



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO
A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO
E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM**

Edgar Américo Santizo Chavarría

Asesorado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO
A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO
E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDGAR AMÉRICO SANTIZO CHAVARRÍA
ASESORADO POR EL ING. JAIME HUMBERTO BATTEN ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO
A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO
E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 13 de mayo 2012.


Edgar Americo Santizo Chavarria



Guatemala, 08 de julio de 2013.
REF.EPS.DOC.688.07.13.

Ingeniero
Juan Merck Cos
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Juan Merck Cos.

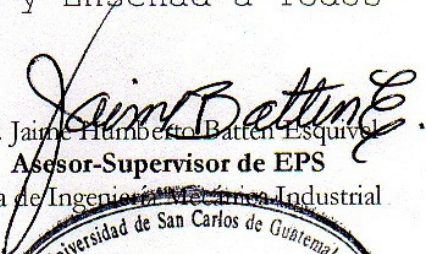
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Edgar Américo Santizo Chavarría**, Carné No. **200815487** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM"**.

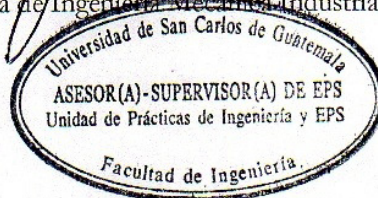
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



JHBE/ra



Guatemala, 08 de julio de 2013.
REF.EPS.D.467.07.13

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Edgar Américo Santizo Chavarría** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel.

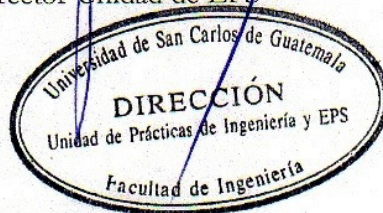
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan MerckCos
Director Unidad de EPS

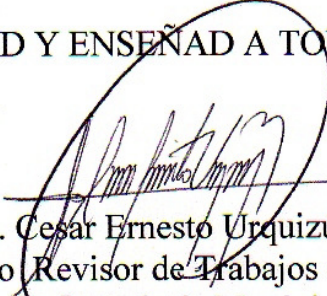
JMC/ra





Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Américo Santizo Chavarría**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, julio de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.223.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Américo Santizo Chavarría**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2013.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

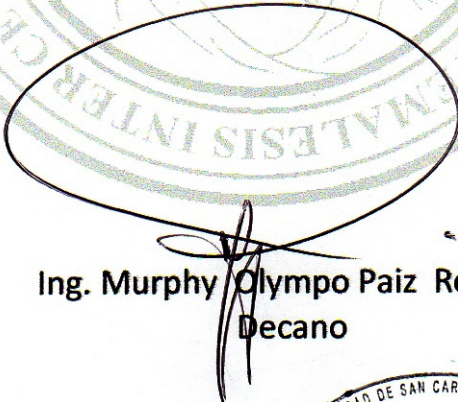


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 589.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO APLICADO A LA MEJORA DEL RENDIMIENTO EN EL EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL CENTRAL DE APROFAM**, presentado por el estudiante universitario **Edgar Américo Santizo Chavarría**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 26 de agosto de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida y la oportunidad.
Mis padres	Por ser de los de siempre.
Mis hermanas	Por su apoyo incondicional.
Mis abuelos	Por su respaldo y atención.
Mis sobrinas	Por ser la nueva milpa.
Mi cuñado	Por su atención.
Mis tíos y primos	Por su compañía.
Mi novia	Por su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme las puertas a la educación superior.
Facultad de Ingeniería	Por el conocimiento adquirido.
Asociación Pro - Bienestar de la Familia Guatemalteca	Por permitirme realizar el EPS.
Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado	Por acompañar el proceso de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES DE LA INSTITUCIÓN.....	1
1.1. Historia de la institución.....	1
1.2. Visión y misión.....	1
1.3. Valores	2
1.3.1. Respeto	2
1.3.2. Responsabilidad	2
1.3.3. Espíritu de servicio	2
1.3.4. Solidaridad.....	2
1.3.5. Competitividad	3
1.3.6. Integridad.....	3
1.3.7. Confidencialidad	3
1.4. Políticas y normas	3
1.5. Estructura organizacional	4
1.6. Ubicación.....	5
1.7. Descripción de la institución	6
1.8. Servicios médicos prestados	6
1.9. Financiamiento	7

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL: PLAN DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA MEJORA EN RENDIMIENTO EN EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL APROFAM.....	9
2.1.	Situación actual.....	9
2.1.1.	Diagrama de Pareto	9
2.1.2.	Análisis del equipo	12
2.1.2.1.	Análisis de equipo térmico.....	14
2.1.2.1.1.	Planta de generación	14
2.1.2.1.2.	Autoclaves de vapor.....	18
2.1.2.1.3.	Aires acondicionados	21
2.1.2.2.	Equipo neumático.....	25
2.1.2.2.1.	Compresor neumático ...	25
2.1.2.3.	Equipo hidráulico.....	28
2.1.2.3.1.	Bombas hidráulicas.....	28
2.1.3.	Frecuencia en el uso	31
2.1.3.1.	Frecuencia uso equipo térmico	31
2.1.3.2.	Frecuencia uso equipo hidráulico.....	34
2.1.3.3.	Frecuencia uso equipo neumático.....	34
2.1.4.	Mediciones de rendimiento.....	35
2.1.4.1.	Rendimiento planta de generación.....	36
2.1.4.2.	Rendimiento autoclaves	39
2.1.4.3.	Rendimiento aires acondicionados.....	41
2.1.4.4.	Rendimiento del equipo hidráulico	46
2.1.4.5.	Rendimiento equipo neumático	56
2.1.5.	Consumo de equipo	65
2.1.6.	Gasto energético del equipo.....	67
2.1.7.	Proyección de gasto energético	68
2.2.	Propuesta de mejora en rendimiento	69

2.2.1.	Mantenimiento correctivo.....	70
2.2.1.1.	Planta de generación.....	70
2.2.1.2.	Autoclaves	71
2.2.1.3.	Aires acondicionados.....	73
2.2.1.4.	Compresor neumático	75
2.2.1.5.	Bombas hidráulicas	76
2.2.2.	Mantenimiento preventivo.....	77
2.2.2.1.	Planta de generación.....	77
2.2.2.2.	Autoclaves	81
2.2.2.3.	Aires acondicionados.....	84
2.2.2.4.	Bombas hidráulicas	87
2.2.2.5.	Compresor.....	89
2.2.3.	Programación de actividades de mantenimiento	91
2.2.3.1.	Equipo térmico.....	91
2.2.3.2.	Equipo hidráulico y neumático.....	92
2.2.4.	Medición del incremento del rendimiento	93
2.2.5.	Proyección de la energía ahorrada.....	95
2.2.6.	Difusión del proyecto de mantenimiento	95
2.2.7.	Personal involucrado en proyecto de mantenimiento	96
2.2.7.1.	Personal administrativo	96
2.2.7.2.	Personal operativo.....	97
2.2.8.	Costos asociados al mantenimiento	99
2.2.8.1.	Costos por insumos.....	99
2.2.8.2.	Costos por mano de obra	100
2.2.8.3.	Inventario de repuestos	101
2.2.8.4.	Costo por fallas de equipo	102
2.2.8.5.	Costos de falta de mantenimiento	103
2.2.9.	Mantenimiento y seguridad industrial	104

	2.2.9.1.	Señalización.....	104
	2.2.9.2.	Acondicionamiento cromático.....	105
	2.2.9.3.	Protección personal.....	106
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE AHORRO EN ENERGÍA ELÉCTRICA.....		109
3.1.	Diagnóstico en el consumo energía eléctrica.....		109
	3.1.1.	Análisis de Pareto áreas de consumo	109
	3.1.2.	Necesidad de ahorro energético	112
	3.1.3.	Evaluación directa de las instalaciones.....	113
	3.1.4.	Visitas de verificación	114
	3.1.4.1.	Primer nivel	114
	3.1.4.2.	Segundo nivel.....	115
	3.1.4.3.	Tercer nivel.....	116
	3.1.4.4.	Cuarto nivel	116
	3.1.4.5.	Lavandería	117
	3.1.4.6.	Sótanos	117
	3.1.4.7.	Elevadores	118
	3.1.5.	Revisión del equipo	118
	3.1.6.	Estrategias de mejora	120
	3.1.7.	Medición de indicadores preliminares	121
	3.1.7.1.	Indicador 1: consumo por persona	121
	3.1.7.2.	Indicador 2: iluminación.....	122
	3.1.8.	Balance en energía eléctrica.....	123
3.2.	Situación actual.....		125
	3.2.1.	Clasificación de consumo.....	125
	3.2.1.1.	Consumo por iluminación	126
	3.2.1.2.	Consumo por equipo de cómputo	128
	3.2.1.3.	Consumo por comunicación.....	129

	3.2.1.4.	Consumo por entretenimiento.....	131
	3.2.1.5.	Otros consumos.....	131
	3.2.1.6.	Consumos totales	133
3.3.		Planeación de métodos de ahorro	134
	3.3.1.	Medición de indicadores de control	135
	3.3.2.	Ineficiencia en el gasto energético.....	139
	3.3.2.1.	Tipo de luminarias	139
	3.3.2.2.	Condición de las luminarias	140
	3.3.2.3.	Distribución de las luminarias	141
	3.3.3.	Servicio	142
	3.3.4.	Acciones preventivas.....	143
	3.3.5.	Propuesta de ahorro	147
	3.3.5.1.	Tipos de luminaria	148
		3.3.5.1.1. Luminarias incandescentes.....	148
		3.3.5.1.2. Luminarias fluorescentes	149
	3.3.5.2.	Tiempos de servicio.....	151
	3.3.5.3.	Costos por cambio de luminarias.....	153
	3.3.6.	Registros de rendimiento.....	155
	3.3.7.	Evaluación de consumo.....	157
	3.3.8.	Proyección de ahorro energético	159
	3.3.9.	Beneficios al ambiente.....	160
4.		FASE DE DOCENCIA: PLAN DE CAPACITACIÓN	163
	4.1.	Planificación	163
	4.1.1.	Necesidad de capacitación	163
	4.1.2.	Alternativas de capacitación	163
	4.1.3.	Ejecución del plan.....	164

4.2.	Programación.....	165
4.3.	Metodología	166
4.4.	Evaluación.....	168
4.5.	Resultados	168
CONCLUSIONES.....		171
RECOMENDACIONES		173
BIBLIOGRAFÍA.....		175
APÉNDICES.....		177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama hospital central	5
2.	Ubicación del hospital central.....	5
3.	Diagrama de Pareto acciones correctivas.....	12
4.	Tanque de combustible	16
5.	Fuga de combustible	17
6.	Planta generadora.....	17
7.	Acometida eléctrica	20
8.	Autoclave en servicio	21
9.	Aislante podrido	24
10.	Condensador unidad jefatura médica	25
11.	Compresor	27
12.	Sistema de emergencia.....	30
13.	Bombas hidráulicas.....	31
14.	Dimensiones tanque de combustible.....	37
15.	Diagrama T vs h	42
16.	Proyección de gasto.....	69
17.	Llave de paso tipo compuerta	71
18.	Contactos autoclave.....	72
19.	Flipón 200 amperios.....	72
20.	Sifón para condensado	73
21.	Redistribución de tuberías.....	74
22.	Instalación en la azotea.....	74
23.	Manómetro	75

24.	Válvulas de pie.....	76
25.	Limpieza interior bomba sistema de emergencia.....	77
26.	Receptor de aceite.....	78
27.	Filtros de aceite.....	79
28.	Filtros de combustible primario y secundario.....	80
29.	Válvula de llenado, cámara de calentamiento y válvula de alivio	83
30.	Limpieza de filtros	85
31.	Manómetro doble	86
32.	Ventilador, eje central y cojinetes	88
33.	Platino del interruptor centrifugo	88
34.	Mantenimiento motor eléctrico	90
35.	Costos de mantenimiento	103
36.	Gráfico de Pareto, análisis de consumo	111
37.	Consumo energético KWh.....	124
38.	Proporción de consumo	134
39.	Índice de utilización.....	138
40.	Principios método de cavidad zonal.....	141
41.	Diagrama corriente trifásica	143
42.	Triángulo de potencia	144
43.	Cálculo potencia reactiva.....	146
44.	Diagrama de conexión	147
45.	Formato de guía de encendido	167
46.	Ejemplo de evaluaciones	168
47.	Resultados evaluación.....	169

TABLAS

I.	Mantenimiento correctivo equipo hospital central septiembre 2011 – febrero 2012.....	10
----	---	----

II.	Medición del impacto	11
III.	Modelo de hoja de verificación	13
IV.	Horas promedio de servicio al día	35
V.	Consumo de combustible	38
VI.	Voltaje, corriente y potencia autoclaves	40
VII.	Temperaturas del ciclo de refrigeración.....	45
VIII.	Temperaturas – entalpías	45
IX.	Tiempos de llenado	48
X.	Número de Reynolds	50
XI.	Longitudes equivalentes de accesorios	51
XII.	Pérdida de carga por condiciones en tubería	53
XIII.	Pérdidas por fricción	54
XIV.	Voltajes de trabajo	55
XV.	Tiempo de ciclo compresor.....	60
XVI.	Temperatura camisa de aluminio.....	62
XVII.	Potencia de consumo compresor	64
XVIII.	Tasas de consumo	66
XIX.	Precio kilowatt-hora	67
XX.	Programación	92
XXI.	Consumos después del mantenimiento.....	93
XXII.	Disminución de corriente	94
XXIII.	Perfil de puesto jefe de hotelería	97
XXIV.	Perfil puesto técnico I	97
XXV.	Perfil puesto técnico II	98
XXVI.	Perfil puesto técnico III	98
XXVII.	Insumos principales	100
XXVIII.	Inventario propuesto	101
XXIX.	Riesgos en equipo	105
XXX.	Equipo de protección personal	107

XXXI.	Proporción del consumo de energía eléctrica	110
XXXII.	Consumo por nivel y área	111
XXXIII.	Potencia en iluminación por metro cuadrado según nivel	123
XXXIV.	Consumo sectorizado.....	124
XXXV.	Consumo por iluminación.....	126
XXXVI.	Costos de iluminación	127
XXXVII.	Consumos por equipo de cómputo.....	129
XXXVIII.	Consumo por comunicación	130
XXXIX.	Consumo por entretenimiento	131
XL.	Consumos de equipo adicional	132
XLI.	Resumen de consumos.....	133
XLII.	Demanda diaria promedio	135
XLIII.	Índice de utilización	139
XLIV.	Demanda máxima promedio	145
XLV.	Equivalencia en luminarias.....	150
XLVI.	Cambio de luminarias opción 1	153
XLVII.	Cambio de luminaria opción 2.....	154
XLVIII.	Consumo para luminarias LED.....	156
XLIX.	Proyección de consumo	157
L.	Distribuciones de consumo	158
LI.	Emisiones de carbono	160
LII.	Programación	165

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
hp	Caballos de fuerza
Δ	Cambio
I	Corriente eléctrica
Φ	Diámetro
ε	Eficiencia
E_f	Energía final
E_o	Energía inicial
u	Energía interna
h	Entalpía
°C	Grados centígrados
K	Kelvin
KJ	Kilo joule

KPa	Kilo pascal
KVa	Kilo voltio amperio
KWattth	Kilo watt hora
h_f	Pérdida en fricción

GLOSARIO

Aire acondicionado	Conjunto de equipos mediante los cuales se puede cambiar las condiciones de temperatura, y humedad en un ciclo controlado
Autoclave	Recipiente metálico de paredes gruesas con un cierre hermético que permite trabajar a alta presión para realizar una reacción industrial, una cocción o una esterilización con vapor de agua.
Energía interna	Suma de la energía de todas las partículas que componen un cuerpo, excluyendo globalmente la energía cinética y potencia externas
Entalpía	Habilidad de un cuerpo de ganar calor.
Entropía	Parte de la energía total de un cuerpo que no puede aprovecharse para generar trabajo
Factor de potencia	Relación entre la potencia activa, P , y la potencia aparente, mediante calculo, permite determinar cuál es la cantidad real de potencia activa de trabajo

Factor de potencia	Relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, mediante calculo, permite determinar cuál es la cantidad real de potencia activa de trabajo
Generación eléctrica	Conjunto de procedimientos y equipos mediante los cuales es posible transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica
Hidroneumático	Sistema de abastecimiento de agua que se basa en el principio combina de compresibilidad del aire e incompresibilidad de los líquidos.
Número de Reynolds	Número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, caracterizar el movimiento de un fluido. Comúnmente se acepta que un fluido en movimiento con un Nr, debajo de 4000 es laminar
Potencia eléctrica	Unidad física que define la rapidez con la cual se realiza un trabajo. A nivel de potencia eléctrica esta se refiere a la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado
Rendimiento	Relación adimensional calculada como el cociente de la energía producida, o su correspondiente trabajo mecánico y la energía suministrada a la máquina

RESUMEN

El rendimiento del equipo es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta dentro de cualquier aplicación de equipo mecánico ya que el valor del rendimiento de un equipo impacta en otras áreas de interés, tal es el caso de los procedimientos de mantenimiento, la frecuencia de uso, los costos de funcionamiento, sumado a eso el valor puntual del rendimiento del equipo puede representar un punto de comparación directo para el funcionamiento entre equipos.

A continuación, se presentan dentro del desarrollo de la fase técnico profesional los parámetros básicos sobre los cuales se realizó el estudio de rendimiento dentro del equipo mecánico al servicio del hospital central. Se determinaron métodos para la medición del rendimiento, así como las principales acciones tanto correctivas como preventivas que se llevaron a cabo para poder alcanzar el incremento en el rendimiento.

El desarrollo de la propuesta de ahorro de energía eléctrica, muestra una clasificación de gastos dentro del hospital central y de los gastos relacionados a iluminación, la cual según los cálculos realizados es el rubro de inversión más fuerte de energía eléctrica. Finalmente, el desarrollo de la fase de enseñanza aprendizaje plantea un programa de capacitación sobre los procedimientos para la puesta en marcha del equipo eléctrico de respaldo, así como los resultados obtenidos.

OBJETIVOS

General

Implementar un plan de mantenimiento que permita el incremento en rendimiento del equipo térmico hidráulico y neumático en servicio del hospital central APROFAM.

Específicos

1. Realizar un diagnóstico mediante las herramientas de ingeniería apropiadas, que permita identificar el impacto de fallas de equipos.
2. Realizar las acciones de mantenimiento correctivo pertinentes a los equipos que sea necesario.
3. Definir prácticas de mantenimiento preventivo apropiado a cada equipo basados en su funcionamiento.
4. Generar una propuesta de ahorro de energía eléctrica basada en los principios de Producción más Limpia.
5. Diseñar un programa de capacitación sobre la puesta en marcha del sistema energético de respaldo y mantenimiento preventivo.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las aplicaciones de ingeniería mecánica industrial el mantenimiento preventivo juega un papel de suma importancia, ya que es únicamente mediante la correcta aplicación de las técnicas de mantenimiento preventivo que puede garantizarse tanto el buen funcionamiento y la vida útil del equipo, como el nivel de rendimiento que este tendrá en función del tiempo de uso.

Dentro del hospital central de APROFAM, se cuenta básicamente con equipo mecánico de 3 tipos distintos, estos son: equipo térmico, el cual está conformado por la planta de generación, el sistema de autoclaves y el equipo de aire acondicionado, equipo neumático, el cual está conformado por el compresor de aire y su línea de transmisión, equipo hidráulico, el cual está conformado por el grupo de bombas de agua potable y de servicio.

El rendimiento del equipo mecánico se considera como la relación escalar que existe dentro de la cantidad de energía aportada y el trabajo mecánico realizado, mediante técnicas de mantenimiento apropiadas se desea conseguir que el rendimiento del equipo mecánico que se encuentra en funcionamiento dentro del hospital central de APROFAM incremente.

1. GENERALIDADES DE LA INSTITUCIÓN

1.1. Historia de la institución

La Asociación Pro-Bienestar de la Familia Guatemalteca (APROFAM) es una institución fundada legalmente en 1964, por lo que a la fecha cuenta con 48 años de existencia. Posee numerosas sedes departamentales (28 clínicas localizadas en áreas urbanas en todo el país, 11 de las cuales son clínicas de consulta externa con hospitalización, además de 5 unidades médicas de salud) y la sección específica de clínicas y hospital central se encuentra actualmente en fase de ampliación.

1.2. Visión y misión

Desde el punto de vista interno, la institución presenta la siguiente visión y la misión:

Visión: “Excelencia en servicios de salud para las Personas, con énfasis en Salud Sexual y Reproductiva”.

Misión: “En APROFAM nuestro compromiso es el bienestar integral de las personas”.

1.3. Valores

Los valores que rigen el funcionamiento de la institución tanto dentro de los aspectos internos como en el trato a los pacientes y proveedores se describen a continuación.

1.3.1. Respeto

El normativo de trabajo regula que la actitud de parte de los colaboradores con respecto a los pacientes, proveedores y otros colaboradores debe mantener el respeto y dignidad a la persona.

1.3.2. Responsabilidad

Se establece que cada uno de los colaboradores debe estar al tanto de los resultados de sus acciones y asumir responsabilidad de las mismas cuando se representa a la institución.

1.3.3. Espíritu de servicio

Cada uno de los colaboradores debe estar al tanto que sus acciones repercuten dentro del funcionamiento del hospital, por lo que la temática del cliente interno debe mantenerse para tener un funcionamiento adecuado.

1.3.4. Solidaridad

Cada uno de los colaboradores debe estar al tanto que su desempeño impacta en la imagen de la institución, por lo que las acciones deben emprenderse en conjunto para la búsqueda del bien común.

1.3.5. Competitividad

Cada uno de los colaboradores debe enfocar sus esfuerzos a prestar la mejor atención posible a los pacientes, en búsqueda de ser una opción competitiva respecto a las demás ofertas de servicios médicos privados.

1.3.6. Integridad

Cada uno de los colaboradores debe mantener una conducta moralmente aceptable, ya que sus acciones reflejan directamente a la institución que pertenece.

1.3.7. Confidencialidad

Los colaboradores de todo nivel, deben buscar mecanismos para evitar que información sensible tanto de los pacientes como de los proveedores u otros colaboradores sea divulgada.

1.4. Políticas y normas

Dentro del desempeño de la institución existen básicamente 2 políticas que resaltan e influyen directamente dentro del funcionamiento, estas son la política de especialización y la política de calidad. La política de la especialización de la tarea y personal capacitado, establece que: cada uno de los médicos que se desempeñan en un área específica debe de ser especialista en dicha área añadiendo un valor al servicio médico prestado, y la política de calidad establece que: todas las acciones deben estar enfocadas a satisfacer y superar las expectativas de los clientes mediante sondeos y encuestas.

A nivel de normativo, existen básicamente 2 enfoques: el primero es el enfoque al paciente, en el cual se regula y se especifica las condiciones de permanencia de pacientes y visitantes, del tipo de costos, horas de visita, requerimientos adicionales etc. El segundo enfoque es hacia los colaboradores, debido a que el desempeño de los colaboradores está regido por un normativo interno de trabajo, en el cual se limitan factores tales como: horario de trabajo, presentación, así como funciones dentro de la empresa.

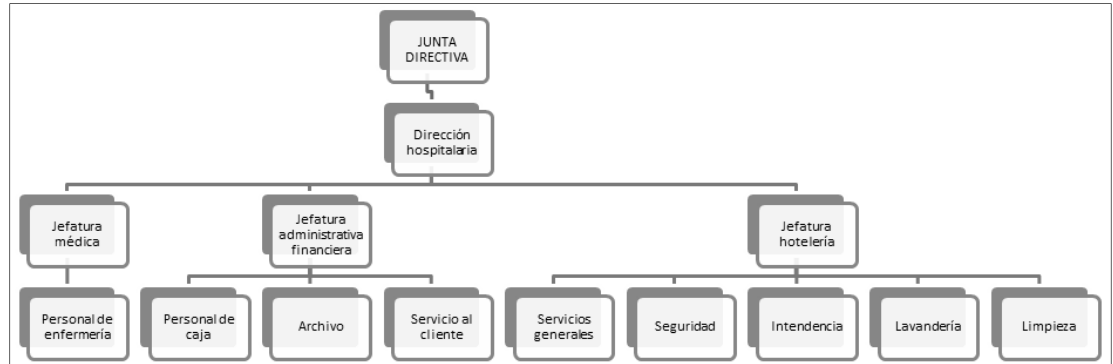
1.5. Estructura organizacional

La estructura organizacional del hospital central es del tipo funcional ya que cada una de las divisiones responde a una tarea específica. Dicha estructura está conformada por la Dirección Hospitalaria, la cual tiene a su cargo todo el personal médico, de enfermería y de laboratorio así como sus relaciones con las áreas no médicas.

Por su parte la jefatura administrativa financiera, tiene a su cargo los puestos de caja, servicio al cliente, archivo y bodega.

La jefatura de hotelería, tiene a su cargo el Área de Servicios Generales, el Área de Intendencia, el Área de Seguridad y el Área de Limpieza. Dicha estructura se representa en el siguiente organigrama:

Figura 1. Organigrama hospital central

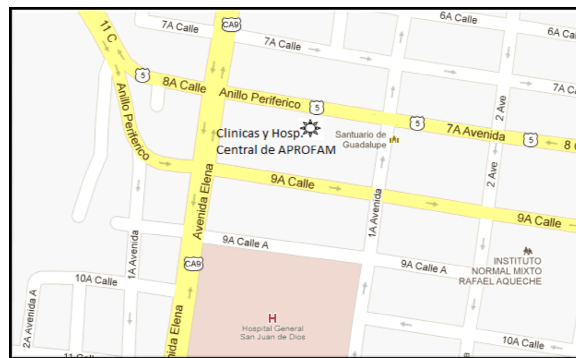


Fuente: APROFAM.

1.6. Ubicación

El hospital central se encuentra ubicado en 8 a. calle 0-48, zona 1 aunque parte del equipo mecánico estudiado y sujeto al plan de mantenimiento se encuentra ubicado en un edificio anexo a la clínica de materno infantil ubicada en la 1a avenida 8-50 zona 1.

Figura 2. Ubicación del hospital central



Fuente: <https://maps.google.com/>. Consulta: marzo de 2012.

1.7. Descripción de la institución

La nueva sede del hospital central (8a calle 0-48, zona 1) fue inaugurado en el mes de agosto del 2009, y centraliza la mayor parte de servicios médicos que la institución ofrece. Según la estructura organizacional presentada, son funciones de la jefatura de hotelería y especialmente de la sección de servicios generales el mantenimiento del equipo en servicio dentro del hospital central y las clínicas.

El Área de Clínicas y Hospital Central de APROFAM cuenta con un total de 202 empleados, cuya distribución responde a 12 trabajadores administrativos y 190 trabajadores operativos. El Área de Servicios Generales, en donde el proyecto fue implementado de forma directa se encuentra un total de 3 técnicos cuyas funciones se dividen en: equipo médico, mobiliario y equipo eléctrico.

1.8. Servicios médicos prestados

Los servicios médicos prestados dentro del hospital central pueden clasificarse dentro de las siguientes clínicas, estas son: materno infantil, consulta externa, laboratorios, imagenología, y atención hospitalaria.

