

Periodo	Energía total, E (kWh)
02-2018	576 045
03-2018	1 598 715
04-2018	1 745 710
05-2018	1 928 120
06-2018	1 832 015
07-2018	1 877 535
08-2018	1 885 980
09-2018	2 350 085
10-2018	1 362 960
11-2018	1 589 930
12-2018	1 437 990

Cuadro B2. Datos de los requerimientos de extintores según NFPA 10

Ubicación	Requerimiento de extintores, Re (m ² /extintor)	Número de extintores requerido, X (extintores)
Bodega de alimentos	557	1
Vestidores	557	1
Oficina de administración	557	1
Cocina	279	3
Salón principal	557	2

Cuadro B3. Grados de los riesgos para los riesgos presentes en el comedor

Riesgo	Grado de riesgo, G (adim)
Calor en el ambiente	180
Mala iluminación	0.5
Atrapamiento en las cámaras de enfriamiento	0
Ruidos	90
Polvos	18
Vapores	50

Continuación del Cuadro B3. Grados de los riesgos para los riesgos presentes en el comedor

Riesgo	Grado de riesgo, <i>G</i> (adim)
Hongos	1
Virus	7.5
Insectos	1.5
Animales	1.5
Mala postura	90
Sobreesfuerzo	90
Movimiento repetitivo de cuello	450
Movimiento repetitivo de brazos	500
Movimiento repetitivo de muñecas	1500
Largos tiempos estando de pie	300
Largos tiempos caminando	36
Flexionamiento de espalda	900
Movimiento repetitivo de cintura	90
Monotonía	30
Carga de trabajo	15
Estrés	180
Cortes/heridas	900
Salpicaduras	150
Caídas por escalones	22.5
Golpes contra y por objetos	22.5
Atrapamiento	22.5
Pellizco	30
Resbalones	30
Quemaduras	270
Caída de objetos	3
Contacto directo	12.5
Contacto indirecto	30
Cables sueltos	12.5
Equipo dañado	45
Incendios	25

Cuadro B4. Índices de siniestralidad para el periodo 2016-2018 del comedor estudiantil

Índice	Valor en el año 2016	Valor en el año 2017	Valor en el año 2018
Frecuencia (IF)	378.78	0.00	0.00
Gravedad (IG)	3.78	0.00	0.00
Porcentaje de incidencia (PI)	8.33%	0.00	0.00
Duración media (IDM)	10.00	0.00	0.00

Cuadro B5. Valores de potencias obtenidas para los principales equipos evaluados

Equipo	Potencia, P (kW)
Horno	7.5
Freidora	5.5
Marmita	32.9
Baño maría	3.7
Refrigerador	0.1

Cuadro B6. Valores de consumo de energía obtenidos para los principales equipos evaluados

Equipo	Energía consumida, E (kWh)
Horno	330
Freidora	486
Marmita	6262
Baño maría	988

Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta

Escenario propuesto	Equipos a sustituir	Relación costo-beneficio, R (adim)	Periodo de recuperación, t (año)
#1	Horno Freidora Marmita Baño María Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.82	10
#2	Horno Freidora Marmita Baño María Iluminación de Salón	0.86	10
#3	Horno Freidora Marmita Baño María Iluminación de cocina	1.03	10
#4	Horno Marmita Baño María Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.80	10
#5	Freidora Marmita Baño María Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.91	10

Continuación del Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta

Escenario propuesto	Equipos a sustituir	Relación costo-beneficio, R (adim)	Periodo de recuperación, t (año)
#6	Horno Freidora Baño María Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.38	10
#7	Horno Freidora Marmita Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.79	10
#8	Horno Freidora Marmita Baño María	1.13	4
#9	Horno Freidora Marmita Iluminación de Salón	1.07	8
#10	Horno Freidora Marmita Iluminación de cocina	1.02	5

Continuación del Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta

Escenario propuesto	Equipos a sustituir	Relación costo-beneficio, R (adim)	Periodo de recuperación, t (año)
#11	Freidora Marmita Baño María Iluminación de Salón	1.12	7
#12	Freidora Marmita Baño María Iluminación de cocina	1.08	4
#13	Marmita Baño María Iluminación de Salón Iluminación de cocina	1.02	7
#14	Horno Freidora Baño María Iluminación de Salón	0.61	10
#15	Horno Freidora Baño María Iluminación de cocina	0.58	10

Continuación del Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta

Escenario propuesto	Equipos a sustituir	Relación costo-beneficio, R (adim)	Periodo de recuperación, t (año)
#16	Freidora Marmita Iluminación de Salón Iluminación de cocina	1.01	7
#17	Horno Freidora Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.5	10
#18	Horno Marmita Baño María Iluminación de Salón	1.09	8
#19	Horno Marmita Baño María Iluminación de cocina	1.03	5
#20	Horno Marmita Iluminación de Salón Iluminación de cocina	1.05	9

Continuación del Cuadro B7. Escenarios obtenidos para el análisis financiero de la propuesta

Escenario propuesto	Equipos a sustituir	Relación costo-beneficio, R (adim)	Periodo de recuperación, t (año)
#21	Horno Baño María Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.57	10
#22	Freidora Baño María Iluminación de Salón Iluminación de cocina	0.60	10

C. MUESTRA DE CÁLCULO

C.1. Costo de la electricidad según la CNFL

Para el cálculo del costo de la electricidad según la CNFL se obtiene de la siguiente manera:

$$C_e = p_{3000kWh} + (P_{>3000kWh} - 3000) * p_{>3000kWh} \quad (C.1)$$

Donde:

