

**URE: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO A CIRCUITOS ELÉCTRICOS
EN LOS EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUIMÍCAS Y
PLANTA DE ACEROS DE LA UIS.**

**GUSTAVO ANDRÉS THERÁN HERAZO
JUAN CARLOS POSADA GALVIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

**URE: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO A CIRCUITOS ELÉCTRICOS
EN LOS EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUIMÍCAS Y
PLANTA DE ACEROS DE LA UIS.**

**GUSTAVO ANDRÉS THERÁN HERAZO
JUAN CARLOS POSADA GALVIS**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar
al título de Ingeniero Electricista**

Director

Dr. GILBERTO CARRILLO CAICEDO

Co- Director

Ing. CARLOS CÁRDENAS GUERRA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2006

Dedico este proyecto a las personas que han estado presentes a lo largo de mi carrera dándome apoyo constante, aquellas que me enseñaron que las cosas con esfuerzo y dedicación siempre llegan a realizarse, aquellas que no dudaron por un instante que alcanzaría las metas propuestas, a esas personas gracias por su apoyo y confianza.

A Dios todopoderoso que hizo posible este logro, que me ha guiado y cuidado en cada paso que he dado.

A mi familia, en quién siempre he visto un ejemplo de vida y dedicación, y con quien he compartido momentos buenos y malos. A mis hermanos Gustavo y Mayi, al viejo checho, y a Luisa, quienes siempre estuvieron a mi lado ayudándome a crecer, y por supuesto a mi madre Soray, mi motivación para salir adelante.

A mis amigos de siempre en la universidad (Comarca Inc. y otros), con quienes disfruté de los buenos momentos y de quienes aprendí lecciones de vida durante mi carrera.

GUSTAVO ANDRÉS THERÁN H

AGRADECIMIENTOS

Los autores de éste documento expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Dios todopoderoso por las bendiciones dadas en el transcurso de éste proyecto.

Al Doctor Gilberto Carrillo Caicedo, director del proyecto, por su valiosa orientación y colaboración en el desarrollo del mismo.

Al ingeniero Carlos Cárdenas Guerra, co-director del proyecto, por la confianza, apoyo académico y valioso interés, que hizo que este trabajo fuese llevado a su culminación cumpliendo con las metas propuestas.

Al Doctor Gabriel Ordóñez Plata por depositar su confianza en nuestra capacidad para aplicar el concepto de uso racional y eficiente de la energía (URE).

A Luz Teresa Celis un agradecimiento especial, por su paciencia e incondicional apoyo durante el transcurso y ejecución del presente proyecto

A toda la comunidad UIS que de una u otra manera estuvo involucrada en el desarrollo de las actividades asociadas al proyecto.

A nuestros amigos, que siempre fueron un gran soporte durante las diferentes etapas de este trabajo.

A todas las personas que creyeron en nuestras capacidades y nos brindaron su colaboración de manera desinteresada.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Demanda de energía mundial.....	12
Figura2.2. Flujos de energía, entropía y exergía para un sistema determinado.....	18
Figura 2.3. Sistema energético típico.....	26
Figura 3.1. Diagrama unifilar planta de aceros.....	29
Figura 3.2. Diagrama unifilar Jorge Bautista Vesga.....	30
Figura 3.3. Nivel de agregación del sistema.....	35
Figura 3.4. Circuito equivalente edificio Jorge Bautista Vesga.....	37
Figura 3.5. Circuito equivalente edificio planta de aceros.....	39
Figura 3.6 Circuito equivalente TL1.....	48
Figura. 3.7. Circuito equivalente TB3.....	49
Figura 3.8. Circuito equivalente TO.....	49
Figura 3.9. Circuito equivalente TP.....	50
Figura 4.1. Etapas de una auditoría exérgica.....	55
Figura 4.2. Cuadro de cargas tablero TL1.....	57

Figura 4.3. Balance de energía en una lámpara de vapor de mercurio de alta presión.....	61
Figura 4.4. Balance de energía en una lámpara fluorescente.....	62
Figura 4.5. Potencia activa trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06.....	67
Figura 4.6. Potencia reactiva trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06.....	68
Figura 4.7. Potencia aparente trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06.....	68
Figura 4.8. Potencia activa trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06 a 04/04/06.....	69
Figura 4.9. Potencia reactiva trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06 a 04/04/06.....	70
Figura 4.10. Potencia aparente trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06 a 04/04/06...	70
Figura 6.1. Etapas de un programa URE utilizando análisis exergético.....	90
Figura 6.2. Irreversibilidades circuito TL1.....	91
Figura 6.3. Costo exergético B* circuito TL1.....	91
Figura 6.4. Costo exergoeconómico circuito TL1.....	92
Figura 6.5. Irreversibilidades circuito TB3.....	92
Figura 6.6. Costo exergético B* circuito TB3.....	93
Figura 6.7. Costo exergoeconómico circuito TB3.....	93
Figura 6.8. Irreversibilidades circuito TO.....	94
Figura 6.9. Costo exergético B* circuito TO.....	95

Figura 6.10. Costo exergoeconómico circuito TO.....	96
Figura 6.11. Irreversibilidades circuito TP.....	97
Figura 6.12. Costo exergético circuito TP.....	97
Figura 6.13. Costo exergoeconómico circuito TP.....	98

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Flujos de exergía y costo exergoeconómico.....	26
Tabla 3.1. Carga nominal edificio Jorge Bautista Vesga.....	31
Tabla 3.2. Resistencia de las líneas edificio Jorge Bautista Vesga.....	32
Tabla 3.3. Carga instalada por tablero edificio Jorge Bautista Vesga.....	33
Tabla 3.4. Carga nominal edificio planta de aceros.....	34
Tabla 3.5. Resistencia de las líneas edificio planta de aceros.....	34
Tabla 3.6. Carga instalada por tablero edificio planta de aceros.....	34
Tabla 3.7. Vector de flujos de exergía edificio Jorge Bautista Vesga expresado en kW	38
Tabla 3.8. Vector de flujos de exergía edificio planta de aceros expresado en kW.....	40
Tabla 3.9 Rendimiento y costo exergético edificio Jorge Bautista Vesga.....	41
Tabla 3.10. Rendimiento y costo exergético edificio planta de aceros.....	42
Tabla 3.11. Vector de irreversibilidades Planta de aceros.....	43
Tabla 3.12. Vector de irreversibilidades Jorge Bautista Vesga.....	44

Tabla 3.13. Tableros con mayor irreversibilidad en el conductor edificio Jorge Bautista Vesga.....	45
Tabla 3.14. Tableros con mayor irreversibilidad en el conductor edificio planta de aceros.....	46
Tabla 4.1. Consumo típico de electrodomésticos.....	57
Tabla 4.2. Carga típica de electrodomésticos en VA.....	58
Tabla 4.3. Carga de equipos especiales en tablero TL1.....	58
Tabla 4.4. Peso máximo y pérdidas máximas de transformadores por kVA.....	60
Tabla 4.5. Datos aire acondicionado tablero TL1.....	63
Tabla 4.6. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TL1.....	65
Tabla 4.7. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TB3.....	65
Tabla 4.8. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TO.....	66
Tabla 4.9. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TP.....	66
Tabla 4.10. Nivel de iluminación actual sótano Edif_JBV.....	72
Tabla 4.11. Nivel de iluminación actual primer piso Edif_JBV.....	73
Tabla 4.12. Nivel de iluminación actual segundo piso Edif_JBV.....	74
Tabla 4.13. Nivel de iluminación actual tercer piso Edif_JBV.....	75
Tabla 5.1. Matriz de incidencia circuito TL1.....	76
Tabla 5.2. Matriz de incidencia circuito TB3.....	77

Tabla 5.3. Matriz de incidencia circuito TO.....	77
Tabla 5.4. Matriz de incidencia circuito TP.....	78
Tabla 5.5. Vector de flujos de exergía circuito TL1.....	78
Tabla 5.6. Vector de flujos de exergía circuito TB3.....	79
Tabla 5.7. Vector de flujos de exergía circuito TO.....	80
Tabla 5.8. Vector de flujos de exergía circuito TP.....	80
Tabla 5.9. Irreversibilidades en circuito TL1.....	81
Tabla 5.10. Irreversibilidades en circuito TB3.....	81
Tabla 5.11. Irreversibilidades en circuito TO.....	82
Tabla 5.12. Irreversibilidades en circuito TP.....	82
Tabla 5.13. Costos exergéticos circuito TL1.....	83
Tabla 5.14. Costos exergéticos circuito TB3.....	84
Tabla 5.15. Costos exergéticos circuito TO.....	85
Tabla 5.16. Costos exergéticos circuito TP.....	85
Tabla 5.17. Costo exergoeconómico circuito TL1.....	86
Tabla 5.18. Costo exergoeconómico circuito TB3.....	86
Tabla 5.19. Costo exergoeconómico circuito TO.....	87
Tabla 5.20. Costo exergoeconómico circuito TP.....	88

Tabla 6.1. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TL1.....	99
Tabla 6.2. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TB3.....	101
Tabla 6.3. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TO.....	102
Tabla 6.4. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TP.....	103
Tabla 6.5. Rangos de la relación de eficiencia energética para equipos unitarios.....	108

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. INVENTARIO DE INSTALACIONES.....	-123-
ANEXO B. MATRICES DE INCIDENCIA GENERALES.....	-134-
ANEXO C. PROGRAMAS EN MATLAB.....	-136-
ANEXO D. DATOS DE EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE.....	-137-

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1. SISTEMA ENERGÉTICO.....	- 2 -
1.2. ESCASEZ DE FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONALES.....	- 2 -
1.3. PERSPECTIVA TERMOECONÓMICA.....	- 3 -
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	- 3 -
1.4.1. NUEVO PATRÓN DE DESARROLLO.....	- 3 -
1.4.2. SOLUCIONES PLANTEADAS EN EL INTERIOR DE LA UNIVERSIDAD..	- 4 -
1.5. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO DE GRADO.....	- 4 -
1.6. ESTRUCTURA DEL LIBRO.....	- 8 -
2. FUNDAMENTACIÓN	- 10 -
2.1. INTRODUCCIÓN.....	- 10 -
2.2. BASES CONCEPTUALES.....	- 10 -
2.2.1. RECURSOS ENERGÉTICOS.....	- 10 -
2.2.2. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL.....	- 11 -
2.2.3. EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	- 12 -
2.3. URE.....	- 12 -
2.3.1. MARCO LEGAL.....	- 13 -
2.4. CONCEPTOS DE TERMODINÁMICA.....	- 13 -
2.4.1. BASES FUNDAMENTALES.....	- 13 -
2.4.2. PRIMER PRINCIPIO.....	- 14 -
2.4.3. SEGUNDO PRINCIPIO.....	- 15 -
2.4.4. ENTROPÍA.....	- 16 -
2.4.5. EXERGÍA.....	- 17 -
2.5. TERMOECONOMÍA.....	- 19 -
2.5.1. EL MÉTODO EXERGÉTICO.....	- 19 -
2.5.2. TEORÍA DEL COSTO EXERGÉTICO.....	- 20 -
2.5.3. REGLAS DE ASIGNACIÓN DE COSTOS.....	- 22 -
2.5.4. COSTO EXERGEOECONÓMICO.....	- 24 -
3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA	- 27 -
3.1. INTRODUCCIÓN.....	- 27 -
3.2. INVENTARIO.....	- 27 -
3.2.1. ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES.....	- 27 -
3.2.1.1. EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA.....	- 27 -
3.2.1.2. PLANTA DE ACEROS.....	- 28 -
3.3. ANÁLISIS DE LAS REDES.....	- 28 -
3.4. ANÁLISIS EXERGÉTICO.....	- 35 -
3.5. RENDIMIENTO Y COSTO EXERGÉTICO.....	- 40 -
3.6. MATRIZ DE INCIDENCIA.....	- 43 -
3.7. IRREVERSIBILIDADES.....	- 43 -
3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	- 44 -
3.8.1. SELECCIÓN DE CIRCUITOS.....	- 44 -

3.8.2.	NIVEL DE AGREGACIÓN	- 46 -
3.8.3.	CUADROS DE CARGA	- 47 -
4.	AUDITORÍA EXERGÉTICA	- 51 -
4.1.	INTRODUCCIÓN	- 51 -
4.2.	CONCEPTOS GENERALES	- 51 -
4.3.	OBJETIVO DE UNA AUDITORÍA EXERGÉTICA	- 52 -
4.4.	BENEFICIOS ASOCIADOS	- 53 -
4.5.	METODOLOGÍA IMPLEMENTADA	- 54 -
4.6.	CONSIDERACIONES GENERALES	- 55 -
4.7.	CIRCUITO SELECCIONADO	- 56 -
4.8.	CÁLCULOS TIPO	- 59 -
4.9.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	- 64 -
4.10.	CURVAS DE CARGA	- 67 -
4.11.	ILUMINACIÓN ACTUAL DEL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA... -	71 -
5.	ANÁLISIS TERMEOECONÓMICO	- 76 -
5.1.	INTRODUCCIÓN	- 76 -
5.2.	MATRICES DE INCIDENCIA.....	- 76 -
5.3.	VECTOR DE FLUJOS	- 79 -
5.4.	IRREVERSIBILIDADES	- 81 -
5.5.	COSTOS EXERGÉTICOS	- 83 -
5.6.	COSTO EXERGOECONÓMICO.....	- 86 -
6.	PROPUESTA URE	- 90 -
6.1.	INTRODUCCIÓN	- 90 -
6.2.	ETAPAS DE UN PROGRAMA URE	- 90 -
6.3.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	- 91 -
6.4.	POTENCIAL DE AHORRO	- 99 -
6.5.	PROPUESTA URE	- 104 -
6.5.1.	PROPUESTA A NIVEL DE PROCEDIMIENTO.....	- 105 -
6.5.2.	PROPUESTA A NIVEL DE CAMBIO DE TECNOLOGÍA.....	- 109 -
7.	CONCLUSIONES	- 116 -
8.	BIBLIOGRAFIA	- 119 -

RESUMEN

TÍTULO

URE: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO A CIRCUITOS ELÉCTRICOS EN LOS EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS Y PLANTA DE ACEROS DE LA UIS.

AUTORES: GUSTAVO ANDRÉS THERÁN HERAZO **
JUAN CARLOS POSADA GALVIS

PALABRAS CLAVES: Exergía, ure, análisis exergético, termoeconomía, auditoría exergética, costo exergético, irreversibilidad, ahorro energético.

DESCRIPCIÓN

En el presente proyecto se realizó una propuesta de uso racional de la energía (URE) a partir del enfoque exergético para las instalaciones eléctricas de los edificios de la facultad de ingenierías fisicoquímicas y planta de aceros de la UIS. Se realizó un análisis exergético preliminar para hallar los circuitos con mayores irreversibilidades y seleccionar los más desfavorables. Se llevó a cabo una auditoría exergética para identificar flujos y establecer índices de eficiencia con el fin de evaluar los procesos de transformación de energía y hacer una propuesta para URE.

Con los resultados de la auditoría se procedió a realizar el respectivo análisis termoeconómico identificando las irreversibilidades en los equipos, se calculó el costo exergético y el costo exergoeconómico de cada flujo y se identificaron los posibles potenciales de ahorro energético dentro de las instalaciones.

Se realizó una propuesta a nivel de procedimiento que incluyó las pautas para aplicar planes de uso racional de la energía dentro de la universidad y una propuesta a nivel de cambio de tecnología que permitiera reducir los consumos energéticos en los circuitos seleccionados.

El proyecto aporta una nueva metodología de diagnóstico energético para desarrollar planes de uso racional de la energía en instalaciones eléctricas a partir del enfoque termoeconómico.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Dr. Gilberto Carrillo Caicedo. Codirector: Ing. Carlos Arturo Cárdenas Guerra

SUMMARY

TITLE

APPLICATION OF THE EXERGETIC ANALYSIS TO ELECTRIC CIRCUITS IN THE BUILDINGS OF PHYSIOCHEMICAL ENGINEERINGS FACULTY AND UIS STEELS CONSTRUCTION UIS*.

AUTHORS: GUSTAVO ANDRES THERAN HERAZO**
JUAN CARLOS POSADA GALVIS

KEY WORDS: Exergy, RUE, exergetic analysis, thermoeconomy, exergetic audit, exergetic cost, irreversibility, energetic saving.

DESCRIPTION

Presently project carried out a proposal of rational use of the energy (RUE) starting from the exergetic focus for the electric facilities of the buildings of physiochemical engineerings faculty and UIS steels construction. It was carried out an exergetic preliminary analysis to find the circuits with greatest irreversibilities and select the most unfavorable. It was carried out an exergetic audit to identify the flows and establish efficiency indexes with the purpose to evaluate the processes of energy transformation and make a RUE proposal.

With the results of audit we proceeded to carry out the respective thermoeconomic analysis identifying the equipment irreversibilities, it was calculated exergetic and exergoeconomic cost of each flow and then identified the possible potentials of energy saving inside facilities.

It was carried out a proposal at procedure level that included the rules to apply plans of rational use of the energy inside the university and a proposal at level of changing technology that allowed reducing the energy consumptions in the selected circuits.

This project contributes a new energy diagnostic methodology to develop plans of rational use of the energy in electric facilities starting from the thermoeconomic focus.

* Degree Work

** Physics and Mechanics Engineering College, Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering School. Director: Dr. Gilberto Carrillo Caicedo. Co-director: Engineer Carlos Arturo Cárdenas Guerra

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la reducción de costos de energía en la industria ha sido objeto de cuidadosa atención. Esto se ha venido logrando con la aceptación e incorporación de mediciones que permitan implementar los proyectos de ahorro y establecer un programa sostenible a través de los estudios del uso de la energía.

El aumento del costo del petróleo y sus derivados, ha ocasionado que la industria busque desesperadamente fuentes de ahorro. En países industrializados como Estados Unidos, hay organizaciones que con mucha visión tienen mucha experiencia investigando la forma de ahorrar energía. Ejemplos observables son: Do Chemical Coa., Exxon, General Motors, etc. (Pérez, 2004).

El incremento de los precios de la energía, así como la incertidumbre de su suministro, ha hecho que los estudios integrales de energía sean una importante estrategia para las Industrias.

El proceso de globalización económica exige que las empresas redefinan sus estrategias con la finalidad de lograr un uso eficiente de sus recursos aumentando su productividad, de modo que puedan competir con éxito en el mercado.

A través de estudios integrales del uso eficiente de la energía se establece una serie de pautas y patrones que las empresas eficientes deberán seguir con la finalidad de implementar un sistema de gestión y aseguramiento de la energía en el desarrollo de sus procesos. Como consecuencia de los estudios del uso eficiente de la energía, se logra también una mejora en la productividad de la empresa.

1.1. SISTEMA ENERGÉTICO

Un sistema de energía consta, por un lado, de los procedimientos de suministro y, por otro, de las tecnologías de uso final. El objeto de un sistema de energía es proporcionar a sus consumidores los diversos servicios que la energía proporciona, como la iluminación, la cocción de alimentos, la climatización, las comunicaciones o el transporte. La energía también se precisa para prácticamente cualquier actividad comercial o industrial (Rolong, 2004).

La energía antes de suministrar su beneficio representado en los servicios finales que llegan al consumidor, ha sido sometida a un proceso que comienza con la obtención primaria de su forma como por ejemplo; la leña, el gas natural, el viento o el carbón. Para luego ser tratada convirtiéndola en otra estructura con ciertas características acondicionadas para unos determinados equipos como son los automóviles, bombillas, estufas, etc.

Desde la perspectiva del consumidor, lo que importa son los servicios finales que la energía suministra.

1.2. ESCASEZ DE FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONALES.

Los estudios encuentran que los recursos energéticos de la tierra son sin duda alguna adecuados para cubrir la demanda durante al menos las tres próximas décadas, pero sus proyecciones plantean serias preocupaciones sobre la seguridad del suministro energético, la adecuación de las inversiones en infraestructuras energéticas, la amenaza de deterioro medioambiental causada por la producción de energía y el desigual acceso de la población mundial a formas avanzadas de la energía.

Según la comisión europea la disminución de las reservas del petróleo se iniciará en el 2030, y no podrá ser amortiguado en su totalidad por el aumento previsto de las reservas no convencionales, ya que para ese entonces el costo de extracción será muy superior al actual.

1.3. PERSPECTIVA TERMOECONÓMICA

Se conoce hoy la necesidad de analizar la producción económica en un contexto global, que sea respetuoso con el medio ambiente y, en general, que asuma las restricciones que suponen el medio físico y el entorno en que se vive.

El *Segundo principio de la termodinámica* establece una importante limitación a cualquier transformación que utilice calor, trabajo o energía útil, sea o no económica; el principio establece que cada vez que se hace un proceso se disminuye la energía reutilizable. De acuerdo con él, los productos de toda transformación económica contienen sólo una parte del trabajo o calor útil.

Por otra parte, un sistema económico no sería viable si el *valor económico* de la producción final fuera menor que el *valor económico* de los recursos utilizados en ella. Más aún, solo habrá producción cuando se consiga que de los productos finales disponibles, pueda obtenerse algún tipo de excedente. Este hecho no puede ser contradictorio con el anterior; la Física y la Economía describen los fenómenos con metodologías distintas, pero sus visiones deben ser compatibles (Valero, 1998). La utilización de estos métodos al uso racional de la energía (URE) lo propone el director de este proyecto como una forma de incluir en el análisis energético, la masa y los insumos que conlleven costos para el proceso y como una forma de cuantificar las mejoras realizables en materia de eficiencia.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. NUEVO PATRÓN DE DESARROLLO

Un punto destacable en la concepción empresarial actual, es el planteamiento de crear un nuevo patrón de desarrollo sostenible en armonía con el medio ambiente. Este debe ser capaz de acortar la desigualdad entre las sociedades avanzadas y las menos favorecidas. En este sentido, un nuevo patrón de desarrollo denominado "*Responsabilidad Social Empresarial*" se viene presentando como línea de modernización empresarial.

1.4.2. SOLUCIONES PLANTEADAS EN EL INTERIOR DE LA UNIVERSIDAD.

Una de las soluciones al problema de la crisis energética estaría ligada a la mejora de los patrones de consumo, a la eficiencia energética, y a la educación que permita transformar el comportamiento y actitud de las personas.

Este proyecto se constituye en un paso previo para identificar las posibilidades de aplicar un programa de uso racional de la energía (URE) a los circuitos eléctricos.

El desarrollo del proyecto permite revisar las instalaciones involucradas, tener una visión nueva del ahorro de energía orientada por los principios de la termoeconomía; y servir como punto de partida para crear un centro piloto que contribuya al fomento y aplicación de programas de ahorro y conservación de la energía dentro de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

1.5. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO DE GRADO

Los objetivos de este trabajo están dirigidos al análisis exergético de los circuitos eléctricos de la planta de aceros y el edificio Jorge Bautista Vesga.

También hace parte de este trabajo, proponer medidas para reducir el consumo innecesario de energía en los circuitos eléctricos debido a equipos que puedan estar trabajando en forma inadecuada. Estas propuestas dependerán de los resultados obtenidos en el análisis exergético.

✓ Objetivo General

Proponer un programa de uso racional y eficiente de la energía a partir del enfoque termoeconómico para los edificios Jorge Bautista Vesga y planta de aceros.

✓ Objetivos Específicos

1. Caracterizar el sistema y los equipos eléctricos asociados a los diferentes procesos en los centros de energía.

2. Aplicar la metodología de auditoría exergética de los procesos desarrollados en estas instalaciones.
3. Obtener índices de eficiencia exergética de los procesos de transformación de energía.
4. Elaborar una propuesta de URE para el sistema eléctrico a partir del enfoque termoeconómico.

1.6 ALCANCE

- ✓ **Proporcionar un diagnóstico del consumo energético en las instalaciones involucradas en el mismo utilizando el enfoque termoeconómico**

La auditoría energética es parte fundamental de cualquier programa de administración de energía que desee controlar sus costos energéticos

Las dos partes esenciales de una auditoría energética son: un análisis de costos, mientras la segunda, la identificación de la forma como se emplea la energía en las edificaciones, y la determinación de las áreas donde ocurre desperdicio de energía.