La primera tal como el nombre lo indica presta atención a los neonatos y sus madres, la consulta externa atiende a cualquier paciente potencial. Laboratorios realiza las pruebas médicas respectivas a nivel clínico y citológico. Imagenología es el subárea encargada de imágenes de uso médico (radiografías, ultrasonidos etc.) y atención hospitalaria atiende todas las intervenciones quirúrgicas tanto programadas como de emergencia.

1.9. Financiamiento

Desde el momento de su fundación, la institución mantuvo un convenio de cooperación financiera con la agencia internacional USAID de 45 años para el financiamiento de sus operaciones, para el 2009 concluyó dicho convenio con lo cual su funcionamiento se tornó autofinanciado de forma parcial ya que además de contar con el respaldo de donadores nacionales e internacionales entre los cuales figuran la International Planned Parenthood Federation (IPPF), así como con fondos provenientes de los pacientes por el pago de los servicios recibidos a precios accesibles, se logra entregar servicios con calidad.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL: PLAN DE MANTENIMIENTO APLICADO A LA MEJORA EN RENDIMIENTO EN EQUIPO TÉRMICO, NEUMÁTICO E HIDRÁULICO DENTRO DEL HOSPITAL APROFAM

2.1. Situación actual

Dentro de la sección de servicios generales y hotelería no se cuenta con procedimientos de operación y mantenimiento de ningún tipo de equipo que esté en servicio, como consecuencia no se conocen los procedimientos de mantenimiento ni los índices de rendimiento actuales del equipo, por lo que tanto la vida útil del equipo así como la capacidad de respuesta en caso de una avería se encuentra limitada y pone en riesgo la estabilidad y el servicio prestado dentro del hospital central.

Definir las prácticas de mantenimiento preventivo apropiadas en cada equipo mecánico es de suma importancia, ya que garantiza que se contarán con los servicios necesarios para el funcionamiento hospitalario tales como: energía eléctrica, esterilización de equipos, aire comprimido, ventilación y suministro de agua.

2.1.1. Diagrama de Pareto

Una de las principales herramientas de diagnóstico dentro del mantenimiento industrial es de Diagrama de Pareto ya que en la mayoría de los casos las fallas por falta de mantenimiento o carencia general del mismo responden a causas comunes para todo el equipo.

El análisis de Pareto basa su funcionamiento en determinar: cuál de las posibles causas de un problema tiene un mayor nivel de impacto sobre los resultados. Para la realización del mismo se utilizó como herramienta la entrevista no estructurada al personal técnico sobre las acciones de mantenimiento correctivo realizadas en el período septiembre 2011 a febrero 2012 dentro de todo el hospital central.

La tabla 1 muestra un resumen de las entrevistas no estructuradas realizadas, la tabla 2 muestra la proporción de cada una de las causas en forma porcentual.

Tabla I. **Mantenimiento correctivo equipo hospital central septiembre 2011 – febrero 2012**

Equipo	Acciones	Causas
Elevador Médico	Reemplazo del motor de carga por fundición. Cambio de cables de tracción.	Falta de mantenimiento a unidad completa y motor de carga. Sobrecarga en uso continuo.
Equipo hidroneumático anexo novena avenida.	Reemplazo de presostatos. Readecuación de caja de mando.	Falta de mantenimiento a sistema de tubería. Vida útil del equipo.
Aire acondicionado sección de archivo	Reemplazo de unidad de condensado. Purga de tubería.	Falta de mantenimiento preventivo a evaporador. Limpieza en filtros.

Continuación de la tabla I.

Aire acondicionado sección de informática	Instalación deficiente. Retención de fuga en unidad de condensado.	Falta de mantenimiento preventivo a tubería. Vida útil del equipo.
Planta de energía portátil	Reemplazo de batería de ignición.	Falta de monitoreo y mantenimiento, encendido de rutina.
Autoclave central de equipo	Reemplazo de manómetros de presión.	Uso no apropiado del equipo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Medición del impacto**

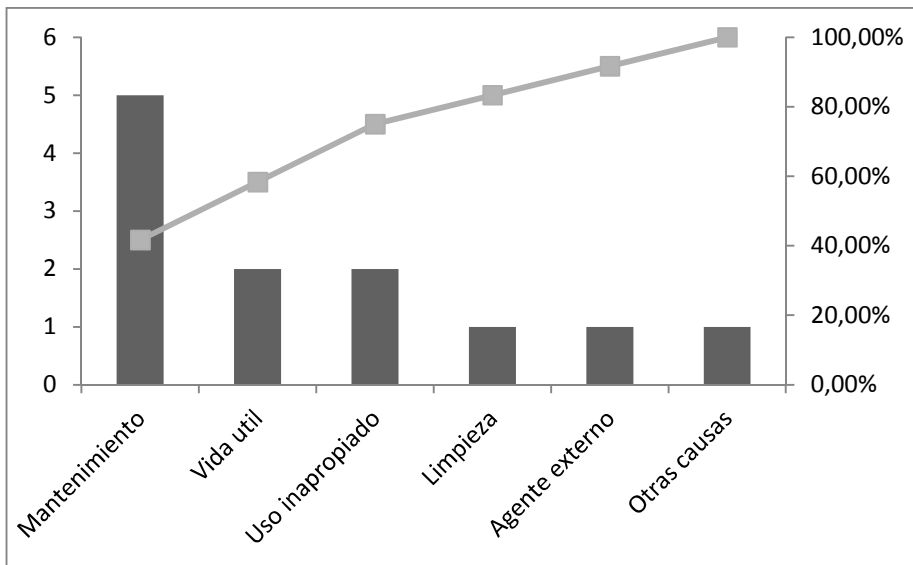
Tipo	Causa	Casos	Impacto
A	Falta de mantenimiento	5	41,67%
B	Vida útil	2	16,66%
C	Uso inapropiado	2	16,66%
D	Limpieza	1	8,33%
E	Agentes externos	1	8,33%
F	Otras causas	1	8,33%
G	Total	12	100%

Fuente: elaboración propia.

Con base en tabla y al diagrama que se muestra a continuación, es evidente que la mayor parte de acciones correctivas puede prevenirse con base en la implementación de un plan de mantenimiento preventivo que cubra tanto

el funcionamiento del equipo como su abastecimiento, instalación y un control que corresponda a los parámetros de funcionamiento mediante visitas y revisiones periódicas.

Figura 3. **Diagrama de Pareto acciones correctivas**



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. **Análisis del equipo**

Para el análisis del equipo desde la perspectiva del mantenimiento se consideraron básicamente 3 factores, estos son: funcionamiento, instalación y anomalías.

Por funcionamiento se entiende si el equipo está cumpliendo las funciones para las cuales fue diseñado e instalado. Este factor marca la pauta en caso de que el equipo necesite algún tipo de mantenimiento correctivo. En el caso de las instalaciones, se analizaron las características del montaje así como las

condiciones de acceso al equipo. Para el caso de las anomalías se buscaron irregularidades tales como: corrosión, vibraciones, sonidos, olores, fugas y limpieza.

Dicho análisis se realizó con base en visitas de verificación mediante observación directa y se respaldó por medio de hojas de verificación. La información relacionada con dichos factores (funcionamiento, instalación y anomalías) fue recabada en hojas de verificación del tipo *checklist*, que cuentan con el siguiente modelo:

Tabla III. **Modelo de hoja de verificación**

Hoja de verificación				
Equipo:	Fecha:		Analista:	
Pregunta	SI		NO	
¿El equipo función apropiadamente?	SI		NO	
¿El montaje del equipo es apropiado?	SI		NO	
¿El equipo o el montaje presentan corrosión?	SI		NO	
¿El equipo vibra irregularmente?	SI		NO	
¿El equipo presenta sonidos anómalos?	SI		NO	

Continuación de la tabla III.

¿El equipo presenta fugas de algún tipo?	SI		NO	
¿El equipo presenta suciedad?	SI		NO	

Fuente: elaboración propia.

La clasificación realizada dentro del equipo se basó en sus características de funcionamiento, por lo cual se definieron 3 categorías: equipo térmico (a base de calor), equipo neumático (a base de aire) y equipo hidráulico (manejo de agua).

2.1.2.1. Análisis de equipo térmico

El equipo térmico en servicio dentro del hospital central está conformado por: planta de generación, equipos de aire acondicionado y autoclaves. A continuación se presenta el resultado del análisis de funcionamiento, instalación y anomalías de dicho equipo.

2.1.2.1.1. Planta de generación

- Información general

Marca: Kohler

Modelo: 230RE0ZD-GF

Fabricación: estadounidense

Existencia: 1

- Especificaciones técnicas

Potencia: 230 Kwatts

Combustible: diesel

Generación: trifásica

Voltaje de salida: 110 – 220

Enfriamiento: aire-refrigerante

- Funcionamiento

La planta de generación se encuentra en condiciones de operatividad y según lo observado durante las visitas de verificación realizadas, funciona de forma apropiada. La planta de generación central está básicamente formada por un motor de combustión interna y un generador trifásico.

Cuenta además con un tablero de control en conjunto con indicadores, los cuales se pueden establecer horas de funcionamiento, voltaje generado, fase de conexión (trifásica o monofásica) y cuenta también con una central de mando mediante la cual puede encenderse o apagarse de forma manual.

- Instalación

El equipo se encuentra instalado sobre una base de carga diseñada por el fabricante, la cual se encuentra fijada al suelo mediante pernos de anclaje. Para mitigar las vibraciones el motor de combustión interna así como la central de generación, se encuentran fijadas sobre cargadores de caucho para absorber la vibración.

Se cuenta con una conexión directa a la acometida eléctrica central de hospital en forma que al interrumpirse el flujo de energía externo esta se activa de forma automática abasteciendo de energía eléctrica al hospital.

El abastecimiento de combustible se proporciona mediante un tanque elevado, con capacidad para 220 galones. Su forma es cilíndrica y su fabricación es a base de láminas de acero de 5 mm de espesor unido por soldadura.

Figura 4. **Tanque de combustible**



Fuente: equipo hospital central.

- **Anomalías**

Las únicas anomalías encontradas dentro de la planta de generación fueron: una fuga de combustible dentro del conducto del tanque de combustible a la sección de inyección del motor. Dicha fuga era ocasionada por la caducidad de los empaques en la llave de paso (tipo compuerta) de combustible.

Figura 5. **Fuga de combustible**



Fuente: equipo hospital central.

La segunda anomalía encontrada, es la incerteza sobre el nivel de combustible, debido a que el tanque de combustible no cuenta con la escala correspondiente y se desconoce la tasa de consumo del motor en operación, por lo cual no puede planificarse de manera efectiva la compra de combustible.

Figura 6. **Planta generadora**



Fuente: equipo hospital central.

2.1.2.1.2. Autoclaves de vapor

- Información general

Marca: Tai Chang Medical Equipment

Modelo: TC-459

Fabricación: china

Existencias: 5

- Especificaciones técnicas

Operación: eléctrica

Voltaje: 208-230 voltios

Corriente: 17 – 23 amperios

Potencia: 12 hp

Presión: mínima 0 máxima 80 psi (manométrica)

Temperatura: máxima 450 grados centígrados

- Funcionamiento

Las autoclaves utilizan el vapor en existencia funcionan de manera apropiada. Dicho autoclaves funcionan a base de una cámara de vapor y una cámara de calentamiento en la cual se eleva la temperatura del agua con aumento constante de presión, lo cual genera vapor húmedo el cual constituye un buen agente esterilizante.

El equipo cuenta con medidores de presión y de temperatura así como una válvula de alivio calibrada de fábrica cuando el sistema excede los 80 psi. Dentro del hospital se utilizan un ciclo programados de fábrica para la

esterilización de equipo, este consiste en la exposición a vapor húmedo a 136 grados centígrados a 40 PSI por 45 minutos.

Los equipos cuentan con un set de indicadores con base a los cuales se puede determinar el ciclo, y el tiempo de operación en una caja de control ubicado en la parte inferior. Cuenta también con una luz de operación color rojo y una luz verde en la posición de espera.

Concluido el ciclo de esterilización la mezcla agua vapor se condensa nuevamente y se recupera dentro del depósito de la cámara de calentamiento.

- Instalación

Los 5 equipos cuentan con una plataforma de montaje propio pero se encuentran simplemente apoyados al suelo, considerando que las vibraciones a las que está sujeto son mínimas. Cuenta con una línea de abastecimiento de agua común hecha de tubo galvanizado de media pulgada de diámetro pero cada una cuenta con una llave de globo de media pulgada fabricada de cobre para llenar la cámara de calentamiento.

Se cuenta con una tubería de purga fabricada de acero inoxidable con una llave de paso (ambas de media pulgada) para drenar el agua del tanque de la cámara de calentamiento cuando sea necesario. Su abastecimiento de energía se encuentra en la acometida central de la central de equipo.

- Anomalías

El funcionamiento de las autoclaves es el apropiado, la única anomalía encontrada en uno de las autoclaves fue que la de la luz de operación no

encendía al encender el equipo. Dicha anomalía puede ser ocasionada por vida útil del LED indicador o por un corto circuito local. Cabe mencionar que esta anomalía fue reportada por uno de los operarios del equipo al momento de realizar la revisión periódica.

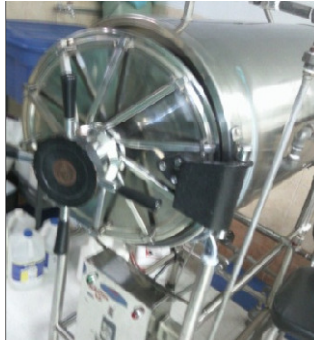
Figura 7. **Acometida eléctrica**



Fuente: equipo hospital central.

La segunda anomalía encontrada fue la dependencia directa del abastecimiento de energía eléctrica a la acometida de la central de equipos, ya que esto dificulta la tarea de cortar el suministro eléctrico para las tareas de mantenimiento ya que toda la central de equipo se ve afectada. Esta anomalía constituye un error de instalación.

Figura 8. **Autoclave en servicio**



Fuente: equipo hospital central.

2.1.2.1.3. Aires acondicionados

- Información general

Aires acondicionados

Marca: Miller

Modelo: 38CKC024339

Fabricación: estadounidense

Existencias: 10

- Especificaciones técnicas

Operación: eléctrica

Voltaje: 205-230 voltios

Corriente: 10.5 – 11 amperios

Potencia: 3 hp

Presión: 60 psi alta máxima 20 psi baja (manométrica)

Refrigerante: R-22

- Funcionamiento

Las unidades de la sección de informática así como la de la sección de archivo son las únicas 2 unidades que no se encuentran en funcionamiento, por lo que acciones de mantenimiento correcto son necesarias.

Todas son del tipo mini split, por lo que basan su funcionamiento en un ciclo de enfriamiento regenerativo. Los equipos están compuestos por conjuntos de unidades de condensado-evaporación. Las unidades de condensado son las encargadas de liberar el calor al ambiente mientras que las unidades de evaporación son las encargadas de absorber el calor de las áreas que se desean controlar.

Las unidades cuentan con un sistema de control telemétrico (control remoto) que permite de controlar el funcionamiento del equipo a distancia así como un sistema de control constante mediante un termostato externo que regular las puestas en marcha.

- Instalación

Los equipos de aire acondicionado se encuentran instalados en diversos puntos del hospital. 5 unidades se encuentran ubicadas en la azotea del hospital, cuentan con cimentación adecuada así como un sistema de drenaje que permite la evacuación del exceso de condensado mediante tubería de pvc de media pulgada de diámetro.

Los equipos en servicio dentro del área de laboratorios se encuentran instalados en las áreas de ventilación del primer nivel. Estos equipos de condensado se encuentran simplemente apoyados en las vigas del edificio. El

equipo de las oficinas de dirección médica se encuentra simplemente apoyado al costado de una pared del edificio y se encuentran nivelado con tablas lo cual genera inestabilidad en el momento de operación. El equipo de la sección de archivo se encuentra apropiadamente montada en uno de los entrepisos externos del edificio. El equipo de la sección de informática también está ubicado en la azotea del edificio y se encuentra simplemente apoyado.

En todos los equipos cuentan con tubería de refrigerante hecha de cobre de $\frac{3}{4}$ de diámetro con aislante de caucho. Mientras que la extracción de calor se realiza con base de ductos metalizados de 6 pulgadas de diámetro.

Todas las unidades de evaporación se encuentran internas al área de interés, y se encuentran fijadas a la pared con base a pernos y escuadras de carga.

- Anomalías

Durante la visita de verificación se constató que el equipo de aire acondicionado de la sección de archivo entraba físicamente en operación, pero seguía emitiendo aire caliente, esto pudo ser ocasionado por fugas de refrigerante o por obstrucción en la tubería de refrigerante. También se determinó que parte del aislante de la tubería próxima al evaporador se encontraba podrido.

Figura 9. **Aislante podrido**



Fuente: equipo hospital central.

El equipo de la central de informática se encuentra en funcionamiento continuo sin alcanzar a enfriar el cuarto de servidores, como anomalía adicional se presenta que la tubería de entrada a la unidad de condensado se congela lo cual genera sobrepresiones dentro de la tubería y goteo por condensado externo.

Como anomalía de instalación se constató que a unidad de condensado del equipo instalado en la oficina de jefatura médica se encuentra deficientemente instalada y constituye un riesgo en caso de emitir demasiadas vibraciones.

Figura 10. **Condensador unidad jefatura médica**



Fuente: equipo hospital central.

2.1.2.2. Equipo neumático

Basa su funcionamiento en las propiedades del aire estándar, pero principalmente en la compresibilidad para el almacenaje y evacuación del aire a presión. El análisis comprenderá funcionamiento, instalaciones y anomalías.

2.1.2.2.1. Compresor neumático

- Información general

Marca: Campbell Hausefeld

Modelo: T63BXCCCL

Fabricación: estadounidense

Existencias: 1

- Especificaciones técnicas

Operación: eléctrica

Voltaje: 208-230 voltios

Corriente: 4 – 7 amperios

Potencia: 1.5 caballos de fuerza

Capacidad contenedor: 13 galones

Presión máxima: 140 psi

- Funcionamiento

El compresor neumático en servicio dentro del hospital central se encuentra en condiciones operativas. Este es el encargado de proporcionar aire comprimido para el uso dentro de la clínica odontológica.

Cuenta con un sistema de accionamiento automático con base a presostatos y contactores en los cuales el sistema se activa al alcanzar la presión mínima de 70 PSI y se desactiva al alcanzar la presión de 100 PSI.

Como sistema de indicación cuenta con 1 manómetro tipo bourdon instalado en el tanque de almacenamiento, el cual es el encargado de la medición directa de la presión.

- Instalación

El compresor de aire se encuentra instalado en la parte superior de la clínica de materno infantil. Debido a que el equipo fue diseñado como portátil, este se encuentra simplemente apoyado sin necesidad pernos de anclaje.

Cuenta con una cubierta de *block*, lo cual protege al equipo de la intemperie, garantiza el acceso al aire como fluido de trabajo y evita el sobrecalentamiento del equipo o condensación de agua en el tanque por efecto del calor solar. Su fuente de energía eléctrica está conformada por una línea instalada con un tomacorriente a la línea de 220 voltios. Cuenta con una válvula de admisión de aire expuesta al ambiente y con una línea de transmisión de aire formada por tubería PVC de ½ pulgada.

- Anomalías

El compresor funciona de manera apropiada. Las únicas anomalías encontradas fueron que el manómetro de la presión dentro del tanque no muestra la lectura. Dicha anomalía este probablemente ocasionada por el fin de la vida útil del manómetro.

Otra anomalía encontrada fueron rastros de aceite en el filtro externo de la camisa de aluminio del pistón recíprocante. Dichos rastros pueden ser consecuencia directa de exceso de aceite dentro de la cámara.

Figura 11. **Compresor**



Fuente: equipo hospital central.

2.1.2.3. Equipo hidráulico

Basa su funcionamiento en los cambios de energía que puede darse dentro de un fluido líquido en movimiento, principalmente agregan presión al sistema. El análisis comprenderá su funcionamiento, la instalación y las anomalías encontradas en el equipo.

2.1.2.3.1. Bombas hidráulicas

- Información general

Marca: Baldor

Modelo: 3656

Fabricación: estadounidense

Existencias: 5

- Especificaciones técnicas

Operación: eléctrica

Fases: 3

Voltaje: 208- 230 voltios

Corriente: 23 -25 amperios

Potencia: 3 bombas de 7 hp, 1 de 5 hp y 1 en el sistema anti incendios de 15 hp

- Funcionamiento

El sistema hidráulico de bombeo de agua funciona de forma apropiada. Este está formado por un conjunto de 3 bombas, accionadas por motor eléctrico con un conjunto de hélices axiales para aumentar la presión al fluido y cargarlo

a los tanques precargados. Dichos tanques están contruidos de acero galvanizado y tienen un volumen útil de 20 litros cada uno. (Marca Flexcon de fabricación estadounidense modelo H2PRO)

El inicio y la salida de marcha están regidos por un sistema de control con base a presostatos y contactores de 110 voltios en una caja de control. Dichos presostatos están pre-calibrados a un límite inferior de 45 PSI y un límite superior de 70 PSI dentro de los tanques precargados. Por lo que el sistema se activa si en el conjunto de tanques la presión disminuye a 45 PSI y el sistema se desactiva al alcanzar los 70 PSI.

El sistema de emergencia está conformado por una bomba de 15 hp, dicho sistema mantiene presión en 60 y 70 PSI. Únicamente se activa en caso de activarse el sistema de mangueras contra incendios.

- Instalación

Las bombas hidráulicas en servicio del hospital central cuentan con una instalación separada dentro del cuarto de máquinas ubicado en el sótano del hospital. El grupo de bombas está conformado por 2 bombas de 7 hp y una bomba de 5 hp conectadas en paralelo. Se encuentran fijadas al suelo mediante pernos de anclaje y son alimentados por tubería de acero galvanizado de 4 pulgadas de diámetro, mediante una serie de codos y té, alimentan un grupo de 4 tanques presurizados. Como parte de elementos de control dentro de la instalación se cuenta con un manómetro húmedo y un grupo de presostatos.

El sistema contra incendios se encuentra ubicado de igual forma dentro del cuarto de máquinas en el sótano del hospital. Se encuentra fijada al suelo a

base de pernos de anclaje y cuenta con una línea de abastecimiento de agua de acero galvanizado de 2 pulgadas de diámetro.

- Anomalías

La primera anomalía encontrada fue que la alternancia entre los equipos estaba suspendida, debido a que 2 de estos (1 de 5 hp y 1 de 7 hp) no cuentan con válvulas de pie funcionales al inicio de la tubería, lo cual ocasiona que los tanques precargados se descarguen de forma continua y el agua regrese al cisterna.

Figura 12. **Sistema de emergencia**



Fuente: equipo hospital central.

Otra anomalía encontrada dentro del equipo hidráulico fue que durante las pruebas realizadas a la bomba del sistema de emergencia presentó calentamiento súbito en la superficie del motor, dicha anomalía era ocasionada por exceso de suciedad dentro del embobinado interno.

Figura 13. **Bombas hidráulicas**



Fuente: equipo hospital central.

2.1.3. Frecuencia en el uso

La frecuencia en el uso varía con respecto a cada equipo, para determinar esta se estableció una tasa promedio, mediante observaciones en intervalos continuos de tiempo; así como entrevistas no estructuradas al personal del servicio. Para el cálculo de la frecuencia y el tiempo total en el uso se tomará como base una jornada de servicio regular dentro del hospital central de 6:00 AM a 16:30 PM (10,5 horas) para el cálculo en las bombas y los equipos de aire acondicionados.

2.1.3.1. Frecuencia uso equipo térmico

Las autoclaves son utilizados en cada ciclo de esterilización de equipo, realizando, aproximadamente 12 ciclos de esterilización al día dentro de todos los autoclaves en servicio.

Para cada uno de los ciclos de esterilización se utilizan temperaturas y presiones predeterminadas (136 grados centígrados a 40 psi). Según los datos medidos cada ciclo de esterilización cuenta con una duración de 45 minutos. El tiempo total en servicio es de 9 horas por día.

Los aires acondicionados en las salas de operación no cuentan con un patrón de uso regular, ya que la puesta o no en marcha de las unidades dependerá en su mayor parte de criterios del paciente interno así como de la temperatura dentro del área a climatizar y la temperatura y humedad del ambiente externo.

De las observaciones realizadas se estima que los equipos se mantienen en servicio 2 veces por hora con una duración de 6 minutos. La duración en servicio estimada es de 2,1 horas por equipo al día. Cabe mencionar estas constituyen un total de 5 de los 10 equipos disponibles.

Las mediciones de frecuencia en uso se realizaron con base a las 3 unidades en las cuales la temperatura debe de ser mantenida de forma estable, estas son: laboratorio, archivo e informática.

La unidad de laboratorio entró en funcionamiento 3 ciclos por hora en un aproximado de 12 minutos cada ciclo, el reducido número de puestas en marcha es atribuible a las condiciones de la habitación así como el poco movimiento que se mantiene. El tiempo total en servicio de dicha unidad es en promedio 6,3 horas por día.

La unidad en servicio de archivo entra en funcionamiento en 4 ciclos por hora con una duración aproximada de 6 minutos por ciclo, esto puede atribuirse a que la central del archivo es significativamente más grande que la de

laboratorio, además de que el movimiento dentro de la habitación así como la entrada y salida de personas aumenta la cantidad de calor emitido, por lo que para regular la temperatura alrededor un punto el aire acondicionado debe entrar en servicio con mayor frecuencia. El tiempo total en servicio de dicha unidad es de 4,2 horas por día.

La unidad de servicio dentro de la central de informática del hospital central entra en funcionamiento en un aproximado de 2 ciclos por hora en un aproximado de 4 minutos por ciclo, el reducido número de puestas en marcha puede atribuirse en su mayor parte a que la habitación utilizada como central de informática es mucho menor que las habitaciones de archivo y laboratorio además de que únicamente contiene los servidores de red y la planta telefónica, por lo que los ingresos de personal a dicha habitación son bastante reducidos. El tiempo promedio de servicio para esta unidad es de 1.4 horas por día.

Una ventaja significativa para el posterior cálculo de consumo de energía es que todas las unidades cuentan con la misma potencia de fábrica (3 HP), por lo que el consumo de energía será la potencia constante brindada por los fabricantes dividida entre la sumatoria de las horas de servicio.

La planta de generación, con excepción de los momentos en los que se interrumpe el flujo de energía eléctrica, está programada para encenderse únicamente los días sábados por un intervalo de 15 minutos en un horario de 12:34 a 12:49 PM. Dicha razón el consumo de combustible es relativamente constante, siempre que no se presenten interrupciones en el flujo de energía externo, para cuyo caso el consumo será significativamente más alto.

2.1.3.2. Frecuencia uso equipo hidráulico

Las bombas hidráulicas tienen una puesta en marcha más constante debido al sistema de control con el que cuentan además que el uso del agua de servicio es mucho mayor. Con base a las observaciones realizadas se determinó que las bombas hidráulicas ubicadas en el cuarto de máquinas del hospital central se encienden aproximadamente cada 7 minutos con una duración aproximada de 3 minutos, es decir que se enciende alrededor 6 ciclos por hora. Con una duración promedio en servicio de 3,15 horas por día.

2.1.3.3. Frecuencia uso equipo neumático

El compresor es la última parte de equipo neumático considerado tiene un uso puramente clínico ya que se utiliza como fluido de trabajo para el equipo odontológico.

La frecuencia en la puesta en marcha del compresor depende directamente del uso que se de en la clínica, de las observaciones realizadas se determinó que el compresor entra en marcha alrededor de 4 veces por hora con duración de 5 minutos en los intervalos de servicio de la clínica (7 a 10). El tiempo promedio en servicio es de 1,33 horas al día.