C_e : Costo de la electricidad, ₡

$P_{>3000kWh}$: Potencia consumida mayor a los 3000 kWh, kWh

$p_{3000kWh}$: Tarifa eléctrica para bloque de 3000 kWh, ₡/kWh

$p_{>3000kWh}$: Tarifa eléctrica para bloque mayor a 3000 kWh, ₡/kWh

Utilizando los datos para potencia consumida mayor a los 3000 kWh del Cuadro A1, fila 48, columna 2, tarifa eléctrica para bloque de 3000 kWh del Cuadro A2, fila 70, columna 2 y tarifa eléctrica para bloque mayor a 3000 kWh del Cuadro A3, fila 70, columna 2:

$$C_e = 3000 \text{ kWh} * 141\,300 \frac{\text{₡}}{\text{kWh}} + (14\,240 - 3000) \text{ kWh} * 47.10 \frac{\text{₡}}{\text{kWh}} = 670\,704 \text{ ₡}$$

Resultado que se encuentra tabulado en el cuadro B1, fila 48, columna 2 con el valor del importe por demanda de ₡688 120 para un total de ₡ 1 437 990, dicho cálculo se empleó para la obtención de todos los costos de electricidad a diferentes consumos eléctricos.

C.2. Requerimiento de extintores según NFPA 10

Para el cálculo del requerimiento de extintores se utilizó la NFPA 10 en donde se indica el valor para riesgos leves, moderado o extraordinario. Para el caso de leve o moderado se tiene:

$$Re = 2 * Ri \tag{C.2}$$

Donde:

Re : Requerimiento de extintores, m²/extintor

Ri : Tipo de riesgo según NFPA 10, m²/extintor

Para el caso del salón contemplando un riesgo leve de 3000 ft²/extintor se obtiene:

$$Re = 2 * 278.7 \frac{\text{m}^2}{\text{extintor}} = 557 \frac{\text{m}^2}{\text{extintor}}$$

C.3. Número de extintores requeridos según NFPA 10

Para el cálculo del número de extintores requeridos se utilizó la NFPA 10 en donde dicho número se obtiene por medio de la siguiente relación:

$$X = \frac{A}{Re} \quad (C.3)$$

Donde:

X : Número de extintores requeridos, adim

A : Área del lugar evaluado, m²

Re : Requerimiento de extintores, m²/extintores

Sustituyendo el área por el valor para el salón tabulado en el cuadro A4, fila 5, columna 2 se obtiene:

$$X = \frac{655.3 \text{ m}^2}{557 \frac{\text{m}^2}{\text{extintor}}} = 1.2 \approx 2 \text{ extintores}$$

De esta manera se obtiene que el salón requiere de 2 extintores para lo cual se debe evaluar si cumple con la distancia mínima desde cualquier punto del lugar a un extintor, este valor está tabulado en el cuadro B2, fila 5, columna 3. Este cálculo se emplea también para el resto de lugares evaluados.

C.4. Grado de riesgo para un riesgo presente en el comedor

Para el cálculo de grado de riesgo según la metodología William T. Fine se tiene la siguiente relación:

$$G = Conc * Prob * Ex \quad (C.4)$$

Donde:

G : Grado de riesgo, adim

Conc : Consecuencias, adim

Prob : Probabilidad, adim

Ex : Exposición, adim

Ahora utilizando los valores de los cuadros A5, A6 y A7, filas 4, 2 y 2, columna 2, 2 y 2 respectivamente se obtiene para el caso del estrés:

$$G = 5 * 6 * 6 = 180$$

Valor que se encuentra tabulado en el cuadro B3, fila 22, columna 2. Dicha metodología se empleó para todos los riesgos evaluados.

C.5. Cálculo de potencia

Para los cálculos de potencia de los equipos de mayor consumo en el comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica se emplea la siguiente relación:

$$P = V * I \tag{C.5}$$

Donde:

P : Potencia, kW

V : Voltaje, V

I : Corriente, A

Sustituyendo los valores tabulados en el cuadro A8 fila 1, columna 2 y 3 se obtiene:

$$P = 250 V * 30 A = 7500 W = 7.5 kW$$

Valor que se encuentra tabulado en el cuadro B5, fila 1, columna 2. Dicha metodología se empleó para los demás equipos evaluados.

C.6. Cálculo de consumo de energía

Para el cálculo de consumo de energía de los principales equipos se empleó la siguiente relación:

$$E = P * t_m \quad (C.6)$$

Donde:

E : Energía consumida, kWh

P : Potencia, kW

t_m : Tiempo de uso mensual, h

Sustituyendo los valores por los tabulados en el cuadro B5, fila 1, columna 2 y cuadro A9, fila 1, columna 3 se obtiene:

$$E = 7.5 \text{ kW} * 44 \text{ h} = 330 \text{ kWh}$$

Valor que se encuentra tabulado en el cuadro B6, fila 1, columna. Esta metodología se empleó para todos los consumos eléctricos del comedor incluyendo a la iluminación.