- **Necesidad de la auditoría energética.**

La energía es un rubro importante para cualquier ente. El ahorro de la energía para toda organización, significa aumentar utilidades, tener precios más competitivos de sus productos y tener mayor disponibilidad de recursos para alcanzar el propósito de sus actividades.

Otros beneficios pueden ser, la mejora de la calidad del producto y la mejora del confort

- **Análisis exergético**

Existe una explosión en la utilización de los métodos termodinámicos para analizar los procesos térmicos en la industria. Aquí se generaliza su utilización para encontrar una magnitud equivalente entre los distintos tipos de energía que, en forma combinada, usan los centros industriales y de servicios. Sin esta magnitud equivalente sería imposible evaluar correctamente los costos de las diferentes corrientes energéticas y de sus pérdidas.

La calidad de la energía dada por la disponibilidad o exergía, no depende del tipo de corriente energética que la aporte. Permite evaluar un nuevo tipo de pérdidas energéticas no distinguidas hasta el momento por los tradicionales análisis aplicando el primer principio de la termodinámica, donde la cantidad de la energía es constante y no se mide la pérdida de su capacidad o su valor de uso.

Un sistema de transformación de energía será eficiente energéticamente en la medida que utilice la energía necesaria y no destruya la disponibilidad de realizar trabajo.

Esta propiedad de energía abre nuevas oportunidades de perfeccionamiento y mejoramiento de la eficiente energética y de la optimización de los procesos. Agregar nuevos conceptos, para la disminución de las pérdidas requiere de métodos y procedimientos de evaluación particulares. Aquellos que se efectúan en este proyecto se basan fundamentalmente, en las consecuencias del segundo principio de la termodinámica.

- **Termoeconomía**

El proyecto da un diagnóstico, fundamentado en la definición de exergía, mediante una auditoría que involucra el manejo de la exergía y la asignación de costos exergoeconómicos.

- ✓ **Revisar las tecnologías existentes dentro de los procesos, analizar si es conveniente el desarrollo de estos procesos de transformación de energía y si se justifica el costo económico y energético asociado para alcanzar los objetivos académicos y científicos de la universidad.**

Se puede constatar que el uso de la energía eléctrica en los edificios es muy variado. Los usos se pueden agrupar en; Iluminación, aire acondicionado, electrodomésticos (radiograbadora, computadoras, cafetera, DVD, etc.), motores eléctricos, etc.

La iluminación representa un porcentaje apreciable del consumo eléctrico de cualquier sistema. Una de las actividades del proyecto consistió en realizar un análisis de la iluminación en las diferentes áreas de trabajo, dando resultados técnicos y económicos.

Los motores eléctricos representan aproximadamente un 60% de la carga instalada en la industria y su consumo puede llegar a representar un 40% del total. Son los equipos que más pérdidas introducen en el sistema eléctrico.

Los aires acondicionados son equipos que facilitan que las personas ejecuten de una forma cómoda sus labores. A la hora de elegir un aparato de este tipo hay que tener en cuenta los consumos y rendimientos asociados y la forma de operación.

Los conceptos técnicos de los diferentes equipos que se encuentren de alguna forma conectados al sistema eléctrico se profundizan en el desarrollo de los capítulos posteriores, en donde se utilizan para buscar criterios de análisis que permitan verificar si los equipos están actuando de una forma que cumpla con las expectativas de funcionamiento.

De no ser así verificar cuánto incide su mal funcionamiento en el costo de la transformación energética o que posibilidad de ahorro hay en caso de mejorarlos; o si la inversión en nuevas tecnologías, por el contrario, es mejor opción para cambiar aquellas tecnologías obsoletas y cuya inversión se encuentre dentro del presupuesto de la universidad.

✓ **Proponer un programa de uso racional y eficiente de la energía aplicado a los circuitos eléctricos.**

En el presente trabajo se pretende crear conciencia sobre la importancia que representa un programa de uso racional y eficiente de la energía, situación que toca a la universidad en dos aspectos: buscar mayor eficiencia energética y buscar una cultura de ahorro y buen uso de los equipos.

Este trabajo propone un programa (URE) en los circuitos eléctricos de los edificios mencionados anteriormente, de tal forma que al implementarlo, se encuentre un ahorro energético, y en consecuencia un beneficio económico para la dependencia que maneja dichas instalaciones.

1.6. ESTRUCTURA DEL LIBRO

En el siguiente capítulo (dos), se encuentra la fundamentación teórica. Aquí se tratan temas como el uso racional de la energía URE, y se dan los principios básicos de la termodinámica y la termoeconomía, buscando crear una base conceptual que respalde los procedimientos y análisis que se realizarán en capítulos posteriores.

En el capítulo tres, se realiza la caracterización del sistema. Aquí se escogen los circuitos más desfavorables en cuanto a pérdidas exergéticas y se respalda esta escogencia con criterios que permiten tener una idea del consumo exergético de los circuitos.

En el capítulo cuatro, se aplican los conceptos básicos de una auditoría exergética, se consignan las medidas tomadas en los circuitos escogidos y se preparan para darles el debido tratamiento termoeconómico.

En el capítulo cinco, se desarrolla el tratamiento termoeconómico de los circuitos, calculando rendimientos y costos exergéticos de acuerdo con la teoría termoeconómica presentada en el capítulo dos, además se analizan los resultados obtenidos y se definen las posibles oportunidades de ahorro.

En el capítulo seis, se realiza la propuesta URE aplicada a los circuitos eléctricos escogidos, basada en los resultados del tratamiento termoeconómico realizado en el capítulo anterior.

En el capítulo siete, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1. INTRODUCCIÓN

La utilización de fuentes convencionales de energía como el petróleo y el carbón ha contribuido en gran manera al desarrollo industrial, pero debido al agotamiento de estas fuentes y la consecuencia que trae su utilización sobre el medio ambiente, se ha creado la idea de que el recurso energético no se puede desperdiciar ya que hace parte de la materia prima para lograr el avance y el desarrollo de los países. Como consecuencia de esto se están implementando procedimientos a nivel industrial y doméstico, con el objetivo de que el consumo de energía se haga de una manera racional evitando así pérdidas por el uso inadecuado y logrando que el impacto sobre el medio ambiente sea mínimo y controlable.

2.2. BASES CONCEPTUALES

2.2.1. RECURSOS ENERGÉTICOS

Conjunto de medios con los que los países del mundo intentan cubrir sus necesidades de energía. Como parte de estos recursos se cuenta con energías renovables (*El consumo de energía se hace más lento que la producción*) y energías no renovables (*La producción de energía se hace más lenta de lo que se consume*).

- **ENERGÍAS NO RENOVABLES**

Son las fuentes energéticas con energías muy concentradas que han requerido varios siglos o milenios para que se tengan disponibles, dentro de estas se encuentran el petróleo, el gas natural y el carbón.

- **ENERGÍAS RENOVABLES**

Este término engloba una serie de fuentes energéticas que no se agotarían con el paso del tiempo, puesto que se consumen más lentamente que el tiempo requerido para producirse, dentro de este grupo se encuentran la energía solar, la biomasa, la geotérmica, la eólica y la mareomotriz, entre otras.

- **ENERGÍA SOLAR:** Es la proveniente directamente del sol, se recoge en forma térmica o fotovoltaica.
- **ENERGÍA GEOTÉRMICA:** Es la producida por el gradiente térmico entre el centro de la tierra y la superficie.
- **BIOMASA:** Tipo de energía renovable basada en la utilización energética de la materia orgánica producida localmente. Su uso da el nivel de renovabilidad. Aquí se incluye el uso de materia orgánica que se renueva permanentemente para que sea sostenible.
- **ENERGÍA EÓLICA:** Es la producida por el movimiento de las corrientes de aire.
- **ENERGÍA MAREMOTRIZ:** Es la producida por el desnivel de agua que se produce como consecuencia de las mareas.

2.2.2. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL

Un 80% de la demanda de energía del planeta se viene cubriendo con combustible fósil en una proporción que puede estar entre el 36% del petróleo, el 23% del carbón, y el 21% del gas natural. La energía nuclear suministra un 6%, las centrales hidroeléctricas un 2%, y las formas alternativas de energías renovables, tales como: solar, eólica, minihidráulica, o biomasa, un 2%. Para el resto, que corresponde a los habitantes menos desarrollados energéticamente y

que se sustenta bajo la tradicional biomasa obtenida equívocamente a través de la deforestación, el 10% (Pérez, 2004).

La figura 2.1 ilustra los datos proporcionados anteriormente:

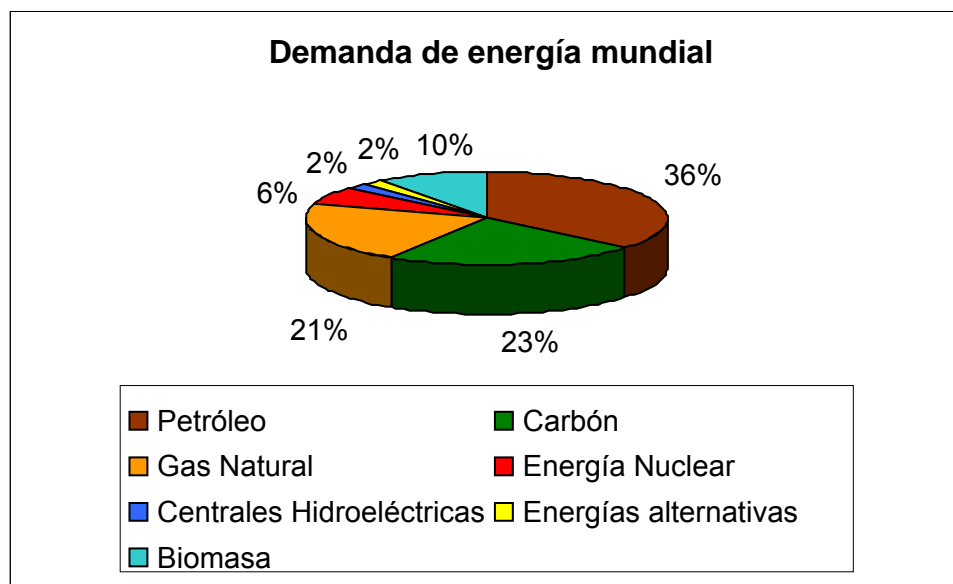


Figura 2.1. Demanda de energía mundial. [Fuente: (Pérez, 2004)]

2.2.3. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Consiste en la adecuación de los sistemas de producción, transporte y consumo de energía, con el fin de lograr el mayor desarrollo sostenible con los medios tecnológicos al alcance, minimizando el impacto sobre el ambiente, y optimizando la conservación de la energía y la reducción de costos energéticos (González, 2005).

2.3. URE

Se entiende como el aprovechamiento óptimo de la energía en todos los eslabones de las diferentes cadenas energéticas y la adopción de las medidas de eficiencia energética que se justifiquen económicamente, para utilizar solo la energía aprovechable y minimizando los desperdicios.

La práctica de URE debe realizarse partiendo de la selección de la fuente energética, optimizando su producción, transformación, transporte, distribución y consumo, e incluyendo su reutilización cuando sea posible. De esta manera se constituye en una medida efectiva para propiciar el crecimiento económico, el desarrollo social y por tanto, contribuyendo a la sostenibilidad del desarrollo de un país.

2.3.1. MARCO LEGAL

El URE está siendo impulsado en algunos países, mediante estímulos o incentivos; para el caso de Colombia existe la Ley 697 de 2001 (Ley URE); esta establece estímulos clasificados en cuatro categorías: incentivos tributarios, de mercado, institucionales y ambientales (Cárdenas, 2006).

2.4. CONCEPTOS DE TERMODINÁMICA

La termodinámica es la ciencia de la energía. Bajo este concepto se puede utilizar para incluir todos los aspectos energéticos y sus transformaciones, incluyendo la producción de energía eléctrica, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia como son la presión, la temperatura, el volumen y la masa, entre otras (Cengel, 2003).

2.4.1. BASES FUNDAMENTALES

La termodinámica se basa primordialmente en dos principios naturales fundamentales. El uno expresa la conservación de la energía y el otro que la utilización degrada su calidad. A continuación se dará una breve exposición de conceptos básicos y una visión general de los enunciados de estas leyes para más adelante dar aplicación a su contenido.

- **SISTEMA:** Un sistema termodinámico o simplemente un sistema se define como *una cantidad de materia o una región del espacio elegida para su estudio* (Cengel, 2003).

- **ESTADO:** El estado de un sistema se define mediante una serie de propiedades que lo describen por completo (Cengel, 2003). Estas propiedades son tales como presión, temperatura, volumen, etc.
- **EQUILIBRIO:** Un sistema se encuentra en equilibrio termodinámico cuando no experimenta cambios si se aísla de sus alrededores, el equilibrio puede ser térmico, mecánico, de fase o químico (Cengel, 2003).
- **PROCESO:** Se le llama proceso a cualquier cambio que experimente un sistema de un estado de equilibrio a otro (Cengel, 2003).
- **PROCESO CUASISTÁTICO:** Es el tipo de proceso que ocurre de tal manera que el sistema permanece infinitesimalmente cercano a un estado de equilibrio en todo momento (Cengel, 2003).
- **PROCESO IRREVERSIBLE:** Una transformación de un sistema pasando de un estado inicial a un estado final es irreversible, si el paso del estado final al inicial es imposible de efectuar sin cambios en los cuerpos del entorno; esto es, el retorno precisa compensación (Cengel, 2003).
- **PROCESO REVERSIBLE:** Análogamente, la transformación anterior será reversible si el paso inverso no implica compensación. Es evidente que toda transformación cuasiestática es reversible, ya que si en todo momento el sistema se encuentra en estado de equilibrio el camino de ida o el de vuelta, no presentará cambios y no se modificará el entorno (Cengel, 2003).

2.4.2. PRIMER PRINCIPIO

El primer principio de la termodinámica es una expresión del principio de conservación de la energía. Afirma que la energía es una propiedad termodinámica, y que durante una interacción, ésta puede cambiar de una forma a otra pero la cantidad total de la misma permanece constante (Dincer, 2001).

La energía total E representa la suma de todas las formas de energía que un sistema posee; y el cambio en la energía contenida en un sistema durante un

proceso es expresado como $E_{Sistema}$. A falta de efectos eléctricos, magnéticos, de superficie etc..., la energía total en ese caso puede ser expresada como la suma de la energía interna (U), energía cinética (E_C), y energía potencial (E_P) según las expresiones 2.1 y 2.2 (Dincer, 2001).

$$E = U + E_C + E_P \quad (2.1)$$

$$\Delta E_{Sistema} = \Delta U + \Delta E_C + \Delta E_P \quad (2.2)$$

La energía puede ser transferida desde un sistema o hasta él, en tres formas: calor (Q), trabajo (W) y flujo de masa (m).

Luego del balance de energía para cualquier sistema que experimente algún tipo de proceso puede ser expresado como:

$$E_{Entrada} - E_{Salida} = \Delta E_{Sistema} \quad (2.3)$$

Es decir, el cambio neto (el incremento o la disminución) en la energía total del sistema durante un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale del sistema durante ese proceso. Esta relación también puede ser expresada por unidad de masa y de manera diferencial como sigue:

$$e_{ent} - e_{sal} = \Delta e_{sistema} \quad (2.4)$$

$$\delta E_{ent} - \delta E_{sal} = dE_{sistema} \quad (2.5)$$

2.4.3. SEGUNDO PRINCIPIO

Aunque un proceso espontáneo puede ocurrir sólo en una dirección, el primer principio no da información acerca de esta dirección; meramente indica cuándo una forma de energía se convierte en otra, es decir, cantidades idénticas de energía están involucradas independientemente de la viabilidad del proceso (Dincer, 2001).

El segundo principio afirma que la energía tiene calidad así como también cantidad y en cualquier proceso real que incluya intercambio de energía existe la

tendencia a degradar la misma disminuyendo su capacidad para producir trabajo. Los intentos para cuantificar la calidad o el potencial de trabajo de la energía a la luz del segundo principio, han dado como resultado la definición de propiedades como la *entropía* y la *exergía* (Dincer, 2001).

2.4.4. ENTROPIA

Se hace necesario entonces introducir una propiedad termodinámica nueva, la entropía, que es simplemente una medida de la cantidad de desorden molecular dentro de un sistema. A este respecto, un sistema que posee un alto grado de desorden molecular (como un gas a alta temperatura) tiene un valor muy alto de entropía y viceversa, por esta razón, la entropía es conocida comúnmente como el corazón del segundo principio (Dincer, 2001).

Entonces, como consecuencia se puede afirmar que:

“Si un sistema está aislado y cerrado, de manera que no existan intercambios de materia ni de energía con cualquier otro sistema, su entropía aumenta con cada cambio físico o transformación que ocurra dentro del mismo” (CAPTE, 1999).

Esto ocasionará que la calidad de la energía disminuya gradualmente en la medida que se incremente la entropía en el sistema.

La formulación matemática de la segunda ley, debida a Clausius, define la entropía como una función de estado de la siguiente manera¹:

$$S_B = S_A + \int_A^B \frac{dq_{rev}}{T} \quad (2.6)$$

Donde S_A es el valor (arbitrario) que se asigna a la entropía del estado de referencia A, T es la temperatura absoluta en Kelvin y dq_{rev} es el calor intercambiado en un proceso reversible dado en calorías.

¹ Cengel, 2003

Dentro del marco entrópico, cabe resaltar los siguientes hechos:

- ❖ La entropía es una medición de la cantidad de restricción que existe para que un proceso se lleve a cabo y determina la dirección de dicho proceso.
- ❖ La entropía de un sistema es una medida de la cantidad de desorden molecular dentro del mismo.
- ❖ Un sistema sólo puede generar, más no puede destruir entropía.
- ❖ La entropía de un sistema puede ser aumentada o disminuida por la energía transportada a través de los límites del mismo.

2.4.5. EXERGÍA

Se define como el máximo trabajo útil que podría obtenerse por la interacción de un sistema y un ambiente de referencia especificado que se asume infinito, en equilibrio, y que incluye a todos los demás sistemas. Esta propiedad se conserva sólo cuando todos los procesos entre el sistema y el ambiente son reversibles, y se destruirá cada vez que un proceso irreversible ocurra (Dincer, 2001).

Esta propiedad puede citarse con cuatro componentes: la exergía cinética (relacionada con el movimiento relativo), la exergía potencial (ya sea gravitacional o electromagnética), la exergía física (dada por las diferencias de presión y/o temperatura) y la exergía química (asociada a diferencias en la composición química).

A continuación se presenta la exergía en cada tipo de energía como sigue:

$$\text{Exergía del calor} \dots \dots \dots E_Q = \sum Q_J (1 - t / t_0) \quad (2.7)$$

$$\text{Exergía de la entalpía} \dots \dots \dots E_H = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (2.8)$$

$$\text{Exergía de la energía interna} \dots \dots \dots E_U = (U - U_0) - T_0(S - S_0) + P_0 (V - V_0) \quad (2.9)$$

Donde:

Q es el calor, t_0 es temperatura de referencia, t es temperatura de la fuente de calor, H es entalpía final, H_0 es entalpía de referencia, S es la entropía final, S_0 es la entropía de referencia, U es la energía interna final, U_0 es la energía interna de referencia, T_0 es temperatura de referencia, P_0 es presión de referencia, V_0 es volumen de referencia y V es volumen final.

En la figura 2.2 se observa un sistema con los respectivos flujos que actúan sobre él, obedeciendo a los principios termodinámicos definidos en las secciones 2.4.4 y 2.4.5.

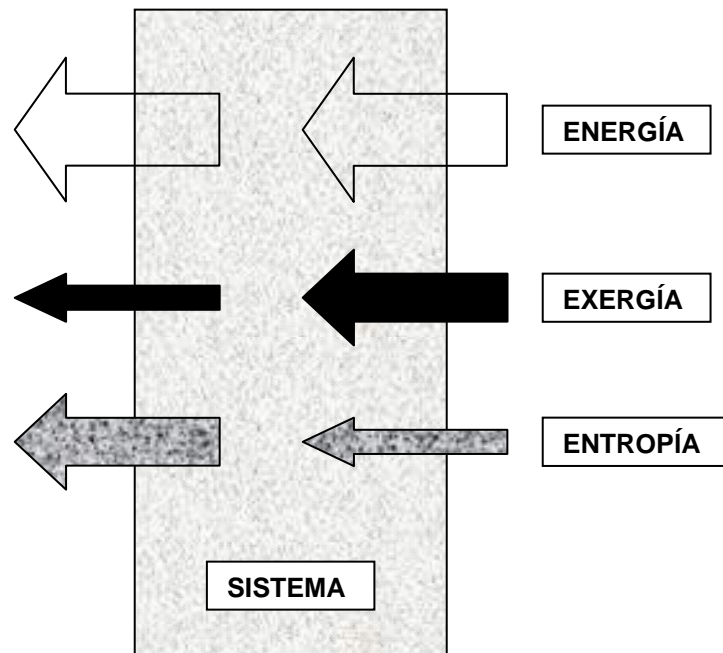


Figura 2.2. Flujos de energía, entropía y exergía para un sistema determinado. [Fuente: (Shukuya, 2002)].

La cantidad de flujo de energía que entra y sale permanece constante debido a la condición de estado estable según el principio de la conservación de la energía. Por otra parte, la cantidad de entropía fluyendo fuera es mayor de acuerdo con el principio de incremento de entropía y la cantidad de exergía saliendo es más

pequeña, ya que la exergía es consumida dentro del sistema para producir entropía (Shukuya, 2002).

2.5. TERMOECONOMÍA

2.5.1. EL MÉTODO EXERGÉTICO

Cuando se hacen revisiones del uso de la energía en la industria, comúnmente se utiliza como método de trabajo el denominado análisis energético, el cual solo involucra conceptos y apartes relacionados con el primer principio; para efectos de este trabajo se utilizará el análisis exergético el cual deriva de la utilización del lenguaje entrópico del segundo principio en términos de energía. El objetivo que se persigue es, crear y utilizar un lenguaje energético susceptible de aplicarle argumentos económicos, se trataría de un lenguaje mixto entre termodinámica y economía, con términos de significado común y que se agruparía en una ciencia complementaria llamada *termoeconomía*.

En el momento de investigar procesos como la producción de electricidad, la licuefacción del gas natural, etc. una pregunta clave es ¿cómo determinar la eficiencia? Para responder este interrogante, la comparación de los conceptos asociados deberán estar en unidades equivalentes, es por esta razón que se debe evaluar el producto y el consumo en términos de exergía. Se puede demostrar que dos flujos o sistemas son termodinámicamente equivalentes si y solo sí, tiene igual exergía (Capte, 1999).

Si se toma el propósito de producción de un proceso (producto P) y los recursos disponibles consumidos (insumo F), ambos valorados por su exergía, entonces se cumplirá la ecuación (2.10).

$$F - P = I > 0 \quad (2.10)$$

Donde I representa la cuantificación de la irreversibilidad del proceso en términos de exergía destruida. El rendimiento termodinámico vendrá dado por la ecuación 2.11.

$$\eta = \frac{P}{F} \leq 1 \quad (2.11)$$

Este número es adimensional y representa la relación universal para evaluar la calidad termodinámica de los procesos.

El inverso de la función eficiencia representará el costo exergético, dado por la ecuación 2.12.

$$K = \frac{F}{P} \geq 1 \quad (2.12)$$

En sentido puntual, el objetivo de la optimización energética debe encaminarse a minimizar el costo exergético unitario de los productos funcionales (maximizar la eficiencia).

Una vez desentrañada la relación conceptual entre el segundo principio, la eficiencia y el costo exergético, la aplicación del método exergético permitirá no sólo desglosar la irreversibilidad o ineficiencia de un sistema, por complejo que sea, por equipos o causas (*análisis exergético*); si no también, calcular los costos exergéticos de sus flujos internos y productos finales (*control de costos*), y establecer valoraciones precisas de la repercusión en consumo de combustible ocasionado por el mal funcionamiento de cualquiera de los equipos que componen la estructura del sistema (*auditoría exergética*) (CAPTE, 1999).

2.5.2. TEORÍA DEL COSTO EXERGÉTICO

El denominado costo exergético no corresponde a dinero, sino a una cuantificación energética expresada en la forma en que se hace la contabilidad de costos. La teoría del costo exergético es una metodología de costos termoeconómicos que formula un procedimiento de asignación de costos basado en consideraciones termodinámicas.