En promedio las frecuencias de uso del equipo muestran el siguiente comportamiento.

Tabla IV. **Horas promedio de servicio al día**

Equipo	Servicio (horas por día)
Autoclaves	9
Aires acondicionados	22,4
Bombas 5 hp	3,5
Bombas 7.5 hp	3,15
Compresor	1,33
Total	39,38

Fuente: elaboración propia.

En un día promedio de servicio el equipo térmico, hidráulico y neumático en conjunto puede operar aproximadamente 40 horas.

2.1.4. Mediciones de rendimiento

El principal objetivo de la medición del rendimiento es la de tener una noción clara de que tan efectivo está siendo el equipo con relación a la inversión y costo de operación que este representa en términos de energía aportada. El procedimiento general para la medición del rendimiento será el del cálculo de la potencia nominal de cada equipo dependiendo de su naturaleza, es decir se calculará la potencia térmica, la potencia hidráulica y la potencia neumática para cada uno de los equipos y esta a su vez se compara con la potencia teórica sugerida por el fabricante.

2.1.4.1. Rendimiento planta de generación

El rendimiento de la planta de generación se midió tomando como base su consumo de combustible, por lo que fue necesario crear una escala para el volumen de combustible existente en el tanque y determinar el cambio de dicho volumen después de las puestas en marcha rutinarias.

Para determinar el rendimiento de la planta de generación se deberán realizar las siguientes acciones:

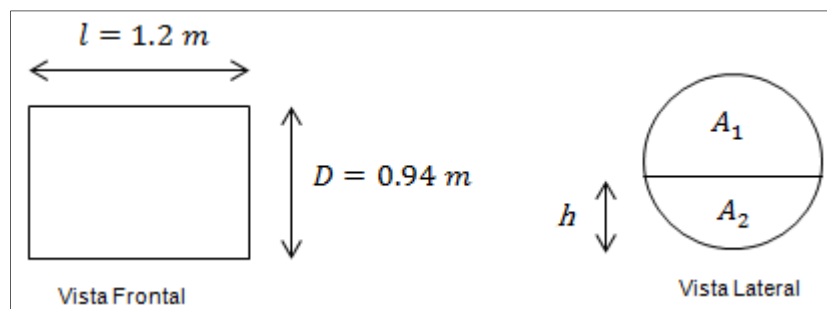
- Medición del nivel de combustible inicial en el indicador antes de la puesta en marcha rutinaria.
- Conversión de la medida del indicador a volumen inicial de combustible
- Medición del nivel de combustible después de la puesta en marcha rutinaria.
- Conversión de la medida del indicador a volumen final de combustible
- Establecer la diferencia entre volumen inicial y volumen final de combustible.
- Dicha diferencia se divide en el total de tiempo en servicio (15 minutos de encendido rutinario).
- Realizar la conversión de volumen/tiempo a unidades convencionales (galones/hora).

Como material de trabajo se utilizó una cinta métrica así como una serie de hojas de registro (vea hoja de registro consumo de combustible apéndice 1)

Para la medición efectiva del rendimiento de combustible dentro de la planta de generación, el primer paso a completar es el de determinar el nivel inicial de combustible, para tal propósito se acondicionó el indicador de nivel para mostrar el volumen en existencia de combustible de la siguiente manera:

El combustible disponible en diesel corresponde al área 2 (A_2) en función de la altura (h) por la longitud ($l = 1,2 \text{ m}$), de la siguiente forma:

Figura 14. **Dimensiones tanque de combustible**



Fuente: elaboración propia.

$$v = \int_{-0,47}^{-0,47+h} \sqrt{0,47^2 - x^2}$$

Cabe mencionar que la integral anterior denota únicamente un lado, por lo que aprovechando la simetría y realizando la conversión respectiva de unidades de volumen se realizó una tabla que muestra el equivalente en galones de

combustible para toda la altura del cilindro. Para la medición del consumo se utilizó dicha tabla con los siguientes datos de consumo:

Tabla V. **Consumo de combustible**

T	Ho	Vo	Hf	Vf	ΔV	Consumo
0,25	32,40	56,00	32,30	55,76	0,24	0,9510
0,25	31,10	52,95	31,00	52,71	0,23	0,9299
0,25	30,00	50,39	29,90	50,14	0,25	0,9933
0,25	29,90	50,14	29,80	49,92	0,22	0,8665
0,25	29,70	49,69	29,60	49,46	0,23	0,9088
0,25	28,90	47,85	28,80	47,62	0,23	0,9088
0,25	27,50	53,59	27,40	53,32	0,27	1,0800
0,25	27,10	52,52	27,00	52,25	0,27	1,0651
0,25	26,90	51,98	26,80	51,71	0,27	1,0651
0,25	26,70	51,44	26,60	51,17	0,27	1,0905
Totales						0,9859

Fuente: elaboración propia.

En promedio puede establecerse que el consumo de combustible correspondiente a la planta de generación es de alrededor de 1 galón/hora de servicio, Dentro de la disposición del tanque se observa una reducción en el nivel de combustible de alrededor de 1 milímetro (dentro de la escala de medición) en cada ciclo de 15 minutos de encendido,

En promedio puede establecerse que el consumo de combustible correspondiente a la planta de generación es de alrededor de 1 galón/hora de servicio. Dentro de la disposición del tanque se observa una reducción en el nivel de combustible de alrededor de 1 milímetro (dentro de la escala de medición) en cada ciclo de 15 minutos de encendido.

2.1.4.2. Rendimiento autoclaves

Para el cálculo del rendimiento se procedió a realizar mediciones sucesivas en cada uno de los ciclos de esterilización del equipo. En cada uno se midió la corriente de trabajo así como el voltaje de trabajo para determinar la potencia de alimentación del mismo.

El procedimiento de medición de rendimiento es el siguiente:

- Acceder a la fuente de alimentación eléctrica del equipo
- Medir la corriente de trabajo con un multímetro cuando se estabilice el ciclo.
- Medir el voltaje de la fuente de alimentación
- Registrar los datos obtenidos y multiplicar los valores de voltaje y corriente para determinar potencia eléctrica real.
- Convertir el valor obtenido a Hp
- Dividir los valores entre potencia real y potencia sugerida por el fabricante (9 hp).

Para realizar dicho procedimiento, se deberá contar con un multímetro capaz de medir amperaje y con hojas de registro. (Vea hojas de registro apéndice 2).

Los datos medidos muestran el siguiente comportamiento:

Tabla VI. **Voltaje, corriente y potencia autoclaves**

N	Voltaje (V)	Corriente (I)	Potencia (KW)
1	219,84	20,06	4,41
2	221,36	21,59	4,78
3	220,19	19,63	4,32
4	220,85	20,00	4,42
5	219,22	21,03	4,61
6	217,89	20,23	4,41
7	218,84	19,54	4,28
8	221,22	20,81	4,60
9	217,47	20,85	4,53
10	219,68	20,49	4,50
Promedio	219,65	20,42	4,49

Fuente: elaboración propia.

Con base de la potencia desarrollada eléctricamente puede establecerse una comparación con la potencia teórica del equipo sugerido por el fabricante. Por lo que la relación de rendimiento se limita a:

$$\epsilon = \frac{\text{Potencia Real}}{\text{Potencia Teorica}}$$

$$\epsilon = \frac{4,49 \text{ Kwatts}}{9 \text{ Kwatts}}$$

$$\epsilon = 49,88 \%$$

La relación rendimiento teórico vs rendimiento real muestra un desempeño de 49,88 %, mediante lo cual se puede establecer que la energía restante se disipa en forma de calor no aprovechado para alcanzar la presión del agua, o

dentro de calor en soluciones no refractarias incrustadas dentro de la resistencia térmica.

2.1.4.3. Rendimiento aires acondicionados

Las mediciones de rendimiento de aire acondicionado se basaron en el cálculo del coeficiente de operación térmica, el cual representa de forma porcentual la eficiencia del sistema de acondicionamiento de aire. Cabe mencionar que dicho procedimiento se realizó en un equipo que se mantiene en operación de forma continua (central de laboratorio).

Para establecer el COP se deberá realizar el siguiente procedimiento:

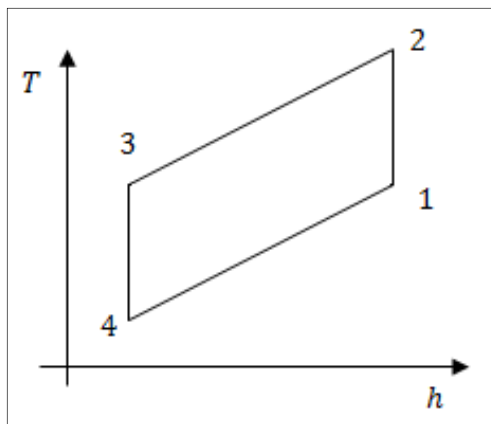
- Medir de la temperatura ambiente
- Verificar la temperatura de operación programada en el equipo
- Medir la temperatura de descarga del condensado
- Verificar la lectura de la temperatura real en el área a acondicionar.
- Registrar las temperaturas medidas y establecer la entalpia del aire a dicha temperatura.

Para realizar dicho procedimiento se deberá contar con un medidor de temperatura local (termómetro, multímetro con termo copla etc.) y las hojas de registro. (Hojas de registro medición COP apéndice 3)

Térmicamente las unidades fueron evaluadas siguiendo un ciclo termodinámico. El diagrama de temperatura entropía mostrado denota la acción de las 2 unidades involucradas, tanto la unidad de condensado como la unidad de evaporación.

Los cuatro puntos del ciclo mostrado corresponden a la acción del equipo de la siguiente forma:

Figura 15. **Diagrama T vs h**



Fuente: elaboración propia.

El intervalo de 1 – 2, representa la acción del compresor sobre el fluido de trabajo. Es decir un aumento de temperatura y como consecuencia de presión del tipo isoentrópico. (Isoentrópico denota un cambio o condición del sistema en el cual la cantidad de energía por unidad de masa permanece constante).

El intervalo de 2 – 3, representa la salida del calor ganado por el refrigerante al ambiente, es decir la acción del intercambiador de calor dentro de la unidad de condensado en la cual el calor se libera al ambiente y el

refrigerante es enviado de nuevo a la unidad de evaporación. Un aspecto importante, es que el límite de enfriamiento en dicho punto es la temperatura del ambiente.

El intervalo de 3 – 4, representa el trabajo realizado por la turbina dentro de la unidad de evaporación, es decir el ventilador (axial o radial) que genera la circulación del aire a través de la línea de enfriamiento del compresor. Dicho proceso es, al igual que el ciclo 1-2, de igual manera isoentrópico aunque se deberá tener en cuenta que las temperaturas de trabajo son menores debido a que esta es que se considera como la zona fría del ciclo de trabajo.

El último intervalo 4 – 1, mediante la acción del evaporador se transfiere el calor al gas desde la región fría y se calienta hasta la temperatura 1. En dicho punto se completa el ciclo de refrigeración, nuevamente el refrigerante es conducido mediante la acción del compresor a la unidad de condensado. Como indicador del nivel de rendimiento utilizado dentro de los aires acondicionados se utilizará el coeficiente de operación térmica, que se vuelve un análogo de la relación de energía de ingreso y trabajo de salida.

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{(h_2 - h_1) - (h_3 - h_4)}$$

En donde las entalpías de trabajo corresponden a las temperaturas tanto de salidas como de ingresos de calor al refrigerante así como el valor de calor específico del aire estándar. Las temperaturas correspondientes a cada entalpia se describen a continuación:

La temperatura 1 corresponde a la temperatura del ambiente a acondicionar, es decir la temperatura del ambiente en el cual se está

accionando la unidad de aire acondicionado. Para propósitos de medición esta temperatura se consideró como la temperatura mostrada en los termostatos al momento del inicio de la marcha, la cual debido al sistema de control con que cuentan se mantienen en alrededor de 0.1 a 1 grado centígrado arriba de la temperatura establecida.

Para el caso de la temperatura 2 corresponde a la temperatura de descarga de la unidad de condensado, es decir, corresponde a la temperatura más alta de todo el ciclo de trabajo debido a que en este punto toda la energía almacenada en el refrigerante es liberada al ambiente.

La medición de dicha temperatura se realiza de forma directa ya que las unidades de condensado se encuentran abiertas al ambiente.

La temperatura 3 corresponde a la temperatura del ambiente, es decir la temperatura a la cual el aire caliente se libera de la unidad de condensado. Un aspecto importante para el punto correspondiente a la tercera temperatura es que: para la medición se considerará un dato de temperatura estándar.

La temperatura 4 corresponde a la temperatura a la cual está fijado el sistema de aire acondicionado, es decir, es la temperatura más baja del ciclo ya que cuenta con la acción directa del refrigerante en la zona de intercambio de calor.

A continuación se presentan las temperaturas medidas con base al ciclo de refrigeración descrito:

Tabla VII. **Temperaturas del ciclo de refrigeración**

N	T1	T2	T3	T4
1	18,9	44,4	23,0	15,3
2	18,8	44,8	23,9	15,7
3	18,7	44,0	23,0	15,9
4	18,1	44,5	23,2	15,0
5	18,2	44,6	23,8	15,6
6	18,8	44,6	23,9	15,5
7	18,2	44,1	23,2	15,5
8	18,2	44,6	23,1	15,1
9	18,7	44,9	23,8	15,3
10	18,6	44,5	23,7	15,6
Promedio	18,4	44,3	23,8	15,9

Fuente: elaboración propia.

Los valores de las entalpías correspondientes son calculados con base a tablas termodinámicas para el aire en función de la temperatura de salida y de ingreso al sistema, dentro de las unidades de condensado y de evaporación. En la mayor parte de los casos se realizaron procesos de interpolación para el cálculo del valor puntual.

Tabla VIII. **Temperaturas – entalpías**

Temperatura	h (KJ/Kg)
1	293,31
2	318,13
3	289,65
4	291,31

Fuente: elaboración propia.

Los valores calculados de entalpia se utilizan para calcular el coeficiente de operación térmico, el cual se considera como análogo al rendimiento del equipo.

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{(h_2 - h_1) - (h_3 - h_4)}$$
$$\text{COP} = \frac{293,31 - 291,31}{(318,13 - 293,31) - (289,65 - 291,31)}$$

$$\text{COP} = 0,0755$$

El coeficiente de operación térmica del equipo de aire acondicionado analizado es expresado en su forma porcentual de alrededor de 7.55 %, lo cual implica que de la energía eléctrica consumida para el intercambio de calor se aprovecha aproximadamente un 7.55 % de la energía siendo aproximadamente el 90 % desperdiciado en fricción, sobrecalentamiento de los componentes o mala disposición del uso de calor dentro de las habitaciones o dentro de la tubería.

2.1.4.4. Rendimiento del equipo hidráulico

Las mediciones del rendimiento de las bombas hidráulicas se basaron en el principio de la relación que existe entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica de consumo.

Para determinar el rendimiento del equipo hidráulico se deben de realizar las siguientes acciones:

- Determinar la capacidad de cada uno de los tanques precargados

- Determinar el tiempo de funcionamiento de las bombas en cada ciclo
- Establecer el nivel piezométrico que la bomba aporta al sistema
- Establecer el potencial de pérdidas por accesorios
- Establecer el potencial de pérdidas por fricción
- Establecer la potencia hidráulica aportada al sistema
- Medir el voltaje de trabajo y la corriente de trabajo para el cálculo de potencia eléctrica.
- Definir la relación potencia hidráulica/potencia eléctrica para determinar el rendimiento.

(Ver apéndice 4)

A nivel hidráulico como primer aspecto se deberá considerar el cálculo del caudal de la bomba. Debido a que la disposición de los tanques y la tubería de abastecimiento de agua cuentan con la salida directa a los usos de agua, dicho sistema no puede considerarse como un sistema cerrado. Por lo cual para el cálculo del caudal de la bomba en servicio se utilizó el valor de capacidad de cada tanque precargado a las presiones establecidas según el manual del fabricante así como el tiempo de llenado de la siguiente manera:

Dentro de las presiones calibradas de 45 y 70 PSI la capacidad de cada uno de los tanques H2PRO (marca Flexcon de fabricación estadounidense) es de aproximadamente 20 litros cada uno. En funcionamiento se encuentran 4

tanques por lo que el volumen total de llenado será de aproximadamente 80 litros por cada ciclo de llenado. El valor nominal del caudal se determinará con base a la relación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Para determinar el caudal, se procedió a realizar mediciones del tiempo de funcionamiento mostrando los siguientes resultados:

Tabla IX. **Tiempos de llenado**

Ciclo	Tiempo (segundos)
1	24,16
2	27,22
3	25,4
4	25,7
5	26,7
6	25,87
7	23,8
8	26,4
9	26,46
10	24,39
Promedio	25,61

Fuente: elaboración propia.

Con base al tiempo promedio se determinará el caudal con la relación de cambio de volumen sobre cambio en el tiempo.

$$Q = \frac{0,08 \text{ m}^3}{25,61 \text{ s}}$$

$$Q = 0,003123 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal de la bomba durante cada período de activación es de aproximadamente $0,003123 \text{ m}^3/\text{s}$. Teniendo el valor nominal del caudal de la bomba se puede establecer mediante el principio de conservación de la energía la potencia hidráulica real desarrollada por la bomba en virtud de los 3 tipos de energía del fluido potencial (Z), cinética ($v^2/2g$) y de presión ($P/\text{peso específico}$).

$$E_o = E_f$$

$$Z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + h_b = Z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + h_f + h_l$$

Considerando como nivel de referencia la altura del eje de la bomba y que los tanques son demasiado grandes para considerar su energía cinética por lo cual no será considerada, algunos de los valores son:

$$Z_a = 1,2 \text{ m (Altura inicial del agua dentro de la cisterna)}$$

$$Z_b = 0,9 \text{ m (Altura inicial del agua dentro de los tanques precargados)}$$

$$\frac{P_a}{\gamma} = 0 \text{ (El tanque cisterna se encuentra abierta a la atmósfera)}$$

$$\frac{P_b}{\gamma} = 49,19 \text{ (Presión dentro de los tanques precargados)}$$

Operando los valores encontrados la ecuación de energía se reduce a:

$$h_b = 48,89 + h_f + h_l$$

Para determinar los valores de la pérdida de presión por fricción en equipo estacionario y por pérdida en tubería, se considerará con base al caudal y los valores de la rugosidad de tubería y el número de Reynolds ($Nr=vDd/\text{rugosidad}$)

El valor del número de Reynolds determinará el tipo de flujo de trabajo. Usualmente se considera que si el valor adimensional del número de Reynolds es menor o igual 2 300, es un tipo de flujo laminar. Por el contrario si el número es mayor de 4 000 se considera un fluido turbulento. Si el valor se encuentra dentro de dicho rango se considera un fluido de transición, aunque para propósitos prácticos se opera como fluido turbulento.

Un aspecto importante a considerar es que: el valor de pérdida por fricción dentro de la tubería de salida en la bomba, varía con respecto a los diversos diámetros de la tubería, para considerar una pérdida total se calcularon los valores de velocidad, factor de pérdida y número de Reynolds para los 3 diámetros efectivos de trabajo en el sistema.

Tabla X. **Número de Reynolds**

Diámetro	Diámetro (m)	V (m/s)	Nr	Flujo
4	0,1016	0,39	39 059,96	Turbulento
3	0,0762	0,68	52 079,94	Turbulento
2	0,0508	1,54	78 119,91	Turbulento

Fuente: elaboración propia.

Con base en el número de Reynolds se determinó mediante la ecuación de Colebrook, el valor del factor de fricción y la pérdida de carga por el movimiento del agua dentro de la superficie de la tubería. La pérdida de carga se calculará en función del factor de fricción, la longitud, y la energía cinética del fluido en recorrido de la siguiente forma: $h_f=f(lv^2/2Dg)$

La relación establece que para la pérdida de carga se deberá considerar el factor calculado mediante la ecuación de Colebrook.

$$\left(\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\frac{\epsilon}{\phi}}{3.7} + \frac{2.5}{Nr\sqrt{f}} \right)\right)$$

Para el cálculo de pérdidas totales de carga por fricción se deberá considerar las longitudes equivalentes de los accesorios dentro de la tubería. Para el caso de las pérdidas estacionarias nuevamente se asociaron a la velocidad del flujo según las dimensiones de cada accesorio que entra en contacto con el fluido de trabajo.

Los accesorios en servicio cuentan con una longitud equivalente que responde directamente al valor de su diámetro.

Tabla XI. **Longitudes equivalentes de accesorios**

Accesorio	Diámetro	L. equivalente	n	L. eq. en metros
Válvula de compuerta	4 pulgadas	8	1	0,812
Compuerta	2 pulgadas	8	4	1,625
Codos estándar	4 pulgadas	30	2	6,096
Codos estándar	2 pulgadas	30	2	3,048
Tés estándar	4 pulgadas	20	2	4,064

Continuación de la tabla XI.

Tés estándar	2 pulgadas	20	2	2,032
--------------	------------	----	---	-------

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra el aumento nominal de la longitud de la tubería de cada diámetro, por lo que para calcular la pérdida de carga por presión se deberá incrementar los valores de las longitudes directas. Sumado a eso se deberán considerar otras pérdidas que no corresponden a accesorios tales como:

- Entrada y salida de la tubería
- Contracciones y dilataciones súbitas

Para el caso de entrada a la tubería según se determinó los bordes son de arista cuadrada razón por la cual la energía cinética se dispersa al menos en 50 % de su valor, por lo que el valor de la constante de pérdida $k = 0,50$.

Para el caso de la salida de la tubería la energía cinética se transforma completamente por lo que el valor de la constante de pérdida es $k = 1$.

Para el caso de las contracciones y dilataciones súbitas se deberán de considerar los diámetros de tubería de ingreso y de salida de la misma, así como el sentido del flujo en movimiento. Existen 2 contracciones y una dilatación dentro del equipo en funcionamiento. Las contracciones son de 4 a 2 pulgadas de diámetro en ambos casos mientras que la expansión se da de 3 a 4 pulgadas. Del tanque cisterna a la entrada de la bomba así como la respectiva salida de la bomba. Los valores de las constantes para las contracciones así

como las dilataciones súbitas serán determinados con base a los diámetros con las siguientes relaciones, para la dilatación súbita:

$$k = \left[1 - \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^2 \right]^2$$

Para la contracción súbita

$$k = 0.42 \left[1 - \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)^2 \right]$$

En ambos casos deberá considerarse la velocidad más alta al momento de calcular los valores de pérdida.

Tabla XII. **Pérdida de carga por condiciones en tubería**

Pérdida	N	Constante	V (m/s)	Hf
Entrada a la tubería	1	0,5	0,39	0,003777
Salida de la tubería	1	1	1,54	0,121034
Contracción súbita 1	2	0,23	1,54	0,027838
Expansión súbita	1	0,6	0,685	0,014349
Total				0,166998

Fuente: elaboración propia.

Las pérdidas de carga por fricción así como las pérdidas de carga por accesorios son consideradas dentro de las tuberías de diámetro común, únicamente extendiendo la longitud. Los valores de la carga de fricción son:

Tabla XIII. **Pérdidas por fricción**

Tubería	F	L nominal	Leq. Por accesorios	Hf
1	0,02342	4,5	10,97	0,026971
2	0,02271	1	9,87	0,007124
3	0,02242	0,5	6,7056	0,384838
Total				0,4189

Fuente: elaboración propia.

El total de pérdidas de energía considerando fricción, la disposición de la tubería asciende a 14,33 metros. Con base a ello la ecuación de energía manejada se reestructura de la siguiente forma:

$$h_b = 48,89 + h_f + h_l$$

$$h_b = 48,89 + 0,1669 + 0,4189$$

$$h_b = 49,47 \text{ m}$$

Dicho resultado muestra la energía de la bomba en unidad de peso ($\frac{\text{joule}}{\text{n}} \rightarrow \frac{\text{n m}}{\text{n}} \rightarrow \text{m}$). Con base al mismo se puede determinar la potencia hidráulica que se da en el sistema considerando el caudal suministrado, así como el peso específico del líquido. La potencia hidráulica esta descrita por la siguiente ecuación:

$$\text{Pot} = Qh_b\gamma$$

$$\text{Pot} = (49,47 \text{ m})(0,003123 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})(9,789 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3})$$

$$\text{Pot} = 1,512 \text{ Kwatts}$$

Dicho valor corresponde a la potencia hidráulica desarrollada por el sistema para la carga y descarga de los tanques hidroneumáticos que abastecen de agua al hospital central. Para el cálculo del rendimiento se utilizarán el valor de la potencia eléctrica calculado con base a las mediciones directas de voltaje de trabajo y corriente nominal, utilizando la siguiente relación:

$$P = VI$$

Los valores de voltaje de trabajo y corriente de trabajo, estos se tomaron directamente de la acometida e instalación eléctrica considerando 10 mediciones durante los ciclos de trabajo de las bombas. Cabe mencionar que para el caso se midió la corriente nominal promedio y no el valor pico de inicio de marcha.

Tabla XIV. **Voltajes de trabajo**

N	Voltaje (v)	Corriente (A)	Potencia (Kwatts)
1	213,70	16,74	3,58
2	213,47	17,21	3,67
3	213,44	18,35	3,92
4	213,33	15,31	3,27
5	213,56	15,57	3,33
6	213,54	18,57	3,97
7	213,24	15,87	3,38
8	213,91	18,66	3,99
9	213,72	15,59	3,33

Continuación de la tabla XIV.

10	213,07	15,59	3,32
Promedio	213,50	16,74	3,58

Fuente: elaboración propia.

El valor de la potencia eléctrica consumido por el sistema sin considerar su sistema de control es del aproximadamente 3,58 Kwatts, por lo que la relación del rendimiento entre la potencia eléctrica consumida y la potencia eléctrica desarrollada, muestra la siguiente relación:

$$\varepsilon = \frac{\text{Pot}_{\text{hidraulica}}}{\text{Pot}_{\text{electrica}}}$$

$$\varepsilon = \frac{1,512 \text{ Kwatts}}{3,58 \text{ Kwatts}}$$

$$\varepsilon = \frac{1,512 \text{ Kwatts}}{3,58 \text{ Kwatts}} \rightarrow 0,4223$$

Dicho valor implicó que del total de potencia eléctrica consumida únicamente el 42,23 % es transformado en potencia hidráulica útil dentro del sistema de bombeo.

2.1.4.5. Rendimiento equipo neumático

Para el caso del equipo neumático, las mediciones de rendimiento se realizaron con base al principio de conservación de la energía y la relación de

rendimiento, se establecerá mediante los valores calculados de potencia al eje comparado con los valores de potencia eléctrica real consumida.

Para calcular el rendimiento del equipo neumático se deberá proceder de la siguiente forma:

- Determinar la temperatura ambiente y la temperatura del contenedor de aire.
- Con base a las temperaturas calcular las entalpías del aire estándar
- Calcular el flujo másico con base de los límites inferior y superior de las presiones de trabajo basándose en la ley de gas ideal.
- Medir el tiempo de ciclo de trabajo del compresor
- Medir la temperatura de la camisa de aluminio que recubre el pistón reciprocante.
- Calcular con base a la conductividad térmica de materiales el calor de salida del pistón.
- Calcular la potencia térmica con base a la ecuación de conservación de energía adaptada a compresores.
- Medir la corriente y voltaje de trabajo del compresor de su fuente de alimentación para calcular la potencia eléctrica.