C.7. Determinación del valor de eficacia luminosa

Para la obtención del valor de eficacia luminosa se necesita la potencia aportada por las luminarias y la iluminación media del lugar en específico, por medio de la siguiente relación:

$$EL = \frac{Ilum_{prom}}{P} \quad (C.7)$$

Donde:

EL : Eficacia Luminosa, lux/W

Ilum_{prom} : Iluminación promedio de la habitación, lux

P : Potencia de las luminarias en la habitación, W

En el caso del salón con una potencia aportada de 6 192 W y una iluminación promedio de 104.4 lux se obtiene:

$$EL = \frac{104.4 \text{ lux}}{6\ 192 \text{ W}} = 0.017$$

Para el caso de la cocina, el vestidor y el baño se realizó el mismo cálculo.

C.8. Cálculo de la Potencia instalada en el edificio

Para el cálculo de la potencia instalada en el edificio se debe aplicar la siguiente sumatoria:

$$PI = \frac{P_1}{A_1} + \frac{P_2}{A_2} + \dots + \frac{P_n}{A_n} \quad (C.8)$$

Donde:

PI : Potencia instalada, W/m²

P_# : Potencia en una habitación específica del lugar, W

A_# : Área de una habitación específica del lugar, m²

Para el caso del comedor se tienen el salón con 6 192 W y 655.5 m², la cocina con 2 304 W y 189.5 m² y otros con 396 W y 51 m², por lo tanto:

$$PI = \frac{6\ 192 \text{ W}}{655.5 \text{ m}^2} + \frac{2\ 304 \text{ W}}{189.5 \text{ m}^2} + \frac{396 \text{ W}}{51 \text{ m}^2} = 29.4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Así se obtiene una potencia instalada en el edificio de 29.4 W/m² mayor al límite establecido para restauración de 18 W/m².

C.9. Cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación

Para el cálculo del Valor de Eficiencia Energética de la Instalación se emplea la siguiente relación:

$$VEEI = \frac{P * 100}{A * Ilum_{prom}} \quad (C.9)$$

Donde:

VEEI : Valor de Eficiencia Energética de la Instalación, W/ m²-lux

P : Potencia de las luminarias en la habitación, W

A : Área de la habitación, m²

Ilum_{prom} : Iluminación promedio de la habitación, lux

Para el caso del salón con los valores antes mencionados se obtiene:

$$VEEI = \frac{6\,192\,W * 100}{655.5\,m^2 * 104.4\,lux} = 9.05 \frac{W}{m^2 - lux}$$

Valor obtenido para la cocina y mayor al valor límite de 8 W/ m²-lux para el área de restaurantes. Este cálculo también se realizó para la cocina.

C.10. Determinación del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita

Para el cálculo del flujo luminoso que un determinado local o zona necesita se emplea la siguiente relación:

$$\Phi_T = \frac{Ilum_{prom} * A}{C_u * C_m} \quad (C.10)$$

Donde:

Φ_T : Flujo luminoso, lm

Ilum_{tab} : Iluminación tabulada para la actividad realizada en la habitación, lux

A : Área de la habitación, m²

C_u : Coeficiente de utilización, adim

C_m : Coeficiente de mantenimiento, adim

Para el caso del salón con un coeficiente de utilización de 0.56 y un coeficiente de mantenimiento de 0.8 se obtiene:

$$\Phi_T = \frac{100 \text{ lux} * 655.5 \text{ m}^2}{0.56 * 0.8} = 146\,317 \text{ lm}$$

Dicho cálculo se emplea también para la cocina.

C.11. Cálculo del número de luminarias de un local

Para el cálculo del número de luminarias de un local se emplea la siguiente relación:

$$NL = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (\text{C.11})$$

Donde:

NL : Número de Luminarias en un local, adim

Φ_T : Flujo luminoso, lm

Φ_L : Flujo luminoso de catálogo de la luminaria, lm

n : Número de lámparas que tiene la luminaria, adim

Así para el caso de las luminarias LED con un flujo luminoso de 1 600 lm en el salón se obtiene:

$$NL = \frac{146\,317 \text{ lm}}{2 * 1\,600 \text{ lm}} = 45.7 \text{ luminarias} \approx 46 \text{ luminarias}$$

De esta manera se obtienen 46 luminarias para el salón principal del comedor.

C.12. Cálculo de la distribución de luminarias a lo ancho de un local

Para el cálculo de la distribución de luminarias a lo ancho de un local se utiliza la siguiente relación:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{NL}{c}} * a \quad (\text{C.12})$$

Donde:

N_{ancho} : Distribución de luminarias a lo ancho del local, adim

NL : Número de Luminarias en un local, adim

a : Ancho del local, m

c : Largo del local, m

Para el caso del salón con un largo de 31.28 m y un ancho de 20.84 m se obtiene:

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{46}{31.28}} * 20.84 = 3.2 \text{ luminarias a lo ancho} \approx 3 \text{ luminarias a lo ancho}$$

De esta manera se obtiene que a lo ancho del salón debe haber 3 luminarias por fila.

C.13. Cálculo de la distribución de luminarias a lo largo de un local

Para el cálculo de la distribución de luminarias a lo largo de un local se utiliza la siguiente relación:

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{c}{a}\right) \quad (C.13)$$

Donde:

N_{largo} : Distribución de luminarias a lo largo del local, adim

N_{ancho} : Distribución de luminarias a lo ancho del local, adim

a : Ancho del local, m

c : Largo del local, m

De esta manera para el caso del salón se obtiene:

$$N_{largo} = 3 * \left(\frac{31.28 \text{ m}}{20.84 \text{ m}}\right) = 4.8 \text{ luminarias a lo largo} \approx 5 \text{ luminarias a lo largo}$$

De esta manera se obtiene que a lo largo del salón debe haber 5 luminarias por columna.