Dado un sistema cuyos límites, nivel de agregación y propósito productivo han sido definidos, se denomina costo exergético, B^* , de un flujo físico a la cantidad necesaria de exergía para producirlo. El costo exergético unitario (k^*) corresponde

al costo exergético de un flujo por unidad de exergía (Capte, UIS), como se muestra en la ecuación 2.13.

$$K_i = \frac{B_i^*}{B_i} \quad (2.13)$$

Para realizar el análisis termodinámico de una planta o proceso, ésta deberá definirse previamente como un conjunto de equipos o subsistemas tal que la suma de todos ellos constituyan la planta total, y de otro conjunto de flujos que pueden ser materia, calor y trabajo a través de los cuales se relacionan los equipos entre sí y con el entorno de la planta (Lozano, 1997).

Sistema energético = subsistemas o equipos + Flujo de materia y/o energía

Donde la relación entre los flujos y subsistemas se establece mediante la matriz de Incidencia ***A (n,m)*** siendo n el número de subsistemas y m el número de flujos. Los elementos de la matriz a_{ij} toman el valor de +1 si el flujo j entra al subsistema i, el de -1 si lo abandona y el de 0 si no existe relación física directa entre ellos (Lozano, 1997).

En caso de funcionamiento en estado estacionario los balances de materia, energía y exergía, podrán plantearse de acuerdo a las ecuaciones (2.14), (2.15) y (2.16).

$$\mathbf{A X M = 0} \quad (2.14)$$

$$\mathbf{A X E = 0} \quad (2.15)$$

$$\mathbf{A X B = D} \quad (2.16)$$

Donde M, E y B son vectores columna de dimensión *m* cuyos elementos corresponden a la masa, energía y exergía de los flujos.

Cuando el elemento j de los vectores M, E y B corresponden a un flujo de masa: M_j representa la masa, E_j representa la energía y B_j la exergía de dicho flujo. Si el

elemento j corresponde a un flujo de calor o trabajo, entonces: $M_j = 0$, E_j es Q_j o W_j y B_j es $Q_j (1-T_0/T_j)$ o W_j . El elemento D_j del vector columna D de dimensión n representa la exergía destruida por el equipo i a causa de las irreversibilidades internas (Lozano, 1997).

De igual forma que se ha definido la matriz de incidencia A , se pueden definir unas matrices de incidencia para los flujos de entrada (o insumos) $A_F(n \times m)$ y los flujos producto $A_P(n \times m)$, tales que verifican las ecuaciones (2.17), (2.18) y (2.19).

$$[A_F] - [A_P] = A \quad (2.17)$$

$$[A_F] \times [B] = F \quad (2.18)$$

$$[A_P] \times [B] = P \quad (2.19)$$

Siendo F y P vectores ($n \times 1$), cuya componente i -ésima contiene la exergía del insumo (F_i) y del producto (P_i), respectivamente.

2.5.3. REGLAS DE ASIGNACIÓN DE COSTOS

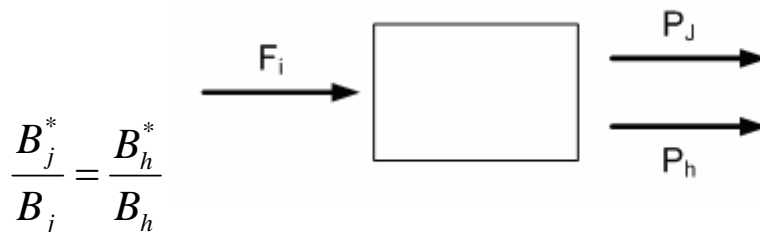
La teoría del costo exergético define un procedimiento matemático, basado en las siguientes proposiciones:

- P1: El costo exergético es una propiedad conservativa. Para cada componente del sistema la suma de todos los costos exergéticos de los flujos de entrada es igual a la suma de los costos exergéticos de los flujos de salida. En forma matricial y en ausencia de valoraciones externas el balance de costos exergéticos puede escribirse de acuerdo con la ecuación (2.20).

$$[A] \times [B^*] = 0 \quad (2.20)$$

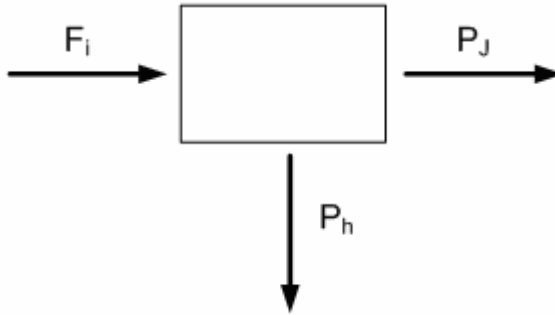
Donde B^* es un vector ($m \times 1$) cuyas componentes contienen los valores de los costos de los flujos. Esta propiedad define tantas ecuaciones como equipos definidos en la instalación.

- P2: El costo exergético de los flujos depende de los costos de los recursos de entrada. En ausencia de asignaciones externas, el costo de los flujos de entrada al sistema es igual a su exergía, o en otras palabras, su costo exergético unitario es uno. Esta propiedad permite definir tantas ecuaciones como flujos de entrada a la planta.
- P3: Todos los costos generados en el proceso productivo deben ser incluidos en el costo final de los productos. En ausencia de asignaciones externas, se asigna un costo nulo a los flujos de pérdidas. Esto permite definir tantas ecuaciones como flujos de pérdidas.
- P4: Si el producto de una componente está formado por varios flujos de la misma calidad termodinámica, todos ellos tienen el mismo costo exergético unitario.



Esta proposición se basa en el hecho de que si en un equipo se identifican varios productos, su proceso de formación ha sido el mismo y se asigna un costo proporcional a su exergía.

- P5: Si un flujo de salida de una componente es parte del insumo de dicha componente, (combustible no consumido), su costo exergético es el mismo que el del flujo de entrada del que proviene.



$$\frac{B_j^*}{B_j} = \frac{B_i^*}{B_i}$$

Esta proposición se basa en el hecho de que el flujo de salida es una parte del flujo de entrada no utilizado en el proceso y por tanto tienen el mismo costo unitario.

2.5.4. COSTO EXERGOECONÓMICO

El cálculo del costo económico de los flujos, en una planta determinada constituye un problema de gran importancia, por cuanto está ligado de manera directa con la asignación de los costos de producción a las distintas componentes que constituyen el proceso productivo, y en consecuencia, a la asignación correcta de los costos de los productos finales (Lozano, 1997).

Para aquellas instalaciones en que la exergía juega un papel importante, la formación del costo económico de los flujos internos y productos finales está relacionada tanto con la eficiencia termodinámica del proceso como por los costos del combustible y de los equipos, lo cual incluye aspectos relacionados con la amortización y el mantenimiento de los mismos.

Entonces, se puede considerar el costo exergoeconómico de un flujo como la suma de dos contribuciones: la primera, que procede del costo monetario de la exergía de los recursos de la planta (su costo exergético) y la segunda, que engloba el resto de los costos originados en el proceso productivo asociado a su obtención (capital, operación, mantenimiento, etc.) (Capte, UIS).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el costo exergoeconómico de un flujo de un sistema, denotado por Π , corresponde a los recursos valorados en

términos económicos necesarios para obtener dicho flujo. Se denota por Π (mx1) al vector cuyas componentes contienen los costos exergoeconómicos de los flujos.

El costo exergoeconómico del insumo (producto) de un subsistema, denotado por Π_F (Π_P) corresponde a los recursos económicos necesarios para obtener el fuel (producto) de dicho subsistema. Se denotan por Π_F y Π_P (nx1) los vectores, que vienen expresados según las ecuaciones (2.21) y (2.22).

$$\{\Pi\}_F = [A_F] \times \{\Pi\} \quad (2.21)$$

$$\{\Pi\}_P = [A_P] \times \{\Pi\} \quad (2.22)$$

Si Z_i es el costo de los factores de producción no energéticos (amortización, mantenimiento, operación, etc.) de cada subsistema, y Z (nx1) el correspondiente vector, el balance de costos exergoeconómicos para cada equipo individual, se expresa en forma vectorial con la ecuación (2.23).

$$\Pi_F + Z = \Pi_P \quad (2.23)$$

Entonces la ecuación del balance exergoeconómico de los flujos de un sistema, es equivalente a:

$$A \times \Pi = (A_F - A_P) \times \Pi = \Pi_F - \Pi_P = -Z \quad (2.24)$$

Esta ecuación proporciona un sistema de n ecuaciones linealmente independientes, cuyas incógnitas Π son los costos exergoeconómicos de los flujos involucrados en el proceso energético.

Las (m-n) ecuaciones auxiliares son deducidas de la misma manera que para el costo exergético de los flujos utilizando los postulados de las reglas de asignación de costos, sustituyendo la valoración exergética de los flujos de entrada por su valoración económica.

Al hallar el costo exergoeconómico de los flujos del sistema se tiene una idea más clara en términos económicos, de cuánto le vale a la planta su puesta en funcionamiento y el costo asociado que tienen los insumos involucrados en el proceso.

Un ejemplo de esto es el sistema eléctrico presentado en la figura 2.3 donde los flujos de exergía y costos exergoeconómicos correspondientes se presentan en la tabla 2.1:



Figura 2.3. Sistema energético típico.

FLUJO	EXERGÍA [kW-h]	COSTO EXERGOECONÓMICO [\$/ kW-h]	COSTO ECONÓMICO [\$]
1	1350	120	162000
2	1230	120	147600
3	840	120	10080
4	520	120	6240

Tabla 2.1. Flujos de exergía y costo exergoeconómico.

De la tabla 2.1, el valor económico asociado al funcionamiento de cada equipo con sus respectivos flujos, se halla multiplicando el flujo exergético de entrada por su costo exergoeconómico. Con esta información es posible determinar en términos económicos *cuánto cuesta* la puesta en funcionamiento de los equipos del sistema en cuestión.

3. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA

3.1. INTRODUCCIÓN

La caracterización energética es un procedimiento de análisis cualitativo y cuantitativo que permite evaluar la eficiencia con que una empresa o industria, administra y usa todos los tipos de energía requeridos en su proceso productivo. También es el paso previo para implementar un sistema de gestión o administración de la energía.

En este capítulo, se utilizan procedimientos de análisis cuantitativo sobre las instalaciones eléctricas de una edificación buscando encontrar los circuitos más desfavorables en cuanto a irreversibilidades se refiere, identificar y establecer los índices de eficiencia y según esos resultados, realizar la caracterización exérgica de los circuitos escogidos, para luego, en el capítulo 4 aplicar la herramienta del análisis termoeconómico.

3.2. INVENTARIO

El inventario correspondiente a las instalaciones eléctricas de los edificios se presenta en el anexo A.

3.2.1. ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES

3.2.1.1. EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA

- **TABLERO GENERAL DE ACOMETIDAS**

Se encuentra ubicado en el cuarto de la subestación en el edificio Jorge Bautista Vesga. Allí se encuentran los siguientes accesorios: tres barras pintadas, cada una, de rojo amarillo y azul correspondientes a las fases A, B, y C respectivamente de 1800x20x6,25 mm en cobre y dos barras sin pintar en cobre de 400x20x6,25 mm para el neutro y la tierra.

Un totalizador principal de la subestación de 400 A y 18 protecciones o totalizadores, numerados de P1 a P18 del tipo atornillable.

- **INSTALACIONES INTERNAS Y DESCRIPCIÓN DE TABLEROS POR PISO**

En el anexo A se encuentra la información de las instalaciones con sus respectivas características y carga.

3.2.1.2. PLANTA DE ACEROS

- **TABLERO GENERAL DE ACOMETIDAS**

Se encuentra ubicado en el cuarto de la subestación, en el edificio de la planta de aceros, Está formado por tres barras en cobre de 900x20x6,25 mm para las fases y dos barras en cobre de 400x20x6,25 mm para el neutro y la tierra, En el se alojan 2 totalizadores principales y 13 protecciones o totalizadores adicionales.

- **INSTALACIONES INTERNAS Y DESCRIPCIÓN DE TABLEROS POR PISO**

En el anexo A se encuentra la información de las instalaciones con sus respectivas características y carga.

3.3. ANÁLISIS DE LAS REDES

Para realizar el análisis de las redes, se agruparon las cargas en el tablero general de acometidas, y luego se reagruparon por tablero tomando los tableros principales con sus respectivos valores nominales de carga, los diagramas unifilares se presentan en la figura 3.1 para la planta de aceros y 3.2 para el edificio Jorge Bautista Vesga:

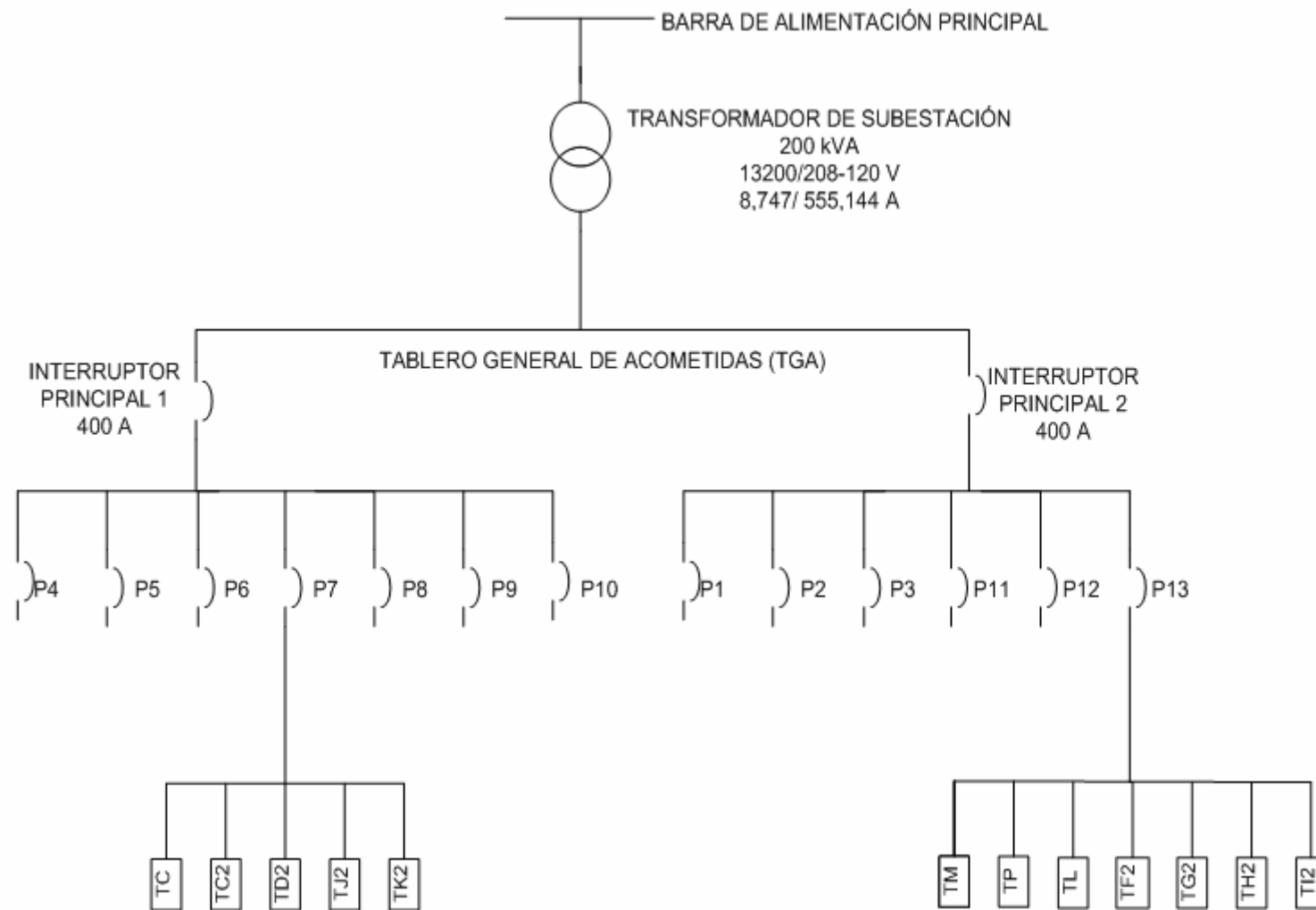


Figura 3.1. Diagrama unifilar planta de aceros.

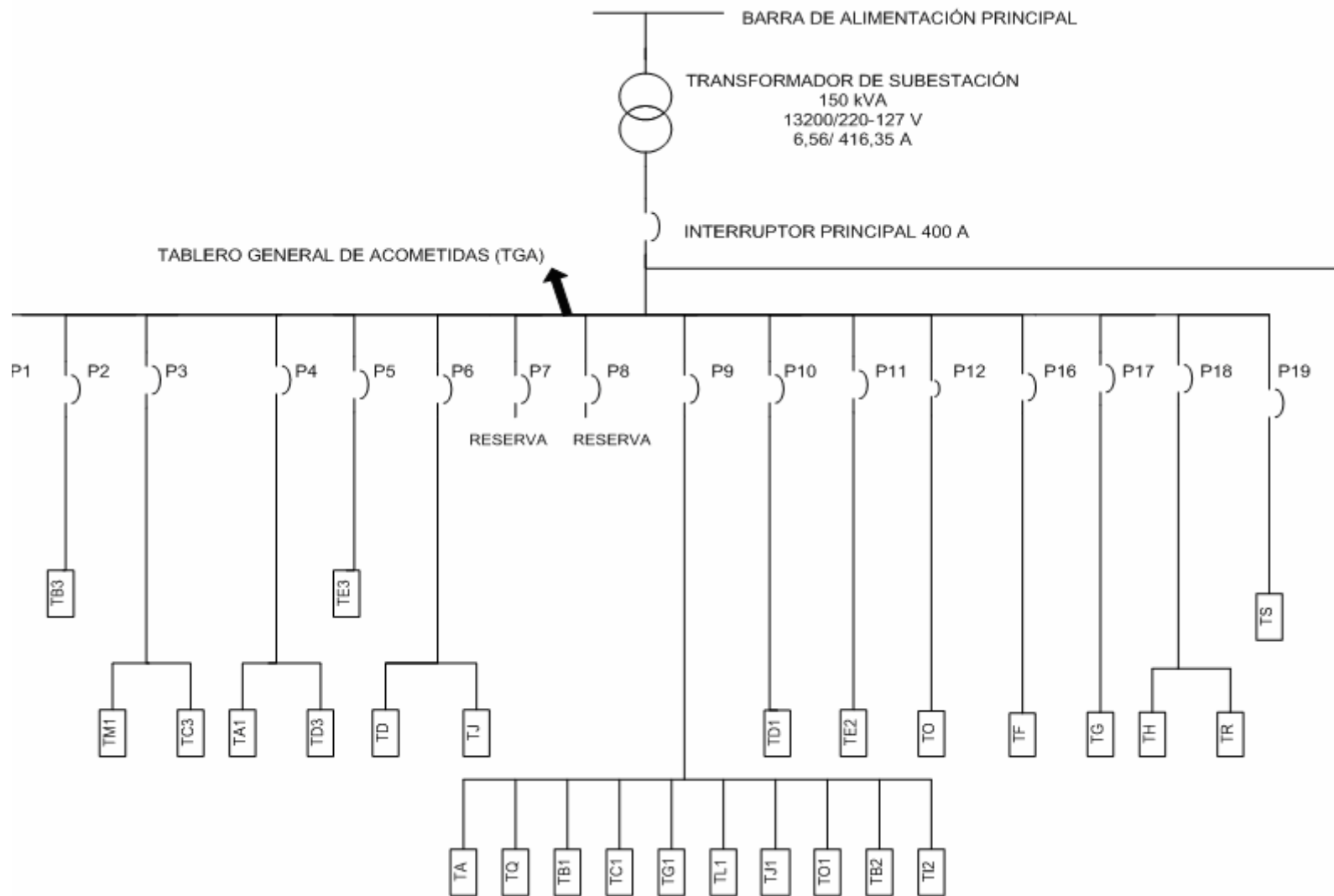


Figura 3.2. Diagrama unifilar Jorge Bautista Vesga.

✓ **EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA**

Los valores de carga por tablero se presentan en la tabla 3.1, cabe anotar que los tableros en negrilla son los tableros principales ya que estos alimentan a los subtableros que se encuentran inmediatamente a su derecha.

EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA (ING. PETROLEOS)		
TOTALIZADOR	CARGA (kVA)	TABLEROS
P1	17,340	TA3,TH3
P2	23,438	TB3,TF3,TG3
P3	22,444	TM1,TK1,TC3
P4	17,538	TA1,TD3,TI3
P5	10,784	TE3
P6	16,960	TD,TE,TJ,TI
P7	RESERVA	0-0
P8	RESERVA	0-0
P9	116,248	(TA,TQ,TN,TB1,TC1,TG1,TN1,TL1,TH1,TI1,TJ1,TO1,TP1,TB2,TA2,TI2)
P10	12,260	TD1,TE1
P11	4,992	TE2
P12	35,976	TO
P13	0,260	SUBESTACIÓN
P14,P15	0,360	SUBESTACIÓN
P16	6,544	TF
P17	6,712	TG,TK
P18	12,222	TH,TR
P19	5,132	TS
PRINCIPAL	7,700	TF1
TOTAL	316,910	

Tabla 3.1. Carga nominal edificio Jorge Bautista Vesga

Luego, se calculó la resistencia total de las líneas de los circuitos ramales para cada tablero con el calibre y la respectiva distancia desde el tablero general de acometidas (TGA) de la subestación (la reactancia inductiva de los cables se desprecia para efecto de los cálculos). Este resultado se muestra en la tabla 3.2:

TABLERO	DISTANCIA [m]	CALIBRE	RESISTENCIA [ohm/km]	RESISTENCIA TOTAL
TA3	30,700	# 4	0,831	0,0255
TB3	29,740	# 4	0,831	0,0247
TM1	52,800	# 6	1,320	0,0697
TC3	28,040	# 6	1,320	0,0370
TA1	24,200	# 6	1,320	0,0319
TD3	26,100	# 8	2,100	0,0548
TE3	25,600	# 8	2,100	0,0538
TD	18,500	# 4	0,831	0,0154
TJ	48,200	# 8	2,100	0,1012
TA	20,500	# 1/0	0,329	0,0067
TQ	49,500	# 6	1,320	0,0653
TB1	21,500	# 6	1,320	0,0284
TC1	23,200	# 10	3,340	0,0775
TG1	46,370	# 8	2,100	0,0974
TL1	52,000	# 6	1,320	0,0686
TJ1	26,000	# 10	3,340	0,0868
TO1	43,030	# 12	5,310	0,2285
TB2	26,500	# 6	1,320	0,0350
TI2	32,000	# 6	1,320	0,0422
TD1	22,500	# 4	0,831	0,0187
TE2	77,000	# 4	0,831	0,0640
TO	49,000	# 1/0	0,329	0,0161
TF	37,030	# 10	3,340	0,1237
TG	38,800	# 6	1,320	0,0512
TH	36,800	# 10	3,340	0,1229
TR	17,950	# 8	2,100	0,0377
TS	13,020	# 8	2,100	0,0273
TF1	15,730	# 4	0,831	0,0131

Tabla 3.2. Resistencia de las líneas edificio Jorge Bautista Vesga

A continuación se procedió a separar la carga de cada tablero en potencia activa y potencia reactiva asumiendo un valor de factor de potencia de 0,9. (NTC 2050)

TABLERO	CARGA (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)
TA3	13,920	12,528	6,068
TB3	23,438	21,094	10,216
TM1	16,284	14,656	7,098
TC3	6,160	5,544	2,685
TA1	7,604	6,844	3,315
TD3	9,934	8,941	4,330
TE3	10,784	9,706	4,701
TD	6,560	5,904	2,859
TJ	2,040	1,836	0,889
TA	1,720	1,548	0,750
TQ	7,156	6,440	3,119
TB1	17,792	16,013	7,755
TC1	4,500	4,050	1,962
TG1	9,380	8,442	4,089
TL1	21,020	18,918	9,162
TJ1	2,680	2,412	1,168
TO1	2,752	2,477	1,200
TB2	20,024	18,022	8,728
TI2	16,908	15,217	7,370
TD1	8,360	7,524	3,644
TE2	4,992	4,493	2,176
TO	35,976	32,378	15,682
TF	6,544	5,890	2,852
TG	6,952	6,257	3,030
TH	2,710	2,439	1,181
TR	9,512	8,561	4,146
TS	5,132	4,619	2,237
TF1	7,700	6,930	3,356
TOTAL	288,534	259,681	125,769

Tabla 3.3. Carga instalada por tablero edificio Jorge Bautista Vesga

Nota: Para el cálculo de los valores de carga por tablero se tomaron los valores de carga para el cálculo de regulación contenidos en el proyecto de grado de (Cala, Consuegra, 2006).