- Establecer la relación entre la potencia térmica/potencia eléctrica para determinar el rendimiento del equipo. (Ver apéndice 5).

Para el caso de los compresores existen ecuaciones determinadas que adaptan la ecuación de conservación a las propiedades termodinámicas y de funcionamiento de los compresores. Un aspecto importante a considerar dentro del cálculo de rendimiento, es que dichas ecuaciones ya proporcionan el valor de potencia nominal, potencia del compresor y la pérdida de calor correspondiente a las operaciones del equipo real.

La ecuación está estructurada de la siguiente forma:

$$E_0 = E_f$$

$$\dot{m}h_1 + \dot{w}_c = \dot{m}h_2 + \dot{Q}$$

Como se mencionó dicha ecuación ya se encuentra formulada en términos de potencia, por lo que \dot{w}_c representa la potencia ejercida por el compresor sobre el sistema, \dot{m} representa el flujo másico dentro del sistema y \dot{Q} representa la pérdida de calor del sistema.

Los valores de la entalpia para el aire fueron obtenidos con base a las temperaturas medidas de forma directa, complementado por un multímetro y una termo copla así como de las tablas de medición de entalpia para fluidos diversos. El flujo másico fue calculado con base a las especificaciones del sistema de control y el tiempo de operación, valiéndose de la relación $\dot{m} = \Delta m / \Delta t$.

El valor de h_1 corresponde al valor de la entalpia a la temperatura ambiente, es decir, a la temperatura a la que el aire ingresa al sistema. (Aproximadamente 19

grados centígrados). Los valores calculados a base de interpolación los valores son:

$$t_1 = 19^\circ\text{C} \rightarrow h_1 = 292,31 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$t_2 = 31^\circ\text{C} \rightarrow h_2 = 304,36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

El flujo másico este se calculó con base de la relación de cambio de masa dentro de cambio de tiempo. Para el cambio de masa se utilizaron los 2 puntos del sistema de control, el límite inferior el cual está establecido dentro de los 70 PSI (482,63 KPa) y el límite superior a los 100 PSI (758,42 KPa). Se determinó el contenido en masa para cada presión y con base al cambio se determinará el flujo másico del compresor.

Para determinar la cantidad de masa para cada presión se consideró el aire atmosférico como un gas ideal con valor de constante de gas $R=0,287$ KJ/Kg-K). El volumen se considerará constante debido a que se trata de un recipiente sólido de 13 galones ($0,04921 \text{ m}^3$). Para ambos límites el valor de masa es calculado con base a la siguiente ecuación:

$$pv = mRt$$

$$(482,63 \text{ KPa})(0,04921 \text{ m}^3) = m_1(0,287 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg. K}})(292,15 \text{ K})$$

$$m_1 = 0,283 \text{ Kg}$$

$$(758,42 \text{ KPa})(0,04921 \text{ m}^3) = m_2(0,287 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg. K}})(304,15 \text{ K})$$

$$m_2 = 0,4275 \text{ Kg}$$

Con base a los 2 valores anteriores puede determinarse el valor del cambio de contenido en masa de la forma:

$$\Delta m = m_2 - m_1.$$

$$\Delta m = 0,1445 \text{ Kg}$$

Los tiempos de operación se establecieron mediante mediciones directas en las cuales se tomó el tiempo desde que el interruptor de presión mandó la señal de inicio hasta que se envió la señal de corte. Los valores se muestran a continuación:

Tabla XV. **Tiempo de ciclo compresor**

Lectura	Tiempo (segundos)
1	52,18
2	50,93
3	52,54
4	51,01
5	50,34
6	50,49
7	50,20
8	51,44
9	52,24
10	51,54
Promedio	51,29

Fuente: elaboración propia.

Considerando el valor promedio como representativo del cambio en el tiempo de llenado, el valor nominal del flujo másico esta descrito como:

$$\dot{m} = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

$$\dot{m} = \frac{0,1445 \text{ Kg}}{51,29 \text{ s}}$$

$$\dot{m} = 0,002817 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Otro valor importante dentro del cálculo de la potencia real de trabajo del compresor es el valor de la pérdida de calor, la importancia de este valor reside en que denota un proceso no ideal ya que representa una pérdida de calor por parte del equipo.

Para dicho cálculo se consideraron los principios de calor específico y cambio de temperatura. El calor específico se define como la cantidad de energía necesaria para que un material aumente su temperatura. En la práctica se utiliza como un valor de constante de energía absorbida por algún material en específico. Para este caso concreto se utilizará el valor del calor específico para determinar cuánto calor ha sido absorbido por el equipo en forma de fricción y por consecuencia liberado al ambiente.

La temperatura fue medida mediante contacto directo en la camisa de aluminio del pistón recíprocante por lo que el incremento de temperatura con relación a la temperatura ambiente fue bastante notable, ya que en la camisa de aluminio se disipa toda la energía en calor por la fricción.

Las mediciones mostraron los siguientes datos:

Tabla XVI. **Temperatura camisa de aluminio**

Lectura	Temperatura (°C)	Temperatura (Kelvin)
1	60,58	333,73
2	60,36	333,51
3	60,04	333,19
4	60,67	333,82
5	60,43	333,58
6	59,52	332,67
7	60,43	333,58
8	60,71	333,86
9	60,66	333,81
10	62,98	336,13
Promedio	60,64	333,79

Fuente: elaboración propia.

Al igual que en los casos anteriores se consideró el valor promedio de las temperaturas (318,29 K) como un valor representativo para el cálculo de la pérdida de energía por fricción en forma de calor. Según tablas de termodinámica, el calor específico correspondiente al aluminio (material del cual está fabricado la camisa del pistón) es de $C_p = 0,902 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.K}}$. Por lo que la relación para establecer la pérdida de calor por fricción considerando la camisa del cilindro conformada por un único material es:

$$Q_{\text{salida}} = C_p(\Delta t)$$

El cambio de temperatura corresponde a la temperatura ambiente con respecto a la temperatura de operación sobre la cubierta del pistón.

$$\Delta t = 333,79 - 292,15 \text{ K}$$

$$\Delta t = 41,64 \text{ K}$$

$$Q_{\text{salida}} = \left(0,902 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}\right)(41,64 \text{ K})$$

$$Q_{\text{salida}} = 37,59 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

El flujo de calor se determina con base al calor de salida (Q_{salida}) con relación al flujo másico que recorre el sistema, la ecuación está descrita de la siguiente forma:

$$\dot{Q} = Q\dot{m}$$

Con dicho valor de calor de salida en función del flujo másico es posible calcular la potencia mecánica generada por el compresor según la ecuación mostrada:

$$\dot{m}h_1 + \dot{w}_c = \dot{m}h_2 + Q\dot{m}$$

$$\dot{w}_c = \dot{m}h_2 + Q\dot{m} - \dot{m}h_1$$

$$\dot{w}_c = \dot{m}(h_2 + Q - h_1)$$

$$\dot{w}_c = 0,002817 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \left(304,36 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 292,31 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} + 37,59 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$\dot{w}_c = 0,1398 \text{ Kwatts}$$

Dicho valor representa la potencia efectiva al eje ejercida por el compresor, para el cálculo del rendimiento completo se realizaron mediciones de la corriente consumida durante los ciclos de trabajo así como el producto de dicha corriente por el voltaje de trabajo registrado directamente en la acometida eléctrica.

Las mediciones de voltaje se realizaron en conjunto con las mediciones de corriente. Los resultados de dichas mediciones fueron:

Tabla XVII. **Potencia de consumo compresor**

N	Corriente (I)	Voltaje (V)	Potencia (Kwatts)
1	4,75	219,24	1,041
2	4,46	219,37	0,978
3	4,47	219,32	0,981
4	4,87	219,18	1,066
5	4,8	219,24	1,051
6	4,79	219,08	1,049
7	4,66	219,02	1,021
8	4,81	219,14	1,054
9	4,65	219,36	1,019
10	4,71	219,42	1,033
Promedio	4,7	219,24	1,03

Fuente: elaboración propia.

El valor promedio de la potencia eléctrica obtenida en el compresor de uso médico es de 1,03 Kwatts, por lo que el rendimiento según su relación de potencia mecánica y potencia eléctrica esta descrito por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\dot{w}_c}{Pot_{\text{eléctrica}}}$$

$$\varepsilon = \frac{0,1398 \text{ Kwatts}}{1,03 \text{ Kwatts}}$$

$$\varepsilon = 0,1357$$

El rendimiento de dicho equipo expresado en porcentaje es del alrededor de 13,57 por ciento, lo cual indica que aproximadamente el 86 por ciento restante es dispersado en forma de calor, fricción o en la acción del ventilador que mantiene regulada la temperatura del equipo.

2.1.5. Consumo de equipo

Con base a la frecuencia en el uso es posible determinar las tasas de consumo de energía eléctrica así como el impacto que esta tiene dentro de los gastos del hospital central. Para establecer el total de consumo se deberán determinar el número de horas completas de servicio desde el inicio de operaciones, lo cual se determina con base a los ciclos de encendido y duración de los ciclos. Para ajustar la tasa de consumo a la unidad comercial de kilowatts hora, la tasa de consumo de cada equipo, se considerará como el producto de las horas de servicio por la potencia nominal del equipo.

Para el cálculo de consumo en unidades comerciales (kilowatt-hora) se procedió de la siguiente manera:

$$\text{Consumo} = 30(t)(P)$$

En donde:

t= tiempo en servicio al día

P=potencia del equipo

Tabla XVIII. **Tasas de consumo**

Equipo	Servicio (horas por día)	Potencia (Kwatts)	Consumo (Kwatt-hora)
Autoclaves	9	8	2160
Aires acondicionados	22,4	2,23	1498,6
Bombas 5 hp	3,5	3,73	391,65
Bombas 7,5 hp	3,15	5,59	528,26
Compresor	1,33	1,11	44,289
Totales			4 664,04

Fuente: elaboración propia.

El consumo total de equipo considerando autoclaves, aires acondicionados, bombas hidráulicas, bombas de vacío, y el compresor neumático es de kilowatts-hora es en promedio de 4 664 kilowatts-hora.

Cabe mencionar que el consumo dentro de la planta de generación se midió mediante la tabulación directa de combustible en cada encendido rutinario.

2.1.6. Gasto energético del equipo

Para determinar el gasto económico que el hospital absorbe como consecuencia del funcionamiento del equipo en dichas condiciones, se determinó en promedio el costo de cada kilowatt-hora de energía eléctrica con base a información contenida en los recibos de energía eléctrica en el período de mayo 2011 – mayo 2012.

Los valores de costo de energía en Q/Kwatt-hora se presentan con más detalle dentro de la fase de investigación, pero con propósitos de cálculo se presenta a continuación el promedio de valores mostrados a continuación:

Tabla XIX. Precio kilowatt-hora

Mes	Costo (Q/KW-H)
1	1,35
2	1,35
3	1,45
4	1,45
5	1,45
6	1,47
7	1,47
8	1,47
9	1,47
10	1,55
11	1,55
12	1,59
Promedio	1,468

Fuente: elaboración propia.

Considerando el costo promedio de 1.46 Q/Kwatt-hora así como el consumo de potencia total de todos los equipos considerados el costo total del funcionamiento del equipo estudiado asciende a:

$$\text{Costo total} = (\text{Potencia total})(\text{costo unitario})(30)$$

$$\text{Costo total} = (1,46 \frac{\text{Q}}{\text{Kwh}})(4\ 664,04 \text{ Kwh})$$

$$\text{Costo total} = \text{Q}6\ 809,49$$

El funcionamiento del equipo en tales condiciones y con los procedimientos de uso actuales asciende a un total de Q. 6 809,49.

2.1.7. Proyección de gasto energético

La mayor parte de la energía generada dentro del país está sujeta a cambios dentro de su valor que responden tanto a los cambios dentro de los valores del petróleo como a los niveles de los embalses dentro de las generadoras hidroeléctricas.

Por lo que el precio de la energía eléctrica, así como su transporte y distribución se consideran como variables de momento en momento, según se muestra dentro de los meses estudiados el precio del kilowatt-hora muestra una tendencia al incremento.

Por lo que manteniendo las condiciones y sistemas de uso que se manejan puede llegar a darse un incremento en el desembolso de energía eléctrica a todo nivel y no únicamente por el equipo térmico, neumático o hidráulico.

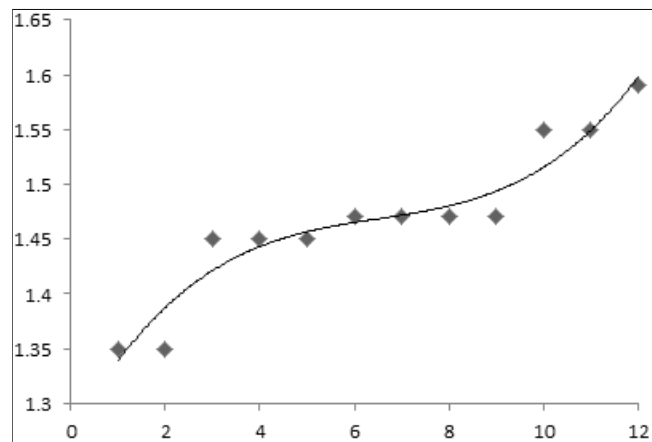
Con el objetivo de realizar la proyección de los gastos por conceptos de energía se utilizó el costo nominal de kwatt-hora, dentro del intervalo mostrado y se analizó según técnicas de regresión. Los resultados obtenidos muestran

una leve tendencia al incremento según la base histórica, por lo que de mantenerse las condiciones de uso es probable que los costos por concepto de energía aumenten.

Para la elección del modelo de proyección y pronóstico se utilizó el valor de correlación como el principal indicador de certeza dentro de los valores analizados. De los modelos conocidos, el nivel de correlación más alto se alcanzó mediante una función cúbica que respondía al siguiente modelo:

$$y = 0,0006x^3 - 0,011x^2 + 0,077x + 1,27$$
$$r = 0,92$$

Figura 16. **Proyección de gasto**



Fuente: elaboración propia.

2.2. Propuesta de mejora en rendimiento

Con base en los resultados de la medición de rendimiento así como a las condiciones de instalación y operación del equipo, se determinaron las acciones

a tomar en cuenta en caso preventivo y correctivo según las condiciones del equipo y su instalación así lo requiera.

Como primer punto se determinaron las acciones de naturaleza correctiva para el funcionamiento del equipo según la clasificación mostrada. Después de realizar las acciones correctivas correspondientes, se deberá realizar las rutinas de mantenimiento preventivo correspondiente.

2.2.1. Mantenimiento correctivo

Las acciones correctivas que se emprendieron como requisito para el inicio sistemático de las acciones de mantenimiento preventivo se describen a continuación según el equipo del cual se esté tratando. Las anomalías de cada equipo están descritas dentro de la sección de análisis.

2.2.1.1. Planta de generación

- Fuga de combustible: las acciones correctivas para corregir dicha anomalía fue necesario el reemplazo de la llave de paso, la cual no contaba con los seguros herméticos apropiados. Esta se sustituyó por una válvula tipo compuerta fabricada en cobre de ½ pulgada con bordes roscados.

Sumado a eso se sellaron de forma hermética las conexiones a la línea de combustible con base de cinta aislante de tubería de media pulgada (teflón).

Figura 17. **Llave de paso tipo compuerta**



Fuente: equipo hospital central.

- Incerteza en nivel de combustible: para corregir dicha anomalía se diseñó una tabla con escala equivalente a galones en existencia dentro del tanque de combustible.

2.2.1.2. Autoclaves

- Luz indicadora de funcionamiento no enciende: dicha anomalía se corrigió ubicando el falso contacto dentro de la conexión de la luz indicadora, se rectificó la conexión y se aisló mediante cinta de aislar.

Figura 18. **Contactos autoclave**



Fuente: equipo hospital central.

- Ausencia de flipón independiente: dicha anomalía se corrigió al aislar la línea de alimentación de las autoclaves y a instalarle una flipón de 200 amperios fuera de la acometida central.

Figura 19. **Flipón 200 amperios**



Fuente: equipo hospital central.

2.2.1.3. Aires acondicionados

- Aire acondicionado sección de archivo se activa pero no enfría: como medida correctiva se procedió a realizar un sifón a base de tubería de cobre flexible de ½ pulgada para evitar el condensado dentro de la tubería. Se cambió el difusor de refrigerante al ingreso al sistema de evaporación debido a que el anterior se encontraba obstruido. Finalmente se procedió a la carga de gas refrigerante. El sistema no presento fugas en la tubería.

Figura 20. Sifón para condensado



Fuente: equipo hospital central.

- Equipo de aire acondicionado no estabiliza la temperatura dentro de la sección de informática: como medida correctiva se cambió la disposición del termostato externo y de la tubería de extracción de modo que la lectura del termostato correspondiera a la temperatura correcta del ciclo. Se cargó de gas el equipo, ya que presentaba faltantes tanto en la temperatura de alta y baja presión lo cual ocasionaba el congelamiento en la tubería de baja presión. El sistema no presentó fugas.

Figura 21. **Redistribución de tuberías**



Fuente: equipo hospital central.

- Equipo de condensado de la jefatura médica se encontraba deficientemente montado: como medida correctiva, la unidad de condensado fue trasladada a la azotea del edificio donde a pesar de estar simplemente apoyada no representa un riesgo de caída.

Figura 22. **Instalación en la azotea**



Fuente: equipo hospital central.

2.2.1.4. Compresor neumático

- Manómetro de presiona de tanque fuera de servicio: para corregir dicho problema se reemplazó el manómetro fuera de servicio por otro manómetro tipo bourdon con el mismo rango de presiones. Este se instaló mediante unión roscada de ¼ de pulgada de diámetro. De igual manera se monitoreó el funcionamiento y las presiones de trabajo del compresor ya que la falla del manómetro original pudo ser ocasionada por una sobrepresión o por vida útil del manómetro.

Figura 23. **Manómetro**



Fuente: equipo hospital central.

- Rastros de aceite sobre el filtro del equipo: para corregir dicha anomalía se limpió a base de agua jabonosa la superficie del compresor. Se monitoreo el funcionamiento del equipo para verificar si los empaques de la camisa del pistón recíprocante presentaban más fugas. No se encontró evidencia de más fugas o más pérdidas de aceite durante el monitoreo realizado.

2.2.1.5. Bombas hidráulicas

- Válvulas de pie fuera de servicio: dicho problema se solventó el reemplazo completo de la dicha válvula, por una nueva válvula de pie fabricada en cobre don 2 pulgadas de diámetro 2200 lbf. De igual forma se recalibró el presostato a las presiones de trabajo estándar del sistema de bombeo.

Figura 24. Válvulas de pie



Fuente: equipo hospital central.

- Sobrecalentamiento en el sistema de emergencia: para solventar dicho problema fue necesario extraer la bomba de su lugar, verificar la integridad del embobinado. Se procedió a aplicar limpia contactos las conexiones eléctricas y los platinos de la bomba. Se sopleteó mediante aire comprimido el interior y se lubricaron los cojinetes a base de grasa para cojinetes. Se reinstalo el equipo y se constató su funcionamiento apropiado.

Figura 25. **Limpieza interior bomba sistema de emergencia**



Fuente: equipo hospital central.

2.2.2. Mantenimiento preventivo

En su forma general el mantenimiento preventivo busca la preservación del equipo a modo de que cumpla las funciones para las cuales fue diseñado. Las acciones preventivas a realizadas están clasificadas como servicio primario, este a pesar de contar con ciertos casos comunes difiere con respecto de cada equipo. A continuación se presenta las acciones dentro del servicio primario para cada equipo analizado.

2.2.2.1. Planta de generación

Las acciones preventivas para dicha planta de generación están encerradas básicamente en el denominado servicio primario, el cual básicamente consiste en realizar las siguientes acciones:

- Cambio de aceite en servicio: se deberá drenar el aceite existente y reemplazarse en su totalidad por 5 galones de aceite SAE 40. Para tal propósito el motor de combustión cuenta con un tornillo de purga de la parte baja de la aceitera con el cual se libera el contenido del contenedor de aceite.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta durante el cambio de aceite, es que el aceite a ser reemplazado debe de ser analizado mediante simple inspección, para determinar si presenta rastros de agua o alguna otra anomalía. Para ingresar el aceite de reemplazo al sistema, el equipo cuenta con orificios especiales para la carga de aceite mediante embudos.

Figura 26. **Receptor de aceite**



Fuente: equipo hospital central.

- Cambio de filtro de aceite: el filtro de aceite debe ser sustituido por una unidad nueva para garantizar el funcionamiento adecuado y evitar que cualquier impureza o suciedad ingrese al sistema de combustión.

Figura 27. **Filtros de aceite**



Fuente: www.dieselpro.com. Consulta: 15 de marzo 2012.

- Cambio de filtro de combustible primario y secundario: dicho filtro está sujeto a condiciones similares que el filtro de aceite, es decir debe ser sustituido para evitar su saturación y con ello evitar que impurezas o partículas ajenas ingresen al carburador o alguna otra parte del sistema de combustión.

De igual manera el fabricante tiene a la venta dichas unidades pero unidades genéricas o de marcas diversas podrán ser utilizadas.

- Limpieza o cambio de filtro de aire: el filtro de aire debe de ser limpiado a base de aire comprimido de la parte interna a la externa para evitar daños en la estructura de las celdas. Cabe mencionar que en caso de encontrarse daños significativos dentro de la estructura el filtro deja de cumplir su función por lo que es recomendable su reemplazo.

Figura 28. **Filtros de combustible primario y secundario**



Fuente: www.dieselpro.com. Consulta: 15 de marzo 2012.

- Limpieza o cambio de filtro de aire: el filtro de aire debe de ser limpiado a base de aire comprimido de la parte interna a la externa para evitar daños en la estructura de las celdas. Cabe mencionar que en caso de encontrarse daños significativos dentro de la estructura el filtro deja de cumplir su función por lo que es recomendable su reemplazo.
- Chequeo de nivel de refrigerante: el agua correspondiente al sistema de enfriamiento deberá ser reemplazada en su totalidad y evaluarla en busca de señales de corrosión o aceite. El agua del sistema puede ser complementada por refrigerante, en cuyo caso el agua no debe ser reemplazada para evitar la pérdida de refrigerante. En caso de reemplazo se deberá usar $\frac{3}{4}$ partes de agua por $\frac{1}{4}$ de refrigerante a base de etilenglicol para motores diesel.
- Ajuste de faja de ventilador: como acción adicional dentro del sistema de enfriamiento, es el chequeo de la faja de transmisión al ventilador. Esta deberá tener un margen de juego de una pulgada y no estar deteriorada

en su constitución. En caso de estar floja se deberá tensionar y en caso de encontrarse gastada o picada esta deberá reemplazarse por una nueva faja tipo trapezoidal número 22.

- Ajuste de faja de alternador: las mismas acciones se deberán de tomar con la faja de transmisión del alternador, con la excepción que en caso de sustituirse, deberá ser por una faja trapezoidal dentada número 20.
- Chequeo de nivel de voltaje en acumulador: mediante un multímetro se deberá verificar que el juego de baterías mantengan una carga de 24 +/-1 voltio para garantizar la puesta en marcha. En caso de ser menor, el set de baterías deberá ser sustituido por 1 batería de 24 voltios o 2 baterías de 12 voltios conectadas en serie. También se deberá verificar que no exista sarro en los bornes de contacto. En caso de existir este deberá ser limpiado mediante acción mecánica y se aplicará limpia contactos. También se deberá verificar el nivel de electrolito dentro de las celdas del acumulador, en caso de encontrarse bajo este se deberá reponer de forma directa.
- Desengrasado del equipo: como última fase del mantenimiento se debe proceder a limpiar el equipo y el medio de montaje mediante desengrasante y se verificar que no existan cables ni conductos sueltos o flojos.

2.2.2.2. Autoclaves

Las acciones de servicio primario a realizar dentro de la central de equipos y autoclaves básicamente se dividen en el sistema de alimentación, las líneas de tubería y el sistema de calentamiento.

- Corrección de fugas: corregir mediante soldadura autógena o cemento de contacto epóxico cualquier fuga que se encuentre en la línea de abastecimiento. Los sistemas de alimentación de agua están conformados básicamente por una conexión directa a la red hidráulica del hospital dentro del cual se deberán realizar inspecciones por fugas. En caso de existir fugas en el sistema de alimentación de agua, se deberá suspender el funcionamiento del equipo, suspender el paso de agua y solventar la fuga mediante soldadura autógena o cemento de contacto.
- Limpieza de corrosión: limpiar mediante acción mecánica de lija (400 0 600) y aplicar laca anticorrosiva en cualquier área de la tubería que presente corrosión. Las tuberías están conformadas por líneas hidráulicas hechas de acero inoxidable de 1/2 pulgada. Semanalmente se deberán chequear para que no exista corrosión dentro o alrededor de las mismas. En caso de existir corrosión se deberá aplicar laca anticorrosiva sobre el área afectada.
- Sustituir válvulas de llenado: en caso de que se presenten goteos. Otro aspecto que se deberá verificar es el funcionamiento de las válvulas de llenado. En caso de encontrarse incrustadas o en caso de que goteen al exterior deberán ser reemplazadas por caducidad de sus sellos. Se reemplazarán con válvulas de globo de 1/2 pulgada de bronce.

Figura 29. **Válvula de llenado, cámara de calentamiento y válvula de alivio**



Fuente: equipo hospital central.

- Limpieza de resistencia eléctrica: el sistema de calentamiento es la parte más sensible del sistema. Este está conformado por una resistencia eléctrica de alto amperaje por lo que se deberá verificar que no existan acumulaciones de calcio o sarro dentro de la resistencia, que eviten el intercambio de calor. En caso de encontrarse incrustaciones en el sistema se deberán remover mecánicamente.
- Limpieza de incrustaciones de la cámara de calentamiento: de igual forma dentro del sistema de calentamiento se encuentra la cámara principal en la cual se deberá verificar que no existan acumulaciones de materiales extraños así como el funcionamiento de los sellos herméticos. En caso de encontrar alguna anomalía dentro de los sellos herméticos, estos se deberán reemplazar ya que se compromete la efectividad del proceso de esterilización así como representar un potencial riesgo.

- Limpieza de la válvula de alivio: las autoclaves cuentan con una válvula de alivio ubicada en la parte superior de la cámara, para evitar cualquier accidente por sobrepresión. Se deberá verificar que dicha válvula no se encuentre sellada o el conducto saturado para garantizar que esta se accione en caso de una sobrepresión. En caso de encontrar alguna incrustación en la misma, esta deberá extraer y limpiar por acción mecánica.

2.2.2.3. Aires acondicionados

Las principales acciones preventivas, están comprendidas por:

- Limpieza del equipo de condensado y de evaporación mediante agua a presión o agua jabonosa: a nivel interno se deberá así como verificar que no exista condensado líquido en sus alrededores ya que la condensación del líquido puede ser un indicador de irregularidades en la presión de refrigerante del sistema. En caso de encontrarse condensado se deberá chequear la presión alta y baja del sistema. Este debe mantener una relación aproximada 1:2 (presión baja-presión alta).

La tubería de aire tanto de aire frío como caliente, debe contar con una distancia de por lo menos 1 metro entre ellas para evitar el condensado líquido. En caso de correr paralelas por disposición del espacio se deberá aislar la tubería de cobre mediante refractario o caucho para evitar la transmisión de calor irregular.

Figura 30. **Limpieza de filtros**



Fuente: equipo hospital central.