C.14. Comprobación del nivel de iluminación media

Esta comprobación se realiza para verificar que el cálculo anterior esté correcto y se obtiene por medio de la siguiente relación:

$$I_{lum} = \frac{NL * n * \Phi_L * C_u * C_m}{A} \quad (C.14)$$

Donde:

I_{lum} : La verificación de un nivel de iluminación mayor al tabulado para una actividad específica, lux

NL : Número de Luminarias en un local, adim

n : Número de lámparas que tiene la luminaria, adim

Φ_L : Flujo luminoso de catálogo de la luminaria, lm

C_u : Coeficiente de utilización, adim

C_m : Coeficiente de mantenimiento, adim

A : Área de la habitación, m^2

De esta manera para los cálculos del salón se obtiene:

$$I_{lum} = \frac{48 * 2 * 1600 \text{ lm} * 0.56 * 0.8}{655.5 \text{ m}^2} = 105 \text{ lux}$$

Valor mayor al flujo requerido de 100 lux por lo tanto se verifican correctamente los cálculos obtenidos. Estos cálculos de iluminación se realizaron también para la cocina y para el salón pero en el caso de iluminación natural.

C.15. Determinación del costo total de inversión

El costo total se obtiene por medio de los costos fijos y los costos variables de un año en específico contemplando el mantenimiento por medio de la siguiente suma:

$$C_T = C_F + C_V = C_{eq} + C_{tanq} + C_{in} + C_{const} + C_{mant} + C_{fluor,s} + C_{fluor,c} \quad (C.15)$$

Donde:

C_T : Costo total de inversión, ¢

C_F : Costos fijos, ¢

C_V : Costo variables, ¢

C_{eq} : Costo de los equipos, ¢

C_{Tanq} : Costo del tanque de GLP, ¢

C_{in} : Costo de iluminación natural, ¢

C_{const} : Costo de construcción y sistema eléctrico, ¢

C_{mant} : Costo de mantenimiento, ¢

$C_{Fluor,sa}$: Costo de los fluorescentes LED del salón, ¢

$C_{Fluor,co}$: Costo de los fluorescentes LED de la cocina, ¢

Este costo varía año con año debido a los costos variables, por ello para el año 2020 en donde se deben sustituir de nuevo los fluorescentes se tiene:

- Costo de los equipos:

$$C_{eq} = \text{¢ } 1\,771\,762\,583\,20 + \text{¢ } 7\,292\,333 + \text{¢ } 789\,070 = \text{¢ } 9\,911\,484$$

- Costos fijos:

$$C_F = \text{€}9\,911\,484 + \text{€}1\,000\,000 + \text{€}20\,902\,000 + \text{€}4\,667\,000 = \text{€}36\,480\,484$$

- Costos por mantenimiento hasta el año 2020 con una inflación del 3%:

$$C_{mant,2020} = \text{€}1\,075\,887 + \text{€}1\,108\,164 = \text{€}2\,184\,051$$

- Costos por fluorescentes de cocina con una inflación del 3%:

$$C_{Fluor,c,2020} = \text{€}455\,000 + \text{€}468\,650 = \text{€}923\,650$$

- Costos variables:

$$C_{v,2020} = \text{€}2\,184\,051 + \text{€}923\,650 + \text{€}623\,000 = \text{€}3\,731\,701$$

- Costos totales:

$$C_{T,2024} = C_F + C_{V,2024} = \text{€}36\,480\,484 + \text{€}3\,731\,701 = \text{€}40\,212\,185$$

Lo cual corresponde a los costos totales para el año 2020 al sustituir todas las tecnologías propuestas. Este cálculo se repitió para cada año desde el 2019 hasta el 2029 y para los 22 escenarios diferentes que se evaluaron.

C.16. Determinación del consumo futuro de energía

Para la determinación del consumo futuro de energía se empleó la siguiente relación:

$$E_{fut} = E_{actual} - E_{eq,sut} + E_{eq,prop} \quad (C.16)$$

Donde:

E_{fut} : Consumo eléctrico futuro, kWh

E_{actual} : Consumo eléctrico actual, kWh

$E_{eq,sut}$: Consumo eléctrico de los equipos a sustituir, kWh

$E_{eq,prop}$: Consumo eléctrico de los equipos propuestos, kWh

Así para el escenario #1 donde se proponen la sustitución de todos los equipos se tiene:

$$E_{fut} = 18\,000 \text{ kWh} - 10\,309 \text{ kWh} + 818 \text{ kWh} = 8\,509 \text{ kWh}$$

Consumo eléctrico correspondiente para el escenario #1. Este cálculo se realizó para los 22 escenarios distintos que se evaluaron.

C.17. Cálculo del ahorro energético expresado en colones

Para el cálculo del ahorro se emplea la siguiente relación:

$$H = C_{E,actual} - (C_{E,fut} + C_{E,GLP}) \quad (C.17)$$

Donde:

H : Ahorro, ₡

$C_{E,actual}$: Costo del consumo eléctrico actual, ₡

$C_{E,fut}$: Costo del consumo eléctrico futuro, ₡

$C_{E,GLP}$: Costo del consumo de GLP futuro, ₡

Así para el escenario #1 donde se proponen la sustitución de todos los equipos y el año 2020 se tiene:

$$A = \text{₡} 872\ 122 + \text{₡} 412\ 265 + \text{₡} 118\ 516 = \text{₡} 341\ 340$$

Ahorro por importe de energía total pronosticado para el año 2020 al sustituir todos los equipos. Este cálculo se empleo para los años desde el 2019 hasta el 2019 y para los 22 escenarios propuestos.