✓ **EDIFICIO PLANTA DE ACEROS**

Los valores de carga por tablero se presentan en la tabla 3.4, la resistencia de las líneas que alimentan los tableros en la tabla 3.5 y la carga instalada por tablero en la tabla 3.6, con las mismas consideraciones anteriores.

EDIFICIO PLANTA DE ACEROS		
TOTALIZADOR	CARGA (kVA)	TABLEROS
P7	21,974	TC,TC2 TD2 TJ2, TK2
P13	57,056	TP TL TF2 TG2 TH2 TL2 TM
TOTAL	79,03	

Tabla 3.4. Carga nominal edificio planta de aceros

TABLERO	DISTANCIA [m]	CALIBRE	RESISTENCIA [ohm/km]	RESISTENCIA TOTAL
TC	49,440	# 2/0	0,261	0,1290
TM	1,240	# 8	2,100	0,0027
TP	24,010	# 2/0	0,261	0,0063
TL	19,250	# 6	1,320	0,0404
TC2	54,270	# 8	2,100	0,1140
TD2	78,270	# 8	2,100	0,1644
TF2	51,000	# 8	2,100	0,1071
TG2	43,000	# 8	2,100	0,0903
TH2	30,610	# 6	1,320	0,0404
TJ2	70,060	# 8	2,100	0,1471
TK2	65,570	# 8	2,100	0,1377
TL2	41,670	# 8	2,100	0,0875

Tabla 3.5. Resistencia de las líneas edificio planta de aceros

TABLERO	CARGA (kVA)	P (kW)	Q (kVAR)
TC	1,140	1,026	0,497
TM	9,900	8,910	4,315
TP	15,944	14,350	6,949
TL	10,080	9,072	4,394
TC2	15,720	14,130	6,852
TD2	2,700	2,430	1,177
TF2	5,540	4,986	2,415
TG2	6,180	5,562	2,694
TH2	7,020	6,318	3,060
TJ2	2,054	1,848	0,895
TK2	0,360	0,324	0,157
TL2	2,392	2,153	1,043
TOTAL	79,030	71,108	33,402

Tabla 3.6. Carga instalada por tablero edificio planta de aceros

3.4. ANÁLISIS EXERGÉTICO

Se desagregó el sistema en consideración, en 3 elementos y 4 flujos como se muestra en la figura 3.2:

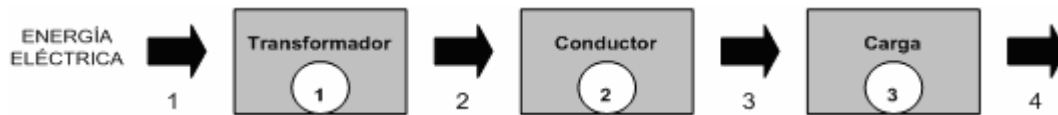


Figura 3.3. Nivel de agregación del sistema.

Donde:

EQUIPO 1: Transformador de la subestación.

EQUIPO 2: Conductores desde la subestación hasta los tableros.

EQUIPO 3: Carga instalada en cada tablero.

También se tienen 4 flujos que corresponden a la potencia activa (exergía) que entra y sale a través de los equipos, de la siguiente manera:

- Flujo 1: Es la potencia activa que entra por la acometida al transformador de la subestación
- Flujo 2: Es la potencia que sale del transformador a través de la barra y se distribuye a la carga del edificio por medio de los conductores.
- Flujo 3: Es la potencia neta que alimenta las cargas conectadas a los tableros de distribución dentro del edificio.
- Flujo 4: Es la potencia de salida de las cargas conectadas a los tableros. Esta puede ser potencia mecánica, lumínica, térmica, etc....

Para el desarrollo de la metodología, el análisis exergético se realizó tomando dos equipos (transformador y conductores), y 3 flujos con el fin de encontrar los circuitos con mayor irreversibilidad para luego escoger los más desfavorables.

✓ IDENTIFICACIÓN DE FLUJOS

➤ EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA

1. Se inicia con la potencia que entra al transformador de la subestación la cual equivale a $P = 262,432$ [kW] que corresponde a la carga requerida por cada tablero mas las pérdidas en el transformador y los conductores.
2. Los datos de potencia transmitida a cada tablero para luego ser consumida por su respectiva carga se mostró en la tabla 3.3.

Se desagregó el circuito en 29 subsistemas (equipos) los cuales comprenden 1 transformador denotado con el número 1 y 28 ramales que representan los conductores que llevan la energía a las diferentes cargas conectadas a cada tablero (numerados del 2 al 29).

Por cada ramal considerado se generan dos flujos (numerados del 2 al 57): los flujos pares (2, 4,6,...56) representan la potencia activa que entra a los conductores y los flujos impares (3, 5,7,...57) representan la potencia que sale de los mismos y entra a cada tablero para alimentar su respectiva carga. Este circuito se presenta en la figura 3.4.

Los valores calculados de cada uno de los flujos de potencia activa del circuito, corresponden al vector de exergías de flujo del sistema mostrado en las tablas 3.7 (a) y 3.7 (b).

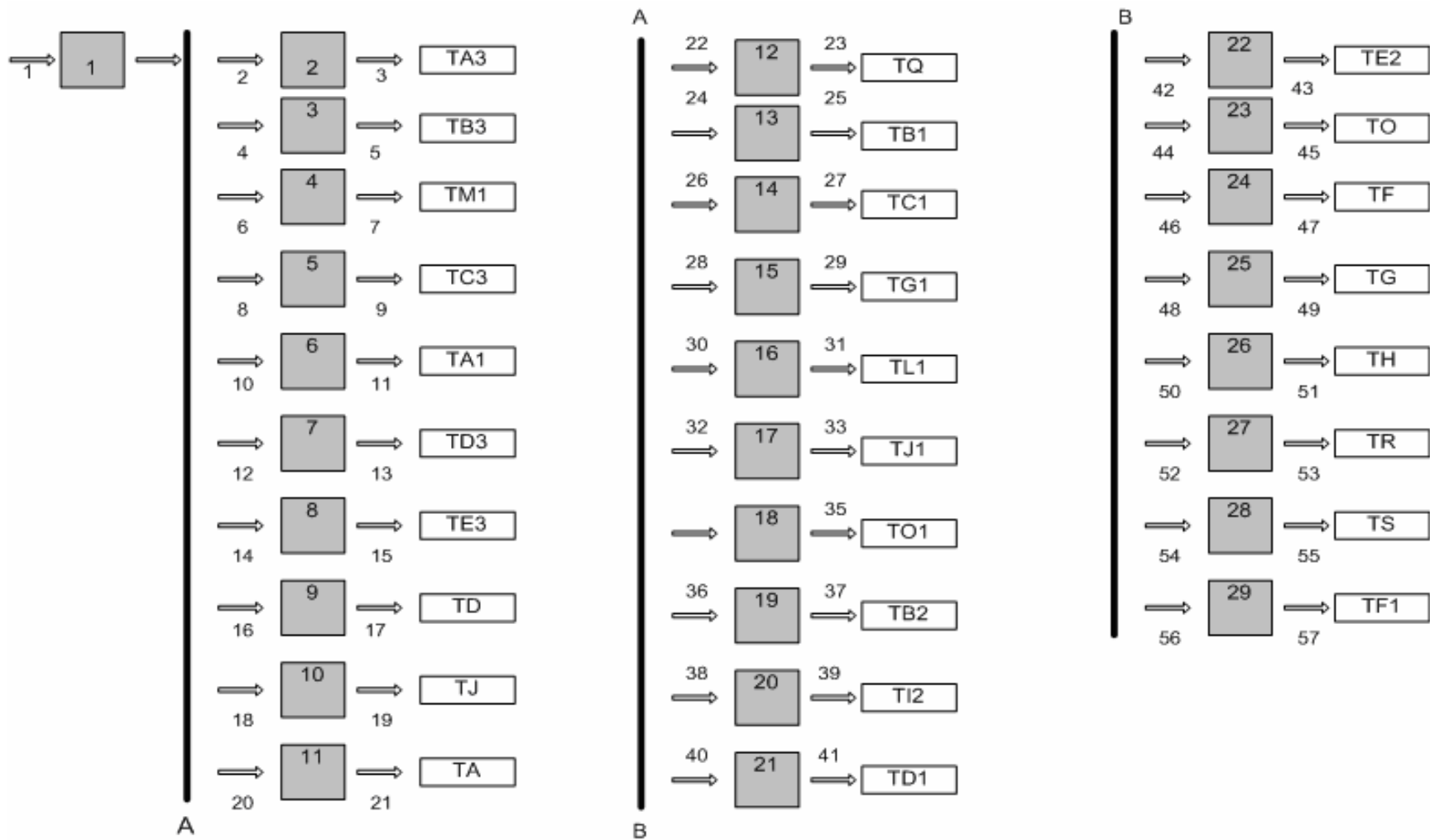


Figura 3.4. Circuito equivalente edificio Jorge Bautista Vesga.

FLUJO	POTENCIA [kW]
1	262,432
2	12,562
3	12,528
4	21,187
5	21,094
6	14,782
7	14,655
8	5,553
9	5,544
10	6,856
11	6,843
12	8,977
13	8,940
14	9,748
15	9,705
16	5,908
17	5,904
18	1,838
19	1,836
20	1,548
21	1,548
22	6,463
23	6,440
24	16,074
25	16,012
26	4,060
27	4,050
28	8,501
29	8,442
30	19,126

(a)

FLUJO	POTENCIA [kW]
31	18,918
32	2,416
33	2,412
34	2,488
35	2,476
36	18,118
37	18,021
38	15,300
39	15,217
40	7,532
41	7,524
42	4,503
43	4,492
44	32,522
45	32,378
46	5,926
47	5,889
48	6,273
49	6,256
50	2,445
51	2,439
52	8,584
53	8,560
54	4,623
55	4,618
56	6,935
57	6,930

(b)

Tabla 3.7. Vector de flujos de exergía edificio Jorge Bautista Vesga expresado en kW

➤ **EDIFICIO PLANTA DE ACEROS**

1. Se inicia con la potencia que entra al transformador de la subestación la cual equivale a $P = 73,2592$ [kW] que corresponde a la carga requerida por cada tablero mas las pérdidas en el transformador y los conductores.

2. Se desagregó el circuito en 13 subsistemas (equipos) los cuales comprenden 1 transformador denotado con el número 1 y 12 ramales que representan los conductores que llevan la energía a las diferentes cargas conectadas a cada tablero (numerados del 2 al 13).
3. Por cada ramal considerado se generan dos flujos (numerados del 2 al 25): los flujos pares (2, 4, 6,...24) representan la potencia activa que entra a los conductores y los flujos impares (3, 5, 7,...25) representan la potencia que sale de los mismos y entra a cada tablero para alimentar su respectiva carga. Este circuito se presenta en la figura 3.5.

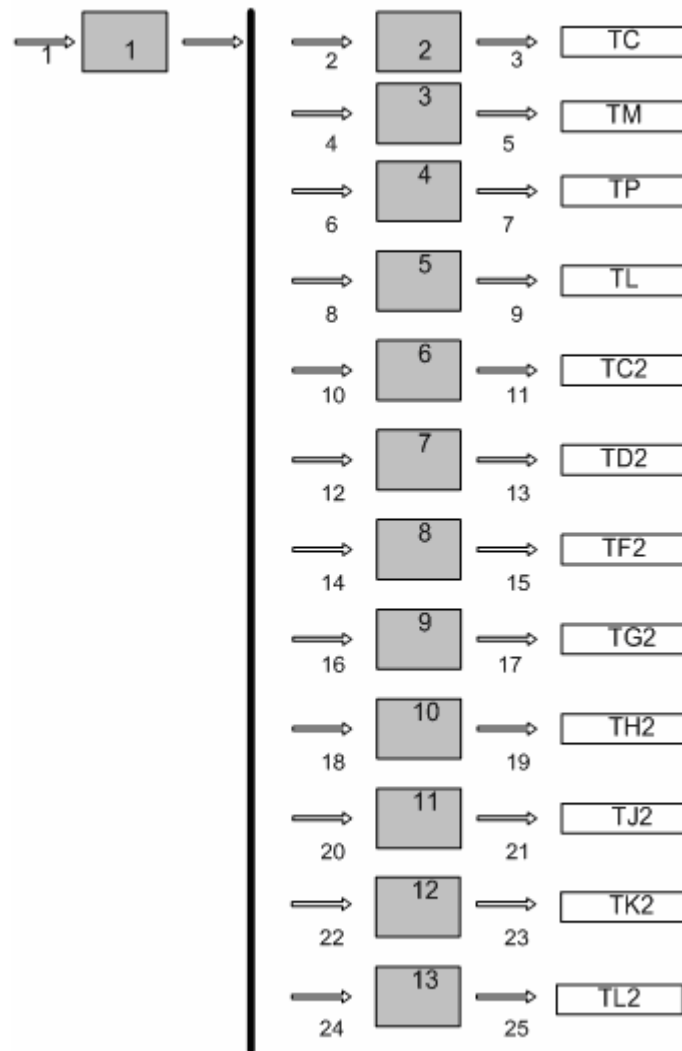


Figura 3.5. Circuito equivalente edificio planta de aceros.

Los valores calculados de cada uno de los flujos de potencia activa del circuito, corresponden al vector de exergías de flujo del sistema mostrado en la tabla 3.8:

FLUJO	POTENCIA [kW]
1	73,259
2	1,026
3	1,026
4	8,910
5	8,818
6	14,350
7	14,337
8	9,072
9	8,805
10	14,130
11	13,816
12	2,430
13	2,421
14	4,986
15	4,772
16	5,562
17	5,550
18	6,318
19	6,262
20	1,848
21	1,844
22	0,324
23	0,324
24	2,153
25	2,151

Tabla 3.8. Vector de flujos de exergía edificio planta de aceros expresado en kW.

3.5. RENDIMIENTO Y COSTO EXERGÉTICO

➤ EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA

En la tabla 3.9(a) se muestra la eficiencia y el costo exergético para los conductores que llevan la energía desde el tablero general de acometidas (TGA) hasta los tableros, en la tabla 3.9 (b) se muestran estos parámetros para el transformador, el cálculo típico para el rendimiento se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$\eta = P_{Sal} / P_{Ent}$$

Para el conductor que va desde el tablero general de acometidas (TGA) hasta el tablero TA3 el rendimiento correspondiente es:

$$\eta = P_{Sal} / P_{Ent} = 12,528 / 12,562 = 0,9973$$

El costo exergético se calcula como el inverso del rendimiento, por lo tanto el costo para este conductor es:

$$K = 1 / \eta = 1 / 0,9973 = 1,0027$$

A continuación se muestran estos resultados para el resto de equipos:

CONDUCTOR	EQUIPO	FLUJO DE ENTRADA [kW]	FLUJO DE SALIDA [kW]	RENDIMIENTO EXERGÉTICO	COSTO EXERGÉTICO
TGA -TA3	2	12,562	12,528	0,9973	1,0027
TGA -TB3	3	21,187	21,094	0,9956	1,0044
TGA -TM1	4	14,782	14,655	0,9914	1,0087
TGA -TC3	5	5,553	5,544	0,9983	1,0017
TGA -TA1	6	6,856	6,843	0,9981	1,0019
TGA -TD3	7	8,977	8,940	0,9959	1,0042
TGA -TE3	8	9,748	9,705	0,9956	1,0044
TGA -TD	9	5,908	5,904	0,9992	1,0008
TGA -TJ	10	1,838	1,836	0,9984	1,0016
TGA -TA	11	1,548	1,548	0,9999	1,0001
TGA -TQ	12	6,463	6,640	0,9964	1,0036
TGA -TB1	13	13,074	16,012	0,9962	1,0039
TGA -TC1	14	4,060	4,050	0,9973	1,0027
TGA -TG1	15	8,501	8,442	0,9931	1,0070
TGA -TL1	16	19,126	18,918	0,9891	1,0110
TGA -TJ1	17	2,416	2,412	0,9982	1,0018
TGA -TO1	18	2,488	2,476	0,9952	1,0048
TGA -TB2	19	18,118	18,021	0,9947	1,0054
TGA -TI2	20	15,300	15,217	0,9946	1,0055
TGA -TD1	21	7,532	7,524	0,9988	1,0012
TGA -TE2	22	4,503	4,492	0,9976	1,0024
TGA -TO	23	32,522	32,378	0,9956	1,0044
TGA -TF	24	5,926	5,889	0,9938	1,0062
TGA -TG	25	6,273	6,256	0,9973	1,0027
TGA -TH	26	2,445	2,439	0,9975	1,0025
TGA -TR	27	8,584	8,560	0,9973	1,0027
TGA -TS	28	4,623	4,618	0,9989	1,0011
TGA -TF1	29	6,935	6,930	0,9992	1,0008

(a)

ELEMENTO	EQUIPO	FLUJO DE ENTRADA [kW]	FLUJO DE SALIDA [kW]	RENDIMIENTO EXERGÉTICO	COSTO EXERGÉTICO
TRANSFORMADOR	1	262,432	259,681	0,9895	1,0106

(b)

Tabla 3.9 Rendimiento y costo exergético edificio Jorge Bautista Vesga.

➤ **PLANTA DE ACEROS**

En la tabla 3.10(a) se muestra la eficiencia y el consumo exergético para los conductores que llevan la energía desde el tablero general de acometidas (TGA) hasta los tableros, en la tabla 3.10 (b) se muestran estos parámetros para el transformador:

CONDUCTOR	EQUIPO	FLUJO DE ENTRADA [kW]	FLUJO DE SALIDA [kW]	RENDIMIENTO EXERGÉTICO	COSTO EXERGÉTICO
TGA - TC	2	1,026	1,026	0,9999	1,0001
TGA - TM	3	8,910	8,818	0,9897	1,0039
TGA - TP	4	14,350	14,337	0,9991	1,0009
TGA - TL	5	9,072	8,850	0,9705	1,0304
TGA - TC2	6	14,130	13,816	0,9778	1,0227
TGA - TD2	7	2,430	2,421	0,9963	1,0037
TGA - TF2	8	4,986	4,772	0,9571	1,0448
TGA - TG2	9	5,662	5,550	0,9979	1,0021
TGA - TH2	10	6,318	6,262	0,9912	1,0089
TGA - TJ2	11	1,848	1,844	0,9966	1,0034
TGA - TK2	12	0,324	0,324	0,9991	1,0009
TGA - TL2	13	2,153	2,151	0,9993	1,0007

(a)

ELEMENTO	EQUIPO	FLUJO DE ENTRADA [kW]	FLUJO DE SALIDA [kW]	RENDIMIENTO EXERGÉTICO	COSTO EXERGÉTICO
TRANSFORMADOR	1	73,259	71,108	0,9707	1,0302

(b)

Tabla 3.10. Rendimiento y costo exergético edificio planta de aceros.

3.6. MATRIZ DE INCIDENCIA

En el anexo B se encuentra la información de las matrices de incidencia de los circuitos de los edificios. Debido a la cantidad de operaciones algebraicas, se realizó una rutina en el software MATLAB para las operaciones que implicaban el uso de esta matriz y de otros vectores (ver anexo C).

3.7. IRREVERSIBILIDADES

Con los valores proporcionados por los vectores de exergía de los diferentes flujos de los dos sistemas (dados en las tablas 3.7 y 3.8) y la matriz de incidencia para cada uno, se calculan las irreversibilidades en cada equipo de acuerdo con la expresión:

$$[A] \times [B] = [I] \quad (3.1)$$

Aplicando el procedimiento que se sigue para hallar pérdidas en los equipos del sistema se tiene que según la expresión anterior, el vector de irreversibilidades en los conductores es el siguiente:

EQUIPO	IRREVERSIBILIDAD [kW]
TRANSFORMADOR	2,1433
TGA -TC	0,0010
TGA -TM	0,0916
TGA -TP	0,0126
TGA -TL	0,2680
TGA -TC2	0,3140
TGA -TD2	0,0090
TGA -TF2	0,2140
TGA -TG2	0,0119
TGA -TH2	0,0559
TGA -TJ2	0,0063
TGA -TQ2	0,0003
TGA -TL2	0,0071

Tabla 3.11. Vector de irreversibilidades Planta de aceros.

EQUIPO	IRREVERSIBILIDAD [kW]
TRANSFORMADOR	1,5840
TGA -TA3	0,0340
TGA -TB3	0,0930
TGA -TM1	0,1270
TGA -TC3	0,0090
TGA -TA1	0,0130
TGA -TD3	0,0370
TGA -TE3	0,0430
TGA -TD	0,0040
TGA -TJ	0,0020
TGA -TA	0,0000
TGA -TQ	0,0230
TGA -TB1	0,0620
TGA -TC1	0,0100
TGA -TG1	0,0590
TGA -TL1	0,2080
TGA -TJ1	0,0040
TGA -TO1	0,0120
TGA -TB2	0,0970
TGA -TI2	0,0830
TGA -TD1	0,0080
TGA -TE2	0,0110
TGA -TO	0,1440
TGA -TF	0,0370
TGA -TG	0,0170
TGA -TH	0,0060
TGA -TR	0,0240
TGA -TS	0,0050
TGA -TF1	0,0050

Tabla 3.12. Vector de irreversibilidades Jorge Bautista Vesga.

3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.8.1. SELECCIÓN DE CIRCUITOS

✓ JORGE BAUTISTA VESGA

De acuerdo con los resultados obtenidos con el vector de irreversibilidades en los equipos se hace notorio que los tableros con mayor carga, son los que tienen mayores pérdidas de potencia en el conductor, por lo tanto son los circuitos donde se presentan las situaciones más desfavorables en cuanto a regulación y exergía perdida se refiere.

En la tabla 3.13 se presentan los tableros con la mayor irreversibilidad en el conductor y su respectiva carga.

TABLERO	CARGA [kVA]	IRREVERSIBILIDAD [kW]
TL1	21,020	0,208
TO	35,976	0,144
TM1	16,284	0,127
TB2	20,024	0,097
TB3	23,438	0,093

Tabla 3.13. Tableros con mayor irreversibilidad en el conductor edificio Jorge Bautista Vesga

El criterio para escoger los circuitos a los cuales se les va a dar el tratamiento termoeconómico fue:

1. Escoger los que presenten mayor irreversibilidad en los conductores
2. Escoger los circuitos con mayor carga.
3. Escoger los circuitos con mayor potencial de ahorro energético.

Siguiendo estos criterios se seleccionaron los siguientes tableros:

1. Tablero **TL1** (mayor irreversibilidad en conductor)
2. Tablero **TO** (mayor carga)
3. Tablero **TB3** (potencial de ahorro energético)

✓ PLANTA DE ACEROS

En la tabla 3.14 se presentan los tableros con la mayor irreversibilidad en el conductor y su respectiva carga:

TABLERO	CARGA [kVA]	IRREVERSIBILIDAD [kW]
TC2	15,72	0,314
TL	10,08	0,268
TF2	5,54	0,214
TP	15,944	0,0126

Tabla 3.14. Tableros con mayor irreversibilidad en el conductor edificio planta de aceros

Pese a que el tablero que presenta mayor irreversibilidad en el conductor es el TC2, su carga no representa alguna oportunidad de ahorro, por tanto se escoge el tablero TP, la razón es que aunque es el que presenta menor irreversibilidad, presenta mayor potencial de ahorro de energía y mayor carga.

3.8.2. NIVEL DE AGREGACIÓN

Ahora bien, después de elegir los tableros para realizar el análisis, se procederá a definir el nuevo nivel de agregación de la siguiente manera:

1. Debido a que se tratan los circuitos de manera independiente, y por la imposibilidad de tomar medidas en el transformador para cada circuito en particular, los valores de irreversibilidades en el transformador se calcularán de manera teórica para la capacidad especificada y el porcentaje de carga de cada tablero.
2. La carga alimentada por cada tablero se desagregará en iluminación, y aire acondicionado, que son los equipos con mayor potencial de ahorro de energía.