También se deberá verificar el estado del aislamiento de dichas tuberías y realizar mediciones de presión periódicas, para garantizar que no existan fugas. Dichas mediciones de presión se realizan a base de manómetros dobles, estos cuentan con un indicador para la sección de baja presión (antes del compresor) y un indicador para la alta presión (después del compresor). Dicho manómetro se conecta al sistema mediante uniones roscadas temporales.

- Limpieza del serpentín de intercambio de calor: el sistema de condensado dentro de los aires acondicionados se basa en un compresor y un serpentín de cobre. Las acciones preventivas a realizar son verificar las presiones de funcionamiento dentro del compresor.

Figura 31. **Manómetro doble**



Fuente: equipo hospital central.

- Carga de gas para mantener relación de presión alta y baja constante en caso de ser necesario: la relación de presión aceptada es usualmente 1:2 para dichos modelos. Así como la limpieza de filtros y de incrustaciones externas en el área de intercambio del serpentín. En caso de existir incrustaciones en el serpentín de intercambio de calor este se deberá limpiar mediante acción mecánica y con soluciones de ácido fosfórico al 10 por ciento.

La superficie tanto de los equipos de condensado como de evaporación deberá limpiarse mediante agua a presión y por acción mecánica.

- Limpieza de contactos del sistema eléctrico: los contactos eléctricos internos tanto de los sistemas de evaporación como de condensado deberán limpiarse mediante acción de lijado y limpia contactos en aerosol

2.2.2.4. Bombas hidráulicas

El motor eléctrico del cual están provistos los equipos de bombeo es la parte que requiere acciones preventivas más complejas de todo el equipo analizado. Las acciones preventivas en los mismos se limitan al equipo de bombeo como tal, el sistema eléctrico y el sistema de tubería.

- Limpieza de ventilador del motor eléctrico del sistema de bombeo y limpieza de cojinetes: para acceder al área de ventilación se deberá retirar la tapadera posterior del motor y verificar que el ventilador de espiras plásticas no tenga polvo, ni algún otro cuerpo extraño que impida su libre movimiento.

En la mayor parte de los motores eléctricos, el ventilador está conectado directamente en el eje del rotor, por lo que al verificar si existe algún desbalance dentro del ventilador se verifica de igual manera la condición de los cojinetes de giro. En caso de apreciarse algún movimiento se deberán reemplazar los cojinetes para evitar daño en el eje y embobinado del motor.

- Limpieza de los platinos de arranque del motor eléctrico mediante acción mecánica de papel de lija y limpiacontactos: los platinos de encendido cumplen con la función de activar el embobinado de encendido cuando se envía la señal desde el presostato. Debido al continuo accionamiento estos pueden llegar a desgastarse o incluso a pegarse en caso de que exista sobrecalentamiento. En las verificaciones deberá cerciorarse que dichos contactos se mantengan flexibles así como libres de suciedad, polvo o algún otro agente externo. En caso de encontrarse suciedad,

estos deben limpiarse con base acción mecánica y lija. También se deberá aplicar limpia contactos para evitar que se cristalicen.

Figura 32. **Ventilador, eje central y cojinetes**



Fuente: equipo hospital central.

Figura 33. **Platino del interruptor centrifugo**



Fuente: equipo hospital central.

- Verificar sistema eléctrico del motor: al motor como tal llega la conexión de corriente trifásica regulada mediante los contactores, por lo que durante los ciclos de servicio o fuera de servicio deberá verificarse que no existan cables sueltos o con el aislante demasiado levantado ya que puede iniciar un corto circuito en caso de presentarse vibración. En caso de existir cables sueltos, se deberá aislar mediante cinta aislante.
- Limpiar mediante acción mecánica y laca anticorrosiva puntos de corrosión: debido al tipo de ambiente en el cual se encuentran es común que el equipo, tanto las unidades de bombeo como los tanques precargados muestren cierto nivel de corrosión. Es importante establecer el control sobre las marcas corrosivas, ya que en una considerable mayoría de los casos la corrosión se asocia con fugas y contacto del líquido con la parte externa del equipo. En caso de existir corrosión, se deberá aplicar laca anticorrosiva.

2.2.2.5. Compresor

El sistema de aire comprimido comparte los mismos principios de funcionamiento básico que el sistema de bombeo hidráulico en cuanto a tipo de motor, sistema de control de presión y tubería. Las acciones preventivas se basan en el pistón recíprocante, el sistema de lubricación y el sistema de almacenamiento de aire.

Para el caso del pistón recíprocante las principales acciones preventivas a realizar son el ajuste de los anillos de presión, que permiten que no se den pérdidas de aire durante el proceso de compresión así como la lubricación del mismo. La lubricación deberá ser realizada de forma semanal mediante aceite SAE 20W50.

Figura 34. **Mantenimiento motor eléctrico**



Fuente: equipo hospital central.

La línea neumática deberá ser recorrida de forma presencial y a base de inspección directa o asistido mediante agua jabonosa, se deberá determinar si existen fugas de aire que ocasionen pérdidas o funcionamiento continuo del compresor.

Debido a que el sistema de compresión es accionado mediante un motor eléctrico se deberán de tener las mismas consideraciones que para el equipo de bombeo en cuanto al sistema eléctrico. De igual forma, se realizaron las siguientes acciones:

- Engrasar de los cojinetes del eje central del motor eléctrico
- Limpiar de los platinos de arranque del motor eléctrico mediante acción mecánica de papel de lija y limpiacontactos.
- Limpiar mediante aire comprimido el devanado primario del motor eléctrico.

- Verificar el funcionamiento de los contactores en los ciclos de apagado y encendido programados, en caso de mal funcionamiento se deberá reemplazar por cualquier unidad de 220 voltios y con 2 contactos auxiliares.
- Verificar el funcionamiento de los presostatos de encendido y apagado del sistema de control.
- Purgar los tanques precargados en caso de que se encuentren completamente llenos de agua.
- Limpiar mediante acción mecánica y laca anticorrosiva puntos de corrosión dentro de la tubería o el cuerpo del motor eléctrico.

2.2.3. Programación de actividades de mantenimiento

Definidos las actividades necesarias dentro del mantenimiento preventivo se programara para todo el equipo según las siguientes recomendaciones.

2.2.3.1. Equipo térmico

Para la planta de generación, el servicio primario se recomienda cada 100 horas de servicio según el contador directo o cada 6 meses.

Las autoclaves las revisiones deben de darse diariamente. Mientras que el análisis de la resistencia y cámara de esterilización deberá realizarse mensualmente.

Los aires acondicionados el servicio descrito dentro de las acciones preventivas deberán realizarse cada 3 meses, mientras que el chequeo de líneas y termostatos deberá realizarse diariamente.

2.2.3.2. Equipo hidráulico y neumático

Las bombas hidráulicas así como el compresor neumático cuentan con necesidades muy similares por lo cual se sugiere que las acciones de servicio primario se realicen en forma simultánea en un intervalo aproximado de 3 meses.

Cabe mencionar que las revisiones y vistas de verificación deben de realizarse al equipo de forma diaria los servicios primarios y principales acciones preventivas pueden estar sujetas al siguiente cronograma.

Tabla XX. Programación

Equipo	Diariamente	Cada 3 Meses	Cada 6 meses
Planta de generación	Visita de verificación	Carga de acumulador	Servicio primario
Autoclaves	Visita de verificación	Sellos de vapor	Servicio primario
Aires acondicionado	Visita de verificación	Limpieza de filtros	Servicio primario
Bombas hidráulicas	Visita de verificación	Sistema eléctrico	Servicio primario
Compresor neumático	Visita de verificación	Lubricación	Servicio primario

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Medición del incremento del rendimiento

Después de realizadas las acciones preventivas es posible registrar la mejora en el rendimiento mediante el análisis del consumo eléctrico para el funcionamiento de equipo. Es decir si el equipo se encuentra en sus mejores condiciones operativas el consumo de energía deberá representarse como menor tanto en los que utilizan motores de inducción como los aires acondicionados, el compresor y las bombas hidráulicas. Dicha reducción dentro del consumo cumplirá con una de las condiciones de incremento de rendimiento mediante la cual es posible conseguir el mismo trabajo de salida ingresando la misma cantidad de energía eléctrica. Para el caso de los aires acondicionado, las autoclaves, las bombas hidráulicas y los compresores el incremento se estimará según la reducción de los consumos eléctricos con base de 10 lecturas directas.

Tabla XXI. Consumos después del mantenimiento

N	Autoclave	Aire acondicionado	B. hidráulicas	Compresor
1	19,06	11,08	15,22	4,51
2	19,35	11,37	15,45	4,38
3	18,97	11,04	15,47	4,10
4	19,59	11,37	15,80	4,36
5	19,68	10,96	14,94	4,59
6	19,35	11,28	15,77	4,09
7	19,24	11,14	14,93	4,38
8	19,72	10,91	15,13	4,40
9	19,58	11,06	15,26	4,18
10	19,56	11,45	15,77	4,15
Media	19,41	11,17	15,38	4,31

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a los promedios anteriores de consumo según las autoclaves, las bombas hidráulicas y el compresor neumático se pueden establecer que la corriente de trabajo disminuyó.

Tabla XXII. **Disminución de corriente**

Equipo	Amperaje previo (A)	Amperaje posterior	Diferencia	Reducción Porcentual
Autoclaves	20,42	19,41	1,01	4,95 %
Bombas hidráulicas	16,74	15,38	1,36	8,12 %
Compresor neumático	4,7	4,31	0,39	8,30 %
Promedio			0,92	7,12 %

Fuente: elaboración propia.

La corriente de consumo se disminuyó en promedio 0,92 amperios en los equipos mostrados, por lo que con base a la relación de rendimiento, considerando constante las acciones de salida el rendimiento en dicho equipo se incrementó en promedio alrededor de 7 por ciento.

Para el caso de la planta de generación, el sistema de generación como tal será más eficiente tanto en control de las emisiones de humo como en el consumo de combustible, el cual no deberá de sobrepasar el galón de diesel por hora en los encendidos programados y los 2,5 galones en caso de generación alta.

2.2.5. Proyección de la energía ahorrada

Se estima que según las acciones de mantenimiento preventivo realizadas el consumo energético de los equipos se disminuirá principalmente para el caso de las resistencias de las autoclaves y los motores de inducción tanto de los sistemas de bombeo como de compresión de aire.

Con base al cálculo de incremento en el rendimiento promedio de los equipos el nuevo consumo energético y el consumo en KWh estimado para el equipo 4 622,79 por lo que con la implementación de las acciones de mantenimiento el nuevo consumo será de aproximadamente 4 299,19 KWh, al considerar la mejora promedio en el rendimiento de 7,12 %.

2.2.6. Difusión del proyecto de mantenimiento

El mantenimiento dentro de las instituciones hospitalarias es uno de los factores más importantes para el apropiado funcionamiento, ya que del desenvolvimiento apropiado del equipo depende que muchos de los suministros tales como energía eléctrica, agua y aire comprimido se encuentren disponibles dentro del hospital. Dicha importancia se traslada a la calidad de servicio que se brinde a los clientes finales. Como parte de la socialización del proyecto de mantenimiento preventivo se prevé la concientización tanto al personal técnico como a los directores de área en:

Funciones específicas del mantenimiento, se deberá procurar la agilización de trámites en función de costos y compra de repuestos para garantizar que el personal de mantenimiento cuente con las herramientas y respaldo necesario para proveer un servicio adecuado al equipo.

Se deberá procurar la aplicación de los cuatro principios administrativos (planeación, organización, dirección y control) al departamento de servicios generales. La planeación y organización se deberá aplicar tanto a nivel administrativo como operativo mientras que la dirección y control mediante mandos medios entre el personal técnico y de servicio.

Ante el personal directivo la aproximación más viable es la de costos, razón por la cual se deberá concientizar que mediante el proyecto de mantenimiento se logra la reducción de labores externas innecesarias tales como el reemplazo de equipos, mayor productividad en el personal técnico con acciones planeadas de forma anticipada y mejor control de costos extraordinarios.

2.2.7. Personal involucrado en proyecto de mantenimiento

Dentro de la aplicación de las acciones de mantenimiento básicamente se encuentra involucrado 2 tipos distintos de personal, el administrativo y el personal técnico o personal operativo. Tal como el nombre lo indica el personal administrativo, es el encargado de realizar todas las gestiones necesarias para los procesos de mantenimiento tales como contacto a proveedores para insumos y repuestos. El personal técnico, es el encargado de realizar directamente todas las acciones tanto de mantenimiento correctivo como preventivo pertinentes.

2.2.7.1. Personal administrativo

El puesto administrativo directamente relacionado con el plan de mantenimiento preventivo es la jefatura de hotelería, la cual cuenta con el siguiente perfil:

Tabla XXIII. **Perfil de puesto jefe de hotelería**

Puesto: Jefatura de hotelería	
Área: Administrativa	Departamento: Servicios Generales
Escolaridad: licenciatura en administración de empresas	
Habilidades: organización de personal, negociación con proveedores	
Conocimientos: manejo de personal de mantenimiento, técnicos operativos, y trato con proveedores	
Experiencia: manejo de personal de mantenimiento, técnicos operativos, y trato con proveedores	

Fuente: elaboración propia.

2.2.7.2. Personal operativo

Involucrado dentro del plan de mantenimiento directamente se encuentra el personal técnico operativo en diversas tareas divididas según especialidad.

Los puestos técnicos según especialidad cumplen con el siguiente perfil.

Tabla XXIV. **Perfil puesto técnico I**

Puestos: Técnico I	
Área: Operaciones	Departamento: Servicios Generales
Escolaridad: técnico en electricidad y electrónica. Primero a tercer año ingeniería eléctrica, electrónica o mecánica eléctrica.	
Habilidades: mantenimiento y reparación de motores eléctricos, acometidas eléctricas, fuentes de poder	
Conocimientos: motores eléctricos, mantenimiento.	

Continuación de la tabla XXIV.

Funciones principales: mantenimiento preventivo y correctivo de equipo eléctrico tales como bombas hidráulicas, equipos de compresión de aire, líneas de distribución eléctrica, acometidas eléctricas y plantas de generación.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Perfil puesto técnico II**

Puestos: Técnico II	
Área: Operaciones	Departamento: Servicios Generales
Escolaridad: bachiller Industrial o perito en electrónica	
Habilidades: manejo y reparación de equipo médico tal como autoclaves, aireadores, aires acondicionados, y manejo de sistemas de aire comprimido.	
Conocimientos: sistemas de aire comprimido, equipo médico.	
Funciones principales: mantenimiento preventivo y correctivo de equipo biomédico. Manejo de sistemas de aire a presión, central de equipo médico y gases médicos.	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Perfil puesto técnico III**

Puesto: Técnico III	
Área: Operaciones	Departamento: Servicios Generales
Escolaridad: bachiller en construcción, perito en dibujo	
Habilidades: mantenimiento de edificios, conocimiento en soldadura, principios de electricidad, pintura e hidráulica.	

Continuación de la tabla XXVI.

Conocimientos: manejo de base de datos de órdenes de trabajo. Reparación de mobiliario y equipo no médico.
Funciones principales: apoyo al personal técnico I y II en eventualidades. Control de abastecimiento de insumos de mantenimiento y costos de operación. Enlace entre personal técnico y jefatura de hotelería.

Fuente: elaboración propia.

2.2.8. Costos asociados al mantenimiento

El mantenimiento así como cualquier acción en servicio representa un desembolso económico, el cual puede variar dependiendo del tipo de acciones que se busquen. Para este caso en concreto, se buscará minimizar los costos que puedan darse por falta de mantenimiento tal es el caso de paro de equipo o falta de algún suministro. Existen básicamente 3 tipos de costos asociados al mantenimiento. Estos son costos por insumos, costos por mano de obra y costos por fallas en el equipo.

2.2.8.1. Costos por insumos

Definiendo un insumo como todo el material necesario para que el equipo cumpla con funciones específicas, entre insumos se consideran: grasas, aceites, solventes etc. Para los equipos analizados los insumos a utilizar para los procedimientos de mantenimiento preventivo son:

Tabla XXVII. **Insumos principales**

Insumo	Cantidad	Precio unitario	Total
Aceite 20W50	1 litro	Q 50,00	Q 50,00
Aceite SAE 40	5 galones	Q 47,50	Q 237,50
Grasa para cojinetes	1 u/200 gr	Q 17,50	Q 17,50
Laca anticorrosiva	1 contenedor	Q 22,40	Q 22,40
Limpiaccontactos	1 contenedor	Q 37,80	Q 37,80
Lijas 600-1200	5 unidades	Q 4,50	Q 22,50
Wype	1 bolsa	Q 10,00	Q 10,00
Cinta aislante	3 rollos	Q 7,50	Q 22,50
Estaño	1 rollo	Q 12,00	Q 12,00
Solución ácido fosfórico	1 galón	Q 74,75	Q 74,75
Teflón	3 rollos	Q 4,50	Q 13,50
Refrigerante R22	1 contenedor	Q 94,50	Q 94,50
Refrigerante	1 cilindro/30 lb	Q 132,60	Q 132,60
Detergente	1 galón	Q 60,00	Q 60,00
Total			Q 807,55

Fuente: elaboración propia.

Estableciendo dichos costos como inversión inicial, los insumos representan un costos de aproximadamente Q 807,55 considerando insumos para todos los equipos así como equipos intercambiables.

2.2.8.2. Costos por mano de obra

El costo por mano de obra es el desembolso adjudicado directamente al personal técnico que lleva a cabo las acciones de mantenimiento. Dicho costo dependerá directamente de la cantidad de técnicos que se encuentran en servicio, en distintas especialidades, equipo médico, servicio general, electricidad servicio general etc.

Por desembolsos de personal técnico se estima un aproximado de Q. 3 700,00 mensuales por técnico. En una propuesta de 3 técnicos uno de cada especialidad el desembolso total ascendería a Q. 11 100,00 mensuales, es decir una inversión inicial diaria de aproximadamente Q. 370,00.

2.2.8.3. Inventario de repuestos

En su forma más general, un inventario se define como una relación ordenada de bienes y existencias de una entidad o empresa a un período de tiempo determinado. Para este caso en concreto, el inventario de repuestos se define como: el grupo de activos con los cuales se debe de contar dentro de la bodega de servicios generales para poder responder a acciones correctivas de forma ágil.

Considerando la necesidad de repuestos inmediatos para la realización de los servicios primarios o alguna acción correctiva que se necesite de forma inmediata se propone mantener físicamente los siguientes repuestos:

Tabla XXVIII. Inventario propuesto

Repuesto	Unidades	Equipo
Filtros de combustible	4	Planta de generación
Filtro de aceite	2	Planta de generación
Filtro de aire	2	Planta de generación
Filtro de partículas	10	Aires acondicionados
Capacitores	2	Compresor/bombas
Fajas 16"	2	Compresor
Faja 22	1	Planta de generación
Faja 20	1	Planta de generación
Válvulas de pie	2	Sistema hidráulico
Presostatos \ estándar	2	Compresor/bombas

Fuente: elaboración propia.

Los repuestos descritos están destinados tanto para acciones de mantenimiento preventivo como para ocasionales reparaciones correctivas, razón por la cual la rotación de inventario propuesto para insumos dependerá directamente de la programación de mantenimiento correctivo.

Debido a la naturaleza determinística del inventario, es posible determinar la cantidad óptima de unidades a pedir para minimizar costos por mantenimiento del producto. Dicho principio se basa en encontrar el punto en el que los costos por ordenar un producto y los costos por mantenerlo en inventario son iguales. Esta herramienta abre la ventana a la optimización de la cantidad por orden minimizando los costos.

2.2.8.4. Costo por fallas de equipo

Para determinar el costo por fallas de equipo, se consideró que debido a la falla de dicho equipo un suministro crítico tal como el agua potable o la energía eléctrica, no se puede proporcionar el servicio hospitalario. Considerando la llegada progresiva de pacientes, el costo por fallas de equipo se traduce al número total de pacientes que no es posible atender debido a la ausencia de dicho suministro. Debido a estudios realizados se puede establecer que se cuenta con una tasa de llegada total de aproximadamente de 23 pacientes por hora al área de consulta externa.

Cada consulta tiene un costo aproximado de Q 50,00 por lo que por cada hora que el equipo no funcione el hospital deja de percibir ingresos por alrededor Q 1 150,00. Considerando las áreas de Imagenología, cuyos servicios tienen un costo promedio de Q 200,00 y su tasa de llegada es de 18 pacientes por hora, las pérdidas ascienden a Q 3 600,00.

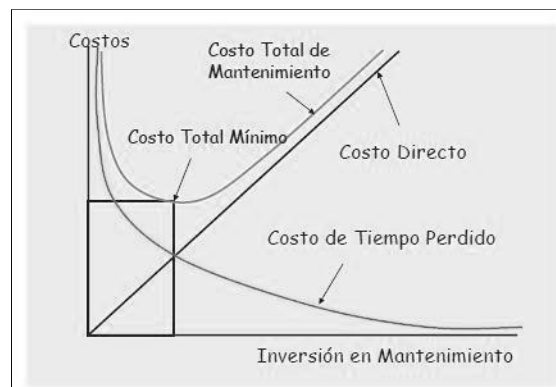
Los datos anteriores únicamente considerando la consulta externa e imagenología se estiman pérdidas totales por aproximadamente Q 4 750,00. Sumado a eso se percibe un riesgo muy significativo en fallas de la planta de generación en procedimientos sensibles tales como operaciones o partos.

2.2.8.5. Costos de falta de mantenimiento

Considerando los costos arriba descritos, un plan eficiente de mantenimiento busca que la suma total de costos de insumos, repuestos y mano de obra sea menor o igual que el total de costos incurridos por falta de mantenimiento o posibles daños al equipo.

Dentro de los textos sobre mantenimiento y planificación se muestra una gráfica del comportamiento estimado de los costos involucrados.

Figura 35. Costos de mantenimiento



Fuente: <http://confiabilidad.net/print/modelo-mixto-de-confiabilidad/>. Consulta: septiembre 2012.

En dicha grafica se muestra el comportamiento ascendente del costo por falta de mantenimiento, para el caso concreto del hospital el total de pérdidas

por pacientes no atendidos. Cabe mencionar que de igual forma el costo de mantenimiento óptimo se reduce al costo total mínimo considerando el costo directo, el costo por el tiempo perdido y el costo de las acciones de mantenimiento como tal.

2.2.9. Mantenimiento y seguridad industrial

En su forma más general la seguridad industrial se define como un conjunto de técnicas de las ciencias de la salud y la ingeniería del trabajo mediante las cuales, es posible realizar las acciones necesarias exponiendo al operador al menor riesgo posible. Para este caso en concreto, los procedimientos de mantenimiento representan ciertos riesgos para la integridad física del personal técnico, por lo que se presentan las medidas de prevención necesarias.






2.2.9.1. Señalización

La señalización se define como un estímulo visual destinado al condicionar las acciones a realizar. Dentro del hospital central, equipos tales como: la planta de generación, aires acondicionados y autoclaves, necesitan letreros de seguridad para prevenir a las personas sobre el riesgo que se representa.

Dichas señales, deberán de estar fabricadas en lámina galvanizada de por lo menos 1 mm de espesor y deberán tener dimensiones mínimas de 40 x 80 cm, tal como se establece en la norma ANSI Z535.1.-1991 sobre código de colores y señalización por riesgos físicos en equipos.

A continuación se presentan los posibles riesgos así como la señal de prevención correspondiente.

Tabla XXIX. **Riesgos en equipo**

Riesgo	Descripción	Señalización
Quemaduras	La planta de generación alcanza temperaturas de hasta 300 grados centígrados en su superficie	
Lesiones auditivas	En operación la planta de generación supera los 90 decibeles	
Choque eléctrico	Los bombas y el compresor cuentan cables expuestos de la acometida central	
Equipo en movimiento	Los equipos de condensado cuentan con ventiladores de aspas expuestas	
Material inflamable	El deposito semi-elevado de combustible representa un riesgo de incendio	

Fuente: elaboración propia, con programa MS Visio.

2.2.9.2. Acondicionamiento cromático

En su forma más general el acondicionamiento cromático del equipo como función del mantenimiento se refiere principalmente a la franja de seguridad dentro de los equipos estacionarios, así como a la coloración apropiada de cada tubería.

Para este caso concreto los equipos que deben contar con la franja de seguridad reglamentaria, son la planta de generación, y los equipos de aire acondicionado ubicado dentro en la azotea del hospital. Se seleccionaron principalmente estos equipos debido a que son los que enfrentan tránsito directo de personal tanto técnico como personal de limpieza. Dicha franja de seguridad debe cumplir con especificaciones generales tales como un ancho de 15 cm, 20 cm de separación del equipo y ser color rojo o amarillo intercalado con negro.

Para el caso de las tuberías, el acondicionamiento cromático aplica principalmente al equipo hidráulico, en el cual al ser agua potable lo que se transporta, estas deben de contar con una coloración verde o azul oscuro.

Dicho acondicionamiento está regulado, al igual que la señalización por la norma ANSI Z535.1.-1991.

2.2.9.3. Protección personal

Los equipos de protección personal son considerados el último recurso dentro de las medidas de protección, es decir únicamente se emplean en caso en que no pueda eliminarse el riesgo por cualquier otro medio. El equipo de protección elemental para los procedimientos de mantenimiento sugeridos al equipo requieren un equipo de protección personal básico, pero que puede prevenir incidentes así como proteger la integridad del personal.

El equipo a considerar es: guantes protectores principalmente para el trabajo con equipo de altas o bajas temperaturas, tales como la planta de generación o los aires acondicionados, gafas protectoras para prevenir el ingreso de cualquier partícula a los ojos, protección auditiva en caso de

permanencia extendida a equipos en funcionamiento, casco y calzado de seguridad para la prevención de golpes externos o la caída de objetos pesados en los pies.

Tabla XXX. **Equipo de protección personal**

Equipo	Prevención	Especificaciones
Guantes para trabajo en frío	Protección a bajas temperaturas	Guante recubierto de PVC flexible especial para bajas temperaturas. Exterior rugoso y antideslizante.
Guantes para trabajo en caliente	Protección para trabajos en alta temperatura	Guante de cuero con capas de aislante de lona o algodón. Para trabajos de 50 a 200 grados centígrados.
Gafas protectoras	Protección contra salpicaduras o partículas externas en los ojos	Lentes ajustables de policarbonato con protección anti ralladura y esmalte anti-empañó.
Protección auditiva	Exposición continua a ruido de más de 90 decibeles	Tapones auto expandibles de goma hipo alergénica.
Casco de seguridad	Protección contra golpes en la zona craneana.	Casco liviano fabricado en pvc, con arnés ajustable, no conductor de electricidad.

Continuación de la tabla XXX.

Calzado industrial	Protección contra caída de objetos pesados y alta tensión	Suela de pvc no conductora, cobertura tipo bota y punta metálica.
---------------------------	---	---

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE AHORRO EN ENERGÍA ELÉCTRICA

Debido a la naturaleza de las instituciones hospitalarias, la energía eléctrica se vuelve un insumo indispensable ya que la mayor parte del equipo médico y de funcionamiento dentro del hospital funciona con base de electricidad. Como consecuencia, importantes cantidades de dinero se desembolsan mes a mes dentro de gastos de operación por concepto de energía eléctrica. A continuación se presenta la clasificación correspondiente al gasto así como una propuesta para la reducción dentro del gasto energético.