C.18. Determinación de la relación costo-beneficio

La relación costo-beneficio se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$R = \frac{H}{C} \quad (C.18)$$

Donde:

R : Relación costo-beneficio, adim

H : Ahorro acumulado, ₡

C : Costo acumulado, ₡

Para el caso #1 se obtuvo una relación costo-beneficio en el año 2029 de:

$$R = \frac{\text{₡} 46\ 956\ 978}{\text{₡} 57\ 197\ 880} = 0.82$$

Relación tabulada en el cuadro B7, fila 1 y columna 3. Este cálculo se realizó con los 22 escenarios diferentes desde el año 2019 hasta el año 2020 los cuales se encuentran todos tabulados en el cuadro B7.

C.19. Cálculo del retorno de inversión

El cálculo del retorno de inversión se realizó por medio de la siguiente relación:

$$ROI = \frac{(H - C) * 100}{C} \quad (C.19)$$

Donde:

ROI : Retorno de inversión, %

H : Ahorro acumulado, ¢

C : Costo acumulado, ¢

Para el caso del escenario #12 el cual dio mejores resultados se calcula el ROI para el año 2023:

$$ROI = \frac{(\text{¢ } 21\,320\,268 - \text{¢ } 19\,713\,310) * 100}{\text{¢ } 19\,713\,310} = 8.2 \%$$

Este cálculo se realizó solo para los 22 escenarios desde el año 2019 hasta el 2019.

ANEXOS

I. Acta de constitución

Evaluación de oportunidades de mejora para la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica

Director de Proyecto / Nivel de autoridad

Adrián Gómez Guillén

Autoridad en la elaboración del proyecto, tiempo de trabajo, realización del trabajo de campo y presentación de documentos.

Cambios en alcance del proyecto deberán ser acordados con los otros miembros el equipo de dirección del proyecto.

Justificación

El comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica se ha mantenido por los últimos cuatro años pagando una factura por gastos energéticos que ronda millón seiscientos mil colones mensuales por lo que al mostrar una tendencia relativamente constante en sus consumos se debe considerar que el equivalente en dinero es un aumento de hasta medio millón de colones en los últimos años por lo que se quiere buscar oportunidades de mejora en las instalaciones del edificio y con ello reducir los consumos energéticos.

Objetivo

Evaluar energética y técnicamente la situación actual del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica para la búsqueda de oportunidades de mejora.

Requerimientos / Descripción del producto final

Tecnologías energéticas que presenten una mejora en cuanto a consumo energético respecta.

Mejoras de distribución de equipos y acomodo de la estructura.

Recursos asignados

Para la planificación inicial:

Un ingeniero químico al 50% durante 12 meses.

Partes implicadas (Stakeholders)

Junta directiva, encargada de supervisar el trabajo realizado.

Gerencia del comedor, este departamento debe estar enterado de todo el trabajo realizado ya que deben responder dando el visto bueno de la obra y son los encargados de dar los permisos requeridos.

Trabajadores del lugar, se les debe mantener informados sobre los trabajos que se realizaran en el comedor, además de que serán entrevistados y pueden exponerse a inconvenientes al desplazarse por lugares donde se estén realizando mediciones.

Clientes del comedor, pueden ser afectados por ruidos y obstáculos durante la realización de la auditoría.

Estimación inicial de riesgos

El mayor riesgo corresponde a un atraso durante la realización del proyecto ya que se dispone de un tiempo determinado para la realización del proyecto esto debido a que el comedor únicamente trabaja durante los ciclos lectivos I y II designados por la Universidad de Cista Rica.

Estimación inicial de tiempo

Finalización: El proyecto debe estar realizado y revisado, con las oportunidades de mejora encontradas las cuales pueden abarcar desde seguridad hasta eficiencia energético.

Fecha de finalización: 30 de Julio de 2019.

Estimación inicial de costes

El principal recurso con el que se dispone es del tiempo de trabajo.

Requerimientos y responsables de aprobación

Aprobación de la propuesta del proyecto: COTRAFIN

Aprobación del contrato de proyecto: Gerencia del Comedor estudiantil de Universidad de Costa Rica.

Aceptación final de la obra: Universidad de Costa Rica.

Aceptación de cambios en la realización del proyecto: Junta directiva del proyecto

Nombre y firma

Sponsor:
EIQ (Escuela de Ingeniería Química)

Jefe de Proyecto:
Adrián Gómez Guillén

II. Rotulación para mitigación de riesgo



III. Históricos de consumo acumulado del Comedor estudiantil de la UCR

		HISTORICO DE CONSUMOS ACUMULADOS		Usuario: EFUENTES Servidor: PRODUCCION Terminal: PECERFUENTES Oficina: Administración d Nombre Fisico: LMR0395 Fecha: 04-04-2018 11:16 Página: 1 / 2
COMPANIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ		CONTRATO : 192039 LOCALIZACION : SUBPRODUCTO : TOD TODOS LOS SUBPRODUCTOS TIPO CONSUMO : TOD TODOS LOS TIPOS CONTADOR : 0 - TODOS LOS CONTADORES DESDE : ENERO-2015 HASTA : MARZO-2018	SERVICIO :	