3. La iluminación se clasificará en iluminación común e iluminación especial.
4. Los sistemas de aire acondicionado se tratarán de manera independiente por cada equipo, es decir, la carga por aire acondicionado no se concentrará en una sola, por el contrario, si existen n unidades, se realizarán n medidas.
5. En los tableros donde se presenten cargas diferentes a las anteriormente mencionadas, se concentrarán y se tratarán como un equipo conectado al tablero.

Con estas pautas se redefinirán los flujos exergéticos asociados con cada carga y se realizarán los cálculos para cada circuito independientemente del otro.

3.8.3. CUADROS DE CARGA

Todos los datos de las cargas, conductores, e inventario de instalaciones eléctricas de los edificios fueron obtenidos de la tesis de grado de (Cala, Consuegra, 2006) (ver anexos). Los circuitos equivalentes con sus respectivos flujos se presentan en las figuras 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9.

Las cargas por iluminación y aire acondicionado para los tableros escogidos son las siguientes:

- Tablero TL1

Iluminación especial $9 \times 150 \text{ VA} = 1350 \text{ VA}$

Iluminación común $43 \times 80 \text{ VA} = 3440 \text{ VA}$

Aire acondicionado $1 \times 3000 \text{ VA} = 3000 \text{ VA}$

Cargas especiales 5010 VA

- Tablero TO

Iluminación especial $0 \times 150 \text{ VA} = 0 \text{ VA}$

Iluminación común 12 X 80 VA = 960 VA

Máquinas de laboratorio 12 (ver diagrama)

- Tablero TB3

Iluminación especial 31 X 150 VA = 4650 VA

Iluminación común 9 X 80 VA = 720 VA

Aire acondicionado 3 X 2392 VA = 7176 VA

- Tablero TP

Iluminación especial 0 X 150 VA = 0

Iluminación común 0 X 80 VA = 0

Aire acondicionado 2 X 2392 VA = 4784 VA

Cargas especiales 12060 VA

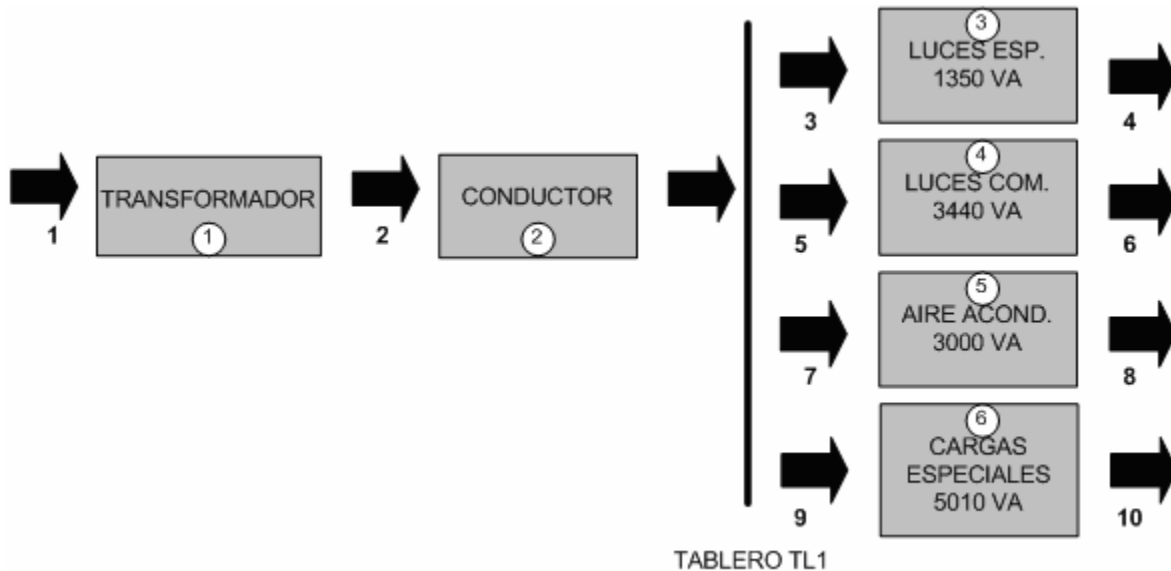


Figura 3.6 Circuito equivalente TL1

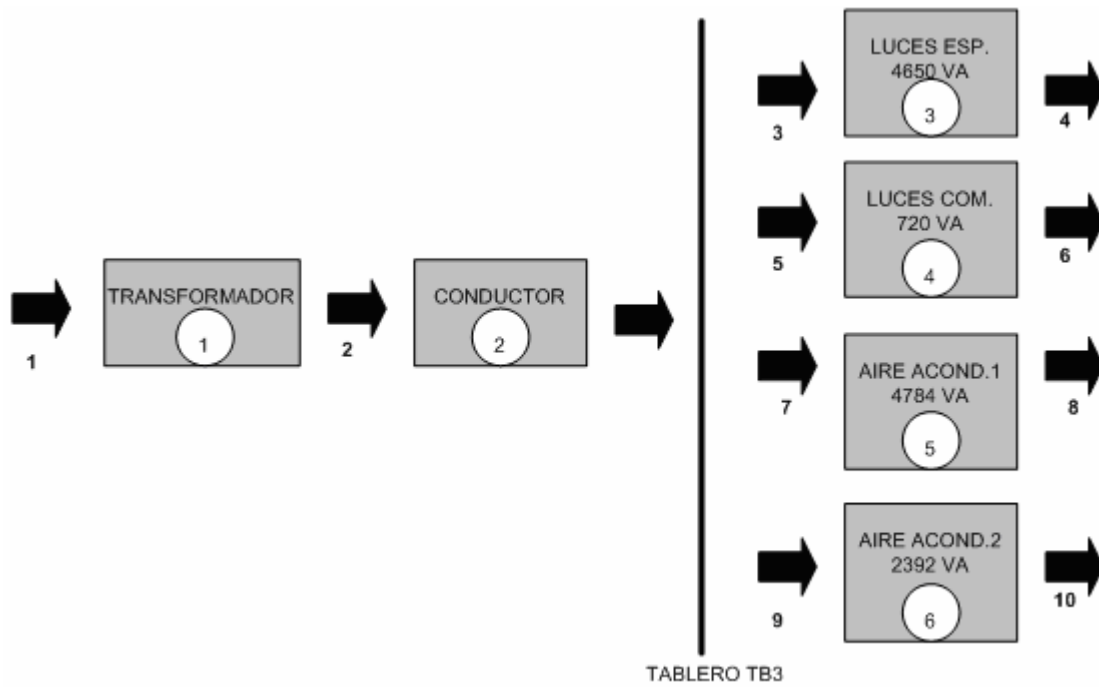


Figura. 3.7. Circuito equivalente TB3

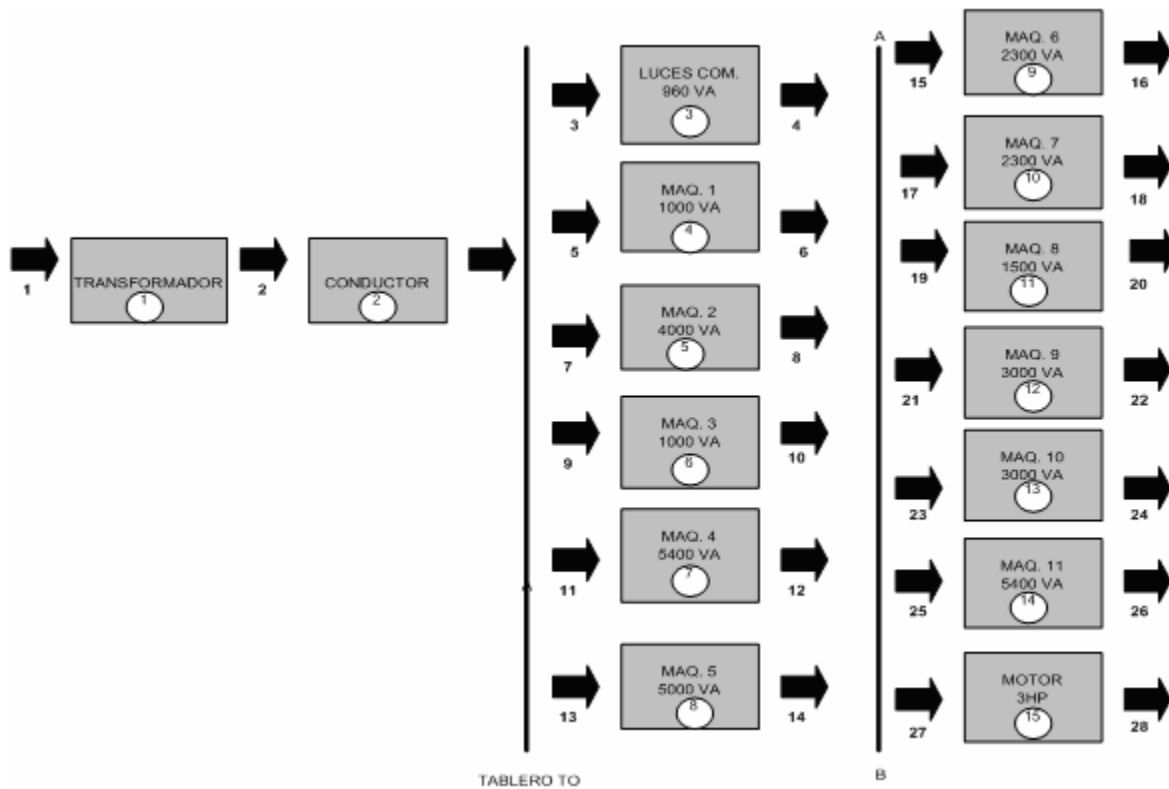


Figura 3.8. Circuito equivalente TO

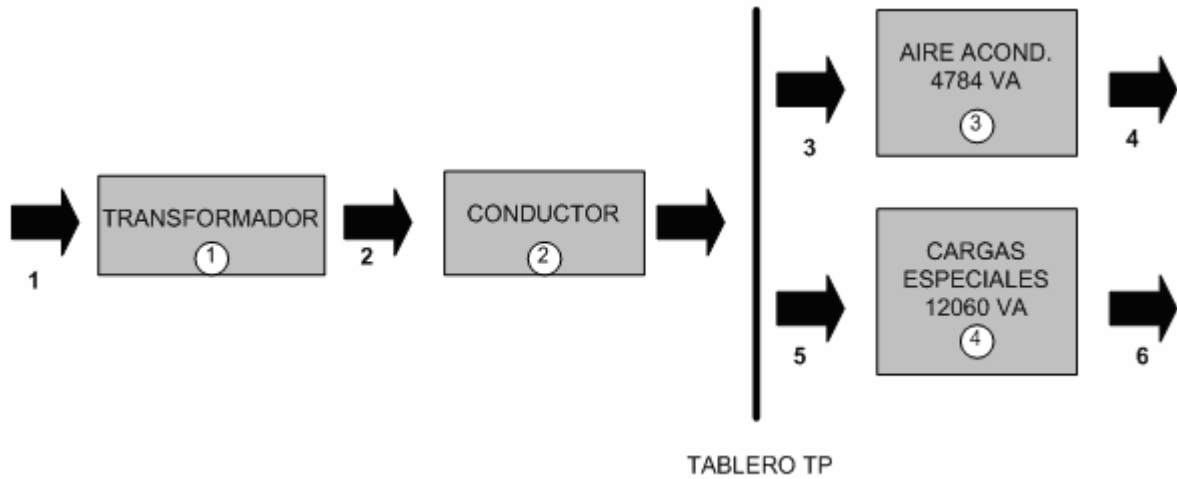


Figura 3.9. Circuito equivalente TP

Nota: *Los datos de los aires acondicionados y máquinas asociadas a cada circuito, se presentan en el anexo D.*

4. AUDITORÍA EXERGÉTICA

4.1. INTRODUCCIÓN

En momentos en que se busca darle buen uso a la energía, aparecen nuevas herramientas para administrar los recursos. Evaluar y diagnosticar los procesos que implican transformación energética lleva consigo la necesidad de implementar planes de gestión para la consecución de resultados óptimos en cuanto a la calidad del desempeño de las unidades energéticas orientados al aumento de la eficiencia y al cumplimiento de los objetivos, metas y políticas de las empresas. En este capítulo se presentan los resultados de realizar una auditoría *exergética* para la evaluación y diagnóstico de los procesos de transformación, asociados con las instalaciones eléctricas escogidas en el capítulo 3.

4.2. CONCEPTOS GENERALES

- **AUDITORÍA EXERGÉTICA**

Es el tipo de análisis que permite, además de realizar un diagnóstico de las cantidades de energía utilizada en los procesos, evaluar un nuevo tipo de pérdidas energéticas no distinguido hasta ahora por los métodos tradicionales que aplican el primer principio de la termodinámica. Tradicionalmente se considera la cantidad de la energía como invariable y por ello, no se mide la pérdida de su capacidad de producir valor, es decir, se tratan los procesos no solo desde el punto de vista de la cantidad, sino que también se realiza un diagnóstico de cómo la energía pierde calidad a medida que se transforma. Esto hace la diferencia con los métodos tradicionales de evaluación energética (Jaramillo, 1999).

- **TIPOS DE AUDITORÍA**

- ❖ ***Preliminar***

Como su nombre lo indica es un diagnóstico rápido de las oportunidades de ahorro para reducir consumos y costos energéticos (Torra, 2004).

- ❖ ***Detallada***

Este tipo de auditoría se basa en una evaluación detallada de las oportunidades existentes para lograr una reducción de consumos y costos energéticos en las instalaciones escogidas (Torra, 2004).

- ❖ ***Especial***

Es una auditoría mas detallada de una sección específica de la empresa o instalación donde se aplique (Torra, 2004).

- ❖ ***De seguimiento***

Consiste en prestar asistencia para la implantación de recomendaciones y evaluación de sus efectos sobre los consumos y costos energéticos (Torra, 2004).

4.3. OBJETIVO DE UNA AUDITORÍA EXERGÉTICA

Realizar una auditoría exergética se constituye en el primer paso para lograr un diagnóstico detallado de *cómo, cuándo y dónde* se presentan los consumos energéticos en una instalación o industria, además de presentar resultados dicientes acerca del estado en que se encuentran los equipos.

Llevando un seguimiento de los procesos de transformación de energía y obteniendo las medidas pertinentes en cada uno de ellos, es posible tener un control del consumo energético, orientando las actividades asociadas a lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicio de la comodidad, productividad, calidad de los servicios y el confort.

De igual manera, con los resultados arrojados por una auditoría exergética y su correcta interpretación, se puede pensar en implementar sistemas de *gestión energética* que mantengan un control estricto de los procesos y que además conserven o mejoren la productividad de los mismos, disminuyendo los consumos y costos de la energía para obtener un producto determinado.

4.4. BENEFICIOS ASOCIADOS

Además de proporcionar las herramientas para llevar un control detallado de los procesos de transformación energética, y obtener índices de eficiencia en cada etapa, implementar un *plan de gestión energética* a partir de una auditoría, también trae asociados los siguientes beneficios:

- ❖ *Mejorar la calidad de las energías disponibles.* Debido a que para cada uso habrá una calidad de energía adecuada, se logrará promover para cada aplicación, una calidad energética que cumpla con los requerimientos del proceso (Jaramillo, 1999).
- ❖ *Conseguir ahorros de manera inmediata.* Se visualizan las oportunidades de ahorro que no requieren inversión de capital apreciable, demostrando que existen importantes posibilidades de disminuir los costos energéticos (Jaramillo, 1999).
- ❖ *Lograr los ahorros posibles con inversiones rentables.* Se pueden realizar inversiones implementando mejoras y cambios en la tecnología que se paguen con el ahorro que estos cambios generan (Jaramillo, 1999).
- ❖ *Demostrar que se puede ahorrar energía* independientemente de las situaciones presentadas anteriormente debidas a ineficiencias o incapacidades en los procesos (Jaramillo, 1999).

4.5. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA

La auditoría exergética realizada a las instalaciones se llevó a cabo en varias etapas, las cuales se describen a continuación:

✓ ***Etapas de inspección***

En esta etapa se realizaron visitas a las instalaciones escogidas previamente y se visualizaron oportunidades evidentes de ahorro.

✓ ***Etapas de identificación***

En esta etapa se identificaron los flujos de exergía determinados anteriormente y la posibilidad de medición de cada uno.

✓ ***Etapas de medición***

En esta etapa se tomaron las medidas pertinentes en cada punto de las instalaciones.

✓ ***Etapas de análisis de datos***

En esta etapa se realizó el análisis e interpretación preliminar de los datos obtenidos en las mediciones y se determinaron las posibles oportunidades de ahorro.

En la figura 4.1 se muestra un esquema del procedimiento descrito anteriormente:

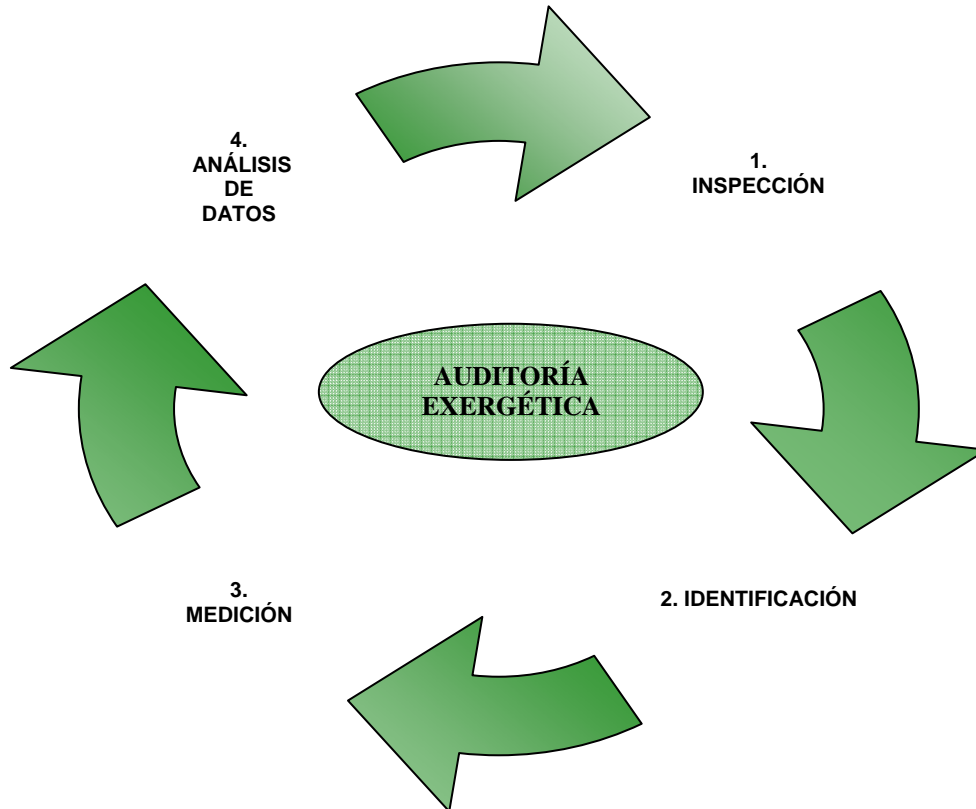


Figura 4.1. Etapas de una auditoría exergética

4.6. CONSIDERACIONES GENERALES

Para cada elemento en los circuitos seleccionados se tomaron las siguientes consideraciones:

- ✓ TRANSFORMADOR: Debido a la imposibilidad de realizar las pruebas correspondientes para determinar las pérdidas en el transformador de la subestación, se tomaron valores característicos para las pérdidas del hierro y del cobre para un transformador con las especificaciones dadas.
- ✓ CONDUCTOR: Para este elemento sólo se tomó en cuenta la resistencia que presenta el conductor debido a que la inductancia que presentan estos conductores es muy pequeña, por tanto se desprecia.
- ✓ LUCES COMUNES: Dentro de este elemento se abarcaron todas las luces con potencias menores o iguales a 100 VA, tomando un valor promedio de

80 VA por unidad. Para la potencia de entrada se tomó un valor promedio de 70 W por cada unidad existente, para la energía de salida se tomó un valor de eficiencia promedio de 65%.

- ✓ LUCES ESPECIALES: Para este elemento se tomaron todas las luces con potencias mayores a 100 VA, tomando un valor promedio de 150 VA por unidad. Para la potencia de entrada se tomó un valor promedio de 125 W por cada unidad existente, para la energía de salida se tomó un valor de eficiencia promedio de 50%.
- ✓ AIRES ACONDICIONADOS: Para este elemento se tomó la potencia de entrada como la potencia activa que llega al elemento, con un factor de potencia de 0,9. Para la potencia de salida se tuvo en cuenta sólo la parte de refrigeración del sistema de aire acondicionado midiendo la temperatura antes del encendido y después de transcurrida una hora con una carga térmica determinada.
- ✓ MOTORES: Para este elemento se tomó la potencia de entrada como la potencia activa que llega al elemento, con un factor de potencia arrojado por las medidas con el cosenofímetro. Para la potencia de salida se tomaron valores de corriente típicos de acuerdo a su capacidad y se tomaron rendimientos de acuerdo al tipo de motor.
- ✓ EQUIPOS ELÉCTRICOS ESPECIALES: Constituyen aparatos considerados electrodomésticos tales como computadores, grabadoras, cafeteras etc. Para este tipo de carga se consultó en tablas el consumo de estos.

4.7. CIRCUITO SELECCIONADO

- ✓ **TABLERO TL1**

La figura 4.2 muestra el cuadro de carga para este circuito:

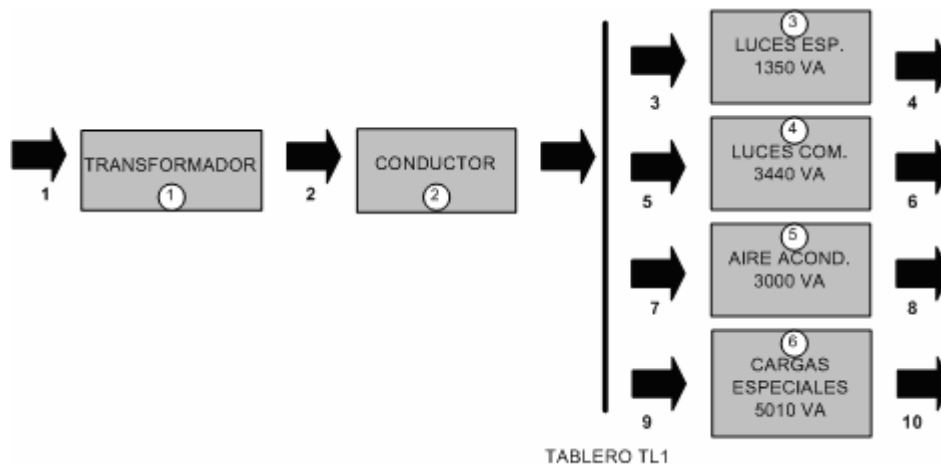


Figura 4.2. Cuadro de cargas tablero TL1

La carga asociada a los equipos especiales en cada tablero se calculó de los datos obtenidos de la tabla 4.1, tomando un factor de potencia de 0,9 se presenta el cálculo de la carga en VA en la tabla 4.2.

EQUIPO	CONSUMO [W]
VIDEO GRABADORA	75
EQUIPO DE SONIDO	100
VENTILADOR	100
LICUADORA	100
MÁQUINA DE COSER	100
IMPRESORA	120
TELEVISOR	150
NEVERA	250
CAFETERA	600
COMPUTADOR	600
ASPIRADORA	600
LAVADORA	750
HORNO MICROONDAS	800
SECADOR	1000
PLANCHA	1000
DUCHA ELÉCTRICA	1500
A. ACONDICIONADO	2200

Tabla 4.1. Consumo típico de electrodomésticos [fuente: CREG]

EQUIPO	CARGA [VA]
VIDEO GRABADORA	83
EQUIPO DE SONIDO	110
VENTILADOR	110
LICUADORA	110
MÁQUINA DE COSER	110
IMPRESORA	150
TELEVISOR	170
NEVERA	280
CAFETERA	670
COMPUTADOR	670
ASPIRADORA	670
LAVADORA	840
HORNO MICROONDAS	840
SECADOR	1110
PLANCHA	1110
DUCHA ELÉCTRICA	1670
A. ACONDICIONADO	2450

Tabla 4.2. Carga típica de electrodomésticos en VA

Para el tablero TL1 los equipos especiales (electrodomésticos) conectados se muestran en la tabla 4.3:

EQUIPO	CANTIDAD	CARGA [kVA]
COMPUTADOR	7	4,69
TELEVISOR	1	0,17
IMPRESORA	1	0,15
TOTAL	9	5,01

Tabla 4.3. Carga de equipos especiales en tablero TL1

4.8. CÁLCULOS TIPO

➤ CONDUCTOR

Para hallar la potencia de entrada al conductor, se encuentra la corriente de carga que pasa por él para hallar las irreversibilidades y sumarlas a la potencia de carga de salida.