3.1. Diagnóstico en el consumo energía eléctrica

Para establecer una relación dentro del consumo se analizó según la disposición de las acometidas de energía eléctrica y los datos medidos mediante un potenciómetro dentro del período junio - diciembre 2011. Las acometidas de energía eléctrica respondieron a una distribución por nivel y no por equipo o función como inicialmente se planteó, pero el análisis de tendencia en el consumo por nivel constituye un indicador claro de cuáles son las áreas de más consumo y como consecuencia que equipos existentes en dicha área son los responsables de dicho gasto.

3.1.1. Análisis de Pareto áreas de consumo

Los registros del análisis realizado con un potenciómetro muestran los siguientes consumos promedio de Kilowatt hora por acometida eléctrica para cada una de las áreas del hospital central. De igual manera se muestran los

porcentajes de proporción de consumo para determinar qué área consume en mayor proporción y con base a ello determinar cuáles son las acciones preventivas de reducción de consumo más apropiadas.

Tabla XXXI. **Proporción del consumo de energía eléctrica**

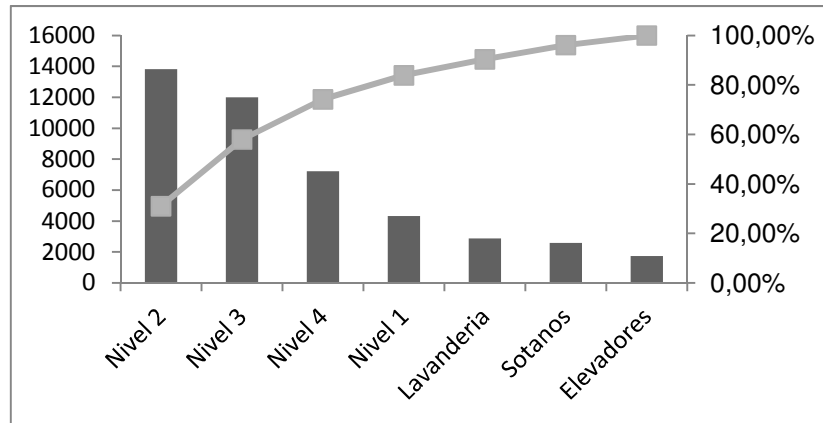
Área	Consumo KWh	% de uso
Sótanos	2 577,6	7,45 %
Primer nivel	4 320	12,49 %
Segundo nivel	13 820	39,94 %
Tercer nivel	1 200	3,47 %
Cuarto nivel	7 224	20,88 %
Lavandería	2 880	8,32 %
Elevadores	2 577,6	7,45 %
Totales	34 599,2	100 %

Fuente: elaboración propia.

Según el análisis de Pareto pocas causas ocasionan un alto nivel de impacto, por lo que mediante la proporción mostrada en la tabla anterior, se puede determinar cuál de los niveles cuenta con mayor nivel de consumo y con base a ello establecer cuáles son los equipos con mayores niveles de consumo.

Con base en el gráfico puede establecerse que alrededor del 40 % del consumo energético dentro del hospital central proviene del segundo nivel. Para el análisis completo del consumo de energía, se determinará con qué tipo de equipo se cuenta en cada nivel así como los niveles de consumo que estos puedan generar.

Figura 36. **Gráfico de Pareto, análisis de consumo**



Fuente: elaboración propia.

La distribución de funciones del hospital según los niveles analizados se divide de la siguiente forma:

Tabla XXXII. **Consumo por nivel y área**

Área		Consumo (KWh)
Sótanos		2 577,6
Primer nivel	Farmacia	4 320
	Caja	
	Banco	
	Archivo	
	Laboratorio	
	Tienda	
Segundo nivel	Baño	13 820
	Clínicas	
	Oficinas	
	Comedor	
	Imagenología	

Continuación de la tabla XXXII.

Tercer Nivel	Clínica	1 200
	Encamamiento	
	Bodega	
	Cocina	
	Informática	
	Oficinas	
	Baños	
Cuarto Nivel	Quirófanos	7 224
	Central de equipo	
	Salas de espera	
Lavandería		2 880
Elevadores		1 728
Totales		33 749,6

Fuente: elaboración propia.

Según la distribución anterior, la mayor parte del consumo de energía eléctrica se encuentra limitado al segundo nivel del edificio del hospital central, esto puede deberse en su mayor parte a que dentro del segundo nivel se encuentran la mayor parte de las clínicas así como la central de imagenología. En su mayor parte, con el equipo de imagenología no pueden realizarse cambios ya que el funcionamiento del equipo requiere gran cantidad de energía eléctrica, el principal aspecto a tomar en cuenta dentro de la propuesta del ahorro será la iluminación, desde una perspectiva general para todos los niveles.

3.1.2. Necesidad de ahorro energético

Dentro de los gastos de operación, la energía eléctrica representa un gasto significativamente alto, ya que los costos nominales de generación y

transporte se han incrementado de forma pronunciada en los períodos junio 2011 a agosto 2012.

Debido a que el hospital se encuentra actualmente dentro de un proceso de expansión, se preveé que las tasas de consumo de energía eléctrica se incrementen de forma exponencial por lo que la aplicación de las técnicas de ahorro de energía se presenta como una opción viable con objetivos de disminuir los gastos de operación y como consecuencia incrementar o en su defecto mantener la productividad total del hospital como institución. Cabe mencionar que ninguno de los cambios propuestos deberá afectar de forma negativa ninguna de las acciones que se den dentro del hospital.

3.1.3. Evaluación directa de las instalaciones

Para determinar las fuentes de consumo sumado al análisis de consumo de equipo realizado en el capítulo anterior, se determinó que se deben realizar procedimientos de evaluación directa de las instalaciones, encontrando las siguientes características según el nivel dentro del edificio correspondiente. Para el sótano 3, el nivel más bajo dentro del edificio las fuentes de consumo están constituidas por las bombas hidráulicas de abastecimiento para agua potable, el sistema de bombeo de aguas servidas, y la iluminación. Dentro del sótano 2, la única unidad de consumo es la iluminación, mientras que en el sótano 1 se cuenta con el sistema de ingreso de parqueos, la bomba de vacío, el sistema gases médicos.

Un aspecto particular sobre el consumo energético en los 3 niveles del sótano, es que debido a su ubicación debajo del nivel del suelo el aprovechamiento de la luz solar no es viable, por lo que la iluminación artificial se mantiene las 24 horas mediante lámparas incandescentes de 150 watts.

Los primeros tres niveles cuentan con iluminación con base a lámparas fluorescentes básicamente de 3 tipos, lámparas de tubo fluorescentes de 40 watts y de 17 watts, así como lámparas de iluminación directa de 60 watts. Este modelo de iluminación se repite en todos los niveles del hospital con excepción de los quirófanos. Se cuenta con equipo de entretenimiento para las líneas de espera, equipo de cómputo, y equipo de comunicación así como equipo médico que puede representar una fuente de consumo de energía dependiendo básicamente del uso que se a los mismos.

Las principales acciones a tomar en cuenta para establecer las políticas de ahorro de energía son la iluminación (tanto en su potencia de instalación como en el tiempo de encendido) y el uso apropiado de otros equipos de modo que se aproveche en su totalidad cada ciclo de trabajo, esto sin considerar el equipo de uso médico.

3.1.4. Visitas de verificación

Durante las visitas de verificación efectuadas nivel por nivel y sección por sección dentro del hospital central se observaron las siguientes fuentes de consumo según una clasificación definida en iluminación, equipo de cómputo, comunicación, entretenimiento y otros.

3.1.4.1. Primer nivel

Dentro del primer nivel por concepto de iluminación se encontraron 48 lámparas de 4 tubos y de 32 watts cada uno, 42 lámparas de 4 tubos y 17 watts cada una, y finalmente por concepto de iluminación directa se encuentran 38 lámparas de iluminación directa de 60 watts.

Se cuenta con aproximadamente 16 equipos de cómputo de escritorio de uso regular en promedio un equipo de cómputo de escritorio cuenta con una tasa de consumo de 0,1 Kwatts, 2 sets de televisión de plasma con un consumo aproximado de 0.5 Kwatts cada uno, así como equipo de análisis de laboratorio de consumo variado.

Además se cuenta con equipo de aire acondicionado, con funcionamiento continuo con tasas de consumo mostradas dentro del capítulo anterior.

3.1.4.2. Segundo nivel

Dentro del segundo nivel se cuentan con un total de 108 lámparas de 4 tubos fluorescentes de 40 watts cada una, 20 lámparas de 4 tubos fluorescentes de 17 watts cada una y 41 lámparas de iluminación directa de 60 watts cada una. Se cuenta con 3 televisores plasma como parte del equipo de entretenimiento con un consumo sugerido por el fabricante de 0.5 Kwatts. Como parte del equipo de cómputo se cuenta aproximadamente con 11 computadoras de escritorio, las cuales muestran un consumo promedio de 0.1 Kwatts por unidad.

Cabe mencionar que el mayor consumo se da dentro del segundo nivel debido a que dentro de esta acometida se encuentran cargadas todos los consumos por conceptos de imagenología, es decir ultrasonidos, rayos x, mamografías, densitometrías óseas etc. Por lo cual la tasa de consumo es notablemente más alta, ya que la mayor parte del equipo de esta naturaleza presentan consumos bastante elevados.

3.1.4.3. Tercer nivel

Para el tercer nivel los consumos por conceptos de iluminación se dividen en la siguiente manera, se cuenta con 65 lámparas de 4 tubos fluorescentes de 40 watts cada una, se cuentan con 34 lámparas de 4 tubos fluorescentes con una potencia de 17 watts, y se cuentan con 10 lámparas de iluminación directa. Dentro de la clasificación de entretenimiento se cuenta con un máximo de 10 televisores plasma, las cuales muestran un consumo promedio de alrededor de 0.5 Kwatts cada una.

Dentro del equipo de cómputo que se encuentra dentro del tercer nivel además de las computadoras de escritorio regulares son los servidores y la planta telefónica por lo que nuevamente los consumos por equipo de cómputo tienden a ser más altos que en los niveles restantes. Dentro de dicho nivel se cuenta con un total de 11 computadoras.

3.1.4.4. Cuarto nivel

Dentro del cuarto nivel fuentes de consumo por iluminación se clasifican de la siguiente manera, 59 lámparas de 4 tubos fluorescentes de 32 watts cada uno, 51 lámparas de 4 tubos y 17 watts cada una y 9 lámparas de iluminación directa de 60 watts. Por concepto de entretenimiento se cuenta únicamente con 1 televisor plasma con consumo promedio de watts. Por comunicación se cuenta con una terminal de red de menor tamaño que los servidores generales pero con un consumo más alto que por equipo de cómputo normal. Sumado a eso se cuentan con 3 computadores de uso constante. Considerando únicamente esos factores, el consumo es menor que en los niveles anteriores pero dentro del cuarto nivel se cuenta con la central de equipos, en la cual los equipos de esterilización se encuentran en servicio.

3.1.4.5. Lavandería

Dentro del funcionamiento de la lavandería, se encuentran en operación 3 lavadoras industriales marca Pellerin Milnor, 2 de 50 libras y una de 55 libras. Con una potencia estimada de 15 caballos de fuerza (aproximadamente 12 Kwatts). Complementando el equipo de lavado se encuentra 2 secadores industriales marca Pellerin Milnor de ciclos continuos. Además de una secadora híbrida de gas y electricidad. Los ciclos de trabajo del equipo son continuos con una duración de aproximada de 2 horas por ciclo de lavado.

La central de lavandería cuenta con una máquina de planchado, que no está en servicio, su iluminación se basa en 3 lámparas de 4 tubos de 32 watts cada uno.

3.1.4.6. Sótanos

Las tasas de consumo de los sótanos, se limitan a iluminación y al servicio de las bombas de abastecimiento de agua, la fosa séptica y la iluminación. Los 3 sótanos están iluminados por un total de 34 lámparas incandescentes las cuales muestran una potencia de fábrica de 150 watts. Fuentes de consumo adicionales dentro del área de sótanos son la bomba de vacío, el sistema de parqueos y los sistemas de bombeo hidroneumáticos.

Para el caso de sistemas hidroneumáticos, las tasas de consumo y los procedimientos de mantenimiento para incrementar su rendimiento son incluidos en el capítulo anterior.

3.1.4.7. Elevadores

El gasto energético originado por los elevadores no se le puede asignar a ningún nivel en particular, ya que los 3 elevadores existentes no se encuentran al servicio de ningún nivel en específico, pero si cuentan con una acometida eléctrica central que rige tanto el elevador personal, el elevador de emergencias y el elevador de archivo.

Por lo que el consumo unitario variará con respecto a cada elevador, pero puede considerarse como una única fuente de consumo que se rige mediante su caja de interruptores separada.

3.1.5. Revisión del equipo

En su forma general las revisiones son intervenciones directas que se realizan dentro del equipo con el objetivo de confirmar cualquier anomalía que se registre durante las visitas de verificación. Para ser consideradas como revisión, se deberá analizar la condición del equipo así como poder reparar las anomalías encontradas y sustituir piezas sujetas a desgaste por uso en caso de ser necesario.

Para el área de los sótanos se determinó que por parte del equipo de iluminación se encuentran 4 luminarias fuera de funcionamiento, estando 3 de estas dentro del sótano 3 y una última dentro del sótano 1. Cabe mencionar que dentro de las luminarias analizadas para los sótanos la mayor parte se encuentran controladas mediante interruptores comunes, por lo cual el control separado de cada una de las luminarias no es viable.

Para el caso de los 3 primeros niveles dentro del hospital central, el control de la iluminación responde a interruptores comunes, razón por la cual la iluminación por sector no es completamente viable. Un aspecto particular del cuarto nivel, es que es la única área, debido a la disposición del edificio en la cual la luz solar puede utilizarse con propósitos de iluminación dentro de una de las salas de espera.

Un aspecto importante a mencionar es que la iluminación dentro de los 4 niveles en lámparas de tubos fluorescentes se reducen a 2 para evitar consumo excesivo en áreas en las cuales la iluminación crítica no es necesaria, tal es el caso de salas de espera y corredores. Este aspecto también incide dentro del *stock* de repuestos y reposiciones de insumos lo cual a su vez impacta de forma directa dentro de los costos por compras directas.

Para el caso de los quirófanos, el tipo de trabajo realizado es considerado como de alta precisión, razón por la cual la iluminación debe ser consecuente con dicha tarea. Se cuenta con un total de 16 lámparas de 32 watts y 6 500 candelas (unidad lumínica por metro cuadrado) por lo que la iluminación cumple con lo normado para tareas de alta precisión.

Para el caso de los elevadores, los consumos dependen directamente del número de ciclos de trabajo por lo que los consumos varían. La lavandería muestra un consumo relativamente bajo en energía eléctrica, esto se debe a que únicamente 1 lavadora industrial se encuentra en condiciones operativas de 3 que se encuentran disponibles.

El único punto deficiente dentro de la iluminación en el hospital central es la falta de luces de emergencia de activación automática, para las gradas que comunican todos los niveles del hospital. Esto constituye un riesgo permanente

en caso de que por algún motivo la planta de generación no inicie y se deban utilizar las gradas. La iluminación natural es bastante escasa en dichos casos por lo cual siempre existe el riesgo de sufrir una caída tanto en el ascenso como en descenso.

3.1.6. Estrategias de mejora

Con base a las revisiones y vistas de verificación se establecen 2 tipos de estrategias a tomar en cuenta para mejorar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica. Estas estarán enfocadas a la iluminación ya que los procedimientos de rendimiento en el equipo así como los consumos y las acciones de mantenimiento están descritas dentro de la fase técnico profesional.

El propósito de la iluminación dentro de la infraestructura de cualquier edificación es la de crear las condiciones apropiadas, para realizar las actividades diarias por lo que con los cambios propuestos no se debe disminuir la calidad de iluminación al punto de que perjudique las actividades. Por lo que la reducción dentro de los consumos por iluminación deberá limitarse a las áreas de actividades poco precisas tales como salas de espera, corredores, parqueos etc.

Como complemento se deberán implementar prácticas de buen uso tales como el apagado de las luces que no se encuentren en servicio, así como la limpieza de reflectores y lámparas para evitar que se absorba energía adicional o que la luz no se refleje de la forma adecuada. Las instalaciones del hospital ya cuentan con colores de alta reflectividad, por lo que el rediseño de la pintura no será necesario.

Otro aspecto a considerar en forma tentativa, es el cambio de las actuales luminarias fluorescentes a luminarias LED con el análisis costo beneficio respectivo, en el cual se analice tanto la inversión inicial que representa como la duración y los costos de instalación en caso de que los mismos existan.

3.1.7. Medición de indicadores preliminares

Dentro de los procedimientos de medición de consumo se establecerán principalmente 2 indicadores de consumo, la relación existente entre el número de kilowatts hora consumidos por persona al considerar un promedio de todo el consumo en el intervalo junio – diciembre 2011, y para el caso particular de la iluminación se calculará con base al potencial de cada lámpara con relación a los metros cuadrados de iluminación.

3.1.7.1. Indicador 1: consumo por persona

Para establecer las tasas de consumo por persona como indicador provisional se considerará el consumo registrado en cada uno de los niveles dentro del intervalo de junio-diciembre 2011. La relación se establecerá con base al total de personas tanto operativas como administrativas que se encuentran dentro del hospital distribuidas a lo largo del edificio del hospital central así como el consumo total que se muestra por áreas.

El total de consumo registrado dentro de dicho intervalo, es de aproximadamente 33750 KWh contando con un total de 212 personas en servicio, incluyendo todas las posiciones (médicos, enfermeras, doctores, cajeros etc.). Dicha relación, se considerará únicamente para personal fijo, ya que dicho gasto en energía eléctrica responde en su mayoría que el equipo utilizado dentro del hospital es para cubrir la necesidades de los pacientes, por

lo que se establecerán 2 relaciones: la primera es la de consumo por persona empleada y el consumo por paciente atendido.

La primera relación se desglosa de la siguiente manera:

$$\text{Consumo por personal} = \frac{\text{Consumo total}}{\text{Personal total}}$$

$$\text{Consumo por personal} = \frac{3\,3750 \text{ KWh}}{202 \text{ personas}}$$

$$\text{Consumo por personal} = 167,07 \frac{\text{KWh}}{\text{persona}}$$

Dicho valor considera únicamente el personal fijo dentro del hospital, por lo que el valor nominal de 167,07 KWh/persona es relativamente alto para consumo personal pero se ve compensado al realizar la relación de consumo promedio dentro de pacientes atendidos.

3.1.7.2. Indicador 2: iluminación

El segundo caso corresponderá a, el total de consumo por iluminación mediante el cual se establecerá la relación entre el total de potencia de consumo teórico del equipo utilizado para la iluminación, sin considerar el área de quirófanos, debido a que la iluminación es intermitente, y el área que se encuentra sujeta a la iluminación según la disposición de planos del edificio.

La distribución de las áreas y potencia de iluminación se describe en la tabla a continuación.

Tabla XXXIII. **Potencia en iluminación por metro cuadrado según nivel**

Área	Potencia	Superficie	KW/metro cuadrado
Sótanos 1-3	5,1	2 310	0,002207792
Primer nivel	11,28	770	0,014649351
Segundo nivel	17,644	770	0,022914286
Tercer nivel	11,232	770	0,014587013
Cuarto nivel	11,56	770	0,015012987
Promedio			0,013874286

Fuente: elaboración propia.

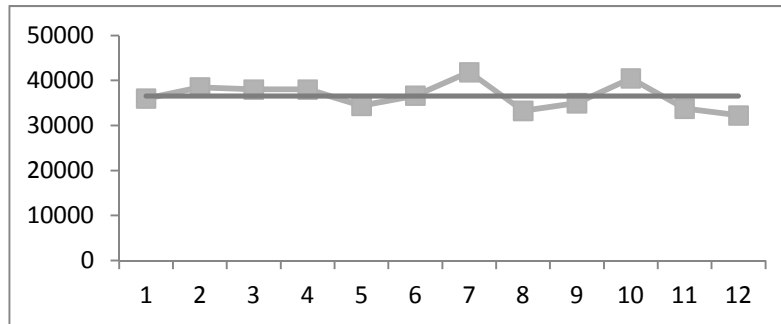
En promedio dicho cuadro muestra que la tasa de consumo por metro cuadrado dentro de iluminación es de aproximadamente 0.014 Kh/m², considerando la totalidad de área superficial dentro de todos los niveles del hospital, considerando los 3 sótanos y los 4 niveles de trabajo. Uno de los objetivos de la propuesta para la reducción de consumo, es disminuir la potencia de consumo sin comprometer de ninguna manera el nivel de iluminación.

3.1.8. Balance en energía eléctrica

El concepto de balance de energía para los análisis de consumo se refiere a la relación que existe dentro de la energía eléctrica consumida y la energía eléctrica adquirida para el uso regular. Dicho balance depende en su mayoría del uso que se le asigne a cada una de las terminales eléctricas separadas del uso por iluminación, equipo de cómputo, equipo médico, u otros equipos.

El análisis histórico de los registros de energía eléctrica muestra un total de consumo que aproxima los 36 000 KWh.

Figura 37. **Consumo energético KWh**



Fuente: elaboración propia.

De los datos preliminares medidos se obtuvo el consumo sectorizado que se muestra a continuación:

Tabla XXXIV. **Consumo sectorizado**

Área	Consumo KWh
Sótanos	2 577,6
Primer nivel	4 320
Segundo nivel	13 820
Tercer nivel	1 200
Cuarto nivel	7 224
Lavandería	2 880
Elevadores	2 577,6
Totales	34 599,2

Fuente: elaboración propia.

Según los registros analizados se puede apreciar un aumento significativo dentro del consumo respecto al semestre inmediato anterior, el crecimiento, respecto al promedio fue de aproximadamente 1 400 KWh, el cual puede atribuirse a funciones adicionales dentro de los equipos de cómputo tales como sistemas de audio, microondas, y refrigeradores de uso doméstico, cargadores

de teléfono máquinas herramientas eléctricas utilizadas dentro del área técnica entre otras.

3.2. Situación actual

El análisis anterior muestra la clasificación y el gasto energético en su forma general así como su clasificación con relación al nivel del edificio dentro del hospital central. Como se describió, las principales acciones a tomar en cuenta para la reducción del consumo dentro de energía eléctrica están dirigidas a consumos por iluminación así como uso apropiado del equipo dentro de las áreas de lavandería y central de equipo.

3.2.1. Clasificación de consumo

Con el objetivo de tener una idea clara de los impactos de consumo la clasificación se dará con base a 4 rubros principales que son: iluminación, cómputo, entretenimiento y otros consumos.

Por iluminación se consideraron todas las luminarias existentes que se encuentran en servicio. Por equipo de cómputo se incluyeron computadoras de escritorio, portátiles así como servidores de telefonía y de sistema que se encuentran en servicio, por entretenimiento, los equipos de televisión en servicio dentro del edificio, finalmente dentro del rubro de otros consumos se contabilizaron equipos de consumo tanto continuos como intermitentes, tales como equipos de refrigeración, lavadoras y secadoras industriales, así como el calentador de agua.

3.2.1.1. Consumo por iluminación

Como se mencionó por concepto de iluminación se consideraron todas las luminarias en servicio dentro de todos los 7 niveles en el hospital. (Sótanos 1-3, niveles 1 -4). El número de luminarias totales dentro de cada nivel, adicionando el número total de horas que se encuentran en servicio dichas luminarias.

Tabla XXXV. Consumo por iluminación

Área	Focos	Lamp.	Potencia (Kwatts)	Horas de servicio	KWh
Sótanos	1	34	0,15	24	3 672
Nivel 1	4	48	0,032	12	2 212
	4	42	0,017	12	1 028
	1	38	0,06	12	820,8
Nivel 2	4	108	0,032	12	4 977
	4	20	0,017	12	489,6
	1	41	0,06	12	885,6
Nivel 3	4	65	0,032	12	2 995
	4	34	0,017	12	832,3
	1	10	0,06	12	216
Nivel 4	4	59	0,032	12	2 719
	4	51	0,017	12	1 248
	1	9	0,06	12	194,4
Total					22 290

Fuente: elaboración propia.

El total mostrado para los valores de consumo responde a los siguientes lineamientos:

$$\text{Total de consumo} = (\text{horas}) (\text{potencia}) (30)$$

Para los casos mostrados, las horas se aproximaron en 12 horas de servicio para las luminarias para los 4 niveles regulares, mientras que para los 3 niveles correspondientes a los sótanos el tiempo en servicio es de 24 horas debido a que el sistema de iluminación con el cual se cuenta permanece encendido todo el tiempo. El 30 como valor constante dentro de la ecuación, está definido por el parámetro de cobro de la empresa eléctrica referido a los 30 días de servicio.

Considerando el costo del KWh promedio de los datos analizados, el gasto correspondiente a energía eléctrica únicamente por concepto de iluminación puede estimarse en la siguiente forma:

$$\text{Precio Total} = (\text{total KWh})(\text{Precio unitario})(30)$$

El costo total será considerado con base a la distribución de cada nivel, por lo que se consideraron los costos totales de iluminación dentro de cada nivel así como el costo total.

Tabla XXXVI. **Costos de iluminación**

Área	Totales (KWh)	Precio unitario (Q/KWh)	Total parcial
Sótanos	3 672	1,65	6 058,80
Nivel 1	4 060,8	1,65	6 700,32
Nivel 2	6 352,2	1,65	10 481,13
Nivel 3	4 043 3	1,65	6 671,44
Nivel 4	4161,4	1,65	6 866,31
Totales			36 778,01

Fuente: elaboración propia.

Con base a la tabla mostrada, puede establecerse que el desembolso total por iluminación dentro del hospital asciende aproximadamente a Q. 36 778,00. Las relaciones de los consumos de iluminación, son: sótanos 16,47 por ciento, primer nivel 18,22 por ciento, segundo nivel 28,50 por ciento, tercer nivel 18,14 por ciento, cuarto nivel 18,47 por ciento. Con base a esto se puede determinar que una de las necesidades primarias de ahorro, lo constituye el área de sótanos, ya que cuenta significativamente con menos luminarias y un consumo similar al del resto de niveles.

3.2.1.2. Consumo por equipo de cómputo

Dentro del equipo de cómputo se consideran equipos tales como, computadores tanto de escritorio como portátil, equipos de impresión y de comunicación en red. Probablemente la fuente más alta de consumo dentro de dicho rubro, está representado por los servidores tanto de sistema operativo como de telefonía.

Para dicha clasificación nuevamente se analizará el edificio completo basado en el equipo que se encuentra en servicio. El equipo de cómputo está conformado por un total de 37 computadoras, mediante las cuales se realizan tanto las funciones administrativas como de cobro dentro de los sistemas de líneas de espera.

Los tiempos de servicio para el caso de los servidores se establecieron como de 24 horas debido a que estos se encuentran en funcionamiento de forma ininterrumpida ya que cuentan con el software de cobro, admisiones y parqueo.