Nombre: UNIVERSIDAD DE C.R.
 Conocido como: NA
 Contrato: 192039
 Localización: 7404551500
 Medidor: 830123
 Desde: 04/08/2008 Hasta:
 Tarifa: CS - CONSUMO SOCIAL O PREFERENCIAL

Periodo	Días Fact.	Fecha Lectura	Energía Total		Demanda		Factor Potencia		Importe Total Facturado (\$)
			kWh	Importe (\$)	Facturada(kW)	Importe (\$)	%	Importe (\$)	
01-2015	29	21/01/2015	8,480	375,170	114.72	824,750	99.87	0	1,253,720
02-2015	30	20/02/2015	8,000	368,000	102.88	761,520	99.77	0	598,440
03-2015	32	24/03/2015	19,840	912,640	122.24	904,820	99.85	0	1,919,500
04-2015	30	23/04/2015	19,690	826,560	128.00	868,710	99.47	0	1,794,225
05-2015	32	25/05/2015	21,600	885,600	115.84	760,260	99.64	0	1,758,290
06-2015	30	24/06/2015	21,760	892,160	123.04	807,510	99.54	0	1,814,205
07-2015	30	24/07/2015	15,520	623,710	105.92	681,410	99.79	0	1,394,500
08-2015	31	24/08/2015	15,520	619,870	108.64	694,620	99.71	0	1,392,290
09-2015	30	23/09/2015	20,000	798,800	116.00	741,680	99.68	0	1,638,180
10-2015	30	23/10/2015	20,960	847,750	110.88	717,925	99.73	0	1,667,025
11-2015	31	23/11/2015	20,480	832,100	99.84	649,385	99.59	0	1,579,595
12-2015	30	23/12/2015	13,280	539,565	90.24	586,945	99.06	0	1,194,190
01-2016	30	22/01/2016	5,280	228,425	40.16	280,455	99.94	0	548,910
02-2016	31	22/02/2016	10,720	475,860	96.80	695,870	99.86	0	1,264,115
03-2016	29	22/03/2016	17,120	759,955	102.88	739,575	99.88	0	1,628,780
04-2016	30	21/04/2016	16,640	769,265	114.40	856,505	99.41	0	1,741,920
05-2016	32	23/05/2016	19,200	905,280	106.88	816,140	99.70	0	1,840,615
06-2016	30	22/06/2016	18,880	890,190	96.80	739,170	99.67	0	1,744,800
07-2016	30	22/07/2016	13,440	640,470	96.80	746,995	99.74	0	1,505,895
08-2016	31	22/08/2016	14,240	681,670	104.48	809,880	99.61	0	1,631,110
09-2016	31	22/09/2016	18,560	888,465	105.60	818,560	99.64	0	1,874,330
10-2016	32	24/10/2016	19,680	942,080	102.24	792,515	99.35	0	1,871,310
11-2016	31	24/11/2016	21,600	1,033,990	101.92	790,035	99.40	0	1,955,975
12-2016	29	23/12/2016	8,000	382,960	93.92	728,025	99.73	0	1,174,250
01-2017	31	23/01/2017	5,920	253,560	22.88	158,675	96.48	0	445,340
02-2017	29	21/02/2017	8,640	352,255	70.72	466,830	99.57	0	869,165
03-2017	29	22/03/2017	15,040	613,180	83.36	550,270	99.87	0	1,243,225
04-2017	30	21/04/2017	15,840	645,795	84.00	554,490	98.94	0	1,283,650
05-2017	31	22/05/2017	18,880	769,740	104.80	691,795	99.42	0	1,561,055
06-2017	29	20/06/2017	19,840	808,875	110.72	730,875	99.49	0	1,643,910
07-2017	30	20/07/2017	18,080	737,125	100.32	662,225	99.82	0	1,500,580
08-2017	29	18/08/2017	16,960	691,460	101.28	668,560	99.49	0	1,460,305
09-2017	32	19/09/2017	20,160	821,925	106.56	703,415	99.39	0	1,641,655
10-2017	31	20/10/2017	18,560	814,710	113.12	804,010	99.61	0	1,722,855
11-2017	31	20/11/2017	20,960	961,435	104.16	773,645	99.71	0	1,844,755
12-2017	32	22/12/2017	19,840	910,060	106.08	787,910	99.59	0	1,802,975
01-2018	31	22/01/2018	1,120	89,690	9.92	0	63.71	0	98,230
02-2018	30	21/02/2018	7,520	347,500	24.00	179,570	98.62	0	576,045
03-2018	30	23/03/2018	14,240	688,030	110.88	829,615	99.27	0	1,568,715
04-2018	31	23/04/2018	17,120	791,115	111.84	836,800	99.35	0	1,745,710
05-2018	30	23/05/2018	21,120	975,955	109.44	818,840	99.03	0	1,928,120
06-2018	30	22/06/2018	20,160	931,595	103.36	773,350	99.26	0	1,832,015
07-2018	31	23/07/2018	19,840	933,140	108.16	823,680	99.31	0	1,877,535
08-2018	30	22/08/2018	20,000	947,400	106.88	819,760	99.34	0	1,885,980

Nombre: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 Conocido como: NA
 Contrato: 192039
 Localización: 7404551500