Para este caso la carga a la salida del conductor incluye las cargas por iluminación, aire acondicionado y equipos especiales, el valor total de esta carga es de 12,8 kVA. Con este valor se halla la corriente con la ecuación 4.1.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} [A] \quad (4.1)$$

$$I = \frac{12800 \text{ VA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V}} = 33,59 [A]$$

Con este valor se hallan las pérdidas en la línea, aplicando la ecuación 4.2 para las pérdidas de potencia:

$$P_p = I^2 \cdot R [W] \quad (4.2)$$

$$P_p = (33,59)^2 \cdot 0,06864 = 77,45 [W]$$

Por lo tanto, la potencia de entrada al conductor es de 12,89 kVA.

➤ TRANSFORMADOR

El valor de la capacidad del transformador en la subestación es de 150 kVA, los valores nominales para las pérdidas del hierro y el cobre fueron extraídos de la tabla 4.4:

Potencias de transformadores (kVA)	Peso máximo (kg)	Pérdidas máximas en vacío (W)	Pérdidas máximas en carga a 75°C (W)
<i>Transformadores monofásicos y bifásicos</i>			
10	200	60	190
15	1000	80	240
25	1000	100	400
<i>Transformadores trifásicos</i>			
15	1000	90	310
30	1000	150	500
45	1000	180	690
75	1000	250	1050
112,5	1000	350	1400
150	1000	540	1720
225	1200	760	2430
300	1200	840	2930

Tabla 4.4. Peso máximo y pérdidas máximas de transformadores por kVA [Fuente: ENERSIS, 2005]

De la tabla 4.4 se obtiene que las pérdidas del hierro son 540 W (se consideran constantes e independientes de la carga conectada) y las pérdidas del cobre a potencia nominal son 1720 W.

Como las pérdidas del cobre dependen de la carga conectada, y son proporcionales al valor de la corriente al cuadrado se pueden hallar relacionando la corriente de carga hallada, y la corriente nominal del transformador utilizando la ecuación 4.3:

$$\frac{P_{Cu,Nom}}{P_{Cu,Carga}} = \left(\frac{I_{Nom}}{I_{Carga}} \right)^2 \quad (4.3)$$

La corriente nominal del transformador se calcula utilizando la ecuación 4.1:

$$I = \frac{150 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 220} = 393,65 \text{ [A]}$$

Despejando y reemplazando en la ecuación 4.3 se obtiene:

$$P_{Cu, Carga} = \left(\frac{I_{Carga}}{I_{Nom}} \right)^2 \cdot P_{Cu, Nom} = \left(\frac{33,59}{393,65} \right)^2 \cdot 1720 W = 12,52 W$$

Por lo tanto las pérdidas de potencia activa totales para el transformador son:

$$P_p = P_{Cu} + P_{Fe} = 12,52 + 540 W = 552,52 W$$

De acuerdo con los resultados anteriores, y con un factor de potencia de 0,9 se obtiene que la potencia de entrada al transformador es 13,50 kVA.

➤ LUCES ESPECIALES

El número de luminarias especiales conectadas al tablero son 9 y tomando el valor promedio de potencia de entrada como 125 W, el total de potencia de entrada por iluminación especial es 1125 W. Para el valor de potencia de salida se partió del hecho que las luminarias especiales de características antes mencionadas corresponden a las de vapor de mercurio de alta presión, las cuales fueron más comúnmente encontradas en las instalaciones y que poseen la característica que solo un 16,5% de toda la potencia de entrada se convierte en luz visible, el resto son pérdidas por calor, luz ultravioleta e infrarroja como se muestra en la figura 4.3:

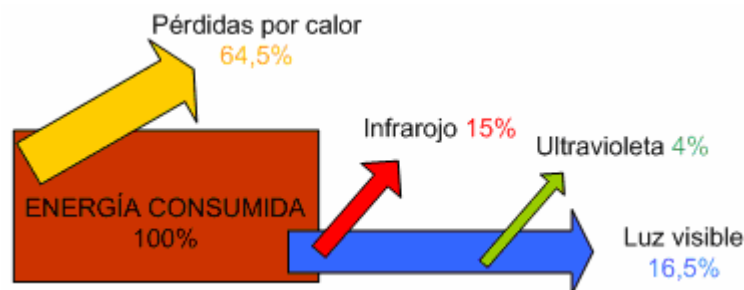


Figura 4.3. Balance de energía en una lámpara de vapor de mercurio de alta presión [Fuente: manual de luminotecnia]

Por lo tanto, la potencia de salida de la carga de luces especiales obtiene un valor de:

$$P_{Sal} = 0,165 \cdot 1125 W = 185,625 W$$

➤ LUCES COMUNES

El número de luminarias comunes conectadas al tablero son 43 y tomando el valor promedio de potencia de entrada como 70 W, el total de potencia de entrada por iluminación especial es 3010 W. Para el valor de potencia de salida se partió del hecho que las luminarias comunes corresponden a luminarias fluorescentes, las cuales fueron más comúnmente encontradas en las instalaciones y que poseen la característica que solo un 28% de toda la potencia de entrada se convierte en luz visible, el resto son pérdidas por calor, y luz ultravioleta como se muestra en la figura 4.4:

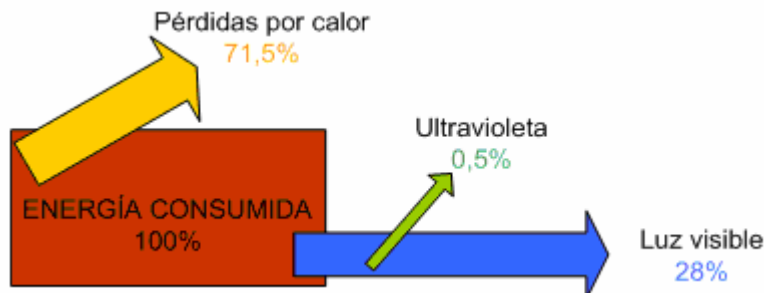


Figura 4.4. Balance de energía en una lámpara fluorescente
[Fuente: manual de luminotecnia]

Por lo tanto, la potencia de salida de la carga de luces comunes obtiene un valor de:

$$P_{Sal} = 0,28 \cdot 3010 W = 842,8 W$$

➤ AIRE ACONDICIONADO

Una manera de estimar el *rendimiento energético* para el aire acondicionado viene dado por la relación de eficiencia energética (REE), la cual se determina dividiendo el valor del efecto neto de enfriamiento en el lado interno, en [Wt]², entre el valor de la potencia eléctrica de entrada, en W y se expresa en Wt/We. Este es el mismo COP termodinámico, definido como la relación entre el calor absorbido y el trabajo suministrado al equipo, pero calculado con base en la potencia eléctrica demandada por el compresor, cabe anotar que este valor es mayor que la unidad (Orozco, 2004).

$$REE = \frac{Q_0}{W_D} \left[\frac{Wt}{W} \right] \quad (4.4)$$

Los datos teóricos para el aire acondicionado del tablero se presentan en la tabla 4.5:

MARCA	YORK
CAP. ENFRIAMIENTO(Btu / h)	24000
CONSUMO (kW)	2,7
CORRIENTE (A)	10,48
MODELO	BOC25R16A

Tabla 4.5. Datos aire acondicionado tablero TL1

La potencia de entrada para el aire acondicionado es 2700 W. La potencia de salida para el aire acondicionado se calculó considerando que 1 Btu/h =

² Watt térmico.

0,2928 Wt, entonces con la capacidad nominal del aire acondicionado que es 24000 Btu/h, se tiene que la potencia de salida en watts térmicos es:

$$P_{Sal} = 24000 \frac{Btu}{h} \cdot 0,2928 \frac{Wt}{Btu/h} = 7027,2 Wt$$

Ahora tomando la potencia térmica de salida y utilizando la ecuación para el cálculo de exergía, considerando que el sumidero del sistema es el recinto a refrigerar y que el calor tiende a fluir desde el ambiente exterior hacia adentro, se tiene que empleando la ecuación (2.7) dada en el capítulo 2, la exergía para una fuente de calor viene dado por:

$$B_{sal} = P_{sal} \cdot \left(1 - \frac{T_{Sumidero}}{T_{Ambiente}} \right) \quad (4.4)$$

Por lo tanto la exergía de salida del aire teniendo una temperatura dentro del recinto de 23°C ($T_{Sumidero} = 296^\circ K$) y la temperatura ambiente de 27°C ($T_{Ambiente} = 300^\circ K$) se obtiene:

$$B_{sal} = 7027,2 Wt \cdot \left(1 - \frac{296^\circ K}{300^\circ K} \right) = 93,696 Wt$$

Nota: Para cada uno de los equipos identificados y sus respectivos flujos, se tomó un tiempo de funcionamiento de 1 hora para lograr llevar las unidades de potencia encontradas a unidades de exergía en [kW-h] para lograr uniformidad en los cálculos, y en el análisis termoeconómico presentado en el capítulo siguiente.

4.9. RESULTADOS OBTENIDOS

Con los resultados obtenidos anteriormente, repitiendo los cálculos para los tableros TB3, TO, y TP se resumen los valores de cada flujo y equipo con sus respectivos rendimientos en las tablas 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 respectivamente:

EQUIPO	ENERGÍA [kVA]			EXERGÍA [kWh]		
	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO
TRANSFORMADOR	13,500	12,890	0,955	12,150	11,600	0,955
CONDUCTOR	12,890	12,800	0,993	11,600	11,520	0,993
ILUM.ESPECIAL	1,350	0,680	0,504	1,125	0,186	0,165
ILUM.COMÚN	3,440	2,236	0,652	3,010	0,843	0,280
AIRE ACOND.	3,000	2,530	0,843	2,700	0,094	0,034
CARGAS ESP.	5,010	4,000	0,790	4,509	1,353	0,300

Tabla 4.6. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TL1

EQUIPO	ENERGÍA [kVA]			EXERGÍA [kWh]		
	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO
TRANSFORMADOR	13,190	12,570	0,953	12,134	11,564	0,953
CONDUCTOR	12,570	12,550	0,998	11,564	11,541	0,998
ILUM.ESPECIAL	4,650	2,340	0,504	4,185	0,639	0,153
ILUM.COMÚN	0,720	0,469	0,652	0,648	0,176	0,272
AIRE ACOND.1(doble)	4,784	3,923	0,821	4,306	0,047	0,011
AIRE ACOND.2	2,392	2,035	0,850	2,153	0,023	0,011

Tabla 4.7. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TB3

EQUIPO	ENERGÍA [kVA]			EXERGÍA [kWh]		
	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO
TRANSFORMADOR	34,788	34,092	0,980	34,152	33,425	0,979
CONDUCTOR	34,092	33,816	0,992	33,425	33,158	0,992
ILUM.COMÚN	0,960	0,626	0,652	0,840	0,235	0,280
MAQ.1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MAQ.2	4,000	4,000	1,000	4,000	4,000	1,000
MAQ.3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MAQ.4	5,400	5,400	1,000	5,400	5,400	1,000
MAQ.5	5,000	5,000	1,000	5,000	5,000	1,000
MAQ.6	2,300	2,300	1,000	2,300	2,300	1,000
MAQ.7	2,300	2,300	1,000	2,300	2,300	1,000
MAQ.8	1,500	1,500	1,000	1,500	1,500	1,000
MAQ.9	3,000	3,000	1,000	3,000	3,000	1,000
MAQ.10	3,000	3,000	1,000	3,000	3,000	1,000
MAQ.11	0,540	0,540	1,000	0,540	0,540	1,000
MOTOR	3,816	3,201	0,839	3,052	2,238	0,733

Tabla 4.8. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TO

EQUIPO	ENERGÍA [kVA]			EXERGÍA [kWh]		
	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO	ENTRADA	SALIDA	RENDIMIENTO
TRANSFORMADOR	17,723	17,014	0,960	16,020	15,370	0,960
CONDUCTOR	17,014	16,844	0,990	15,370	15,218	0,990
AIRE ACOND.(doble)	4,784	3,989	0,833	4,270	0,053	0,012
CARGAS ESP.	12,060	9,648	0,800	10,854	2,894	0,267

Tabla 4.9. Rendimientos energéticos y exergéticos circuito TP

4.10. CURVAS DE CARGA

Tomando como referencia la tesis de grado de (Cala, Consuegra, 2006), se presentan a continuación las gráficas de potencia activa, reactiva y aparente tomadas en los días que el analizador de redes estuvo instalado en la subestación del edificio Jorge Bautista Vesga.

- **Datos obtenidos 30 de marzo de 2006**

Las siguientes gráficas corresponden a los datos obtenidos el día 30 de marzo de 2006 de 9:30 a.m. a 5:32 p.m. cuando se realizó la instalación del analizador de redes por primera vez. Como se puede ver, el muestreo se realizó para determinar las potencias durante un día laboral (Cala, Consuegra, 2006).

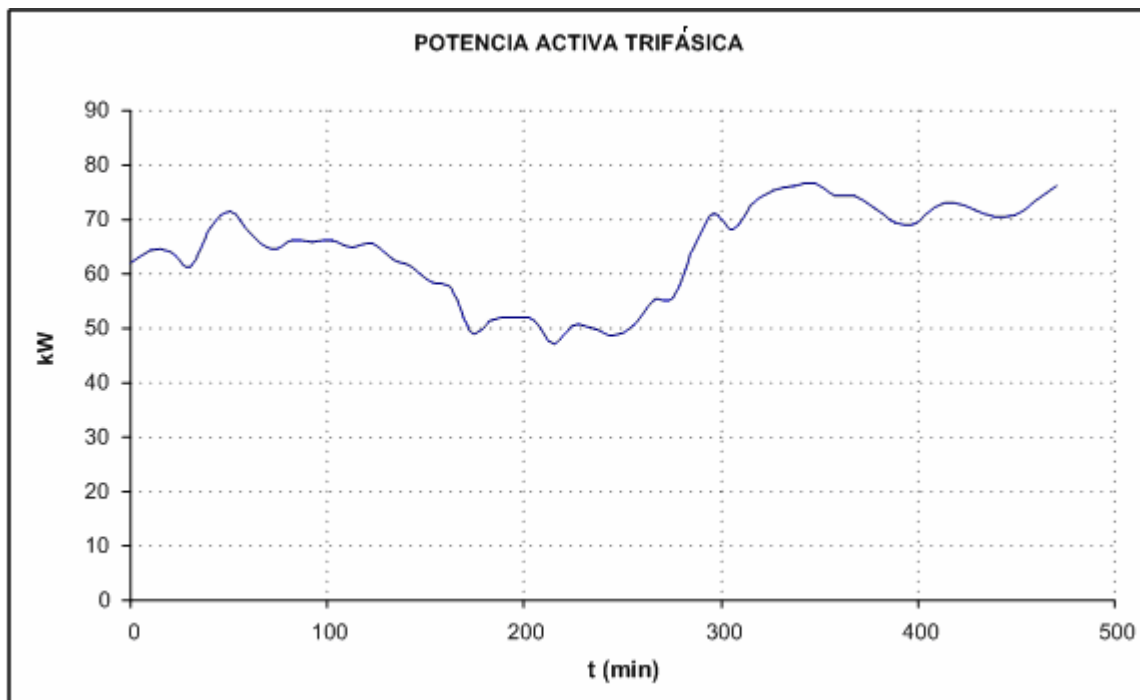


Figura 4.5. Potencia activa trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06. [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

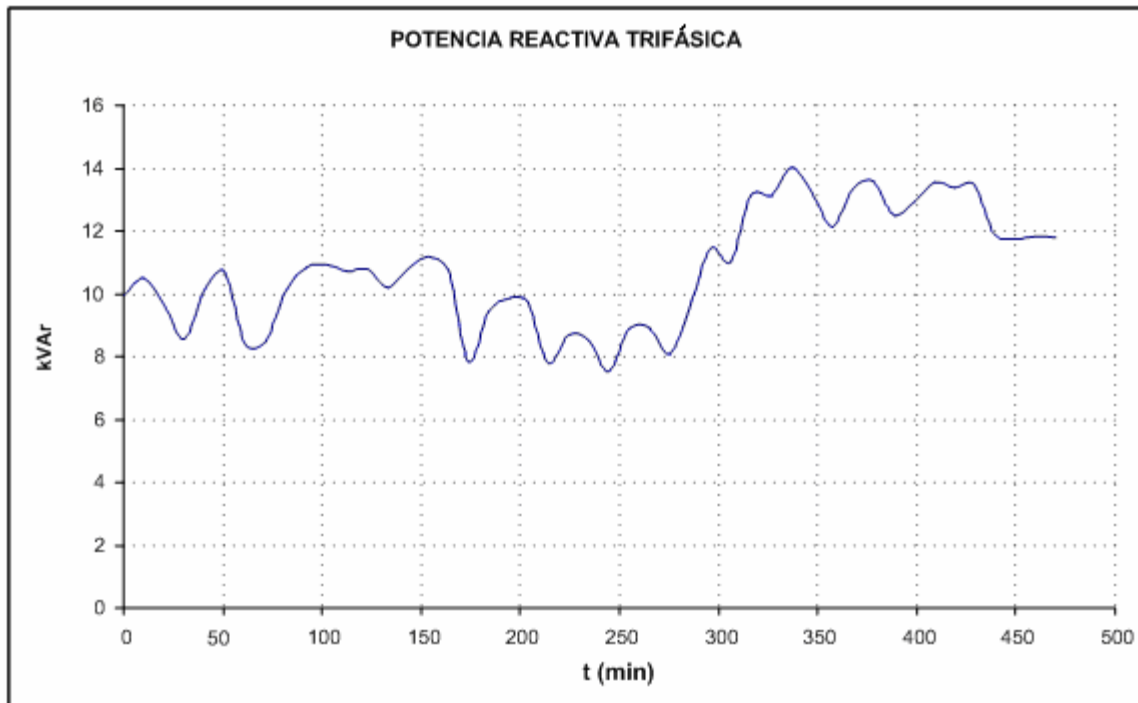


Figura 4.6. Potencia reactiva trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06. [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

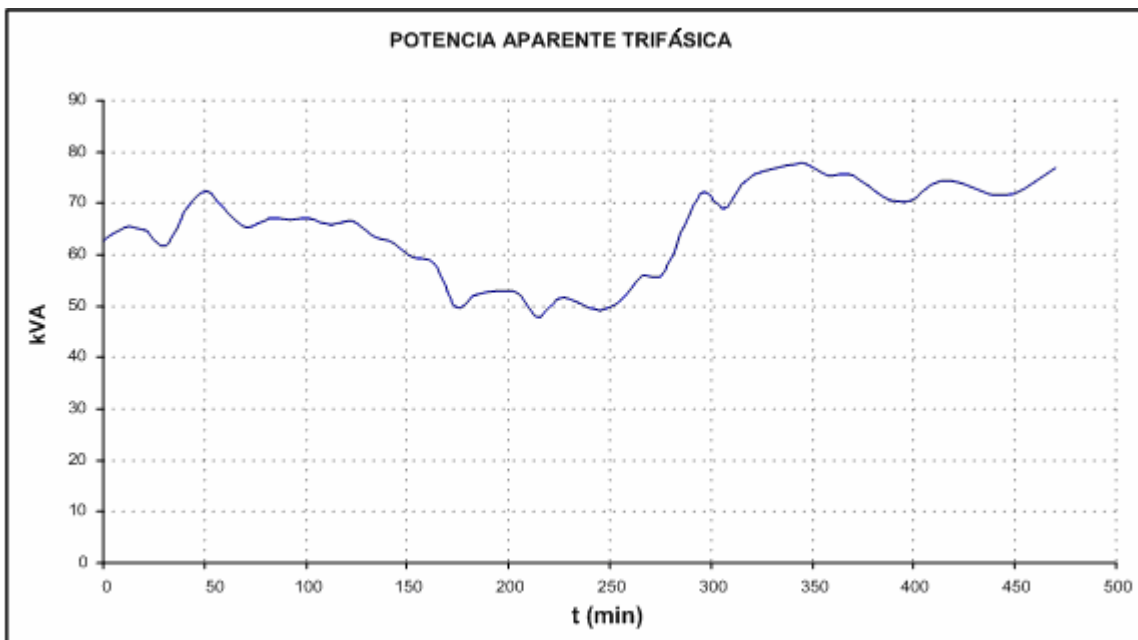


Figura 4.7. Potencia aparente trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06. [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

- **Datos obtenidos del 30 de marzo de 2006 al 4 de abril de 2006**

Las siguientes gráficas corresponden a los datos obtenidos del día 30 de marzo de 2006 a las 6:00 p.m. al día 4 de abril de 2006 a las 11:30 a.m., ya que con la muestra anterior de un solo día no se tenía una muestra lo suficientemente significativa para poder determinar las potencias máximas de la subestación del edificio Jorge Bautista Vesga (Cala, Consuegra, 2006).

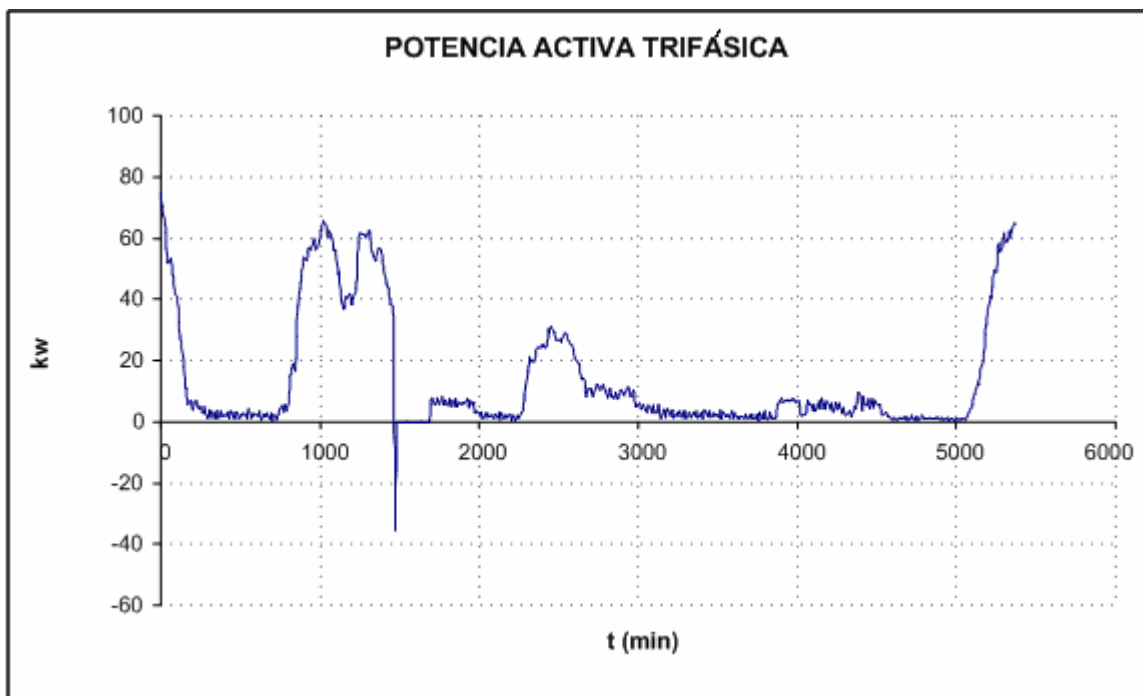


Figura 4.8. Potencia activa trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06 a 04/04/06.

[Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

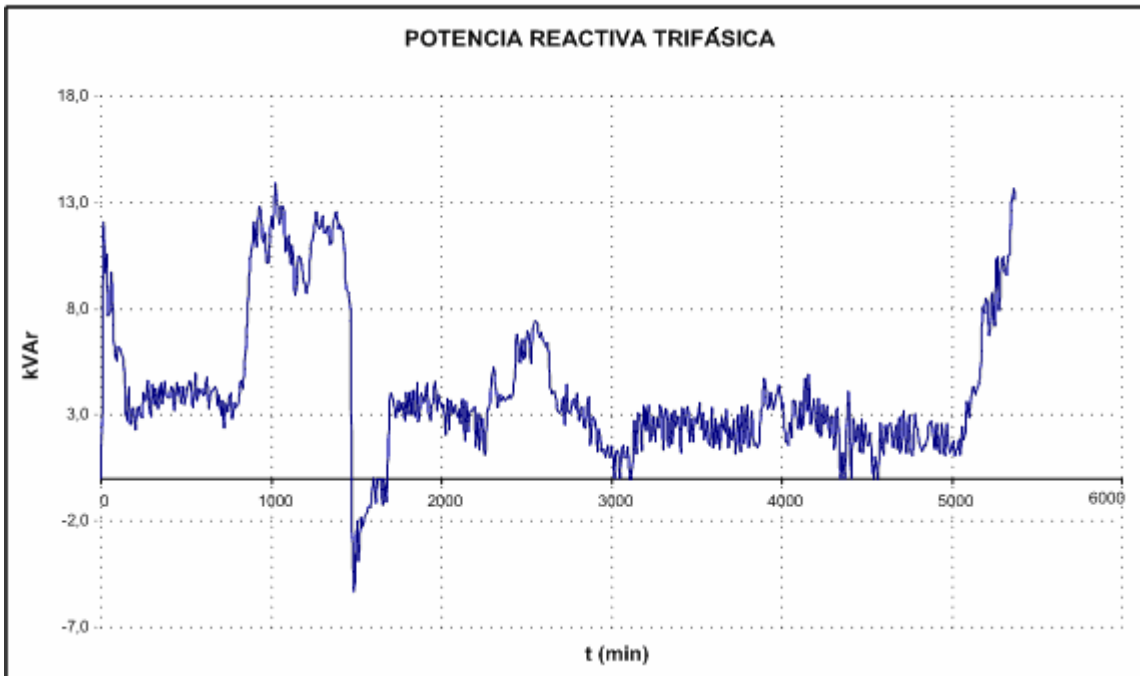


Figura 4.9. Potencia reactiva trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06 a 04/04/06.
[Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

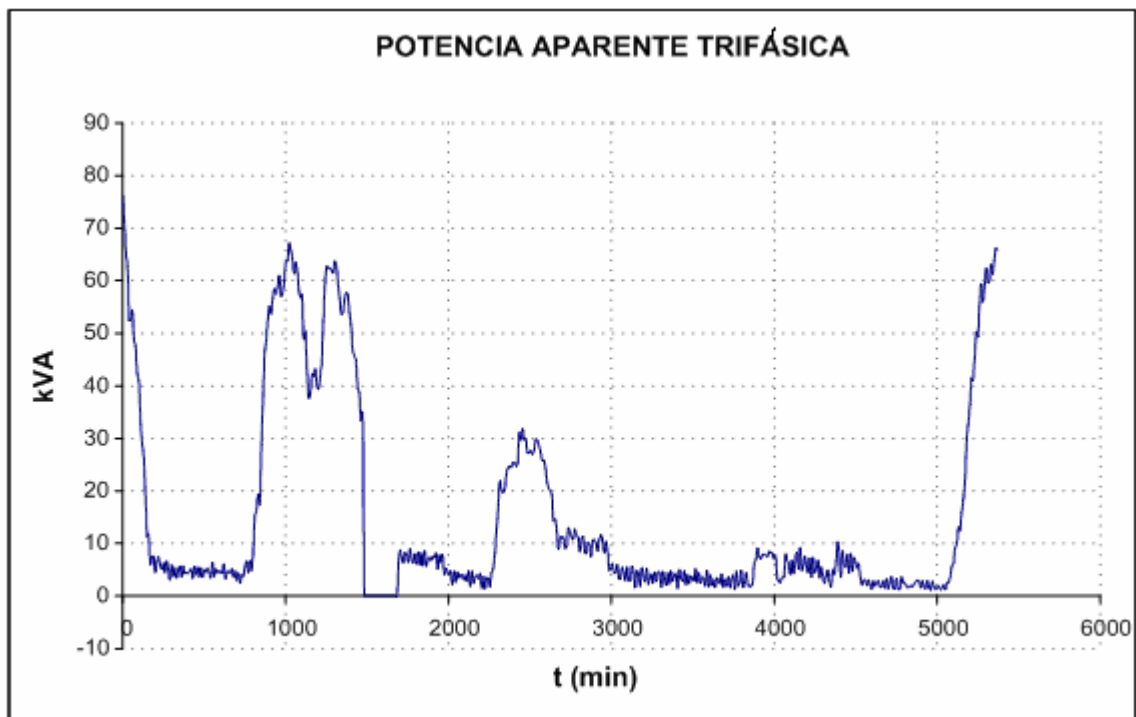


Figura 4.10. Potencia aparente trifásica S/E Edif._JBV 30/03/06 a 04/04/06.
[Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

4.11. ILUMINACIÓN ACTUAL DEL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA.

A continuación se presentan las medidas tomadas en iluminación para las instalaciones del edificio Jorge Bautista Vesga clasificadas por piso. Estas medidas fueron tomadas en la tesis de grado de (Cala, Consuegra, 2006).

❖ SÓTANO.

NIVELES DE ILUMINACIÓN ACTUAL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA					
Edificio	# Puerta	Em(Luxes)	Uniformidad	Observaciones	Emed [Lx]-Norma
JBV SOTANO	3	209	0,3	Almacen-Bodega	150
	4	315	0,38	Sala de computo	500
	5	294	0,57	Salon	500
	6A	273	0,62	Laboratorio	500
	6C	0	0	Salon	500
	6	460	0,55	Laboratorio	500
	7	550	0,6	Sala de computo	500
	9	400	0,53	Laboratorio	500
	10	315	0,5	Laboratorio	500
	10A	315	0,5	Laboratorio	500
	011A	652	0,43	Laboratorio	500
	11	652	0,42	Laboratorio	500
	12	361	0,54	Laboratorio	500
	13	342	0,51	Laboratorio	500
	pasillo exterior	0	0	Frente a civil	100
	15	420	0,65	Laboratorio	500
20	286	0,59	Salon	500	
027A	459	0,44	Salon	500	

Tabla 4.10. Nivel de iluminación actual sótano Edif_JBV. [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

❖ PRIMER PISO.

NIVELES DE ILUMINACION ACTUAL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA					
Edificio	# Puerta	Em(Luxes)	Uniformidad	Observaciones	Emed [Lx]-Norma
JBV PRIMER PISO	101, 101A	382	0,48	Decanatura	500
	143	457	0,54	Oficina	500
	102	262	0,47	Oficina	500
	142, 103	264	0,7	Oficina postgr petroleos	500
	Piso 1 pasillos interiores, baños	0	0	Oficinas	100
	105	316	0,48	Laboratorio	500
	106	215	0,51	Bodega	150
	107	351	0,59	Salon	500
	108C	522,8	0,68	Centro de investigacion	500
	108B	357	0,6	Oficina	500
	140	402	0,55	Laboratorio	500
	139	328	0,55	Archivo	500
	137	180	0,41	Laboratorio	500
	135	222	0,59	Salon	500
	Piso 1 pasillo exterior	150	0,39	Labs Frente a Planta de aceros	100
	109	350	0,53	Centro de estudios	500
	111	362	0,52	Centro de computo	500
	112	512	0,58	Salon	500
	114	430	0,56	Salon	500
	115	398	0,57	Laboratorio	500
117	382	0,48	Oficina	500	
118 a 125	262	0,47	Oficina	500	
130	388	0,54	Laboratorio	500	
131	495	0,57	Oficina	500	
133	403	0,48	Oficina	500	

Tabla 4.11. Nivel de iluminación actual primer piso Edif_JBV. [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

❖ SEGUNDO PISO.

NIVELES DE ILUMINACIÓN ACTUAL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA					
Edificio	# Puerta	Em(Luxes)	Uniformidad	Observaciones	Emed [Lx]-Norma
JBV SEUNDO PISO	223	406	0,56	Centro de estudios	500
	223A	356	0,48	Centro de computo	500
	225A	304	0,52	Laboratorio	500
	226	388	0,48	Laboratorio	500
	227	450	0,5	Laboratorio	500
	228	350	0,49	Museo	500
	250	0	0	Centro de estudios	500
	233 2334 235 238	262	0,47	Oficinas	500
	230 231 232	457	0,54	Oficinas	500
	236	382	0,48	Oficinas	500
	236A	457	0,54	Oficinas	500
	236B	445	0,53	Oficina	500
	237	440	0,52	Oficina	500
	Baños y pasillo inetrno	120	0,47		100
	Pasillo exterior	0	0	Frente a civil	500
	201 a 212	262	0,47	Oficinas	500
	213 a 215	457	0,54	Oficinas	500
	217	444	0,51	salón fundadores	500
	219	297	0,54	lab. corrosion	500
	219A	445	0,57	salon 219A	500
	220	447	0,55	lab. carbones	100
	220A	447	0,55	LAB. INV pgr	500
	221	455	0,56	salon ciencia y tecnologia	150
221A	443	0,57	sala de informatica	500	

Tabla 4.12. Nivel de iluminación actual segundo piso Edif_JBV. [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

❖ TERCER PISO.

NIVELES DE ILUMINACIÓN ACTUAL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA					
Edificio	# Puerta	Em(Luxes)	Uniformidad	Observaciones	Emed [Lx]-Norma
JBV TERCER PISO	303 a 306	604	0,58	Salones y oficinas	500
	309, 311 a 313	604	0,58	Salones y oficinas	500
	310	515	0,62	Centro Investigacion	500
	308	506	0,57	Centro de estudios	500
	314A a 314G	485	0,56	Oficinas	500
	Pasillos	132	0,47	interiores	100
	Baños	119	0,45		100

Tabla 4.13. Nivel de iluminación actual tercer piso Edif_JBV. [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

5. ANÁLISIS TERMOECONÓMICO

5.1. INTRODUCCIÓN

El análisis termoeconómico es el complemento y el paso siguiente en el proceso de diagnóstico y análisis exergético en una planta o instalación. En esta sección se pondrán en práctica los conceptos y principios de la termoeconomía presentados en el capítulo 2.

Se comenzará con obtener las matrices de incidencia de los circuitos seleccionados, para luego aplicando la teoría del costo exergético, obtener los costos exergéticos de cada flujo involucrado en los diferentes procesos de transformación de energía y realizar el correspondiente análisis de acuerdo a estos resultados.

5.2. MATRICES DE INCIDENCIA

✓ CIRCUITO TL1

La matriz de incidencia para este circuito se conformó identificando 6 equipos y 10 flujos de exergía como se mostró en la figura 3.6. El número de filas de esta matriz corresponde al número de equipos en el sistema, y el número de columnas corresponde a la cantidad de flujos presentes. Si un flujo del sistema entra a un equipo determinado, en la posición correspondiente de la matriz se coloca un 1. Si el flujo sale del equipo se coloca un -1 y si el flujo no tiene relación directa con el equipo se coloca un 0. De acuerdo con esto, para el circuito TL1 se obtuvo como resultado la matriz de la tabla 5.1.

		FLUJOS										
EQUIPOS	A =	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	
		0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	
		0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	
		0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	
		0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	

Tabla 5.1. Matriz de incidencia circuito TL1

✓ **CIRCUITO TB3**

La matriz de incidencia para este circuito se conformó identificando 6 equipos y 10 flujos de exergía como se mostró en la figura 3.7. Esto arrojó como resultado la matriz de la tabla 5.2.

		FLUJOS									
EQUIPOS	A =	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0
		0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1

Tabla 5.2. Matriz de incidencia circuito TB3

✓ **CIRCUITO TO**

La matriz de incidencia para este circuito se conformó identificando 15 equipos y 28 flujos de exergía como se mostró en la figura 3.8. Esto arrojó como resultado la matriz de la tabla 5.3.

5.3. VECTOR DE FLUJOS

Los vectores de flujo de exergía B se tomaron de las tablas 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 obtenidas en el capítulo 4, y se muestran en las tablas 5.5, 5.6, 5.7(a) y (b), y 5.8.

- Circuito TL1

FLUJO	EXERGÍA [kWh]
1	12,150
2	11,600
3	1,125
4	0,186
5	3,010
6	0,843
7	2,700
8	0,094
9	4,509
10	1,353

Tabla 5.5. Vector de flujos de exergía circuito TL1

- Circuito TB3

FLUJO	EXERGÍA [kWh]
1	11,871
2	11,313
3	4,185
4	0,639
5	0,648
6	0,1764
7	4,3056
8	0,0468
9	2,1528
10	0,0234

Tabla 5.6. Vector de flujos de exergía circuito TB3

- Circuito TO

FLUJO	EXERGÍA [kWh]
1	34,152
2	33,425
3	0,840
4	0,235
5	1,000
6	1,000
7	4,000
8	4,000
9	1,000
10	1,000
11	5,400
12	5,400
13	5,000
14	5,000

(a)

FLUJO	EXERGÍA [kWh]
15	2,300
16	2,300
17	2,300
18	2,300
19	1,500
20	1,500
21	3,000
22	3,000
23	3,000
24	3,000
25	0,540
26	0,540
27	3,052
28	2,238

(b)

Tabla 5.7. Vector de flujos de exergía circuito TO

- CIRCUITO TP

FLUJO	EXERGÍA [kWh]
1	16,020
2	15,370
3	4,270
4	0,053
5	10,854
6	2,894

Tabla 5.8. Vector de flujos de exergía circuito TP

5.4. IRREVERSIBILIDADES

Para el cálculo de las irreversibilidades se recurrió a la ecuación 3.1, y se aplicó para cada circuito escogido arrojando los resultados de las tablas 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12 respectivamente.

- Circuito TL1

EQUIPO	I [kWh]
1	0,5500
2	0,2560
3	0,9390
4	2,1670
5	2,6060
6	3,1560

Tabla 5.9. Irreversibilidades en circuito TL1

- Circuito TB3

EQUIPO	I [kWh]
1	0,5700
2	0,2726
3	3,5460
4	0,4716
5	4,2588
6	2,1294

Tabla 5.10. Irreversibilidades en circuito TB3

- Circuito TO

EQUIPO	I [kWh]
1	0,7270
2	0,4930
3	0,6050
4	0,000
5	0,000
6	0,000
7	0,000
8	0,000
9	0,000
10	0,000
11	0,000
12	0,000
13	0,000
14	0,000
15	0,814

Tabla 5.11. Irreversibilidades en circuito TO

- Circuito TP

EQUIPO	I [kWh]
1	0,654
2	0,246
3	4,217
4	7,960

Tabla 5.12. Irreversibilidades en circuito TP

5.5. COSTOS EXERGÉTICOS

Para encontrar los costos exergéticos de cada flujo involucrado se recurrió a los postulados de las reglas de asignación de costos presentados en el capítulo 2. Con estos se encontraron las matrices aumentadas del sistema y el vector de valoraciones externas para cada circuito. El paso siguiente consistió en hallar los costos exergéticos y los costos exergéticos unitarios de cada flujo.

Debido al tamaño de las matrices y al número de operaciones a realizar, éstas se efectuaron en programas independientes para cada circuito en MATLAB, los cuales se presentan en el anexo C.

❖ **CIRCUITO TL1**

FLUJO	B [kWh]	B* [kWh]	K*
1	12,150	12,150	1,000
2	11,600	12,150	1,047
3	1,125	1,205	1,071
4	0,186	1,205	6,479
5	3,010	3,222	1,071
6	0,843	3,222	3,822
7	2,700	2,890	1,070
8	0,094	2,890	30,744
9	4,509	4,833	1,072
10	1,353	4,833	3,572

Tabla 5.13. Costos exergeticos circuito TL1

❖ **CIRCUITO TB3**

FLUJO	B [kWh]	B* [kWh]	K*
1	12,134	12,134	1,000
2	11,564	12,134	1,049
3	4,185	4,506	1,077
4	0,639	4,506	7,051
5	0,648	0,698	1,077
6	0,176	0,698	3,955
7	4,306	4,620	1,073
8	0,047	4,620	98,726
9	2,153	2,310	1,073
10	0,023	2,310	98,726

Tabla 5.14. Costos exergeticos circuito TB3

❖ **CIRCUITO TO**

FLUJO	B [kWh]	B* [kWh]	K*
1	34,152	34,152	1,000
2	33,425	34,152	1,022
3	0,840	0,870	1,036
4	0,235	0,870	3,702
5	1,000	1,036	1,036
6	1,000	1,036	1,036
7	4,000	4,143	1,036
8	4,000	4,143	1,036
9	1,000	1,036	1,036
10	1,000	1,036	1,036
11	5,400	5,598	1,037
12	5,400	5,598	1,037
13	5,000	5,183	1,037
14	5,000	5,183	1,037

(a)

FLUJO	B [kWh]	B* [kWh]	K*
15	2,300	2,384	1,037
16	2,300	2,384	1,037
17	2,300	2,384	1,037
18	2,300	2,384	1,037
19	1,500	1,555	1,037
20	1,500	1,555	1,037
21	3,000	3,111	1,037
22	3,000	3,111	1,037
23	3,000	3,111	1,037
24	3,000	3,111	1,037
25	0,540	0,560	1,037
26	0,540	0,560	1,037
27	3,052	3,182	1,042
28	2,238	3,182	1,422

(b)

Tabla 5.15. Costos exergeticos circuito TO

❖ CIRCUITO TP

FLUJO	B [kWh]	B* [kWh]	K*
1	16,020	16,020	1,000
2	15,370	16,020	1,042
3	4,270	4,523	1,059
4	0,053	4,523	85,340
5	10,854	11,497	1,059
6	2,894	11,497	3,973

Tabla 5.16. Costos exergéticos circuito TP

5.6. COSTO EXERGEOECONÓMICO

Para el costo exergoeconómico se tomó un valor para el kW-h de \$150, y los valores para cada flujo de circuito se muestran en las tablas 5.14, 5.15, 5.16 (a) y (b), y 5.17.

- Circuito TL1

FLUJO	COSTO EXERGEOECONOMICO [\$/ kWh]
1	150,000
2	150,000
3	14,878
4	14,878
5	39,781
6	39,781
7	35,678
8	35,678
9	59,663
10	59,663

Tabla 5.17. Costo exergoeconómico circuito TL1

- Circuito TB3

FLUJO	COSTO EXERGONOMICO [\$/ kWh]
1	150,000
2	150,000
3	55,699
4	55,699
5	8,625
6	8,625
7	57,118
8	57,118
9	28,559
10	28,559

Tabla 5.18. Costo exergoeconómico circuito TB3

- Circuito TO

FLUJO	COSTO EXERGONOMICO [\$/ kWh]
1	150,000
2	150,000
3	3,821
4	3,821
5	4,549
6	4,549
7	18,195
8	18,195
9	4,549
10	4,549
11	24,588
12	24,588
13	22,766
14	22,766

(a)

FLUJO	COSTO EXERGONOMICO [\$/ kWh]
1	10,472
2	10,472
3	10,472
4	10,472
5	6,831
6	6,831
7	13,662
8	13,662
9	13,662
10	13,662
11	2,459
12	2,459
13	13,974
14	13,974

(b)

Tabla 5.19. Costo exergoeconómico circuito TO

- Circuito TP

FLUJO	COSTO EXERGONOMICO [\$/ kWh]
1	150,000
2	150,000
3	42,350
4	42,350
5	107,650
6	107,650

Tabla 5.20. Costo exergoeconómico circuito TP

Con los valores de irreversibilidades, costos exergéticos y costos exergoeconómicos hallados en este capítulo, se pueden visualizar las posibles oportunidades de ahorro y definir las pautas para presentar una propuesta de un plan de uso racional de la energía (URE) en los circuitos de las

instalaciones analizadas en este proyecto, dicha propuesta se presenta a continuación en el capítulo 6 de este documento.

6. PROPUESTA URE

6.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control en una instalación son los medios más eficaces para reducir el consumo de energía, mientras exista la posibilidad de medir y controlar las magnitudes en un sistema energético, será posible administrar de una mejor manera los recursos destinados a cubrir los costos generados por la ejecución de dichos procesos.

Realizar una propuesta de uso racional de energía (URE) para las instalaciones analizadas, crea la posibilidad de comenzar a ejercer control sobre el consumo innecesario de energía y fomenta en las personas un cambio de actitud positivo para mejorar el desempeño de los equipos, obteniendo así ahorros significativos en cuanto a los procesos de transformación energética se refiere.

6.2. ETAPAS DE UN PROGRAMA URE

Llevar a cabo un programa de uso racional de la energía (URE) trae consigo el desarrollo de un proceso gradual que consta de varios pasos. En la realización de este trabajo, se han desarrollado hasta ahora algunos de estos hasta llegar al punto final del mismo, el cual consiste en realizar una propuesta que involucre procedimientos y acciones que conlleven a un ahorro energético haciendo un mejor uso de la energía utilizada para los diferentes procesos en las instalaciones estudiadas.

La figura 6.1 muestra las etapas necesarias para desarrollar un programa URE en cualquier instalación o proceso, utilizando el análisis exergético. Para el caso de estudio se han cumplido las etapas 1, 2, 3, y 4 respectivamente, en el desarrollo de este capítulo se determinarán los potenciales de ahorro y se harán las propuestas necesarias para cumplir con el objetivo principal y razón de ser de este estudio (etapas 5, 6, y 7).

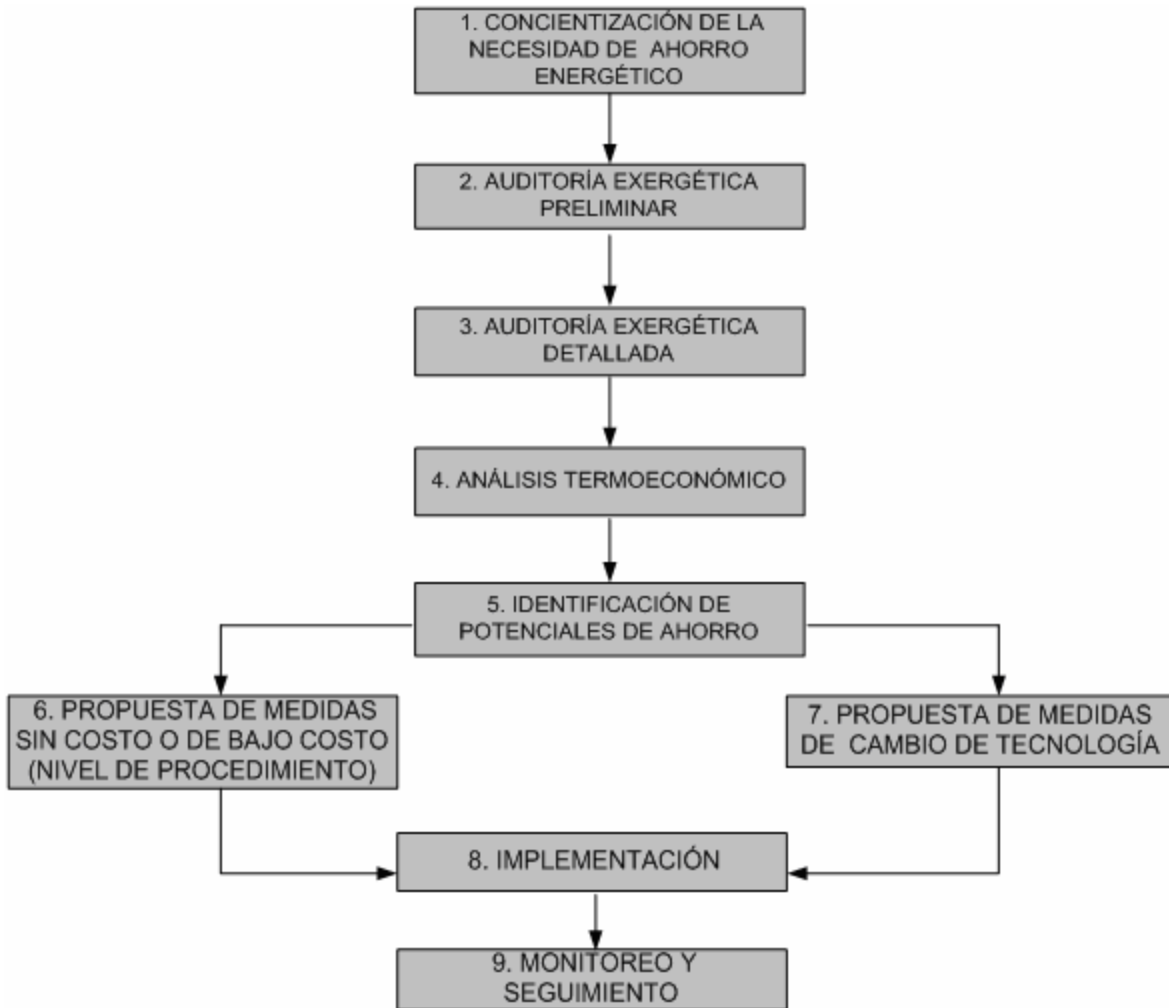


Figura 6.1. Etapas de un programa URE utilizando análisis exergético.