Tabla XXXVII. **Consumos por equipo de cómputo**

Equipo	Cantidad	Consumo (Kwatt)	Horas de servicio	KWh
Servidores	2	3	24	144
PC	38	0,1	12	45,6
Totales				189,6

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de las computadoras se estimó un tiempo en funcionamiento aproximado de 12 horas, en un intervalo 6 a 18 horas. Con base a la proyección de costos, estimando el precio del KWh en alrededor de Q 1.65, por lo que el costo estimado con base al consumo de equipo de cómputo se aproxima a:

$$\text{Costo total} = (\text{Precio KWh})(\text{KWh totales})(30)$$

$$\text{Costo total} = (1,65 \frac{\text{Q}}{\text{KWh}})(189,6 \text{ KWh})$$

$$\text{Costo total} = \text{Q } 9 \text{ 385,20}$$

3.2.1.3. Consumo por comunicación

Dentro del rubro de consumo por comunicación se encuentra el funcionamiento de la planta de telefonía así como el conjunto de servidores de telefonía de IP que se encuentra en servicio. Adicional a eso se cuenta con un *router* de telefonía así como cableado de línea óptica mediante el cual se

abastecen los distintos puntos de red. Cabe mencionar que los consumos por dicho equipo son relativamente bajos.

El equipo con el cual se cuenta en dichos casos son:

Router de telefonía

Plantas telefónicas

El consumo para dicho equipo, se estima según la potencia de trabajo respectiva de la siguiente forma:

Tabla XXXVIII. **Consumo por comunicación**

Equipo	Existencia	Consumo (KW)	Tiempo (horas)	KWh
Planta	1	2	24	48
Routers	4	0,8	24	76,8
Total				124,8

Fuente: elaboración propia.

El total de horas computadas tanto para la planta de telefonía como para los *router* de comunicación, se mantiene en 24 horas ya que los sistemas de comunicación son necesarios dentro de las operaciones del hospital. El costo total por equipo de comunicación se estima en:

$$\text{Costo total} = (1,65 \frac{\text{Q}}{\text{KWh}})(124,8 \text{ KWh})(30)$$

$$\text{Costo total} = \text{Q } 6 \text{ 177,6}$$

3.2.1.4. Consumo por entretenimiento

El concepto de consumo por entretenimiento se limita a los equipos de televisión que se encuentran dentro de las salas de espera, el consumo de dichos equipos de televisión es de aproximadamente 500 watts.

Tabla XXXIX. Consumo por entretenimiento

Equipo	Existencia	Consumo (KW)	Tiempo (horas)	KWh
Tv Plasma	5	0,5	11	30
Totales				30

Fuente: elaboración propia.

El total de horas de consumo se estima en 11 horas desde el inicio de operaciones, 6 am, hasta el fin de la consulta externa alrededor de 5 pm. Con base a la misma tasa de consumo se estima que los gastos mensuales por concepto de entretenimiento se dan:

$$\text{Costo total} = (1,65 \frac{Q}{\text{KWh}})(30\text{KWh})(30)$$

$$\text{Costo total} = Q1\ 485,00$$

3.2.1.5. Otros consumos

Dentro del total de otros consumos se consideraron: equipo con gastos considerables de energía tales como lavadoras y secadoras industriales en servicio dentro del hospital, así como equipos de refrigeración adicionales tales como refrigeradores y enfriadores en servicio de cafetería, bodega y laboratorio.

Se cuenta también con equipos de calefacción tales como lo son: hornillas eléctricas y microondas que permanecen en servicio por tiempo continuo. El equipo en servicio es:

Tabla XL. **Consumos de equipo adicional**

Equipo	N	Consumo (Kilowatts)	Tiempo (horas)	KWh
Lavadora Industrial	1	5	10	50
Secadora	2	1,7	10	34
Refrigeradores	6	2,23	24	321,12
Enfriadores	4	1,5	24	144
Microondas	3	0,1	24	7,2
Totales				556,32

Fuente: elaboración propia.

La estimación del costo total de estos otros consumos adicionales se basa en el mismo mecanismo, en el cual considera los 30 días de servicio continuo.

El costo estimado se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Costo total} = \left(1,65 \frac{Q}{\text{KWh}}\right)(556,32\text{KWh})(30)$$

$$\text{Costo total} = Q 27 537,84$$

3.2.1.6. Consumos totales

Según la proyección realizada sobre el costo del KWh de energía eléctrica puede establecerse un resumen de costos y con base a los rubros de energía eléctrica y los registros históricos de consumo es posible determinar aproximadamente el gasto en equipo médico. Cabe mencionar que para el cálculo de dicho gasto, es necesario incluir dentro de los resúmenes de costos el consumo del equipo térmico, hidráulico y neumático analizado dentro del capítulo anterior.

Tabla XLI. **Resumen de consumos**

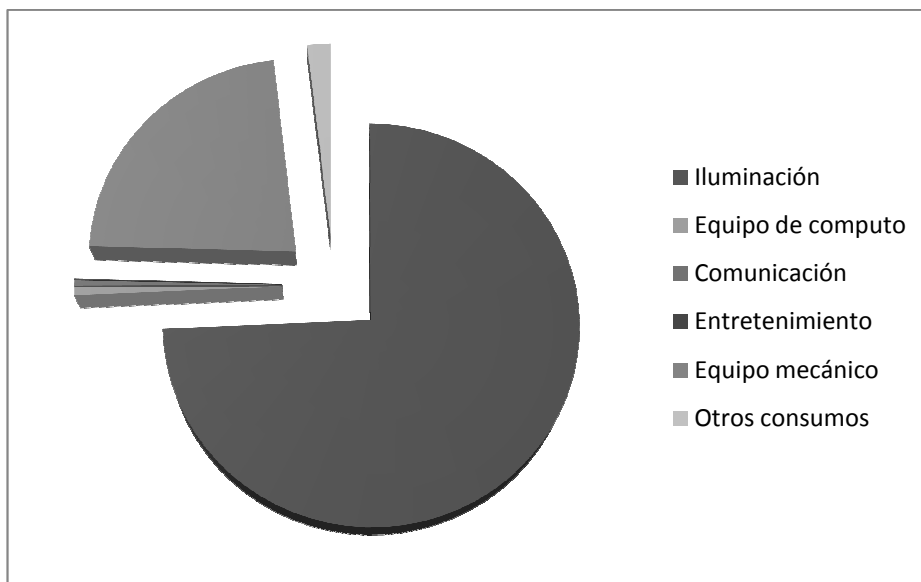
Categoría	Consumo (KWh)	Gasto
Iluminación	2 2290	36 778,00
Equipo de computo	189,6	9 385,20
Comunicación	124,8	6 177,60
Entretenimiento	30	1 485,00
Equipo mecánico	6 809,49	11 235,7
Otros consumos	556,32	27 537,84
Totales	30 000,21	92 599,3

Fuente: elaboración propia.

A partir del consumo histórico que en promedio se mantienen en alrededor de 34 000 KWh, la diferencia de aproximadamente 4 000 KWh puede atribuirse al equipo médico en servicio el cual no cuenta con ningún patrón de funcionamiento regular, así como a equipo adicional tal como elevadores, soldadores, taladros, pulidoras que nuevamente no cuenta con algún parámetro regular de funcionamiento. Dicho consumo no clasificado representa un valor que oscila entre Q. 4 000,00 y Q 6 000,00.

Según el cuadro anterior se puede establecer que alrededor del 70 % de los consumos de energía eléctrica corresponden a iluminación, la proporción se muestra a continuación:

Figura 38. **Proporción de consumo**



Fuente: elaboración propia.

3.3. **Planeación de métodos de ahorro**

La principal propuesta con respecto a los métodos de ahorro se ven dirigidas al sistema de iluminación, ya que este representa como se mencionó aproximadamente el 75 % de los consumos totales y un costo estimado en alrededor de Q. 36 000,00. Un aspecto importante a mencionar es que las acciones dirigidas a la reducción de consumo, no deben comprometer la calidad de la iluminación con la que se cuenta. Por lo que se deberá de determinar en qué puntos es factible la reducción de las luminarias ya

existentes así como otros recursos de uso y en qué punto es posible que se utilicen otro tipo de luminarias que mantengan el nivel de iluminación pero con un consumo menor.

3.3.1. Medición de indicadores de control

Un indicador más real sobre el consumo, es la relación existente entre el promedio de pacientes atendidos en forma diaria y el consumo diario aproximado, dicho valor de KWh/persona constituye un valor mucho más representativo de la inversión neta sobre energía eléctrica se establece a base del total de pacientes admitidos dentro de dicho intervalo y realizando la misma relación de consumo por persona. Según mediciones realizadas sobre la tasa de llegada de pacientes, se estima un movimiento de pacientes que varía con respecto del área, pero sigue aproximadamente esta distribución:

Tabla XLII. **Demanda diaria promedio**

Área	Tasa de llegada promedio (pacientes/hora)	Promedio al día (pacientes)
Consulta externa	29,4	184
Imagenología	18,2	130
Laboratorio	14,4	150
Materno infantil	19	160
Totales	20,25	624

Fuente: elaboración propia.

Otro valor a considerar, como potencial fuente de consumo es el total de pacientes atendidos a base de cirugías tanto programadas como no programadas. Según registros analizados, en un intervalo de 6 meses se

realizaron aproximadamente 1 200 personas por lo que en promedio, con respecto al día-mes, se atendieron 6 pacientes diariamente. Considerando todos los accesos, en promedio toman los servicios del hospital alrededor de 630 pacientes.

Con base al promedio diario de pacientes el total de indicador de consumo puede calcularse a base de la siguiente relación:

$$\text{Consumo por persona} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Pacientes diarios}}$$

El consumo diario deberá incluir el total rubros de clasificación, tal es el caso de iluminación, entretenimiento, equipo mecánico, equipo de comunicación y adicionales, al considerar dichos consumo en forma diaria el total de KWh calculados (aproximadamente 30 000 de forma mensual, aproximadamente 1 000 diariamente). La relación de consumo resultante se calcula a continuación:

$$\text{Consumo por persona} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Pacientes diarios}}$$

$$\text{Consumo por persona} = \frac{1\ 000\ \text{KWh}}{630\ \text{Pacientes}}$$

$$\text{Consumo por persona} = 1,58 \frac{\text{KWh}}{\text{Paciente}}$$

Considerando este como el indicador principal, puede estimarse que el volumen de consumo energético por persona, tiende a incrementarse en gran medida debido al consumo por iluminación, el cual, según se calculó constituye prácticamente el 75 por ciento del consumo total.

La única desventaja que este indicador proporciona, es que es inversamente proporcional a la cantidad de pacientes razón por la cual cualquier fluctuación dentro del número de pacientes no se refleja de forma inmediata respecto al consumo por persona.

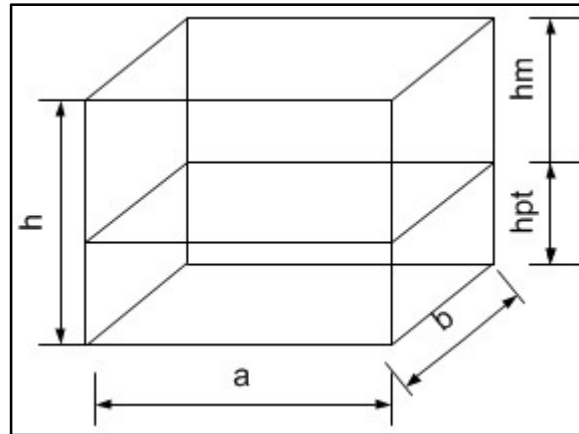
Un indicador igual de representativo sobre el consumo por concepto de iluminación por área de trabajo es el índice de utilización, para este caso en particular se considerará como una relación puramente dimensional entre la posición de la luminaria con respecto a la altura de las estaciones de trabajo y las dimensiones físicas de las estaciones de trabajo y los edificios.

La relación a considerar para dicho índice de utilización de iluminación es:

$$K_1 = (5)(h_m)\left(\frac{a+l}{al}\right)$$

En dicha relación, el 5 es un valor de constante nominal generado mediante la norma de iluminación. h_m es el valor resultante de la resta entre el total de altura suelo techo y la altura del suelo al área de trabajo promedio. Es decir $h_m = h - h_{pt}$. Los valores de a y l corresponde directamente a los planos del edificio.

Figura 39. Índice de utilización



Fuente: elaboración propia, con programa MS Visio.

Para el caso concreto del índice de utilización dentro de hospital central, solo se consideraron los niveles de trabajo, es decir, no se tomaron en cuenta los sótanos debido a que el plano de trabajo no cuenta con dimensiones definidas. Los niveles 1-4 cuentan básicamente con las mismas dimensiones con relación suelo techo, por lo que en su totalidad se consideraron como naves centrales sin divisiones debido a que los planos de trabajo son similares en todos los casos (altura de escritorios, puestos de caja, puestos de información, recepciones etc.)

El valor de dichos índices de iluminación varía con respecto a las dimensiones totales del área, por lo que se calculó de manera independiente para cada nivel, los valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XLIII. Índice de utilización

Nivel	a (m)	l (m)	h (m)	K ₁
1	24	41,6	3	0,657051
2	24	41,6	3	0,657051
3	24	38,1	3	0,679134
4	24	38,1	3	0,679134

Fuente: elaboración propia.

Con base en dicho índice de iluminación, puede estimarse que aproximadamente el 65 % de la luz se aprovecha en circunstancias normales considerando únicamente las dimensiones de las áreas de trabajo. Como se mencionó otros aspectos tales como la incidencia de la luz natural, la reflectividad de las paredes y principalmente la potencia de consumo de la luminaria.

3.3.2. Ineficiencia en el gasto energético

La eficiencia dentro de su forma más general está definida como el resultado aprovechable dentro del trabajo de un equipo, este puede considerarse como un análogo al rendimiento dentro de los equipos. Para este caso en concreto se refiere a que tan eficiente se presenta el uso de la energía eléctrica enfocado al rubro de iluminación, considerando aspectos tales como tipo, condición y distribución de las luminarias en servicio.

3.3.2.1. Tipo de luminarias

Con respecto al tipo de luminarias, dentro del servicio del hospital se encuentran básicamente 2 tipos, las de tipo incandescente, que son las que se encuentran en servicio dentro de los parqueos, y las de tipo fluorescente que se

encuentran para 32, 17 y 60 watts y son las encargadas de la iluminación a lo largo de los 4 niveles restantes dentro del edificio.

Existen básicamente 2 problemas con respecto al tipo de luminarias en servicio dentro del hospital central. El primero es la cantidad de consumo que representa las luminarias incandescentes en servicio dentro de los sótanos 1-3 debido principalmente a la continuidad en servicio.

El segundo problema es la limitada duración de dichas luminarias incandescentes el cual, según fabricante se aproxima a las 15,000 horas pero debido al uso continuo con el que cuenta representa cambios en alrededor de 1.71 años, es decir 1 año y 8 meses. Debido al tipo particular de luminaria en servicio (modelo F1315-MSCL), no se da la venta libre o por menudeo, por lo que al realizar un pedido causa costos más altos, así como posible acumulación dentro del inventario.

3.3.2.2. Condición de las luminarias

Dentro de los 3 tipos de luminarias existentes, se puede afirmar que las condiciones de trabajo de las mismas son bastante acertadas debido a que se cuenta con un *stock* amplio para el caso de las luminarias fluorescentes así como un control constante sobre cual se encuentra fuera de servicio. Los protectores tanto como los reflectores dentro de las luminarias cuentan con reflectividad apropiada que permite un aprovechamiento completo de la luz emitida.

Otro punto favorable es la coloración de las paredes, la cual permite reflectividad en un aproximado del 60-70 %. Debido al color celeste claro de la mayor parte de las paredes.

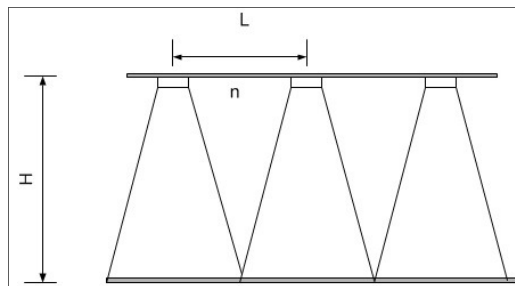
3.3.2.3. Distribución de las luminarias

La distribución óptima de las luminarias en servicio se considerará con base al Método de Cavidad Zonal, aunque cabe mencionar que la selección de este método estuvo limitada a la disposición actual de las lámparas, así como el sistema de cargadores en los cuales se encuentra instalada cada luminaria.

Para el caso de las luminarias del parqueo, el método es más limitante ya que la instalación de las luminarias es directa al techo, por lo que el margen de movimiento es mucho más reducido con relación a los niveles superiores.

Cabe mencionar que la necesidad de la iluminación dentro de las áreas de sótano tiene un nivel de prioridad bastante alto ya que corresponde al parqueo así como la entrada y salida de los elevadores.

Figura 40. Principios método de cavidad zonal



Fuente: elaboración propia, con programa MS Visio.

Otro aspecto importante a considerar dentro de los controles de iluminación, es que la mayor parte de las luminarias responden a interruptores comunes no por sectores por lo que por un mínimo requerimiento de iluminación en la mayor parte de los casos es necesario encender todas las

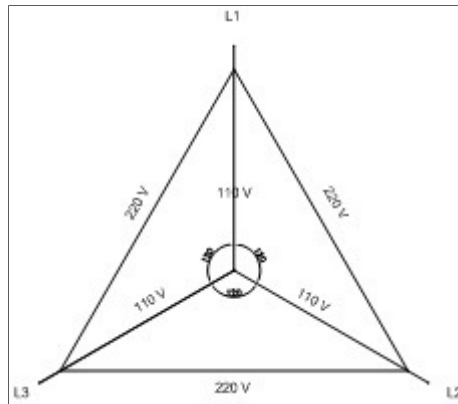
secciones. Tal es el caso de las áreas de parqueo y la iluminación de las áreas de espera con relación a la iluminación de los puestos de caja.

3.3.3. Servicio

El tipo de servicio requerido principalmente, para el equipo de iluminación es la de la limpieza de los cobertores y reflectores así como ocasionalmente el cambio de los balastos dentro de los tubos de iluminación fluorescentes. Dichas acciones se consideran tanto dentro del campo de las acciones correctivas como preventivas para el ahorro de consumo. Dentro del área de servicio también se deberá realizar rutinas de verificación dentro de los flipones y acometidas principales con el objetivo de garantizar que todos los contactos se encuentran aterrizados de forma adecuada y evitar de esa forma caídas de voltaje que cause malfuncionamiento de equipo o en su defecto pérdidas de corriente.

Debido a la alta incidencia de corrientes reactivas dentro del consumo del hospital, una medida práctica es la de balancear cada una de las cargas en la acometida central. La acometida central con la que cuenta el edificio es trifásica (3 líneas de trabajo y una línea neutral con un potencial de 220 entre líneas y 110 con relación a la línea neutral).

Figura 41. **Diagrama corriente trifásica**



Fuente: elaboración propia, con programa MS Visio.

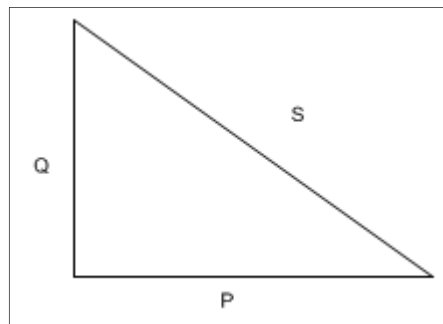
Por lo que al balancear cada una de las líneas de los consumidores en cierta medida se compensa la corriente reactiva en servicio. Para evitar multas por alto factor de potencia por parte de la empresa que presta el servicio energético, en la mayoría de los casos es instalado un banco de capacitores mediante el cual se pueda compensar la corriente reactiva generada por acción de motores de inducción, tal como las bombas hidráulicas, compresores, bombas de vacío y bombas de fosa séptica.

3.3.4. Acciones preventivas

El factor de potencia se define como la relación entre la potencia útil consumida o la potencia activa y la potencia reactiva, es decir el valor de potencia y que es considerado como el atraso que ocasiona el equipo con respecto a la potencia nominal. Dicho atraso se representa mediante un triángulo rectángulo de la siguiente manera:

En donde el valor de S corresponde a la potencia aparente es decir el valor de la potencia total que ingresa al equipo, el valor Q corresponde a la potencia reactiva y el valor P corresponde a la potencia activa que es la potencia que puede aprovecharse.

Figura 42. **Triángulo de potencia**



Fuente: elaboración propia, con programa MS Visio.

Como se mencionó el factor de potencia, se define como la relación entre la potencia aparente y la potencia activa, con el entendido que en ningún caso se aprovechará a su totalidad. La relación se establece mediante el coseno como función trigonométrica para el caso:

$$\cos\phi = \frac{P}{S}$$

$$\text{F. P.} = \cos^{-1}\left(\frac{P}{S}\right)$$

La principal acción preventiva a tomar en cuenta como parte del plan de reducción de consumo, es la propuesta de instalación de un banco de condensadores con el objetivo de reducir la corriente inductiva y como

consecuencia prevenir cualquier tipo de multa por factor de potencia. La potencia reactiva con la cual debe contar dicho banco de condensadores para regular el factor de potencia y como consecuencia evitar multas correspondientes se calculó con base a la demanda máxima así como el factor de potencia actual y el deseado.

El cálculo de la potencia reactiva se describe a continuación con relación al triángulo de potencia y la acción del banco de capacitores. Cabe mencionar que las multas para el caso de la empresa eléctrica empiezan a efectuarse a partir de un factor de potencia de 0,7 razón por la cual será considerada como límite inferior mientras que el valor de 0,99 como límite superior.

Lo potencia máxima será considerada como el promedio de las potencias máximas en un período de 12 meses anteriores.

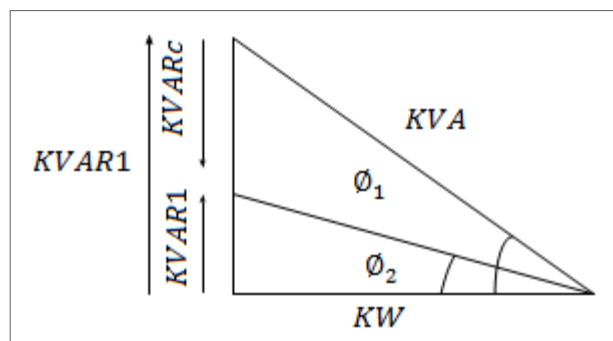
Tabla XLIV. **Demanda máxima promedio**

Mes	Potencia máxima (KW)
1	139,2
2	138,4
3	134,4
4	135,2
5	113,6
6	139,2
7	134,4
8	136,8
9	133,6
10	132,8
11	133,6
12	144
Promedio	134,6

Fuente: elaboración propia.

Los valores $\phi_1 = 0,7$ y $\phi_2 = 0,99$ corresponden a los valores de factores de potencia a alcanzar, por lo que mediante relación de los ángulos en cada sección la potencia del banco de condensadores se calcula de la siguiente forma:

Figura 43. **Cálculo potencia reactiva**



Fuente: elaboración propia, con programa MS Visio.

$$\tan\phi_1 = \frac{KVAR1}{KW}$$

$$\tan\phi_2 = \frac{KVAR2}{KW}$$

$$KVARc = KW(\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

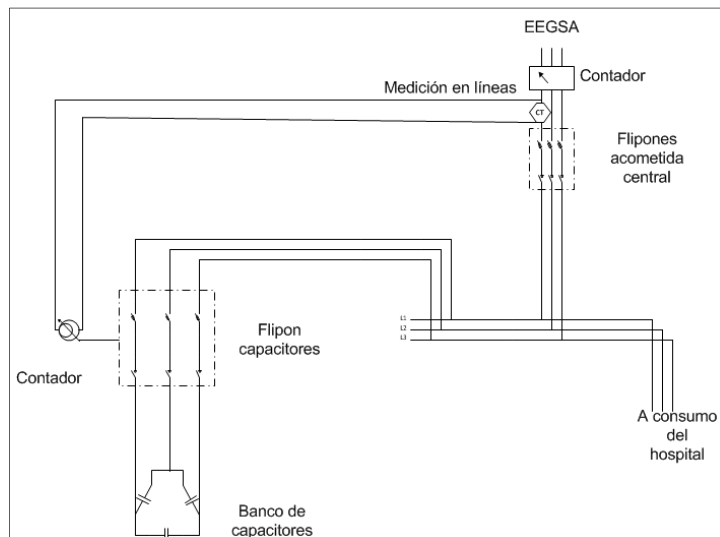
$$KVARc = 134.6\left(\frac{\sqrt{1 - 0,7^2}}{0,7} - \frac{\sqrt{1 - 0,99^2}}{0,99}\right)$$

$$KVARc = 118,14 \text{ KVAR}$$

Según el cálculo realizado la potencia del banco de condensadores para lograr incrementar el factor de potencia de 0,7 a 0,99 el valor mínimo en

kilowatts-amperio reactivo es de alrededor de 118,14. El esquema para dicha conexión se muestra a continuación:

Figura 44. Diagrama de conexión



Fuente: elaboración propia, con programa MS Visio.

3.3.5. Propuesta de ahorro

Según el análisis realizado aproximadamente el 75 % del consumo energético corresponde a iluminación por lo que la propuesta de ahorro energético estará enfocada en el rubro de iluminación, ya que una reducción en dicho consumo se verá reflejada sensiblemente en los montos de facturación. La propuesta contará básicamente con 2 campos de acción, los cuales son los tipos de luminarias y los tiempos de servicio.

3.3.5.1. Tipos de luminaria

A lo largo de los 4 niveles de trabajo del hospital central todas las luminarias son fluorescentes variando la potencia respectiva de cada uno. Por lo que la propuesta para el ahorro con respecto a los 4 niveles regulares se basa en la distribución óptima de iluminación así como el cambio a sistemas de iluminación LED, los cuales si bien representan una inversión a corto plazo cuentan con una relación beneficio costo significativa, ya que debido a la duración significativamente más alta así como la tasa de consumo menor para la misma iluminación en lúmenes.

La relación de costos estimada para dicho intercambio se analizará con base a la vida útil en horas de cada una de las luminarias, según una tabla de iluminación y equivalencias. Para el caso de los tubos de iluminación fluorescente, estos cuentan con un valor equivalente en luminarias LED con el objetivo de evitar la pérdida progresiva de iluminación en caso del reemplazo de las luminarias.

3.3.5.1.1. Luminarias incandescentes

El tipo de luminarias existentes dentro de los sótanos, como se comentó es del tipo incandescente del modelo F1315-MSCL, el fabricante indica que cuentan con una duración de alrededor de 15,000 horas y cuentan con un costo nominal por lote de 15 unidades de alrededor de Q. 950,00, por lo que el precio unitario es de alrededor de Q. 63,33.

El equivalente de luminarias LED, corresponde a luminarias de hasta 20 watts para exteriores con una duración aproximada de 50 000 horas. La

relación por totales de horas disponibles es de aproximadamente 3 a 1. Dicha relación establece, según su duración:

$$\frac{\textit{Duracion luminaria LED}}{\textit{Duracion luminaria Fluorescente}}$$

$$\frac{50\ 000\ \textit{horas}}{15\ 000\ \textit{horas}} = 3,33$$

Para el cálculo del ahorro con respecto a la duración en cada una se establecerá la relación del valor presente en cada luminaria. Como se mencionó el costo unitario de cada luminaria incandescente, es de alrededor de Q 63,33, mientras que el costo de la luminaria LED equivalente (20 watts modelo Down light ES35), es de aproximadamente Q. 630.00 (\$ 78.96) por lo que si bien la inversión inicial es significativamente más alta ésta se compensa en gastos de consumo en aproximadamente en 40 horas de servicio por luminaria.

3.3.5.1.2. Luminarias fluorescentes

Para el caso de las luminarias fluorescentes la relación de intercambio es relativamente más sencilla, ya que la potencia de trabajo de los 3 tipos de luminaria fluorescente disponible es mucho menor que los casos de las luminarias de los sótanos.