Periodo	Días Fact.	Fecha Lectura	Energía Total		Demanda		Factor Potencia		Importe Total Facturado (\$)
			kWh	Importe (\$)	Facturada(kW)	Importe (\$)	%	Importe (\$)	
09-2018	30	21/09/2018	30,720	1,455,205	94.80	727,105	98.88	0	2,350,085
10-2018	31	22/10/2018	12,000	568,245	94.80	724,250	98.88	0	1,362,960
11-2018	30	21/11/2018	17,120	808,350	90.67	691,410	99.44	0	1,589,930
12-2018	30	21/12/2018	14,240	670,705	90.24	688,120	99.77	0	1,437,990

IV. Matriz de evaluación de riesgo

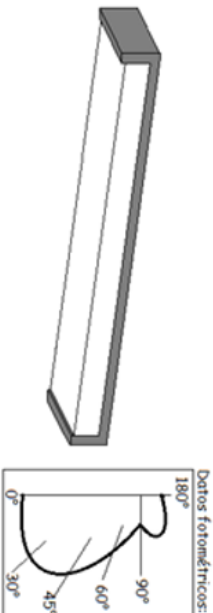
Categoría	Riesgo	Evaluación Consecuencias Probabilidad	Expositor	Grado	Soportable	Clasificación del riesgo	Acción de mitigación	Responsable	Responsable de la revisión	Fecha de finalización
Físico	Calor en el ambiente Mala iluminación Atrapeamiento en las cámaras de enfriamiento	5	6	6	180	X		Jefe de Almacén de materiales y herramientas Unidad de Logística y	Gerencia del comedor	sep-19
		1	1	0,5	0,5		X			
		15	6	0,5	0					
		5	6	3	90		X			
		1	6	1	6		X			
Químicos	Vapores Polvos Hongos Virus Insectos Animales	5	10	1	50			Eneagado de la unidad de salud ocupacional, ambiental y de primeros auxilios de la UCR	Gerencia del comedor	nov-19
		1	1	0,5	1					
		1	3	0,5	1,5					
		1	3	0,5	1,5					
		15	6	1	90		X			
		5	10	3	450		X			
		5	10	10	500		X			
		15	10	10	1500		X			
		5	6	10	300		X			
		1	6	6	36		X			
Ergonómicos	Largos tiempos estando de pie Fricamiento de espalda Movimiento repetitivo de cintura Monotonía Carga de trabajo	5	10	6	300			Eneagado de la unidad de salud ocupacional, ambiental y de primeros auxilios de la UCR	Gerencia del comedor	nov-19
		1	6	3	18		X			
		5	10	3	15		X			
		5	6	3	30		X			
		5	10	3	15		X			
Psicosociales	Estrés	5	6	6	180			Eneagado de la unidad de salud ocupacional, ambiental y de primeros auxilios de la UCR	Gerencia del comedor	nov-19
		5	10	6	300		X			
		15	10	1	150		X			
		15	3	0,5	22,5		X			
		15	3	0,5	22,5		X			
		15	3	0,5	22,5		X			
		5	6	1	30		X			
		5	6	1	30		X			
		15	6	3	270		X			
		1	3	1	3		X			
Mecánicos	Caídas por escalones Golpes contra y por objetos Atrapeamiento Pelizco Resbalones	15	3	0,5	22,5			Jefe de Almacén de materiales y herramientas Unidad de Logística y	Gerencia del comedor	sep-19
		15	3	0,5	22,5		X			
		15	3	0,5	22,5		X			
		5	6	1	30		X			
		5	6	1	30		X			
Eléctricos	Caída de objetos Contacto directo Contacto indirecto Cables sueltos Equipo dañado	25	1	0,5	12,5			Jefe de Almacén de materiales y herramientas Unidad de Logística y	Gerencia del comedor	sep-19
		5	1	1	30		X			
		25	6	1	30		X			
		5	3	0,5	12,5		X			
		5	3	1	45		X			
Emergencias tecnológicas	Equipos no profesionales de GLP Incendios	25	1	1	25			Jefe de Almacén de materiales y herramientas Unidad de Logística y	Gerencia del comedor	sep-19
		25	3	1	75		X			

V. Herramienta de selección

Tecnología propuesta	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Temperatura de trabajo	Tensión	Potencia	Consumo de gas	Costo	Colonias (C)
Horno HPP-2.00	77	73	68	180 °C		2800 W	NA	1290 \$-452 \$	782654
Horno HPP-3.00	66	66	65	250 °C	220 V	2400 W	NA	1642 \$-452 \$	239112
Horno RECOD1	113	87	158	250 °C		NA	1.5 kg/h	\$4164-62	2428806
Horno SRCOH	112	97	160	250 °C		NA	1.16 kg/h	\$9398	1771762
Horno RY-RGOS-1	79	72	70	180 °C		NA	1.72 kg/h	\$4505	2627316
Freidora F272CE1800WBA	45	30	25	180 °C	220 V	1800 W	NA	\$551	321343
Freidora VN-SFG-1-2	32.5	26.5	10	180 °C		NA	0.34 kg/h	\$100	58320
Marmita MG-9300, 317 L	140	115	106	250 °C		NA	1.79 kg/h	\$13507	7877282
Marmita MBM-9250, 150 L	100	90	85	250 °C		NA	1.36 kg/h	\$6252	3646166
Baño maria BMEX175	170	110	90	150 °C	220 V	1500 W	NA	\$1353	789070
Fluorescente LED 78C-LED120/002/65H	120			NA	100-240 V	17 W	NA	NA	6500
Iluminación natural	200	200		NA	0	0	NA	NA	1650000

VI. Método de los lúmenes

Método de los lúmenes	
Cálculo del flujo luminoso total necesario para el salón con luz led	
Em=	100 lux
OT=	146316,964 lúmenes
S=	655,5 m ²
Cu=	0,56
Cm=	0,8
K=	1,79
Techo=	0,70-0,85 Blanco
Paredes=	0,40-0,50 Gris claro
Suelo=	0,50-0,75 Crema
n=	2
OLmax=	1600
NIL=	45,7240513
Nancho=	5,51934875
NIargo=	8,28432001
a=	20,84 m
b=	31,28 m
Comprobación:	651,8752 m ²
Em=	104,9776 Cumple
Precio:	624000 colones



Datos fotométricos:

Separación máxima: 1,4 altura del montaje al plano de trabajo

Razón de ambiente K	Coeficiente de utilización (Cu)									
	30%		20%		10%		30%		50%	
	50%	80%	50%	80%	50%	70%	30%	30%	50%	10%
Piso	.39	.24	.29	.23	.28	.23	.26	.22	.29	.22
Techo	.38	.32	.37	.31	.35	.30	.33	.29	.34	.29
Pared	.45	.38	.42	.37	.41	.36	.38	.34	.38	.34
K	1,25	.44	.48	.42	.46	.41	.42	.38	.42	.38
	1,5	.56	.49	.52	.47	.50	.45	.46	.42	.42
	2,0	.63	.56	.57	.52	.55	.50	.47	.47	.47
	2,5	.67	.61	.60	.56	.58	.54	.53	.50	.50
	3,0	.70	.65	.63	.59	.60	.57	.55	.52	.52
	4,0	.74	.70	.66	.63	.63	.60	.57	.55	.55
	5,0	.78	.74	.68	.65	.65	.63	.63	.63	.63

VIII. Hojas para entrevistas

Encuesta seguridad laboral

Nombre: _____ Fecha: _____

1) Esta informado (a) sobre el programa de salud laboral del comedor estudiantil de la Universidad de Costa Rica.

- Sí
- No

2) ¿En caso de algún accidente de trabajo a quien debe dirigirse?

3) Ha sido incapacitado por alguna de las siguientes razones:

- Accidente de trabajo
- Enfermedad
- Internado en Hospital
- Nunca ha sido incapacitado

4) Que elementos emplea en su jornada diaria de trabajo:

- Delantal o gabacha
- Guantes
- Botas o zapatos cerrados
- Lentes o gafas protectoras
- Cofia o malla para el cabello
- Cubre bocas
- Tapa oídos
- Aretes, anillos o collares

5) Realiza las siguientes actividades durante su jornada laboral:

- | | | | |
|--|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Movimiento de cuello | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Movimiento de brazos | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Movimiento de muñecas | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Flexionamiento de espalda | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Movimiento de miembros inferiores | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Movimiento de cintura | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Postura incómodas | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Tiempo estando de pie | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
| <input type="checkbox"/> Sobre esfuerzo | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |

6) Su jornada laboral presenta los siguientes acontecimientos:

- | | | | |
|---|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Calor en el ambiente | <input type="checkbox"/> mucho | <input type="checkbox"/> normal | <input type="checkbox"/> poco |
|---|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|

<input type="checkbox"/> Ruido	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Cortaduras	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Golpes	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Quemaduras	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Resbalones	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Caídas por escalones	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Caída de objetos	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Estrés	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Vibraciones	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Iluminación	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Polvo	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Vapores	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Hongos	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Virus	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Insectos	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Animales	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Monotonía	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Sobre carga de trabajo	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Salpicaduras de agua caliente	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Pellizco	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Atrapamiento	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Electrocutión	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Cables sueltos	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Equipo dañado	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco
<input type="checkbox"/> Incendio	<input type="checkbox"/> mucho	<input type="checkbox"/> normal	<input type="checkbox"/> poco

7) ¿Ha presenciado algún accidente durante su jornada laboral?

- Sí
- No

De ser afirmativa la pregunta anterior, ¿Cuál o qué tipo de accidente ha presenciado?

IX. Plan de implementación por prioridad de tecnología

Tecnología de mejora energética	Costo de inversión, C (₡)	Beneficio obtenido	Tiempo de implementación, t (mes)													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Implementación del sistema de gas	1 000 000	Disminución del riesgo del sistema de gas actual	X	X												
Marmitas	7 292 333	Disminución de 6262 kWh en la factura eléctrica asociado a un ahorro de ₡294000 mensuales.		X	X											
Baño maría	789070	Disminución de 988 kWh en la factura eléctrica asociado a un ahorro de ₡46000 mensuales.				X										
Iluminación en la cocina	455 000	Disminución de 830 kWh en la factura eléctrica asociado a un ahorro de ₡40000 mensuales.				X	X	X	X	X						
Freidora	58 320	Disminución de 486 kWh en la factura eléctrica asociado a un ahorro de ₡23000 mensuales.					X									
Iluminación en el salón (fluorescente)	624 000	Disminución de 818 kWh en la factura eléctrica asociado a un ahorro de ₡38500 mensuales.					X	X	X	X	X					
Horno	1 771 762	Disminución de 330 kWh en la factura eléctrica asociado a un ahorro de ₡16000 mensuales.						X								
Iluminación en el salón (tragaluces)	19 915 000	Disminución de 491 kWh en la factura eléctrica asociado a un ahorro de ₡23000 mensuales.									X	X	X	X		