Existe una tabla de equivalencias, mediante la cual se puede determinar un aproximado de la potencia a incluir para el caso de las luminarias LED.

Tabla XLV. **Equivalencia en luminarias**

Incandescentes	Fluorescentes	LED
50 watts	14-15 watts	1.5-3 watts
75 watts	15-18 watts	5 watts
100 watts	19-21 watts	7-8 watts
150 watts	30-60 watts	10-12 watts

Fuente: presentación guía de ahorro energía eléctrica, Ejercicio Profesional Supervisado p. 13

Dentro de los niveles regulares (1-4) la iluminación se produce mediante tubos fluorescentes de 17, 32 y 60 watts. Por lo que según la tabla anterior la sustitución corresponde principalmente a luminarias LED de 10 Watts, variando cada una de ellas según la distribución por cavidad zonal ó según el ángulo de iluminación que el fabricante proporcione en cada uno de los casos.

Para el caso de la relación de horas de servicio, según el fabricante las luminarias de tubos fluorescentes actuales tienen una duración aproximada de 10 000 horas continuas, mientras que las equivalentes LED cuentan con una duración de 50 000. Con base en eso es sencillo establecer la relación 5:1 en horas de servicio.

El costo estimado de luminarias de tubos fluorescentes de 32 watts es de Q 19,40, mientras que el equivalente en LED (10 watts) es Q 338,45 (\$ 42,20) por lo que al igual que en el caso anterior incluso si el valor presente es negativo, este se compensa en alrededor de 80 horas de servicio.

Para el caso de las luminarias fluorescentes con potencia de 17 watts el reemplazo igual debe de corresponder a una unidad LED de 5 watts, con la variante de que éstas pueden tener algún complemento de acción tal es el caso de sensores de movimiento, apagado automático etc.

El costo estimado de luminarias de tubo fluorescente de 17 watts es de Q 14,80 mientras que el costo de su equivalente en LED es de Q 131,28 (\$ 16,41), de formas sucesivas la migración a luminarias LED representa una inversión más alta que luminarias tradicionales, pero la inversión se compensa en aproximadamente 120 horas de servicio.

Para el caso de las luminarias de 60 watts, del tipo iluminación directa, se cuenta con una alternativa de iluminación LED que permite un ahorro de potencia bastante significativo aunque se prevé una inversión inicial relativamente alta. El modelo de luminaria propuesto es la bombilla esférica E27 de 5 watts el cual cuenta con un precio aproximado de Q 172,24 (\$ 21,53), el cual iguala los casos anteriores en función de la relación en duración

3.3.5.2. Tiempos de servicio

Otro aspecto crítico dentro de los parámetros de consumo de energía eléctrica es el tiempo de permanencia en servicio de la mayor parte de luminarias. Para el caso de los niveles regulares (1-4) aproximadamente las luminarias se encuentran encendidas de forma ininterrumpida por períodos de casi 12 horas, pero dentro de dicho intervalo la iluminación es necesaria tanto para el trabajo dentro de centrales de oficina, cajas o bien para comodidad de los pacientes. Un caso distinto se da dentro de los sótanos (1-3) en los cuales, las luminarias existentes son de alto consumo además de encontrarse en funcionamiento la totalidad del día.

Como método de reducción de consumo de forma directa, se propone el uso de sensores de movimiento de 2 tipos, sensores de movimiento locales, con un sistema de control presencial, tal es el caso de los sistemas de iluminación ubicados en las áreas de servicio sanitario.

Para el caso de los parqueos, el uso de sensores de movimiento complementado por el reemplazo de las luminarias crearía un gasto significativamente más eficiente ya que permitiría que las luminarias entren en servicio únicamente cuando es necesario.

Para el caso de los servicios sanitarios existentes dentro del hospital central se propone el uso de sistemas de iluminación programables igualmente basados luminarias con sensores de movimiento incorporados. La importancia de dicho sistema de iluminación, es la de evitar que la iluminación dentro de las habitaciones de servicio sanitario sea permanente en caso de que el servicio sanitario no esté siendo utilizado.

Esto garantizaría que únicamente sea utilizado en caso de ser necesario y evitaría depender del personal o pacientes dentro de los servicios sanitarios para un uso responsable de la iluminación.

Para los demás casos, la iluminación regular se deberá procurar que únicamente se utilicen las luminarias indispensables. Tal es el caso de las salas de espera o los corredores en los cuales no siempre es necesario contar con iluminación constante debido a que no se realizan tareas de precisión muy alta.

3.3.5.3. Costos por cambio de luminarias

Bajo el entendido del uso de personal técnico interno así como el tipo de luminaria LED de conexión directa a voltaje trifásico de 220, la compra directa del total de luminarias manteniendo una distribución similar a la que se tiene actualmente así como un número de luminarias constante.

La sustitución se da referente a modelos de venta en el mercado guatemalteco para evitar costos de transporte o importación. Los cambios de luminarias, pueden darse según los modelos sugeridos o equivalentes, siempre que se cumpla con especificaciones de voltaje, potencia así como capacidad de iluminación.

Tabla XLVI. **Cambio de luminarias opción 1**

Lum.	N	Equivalente	Precio	Totales
17 watts	588	LED 5 watts	Q 131,28	Q 77 192,64
32 watts	1184	LED 10 watts	Q 338,45	Q 400 724,80
60 watts	98	LED 10 watts	Q 172,24	Q 16 879,52
150 watts	34	LED 20 watts	Q 630,00	Q 21 420,00
Totales				Q 516 216,96

Fuente: elaboración propia.

Manteniendo un número de luminarias constantes se estima que la migración a luminarias LED representa un costo aproximado de Q 517 000,00 el cual se estima se verá amortizado en forma progresiva debido al significativo consumo menor en energía eléctrica. La siguiente opción, en el reemplazo de luminarias es la de reducir el número de luminarias activas por sector, es decir limitar a una luminaria directa cada una de las disposiciones de lámparas existentes dentro del edificio. Dicha alternativa es viable para los casos de las luminarias fluorescentes de 17 y de 32 watts ya que en cada lámpara se utilizan

4 tubos. En caso de limitar cada lámpara a una única luminaria LED el total disminuiría notablemente en aproximadamente un 70 %, se describe a continuación:

Tabla XLVII. **Cambio de luminaria opción 2**

Luminaria	N	Eq.	Precio	Totales
17 watts	147	LED 5 watts	131,28	Q 19 298,16
32 watts	296	LED 10 watts	338,45	Q 100 181,20
60 watts	98	LED 10 watts	172,24	Q 16 879,52
150 watts	34	LED 20 watts	630,00	Q 21 420,00
Totales				Q 157 778,88

Fuente: elaboración propia.

Para este segundo caso en el que cada lámpara cuenta únicamente con una luminaria y esta es suficiente para iluminar el área de manera apropiada.

En tal caso, la inversión a realizar es de aproximadamente Q. 160 000,00. Cabe mencionar que dicha práctica de limitar el número de luminarias únicamente debe realizarse en sectores de poca importancia técnica tales como las salas de espera, los corredores o los despachos de oficina.

En cada uno de los casos en los cuales la iluminación únicamente es necesaria para momentos en los cuales la iluminación natural no puede ser aprovechada debido a la ubicación del área o disponibilidad del edificio. Tal es el caso de las áreas de parqueo, en las cuales es viable el uso de sistemas de sensores de movimiento con el objetivo de garantizar que las luminarias entren en servicio únicamente cuando es necesario.

Las especificaciones de dicho sistema varían con respecto a cada caso, aunque en general un sistema de sensores de movimiento para iluminación de parqueos, cuenta cada uno con un sistema que debe determinar en forma de conteo el ingreso o egreso de la persona, es decir un contador inteligente en el caso en el cual el primero debe de estar ubicado en la entrada al parqueo del edificio así como mediante el posicionamiento de cada uno de los demás sensores.

Otro aspecto a tomar en cuenta es el movimiento dentro de las gradas de descenso así como el elevador. Ya que cada vez que estos se activan implica un descenso o presencia de alguna persona dentro del área de los sótanos.

En cada uno de los casos mostrados se deberá de contar con un computador central en el cual, lleva un registro de la persona que ingresa en número par o impar mediante los cuales cada uno de los sensores se establezca si existe presencia o no de algún individuo o movimiento de algún vehículo.

3.3.6. Registros de rendimiento

Para el caso de la aplicación de los cambios en el tipo de luminarias, el consumo se verá significativamente disminuido tanto en caso del cambio del total de luminarias con respecto a la disposición actual.

Para este caso en concreto, se determinarán tanto para la propuesta del uso del total de luminarias existentes así como para el caso de usar únicamente 1 luminaria en las áreas de poca necesidad de iluminación, tal es caso de corredores o las salas de espera.

Considerando la tasa de consumo de cada una de las luminarias propuestas así como el tiempo en servicio de cada sector de la iluminación los nuevos costos estimados en cada uno de las luminarias respectivas se estima de la siguiente manera:

$$\text{Costo de consumo} = (\text{Potencia})(\text{horas de servicio})(30)$$

El total de consumo con la propuesta de luminarias LED se resume en la siguiente tabla:

Tabla XLVIII. **Consumo para luminarias LED**

Área	Focos	Lámparas	Potencia (Kwatts)	Horas de servicio	KWh
Sótanos	1	34	0,02	24	489,6
Nivel 1	4	48	0,01	12	691,2
	4	42	0,005	12	302,4
	1	38	0,01	12	136,8
Nivel 2	4	108	0,01	12	1 555,2
	4	20	0,005	12	144
	1	41	0,01	12	147,6
Nivel 3	4	65	0,01	12	936
	4	34	0,005	12	244,8
	1	10	0,01	12	36
Nivel 4	4	59	0,01	12	849,6
	4	51	0,005	12	367,2
	1	9	0,01	12	324
Total					5 932,8

Fuente: elaboración propia.

El total de consumo para las luminarias LED, se estima en 5 932,8 KW-h.

El costo aproximado de la energía eléctrica en la ciudad capital es de aproximadamente Q 1,60/KW-h. Por lo que el costo total de la iluminación para el caso de las luminarias LED se calcula en:

$$\text{Costo total} = \left(\frac{Q1,60}{\text{KWh}} \right) (5932,8 \text{ KWh})$$

$$\text{Costo total} = Q 9492,48$$

Dicha cifra muestra un ahorro bastante significativo ya que con la disposición actual de luminarias el gasto por iluminación asciende a aproximadamente a Q 36 778,01, por lo cual la migración a luminarias LED implica un ahorro de aproximadamente 75 %, por cada mes en caso de mantenerse dichas tasas de consumo así como horas de servicio la inversión de las luminarias LED es compensada en forma proporcional a cada aumento dentro del costo de energía eléctrica que es registrado.

3.3.7. Evaluación de consumo

Después de la migración LED, el consumo proyectado para las demás áreas se estima que debe permanecer en condiciones similares, por lo que la distribución del consumo debe mantener este comportamiento:

Tabla XLIX. **Proyección de consumo**

Categoría	Consumo (KWh)	Gasto
Iluminación	5 932,8	9 789,12
Equipo de computo	189,6	9 385,2
Comunicación	124,8	6 177,6
Entretenimiento	30	1 485
Equipo mecánico	6 809,49	11 235,7

Continuación de la tabla XLIX.

Otros consumos	556,32	27 537,84
Totales	13 643,01	Q 65 610,46

Fuente: elaboración propia.

Para este caso en concreto la proporción de consumo para cada uno de los rubros analizados varía ya que la disminución por consumos de iluminación varía sensiblemente. La nueva proporción de consumo responde a la siguiente distribución:

Tabla L. **Distribuciones de consumo**

Categoría	Consumo (KWh)	Proporción
Iluminación	5 932,8	43,49 %
Equipo de computo	189,6	1,39 %
Comunicación	124,8	0,91 %
Entretenimiento	30	0,22 %
Equipo mecánico	6 809,49	49,91 %
Otros consumos	556,32	4,08 %
Totales	13 643,01	100,00 %

Fuente: elaboración propia.

Según lo mostrado el consumo por concepto de iluminación sigue siendo significativamente alto se redujo considerablemente con respecto al casi 70 %, en el que se encuentra con las luminarias actuales. A nivel económico dicha migración también representa un ahorro significativo en términos económicos

ya que el consumo general se reduce del promedio de 30 000 KWh a 13 643,01 KWh, es decir se reduce en alrededor de 55 %.

3.3.8. Proyección de ahorro energético

La proyección de ahorro energético se calculará en relación a la inversión realizada para el cambio entre las luminarias actuales y las luminarias LED. El ahorro se calcula a base, de la diferencia entre el consumo total y el consumo proyectado. La cantidad inicial de consumo es en promedio 30 000 KWh, considerando la tendencia al alza de la energía eléctrica dentro de la ciudad capital (aproximadamente Q 1,70/KWh) esto representa un gasto de alrededor de Q. 59 500 (sin contar impuestos ni tasa municipal).

La proyección de consumo considerando la migración a luminarias LED, se estima en 13 643,01 KWh, por lo que se calcula un costo de aproximadamente Q 23 193,10. Por lo que en promedio la migración representa un ahorro de aproximadamente de Q. 36 307,00. Con base a esto, se puede determinar que la inversión inicial de migración a sistemas de iluminación LED, contará con un retorno sobre inversión el cual se calcula en la siguiente manera:

$$\text{Inversión inicial} = Q516\ 216,96 \quad \text{ahorro mensual} = \frac{Q\ 36\ 307,00}{\text{mes}}$$

$$\text{Retorno} = \frac{I_0}{\text{Ahorro}}$$

$$\text{Retorno} = \frac{Q\ 516\ 216,96}{Q\ 36\ 307,00/\text{mes}}$$

$$\text{Retorno} = 14,21 \text{ meses}$$

El total de retorno indica que la inversión inicial de la migración a luminarias LED, se compensará en ahorro energético en alrededor de 14,21 meses (es decir aproximadamente 1 año y 3 meses). Después de dicho período todos los gastos no efectuados en pago de energía eléctrica, representarán un ahorro en forma directa.

3.3.9. Beneficios al ambiente

La generación de electricidad se sigue produciendo mayoritariamente mediante la quema de combustibles fósiles (carbón mineral y derivados de petróleo), que emiten CO₂ y otros gases de efecto invernadero, por lo tanto, cuanto menor sea el consumo eléctrico, menores serán las emisiones contaminantes. Se estima que por cada KWh, se emiten alrededor de 0,00065 toneladas métricas de carbono (0,65 Kg), por lo que la migración de luminarias fluorescentes a las luminarias LED, sumado al beneficio económico implícito, reduciría significativamente las emisiones de carbono como consecuencia de consumo eléctrico. De esta forma se garantiza el óptimo aprovechamiento del recurso energético, tal y como lo establecen los principios de producción más limpia. La reducción de emisiones de carbono mantiene una relación proporcional con la reducción del consumo de energía eléctrica, tal y como se muestra a continuación.

Tabla LI. **Emisiones de carbono**

Consumo energético (KWh)	Emisiones (Kg CO₂)
30 000	19 500
13 643,01	8 867,95

Fuente: elaboración propia.

Mediante la migración a luminarias LED, las emisiones de carbono como consecuencia de la generación de energía eléctrica se reducirían de 19 500 Kg de CO₂ a 8 867,96 Kg. Tal como se mencionó, se mantiene la proporción de ahorro de 55 %.

4. FASE DE DOCENCIA: PLAN DE CAPACITACIÓN

4.1. Planificación

Dentro del proceso de planificación para la capacitación al personal se consideraron los siguientes aspectos: necesidad de capacitación, desarrollo y elección de alternativa de capacitación y ejecución del plan. Cabe mencionar que el tema en capacitación fue seleccionado según las necesidades encontradas durante el diagnóstico.

4.1.1. Necesidad de capacitación

La necesidad de capacitación en concreto, se refiere a que tanto el personal de seguridad como el personal técnico no conoce con total propiedad los procedimientos de puesta en marcha del sistema energético de respaldo ya que en cada de cualquier irregularidad o cualquier corte en el suministro externo, se debe de garantizar que el sistema de respaldo puede entrar en servicio.

Sumado a eso el personal técnico en servicio desconoce la función real del mantenimiento dentro de una institución hospitalaria así como las diversas ventajas que representa para el hospital.

4.1.2. Alternativas de capacitación

Dentro de las posibles alternativas consideradas para la capacitación del personal en cuanto a la puesta en marcha del sistema energético de respaldo y

las importancias del mantenimiento preventivo se encontraban charlas por parte del personal externo y también se consideraban capacitaciones internas.

Debido a la urgencia de la capacitación con relación a la planta de energía se decidió realizar la capacitación de forma interna. Una ventaja adicional es que mediante la capacitación sobre mantenimiento preventivo pueden ponerse en práctica los parámetros de la fase técnico profesional sobre el mantenimiento en la planta de generación eléctrica.

El programa de capacitación interna constituirá un instrumento mediante el cual los miembros de la organización ampliarán conocimientos sobre la puesta en marcha del equipo energético de respaldo así como de la función real del mantenimiento dentro de una institución hospitalaria así como las diversas ventajas que representa para el hospital

4.1.3. Ejecución del plan

Para el caso de la planta de generación del hospital central, la capacitación se enfoca en la programación de encendido automático y encendido rutinario. Debido a que el encendido rutinario, estaba programado para darse los días sábado de 09:15 – 09:30 por lo que interrumpía las labores de consulta en el área pediátrica, para continuar las actividades de clínica pediátrica normales, el personal de seguridad desactivaba el encendido rutinario pero en raras ocasiones se volvía a activar el encendido automático.

Al desactivar el encendido automático, el sistema eléctrico de respaldo se volvía vulnerable a fallar durante cualquier interrupción, ya que no se reprogramaba para el encendido automático, por lo que la planta de energía no

iniciaba la marcha de forma automática y era necesaria la presencia del personal técnico para activarla manualmente.

Dicho intervalo, dentro del corte de energía eléctrica externo hasta el encendido manual de la planta de generación representa un riesgo potencial para los pacientes.

El programa de capacitación sobre el sistema energético de respaldo consistió en: Charlas y sesiones, publicación de guías, explicaciones directas.

4.2. Programación

El total del personal en asistencia a la capacitación es de 9 personas un grupo de 6 guardias de seguridad y 3 miembros del departamento técnico de servicios generales. Las sesiones de capacitación tienen una duración prevista de una hora en la cual se prevé la siguiente programación:

Tabla LII. **Programación**

Tema	Duración
Importancia de la planta de generación en las funciones hospitalarias	5 minutos
Sistema de encendido de la planta de generación	5 minutos
Procedimiento correcto de desactivación de la planta	10 minutos
Procedimiento correcto de activación de planta generadora	10 minutos

Continuación de la tabla LII.

Mantenimiento preventivo y su importancia.	10 minutos
Preguntas/respuestas	10 minutos
Evaluación mediante preguntas directas	10 minutos

Fuente: elaboración propia.

Dicha programación se dió en 4 sesiones distintas, una para el grupo de personal técnico y tres sesiones distintas para el personal de seguridad debido a la rotación propia de su puesto de trabajo.

4.3. Metodología

La metodología empleada fue eminentemente participativa, ya que si bien se dieron charlas y sesiones de información teórica también se dieron explicaciones en el sitio mediante las cuales el personal fue capaz de solventar dudas en el área de interés. El contenido programado se dio tanto en las charlas y sesiones. Se incluyó material escrito publicado cerca de la planta para que la información se encuentre accesible.

En detalle la metodología trabajada fue:

Charlas y Sesiones: las charlas y sesiones informativas tienen por principal objetivo comunicar al personal sobre: importancia de la planta de generación en las funciones hospitalarias, sistema de encendido de la planta de generación, procedimiento correcto de desactivación de la planta, procedimiento correcto de activación de planta generadora así como informar al

personal acerca de la aplicación del mantenimiento preventivo y sus beneficios respecto a las reparaciones eventuales así como el impacto económico.

Publicación de guías: al definir los procedimientos de encendidos y puesta en marcha de la planta central, se deberán publicar guías de encendido en forma de guía de encendido para poder difundirla dentro del personal encargado. La guía publicada contiene básicamente el siguiente contenido:

Figura 45. **Formato de guía de encendido**

Para desactivar la alarma se deberá proceder a reiniciar el sistema de la siguiente manera:

1. Mover el interruptor a la posición de “OFF” de forma momentánea.
2. Cambiar el interruptor a la posición “Reset” y mantenerla un momento para que el sistema de control se reinicie
3. Cambiar el interruptor a la posición de “Auto” y mantenerlo allí de forma permanente.

Si el procedimiento se realizó de forma correcta una luz dentro del tablero mostrara “**SYSTEM READY**”. En caso en que el procedimiento no se llevará a cabo de forma apropiada el tablero de control mostrara un indicador mostrando “**GENERATOR SWITCH NOT IN AUTO**” lo cual implica que la planta no iniciará de forma automática en caso de interrumpirse el flujo de energía. Para lo cual deberá repetirse el procedimiento desde el paso 2.

Fuente: elaboración propia.

Explicaciones directas: estas básicamente consistirán en llevar al personal al sitio y mostrar los procedimientos de encendido y puesta en marcha del equipo de respaldo energético.

4.4. Evaluación

Como método de evaluación se realizaron las preguntas directas con base a una lista realizada, Este tipo de pregunta consiste en preguntas directas o indirectas hechas a los alumnos para que respondan por medio de palabras simples o signos, colocando la respuesta en el espacio correspondiente. Algunos ejemplos son:

Figura 46. **Ejemplo de evaluaciones**

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. ¿Cuál es la importancia de la planta de generación para el hospital?2. ¿Cuál es el procedimiento de encendido de la planta?3. ¿Cuál es el procedimiento de apagado de la planta?4. ¿Qué beneficios trae el mantenimiento preventivo?5. ¿Cómo saber si la planta se encuentra lista para entrar en servicio? |
|--|

Fuente: elaboración propia.

4.5. Resultados

De las capacitaciones realizadas se estableció con base a las preguntas directas que un total de 7 de los nueve participantes comprendieron a su totalidad los procedimientos de puesta en marcha del sistema energético de respaldo así como la importancia del mantenimiento preventivo. Los 2 participantes restantes recibieron refuerzo en los contenidos de mayor dificultad.

Figura 47. **Resultados evaluación**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La implementación de las acciones correspondientes a mantenimiento correctivo y preventivo generó un aumento en rendimiento del equipo térmico, hidráulico y neumático de aproximadamente 7 por ciento.
2. Mediante la aplicación del diagrama de Pareto como herramienta de diagnóstico, se determinó que el 40 por ciento del equipo con necesidad de acciones de mantenimiento correctivo es como consecuencia directa de la falta de las acciones preventivas apropiadas.
3. Las acciones correctivas realizadas permitieron que el equipo volviera a funcionar de forma apropiada así como crear las condiciones necesarias para la aplicación del plan de mantenimiento preventivo. En forma general, las correcciones se pueden clasificar como: solución de fugas (planta de generación, sistema de bombeo hidráulico), instalaciones deficientes (aires acondicionados), fallas en sistema eléctrico (autoclaves, sistema de emergencia).
4. La ausencia de mantenimiento preventivo incidía directamente en fallas del equipo así como en excesos de consumo energético, mediante la aplicación de prácticas de mantenimiento preventivo generales se logró la preservación sistemática del equipo, la eliminación de fallas por uso del equipo así como definir acciones de mantenimiento preventivo específicas para cada tipo de equipo, dentro de los principios de limpieza, lubricación periódica, revisiones y visitas de verificación.

5. La propuesta de ahorro de energía está centrada en la migración de luminarias fluorescentes a luminarias LED, proyectando un 55 por ciento de ahorro en consumo energético, lo cual incide directamente en el valor económico de la energía eléctrica así como en la reducción de emisiones de carbono por generación de energía.

6. El programa de capacitación sobre los procedimientos de puesta en marcha del sistema energético de respaldo fue dirigido tanto al personal técnico como al personal de seguridad encargados. La evaluación mostró un 72 por ciento de comprensión.

RECOMENDACIONES

1. Para la implementación de un plan de mantenimiento en toda la institución de forma general se recomienda la creación de un Departamento de Mantenimiento que se encuentre separado de las funciones del departamento de hotelería.
2. En caso de la renovación del equipo, se recomienda la actualización de los procedimientos de operación y mantenimiento realizados según las especificaciones propias del equipo.
3. Las mediciones de rendimiento constituyen un indicador preciso sobre el desempeño del equipo, por lo que se recomienda su análisis y control periódico, ya que cualquier cambio notable dentro del rendimiento puede considerarse como una alerta temprana a la falla total o parcial del equipo.
4. En caso de rotación de personal de servicio o personal de seguridad a cargo del sistema de energía de respaldo, la capacitación al personal sobre los procedimientos de puesta en marcha es de suma importancia debido a la criticidad de la energía eléctrica como parte de los suministros hospitalarios.
5. Verificar los enunciados de misión y visión institucionales, ya que los mismos publicados en la página web no cumplen con lo requerido en una misión y visión en la planeación estratégica.

BIBLIOGRAFÍA

1. AUTONELL, Jordi. *Eficiencia energética*. 4a ed. México: McGraw-Hill. 2006. 122 p.
2. CENGEL, Yunus. *Termodinámica*. 8a ed. México: McGraw-Hill, 2006. 134 p.
3. CREUS, Antonio. *Instrumentación Industrial*. 8a ed. México: Alfaomega, 2011. 92 p.
4. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2005. 89 p.
5. MOTT, Robert. *Hidráulica*. 4a ed. México: McGraw-Hill. 2006. 122 p.
6. SÁNCHEZ TRIANA, Ernesto. *Eficiencia energética: producción más limpia para un desarrollo sustentable*. 5a ed. Colombia: Fundación Frederick Ebert, 2005. 67 p.
7. WARK, Keneth. *Termodinámica*. 6a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 202 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Medición de consumo de la planta de generación**

Medición de consumo planta de generación	
Analista:	Mes:

N	T	Vo	Vf	Vo-Vf
1		Lectura 1	Lectura 2	
2		Lectura 3	Lectura 4	
3		Lectura 5	Lectura 6	
4		Lectura 7	Lectura 8	
5		Lectura 9	Lectura 10	
6		Lectura 11	Lectura 12	
7		Lectura 13	Lectura 14	
8		Lectura 15	Lectura 16	
9		Lectura 17	Lectura 18	
10		Lectura 19	Lectura 20	
Promedio				

- Operación

N	(Vo-Vf)/t
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
Promedio	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Medición de rendimiento de autoclaves

Medición de rendimiento autoclaves	
Analista:	Mes:

n	t	Corriente	Voltaje	T	P
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Promedio					

- Operación

n	VI	$(VI/6711.3)*100$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Promedio		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Medición de rendimiento de aires acondicionados

Medición de rendimiento aires acondicionados	
Analista:	Mes:

n	t1	t2	t3	t4	T
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Promedio					

- Operación

Promedios	U (Kj/Kg)	H (Kj/Kg)
t1		
t2		
t3		
t4		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Medición de rendimiento de bombas hidráulicas**

Medición de rendimiento bombas hidráulicas	
Analista:	Mes:

n	T	V	I
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Promedio			

- Tuberías equivalentes

Equipo	Diámetro	Existencias
Codos		
T		
Válvulas		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Medición de rendimiento de compresor neumático

Medición de rendimiento compresor neumático	
Analista:	Mes:

n	T	V	I
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Promedio			

- medición de temperaturas

n	T ambiente	Tcamisa AL
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Promedio		

Fuente: elaboración propia.