6.3. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan mediante gráficos de barras las irreversibilidades, los costos exergéticos y los costos exergoeconómicos de los equipos en cada circuito, con el fin de obtener puntos de comparación y obtener los mayores potenciales de ahorro en cada circuito, después de aplicado el análisis exergético y termoeconómico respectivo.

Las figuras 6.2 a 6.13 muestran estos resultados para cada circuito estudiado:

❖ Circuito TL1

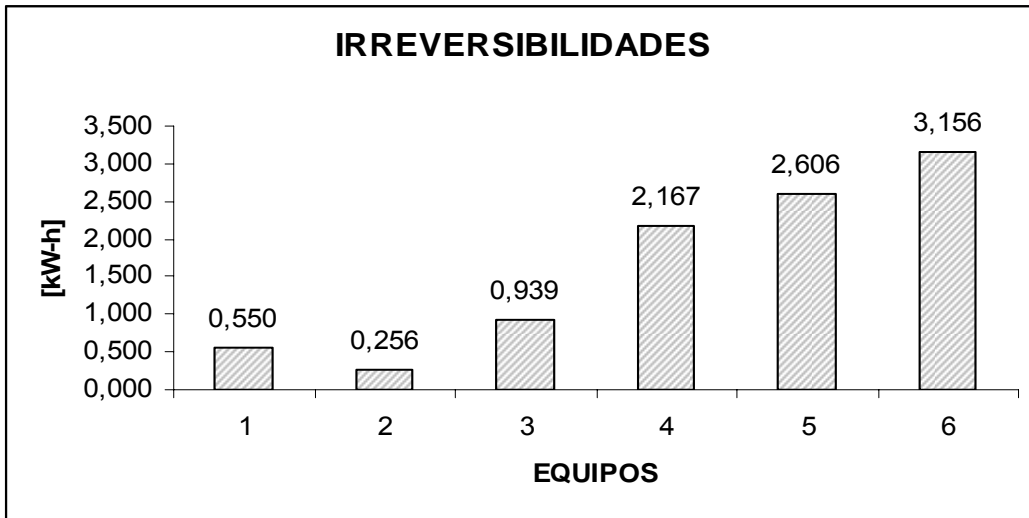


Figura 6.2. Irreversibilidades circuito TL1

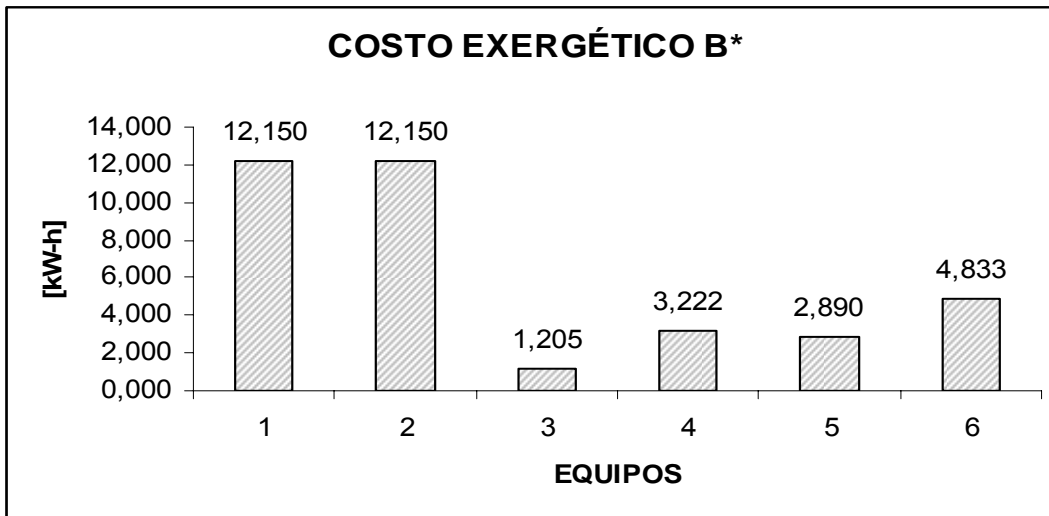


Figura 6.3. Costo exergético B* circuito TL1

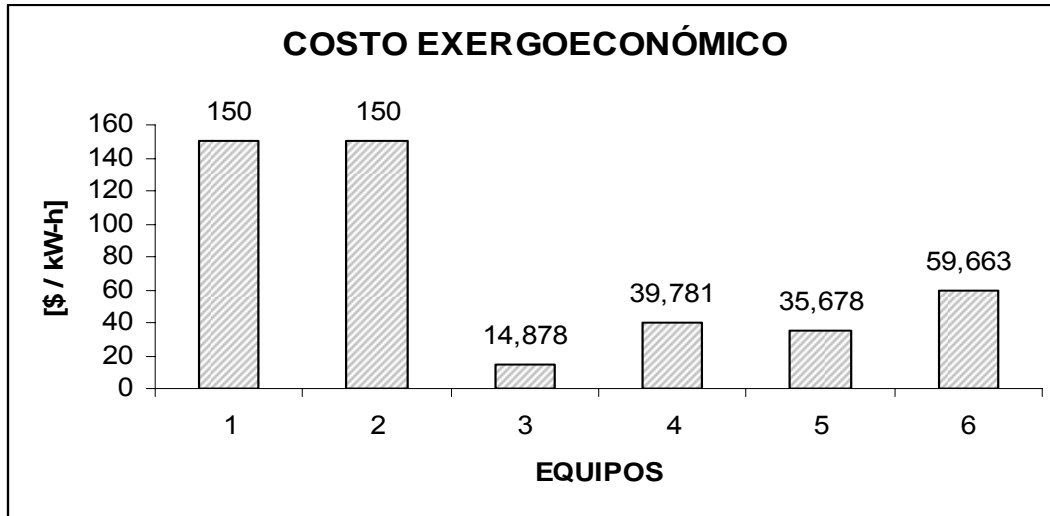


Figura 6.4. Costo exergoeconómico circuito TL1

❖ **Circuito TB3**

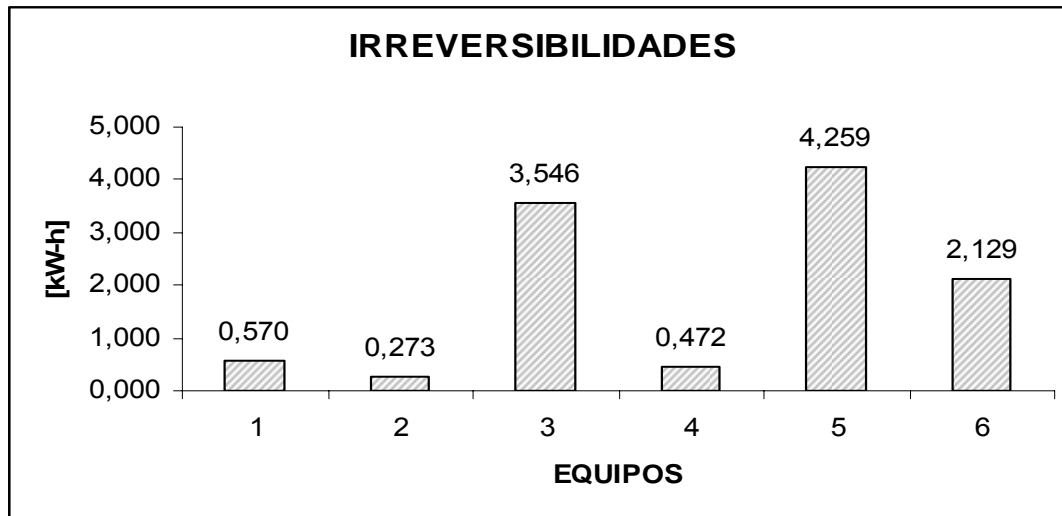


Figura 6.5. Irreversibilidades circuito TB3

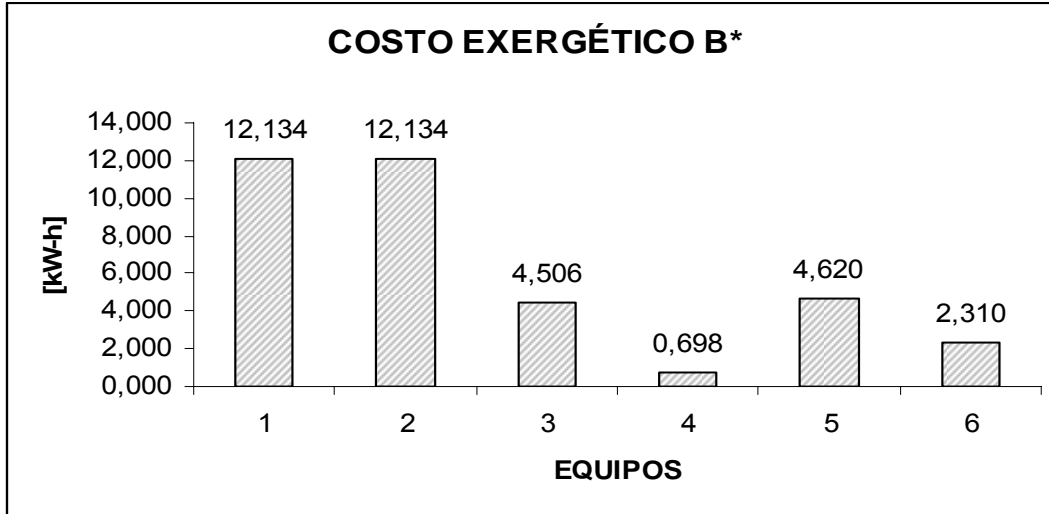


Figura 6.6.Costo exerético B* circuito TB3

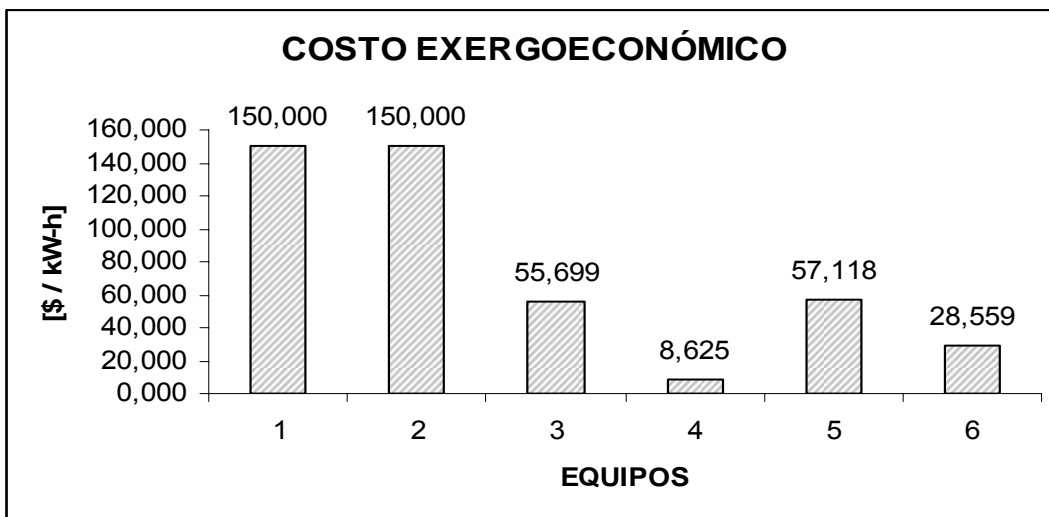


Figura 6.7.Costo exergoeconómico circuito TB3

❖ CIRCUITO TO

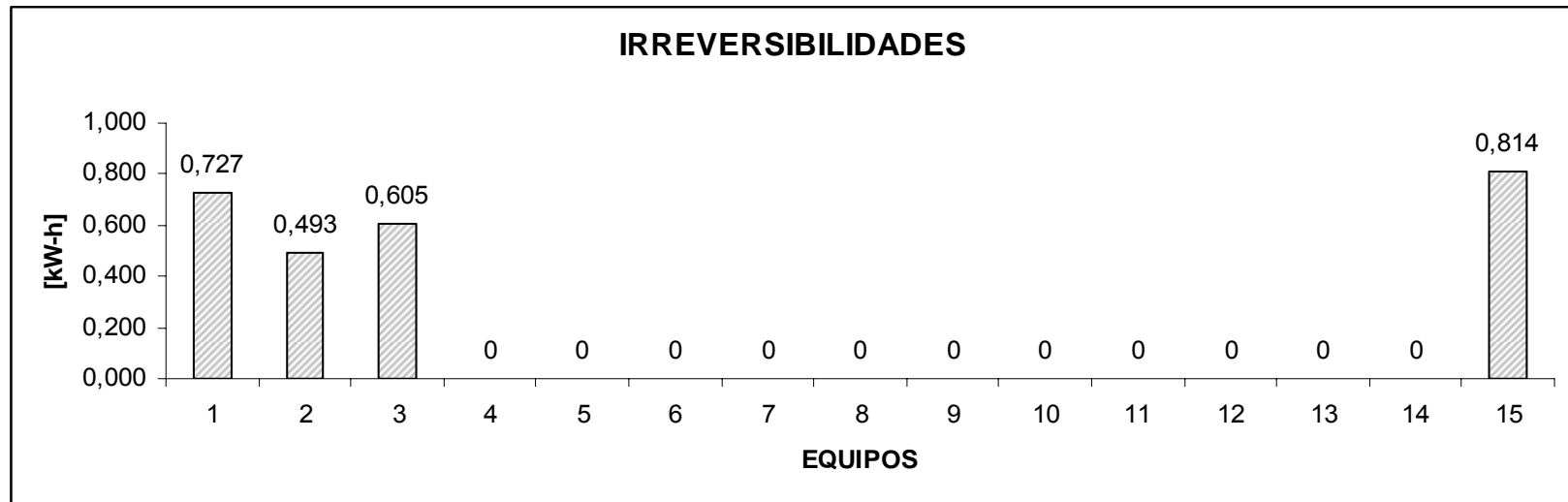


Figura 6.8. Irreversibilidades circuito TO

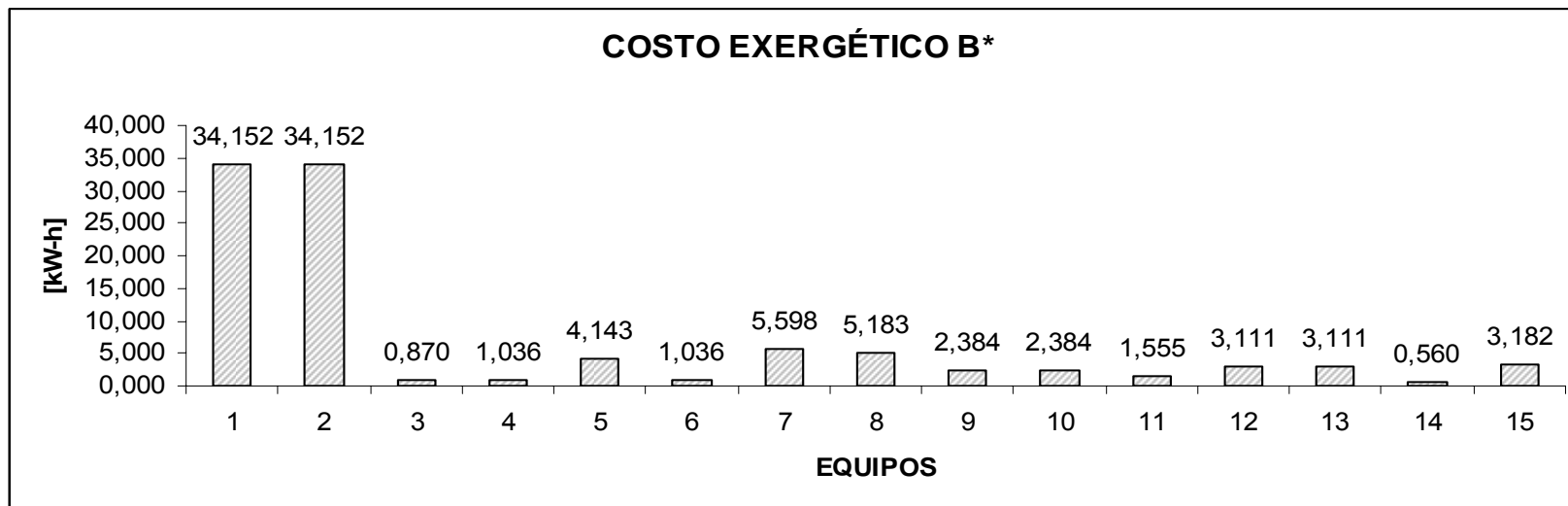


Figura 6.9. Costo exergetico B* circuito TO

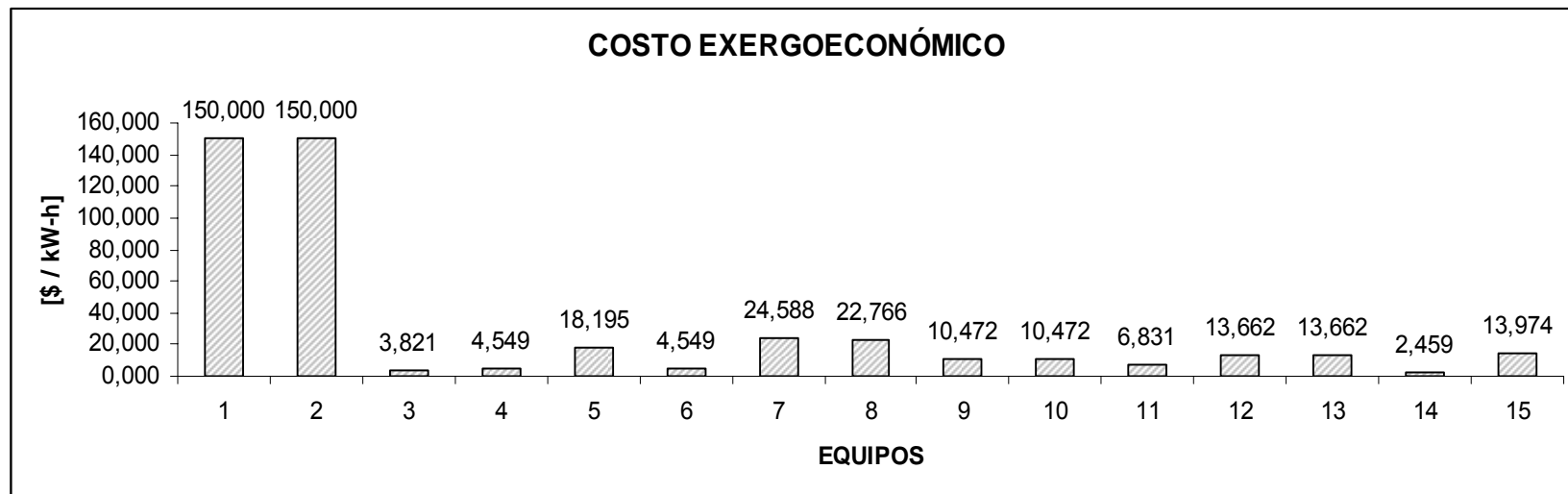


Figura 6.10. Costo exergoeconómico circuito TO

❖ **CIRCUITO TP**

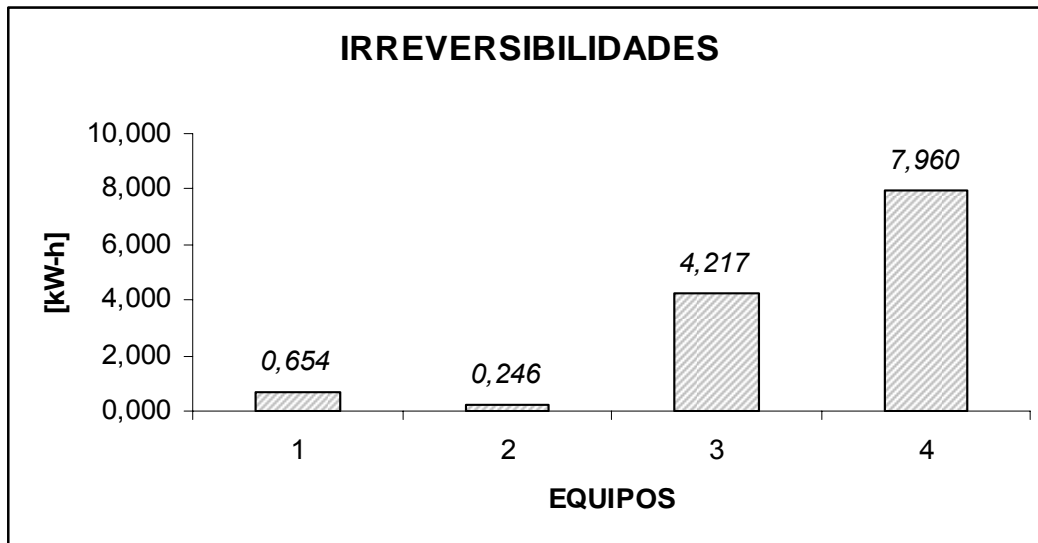


Figura 6.11. Irreversibilidades circuito TP

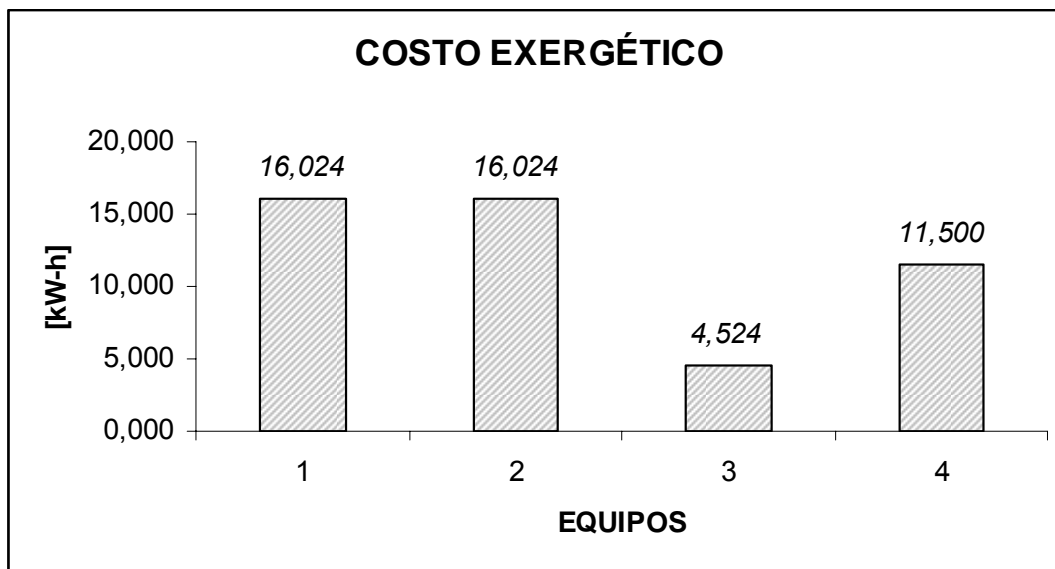


Figura 6.12. Costo exergético circuito TP

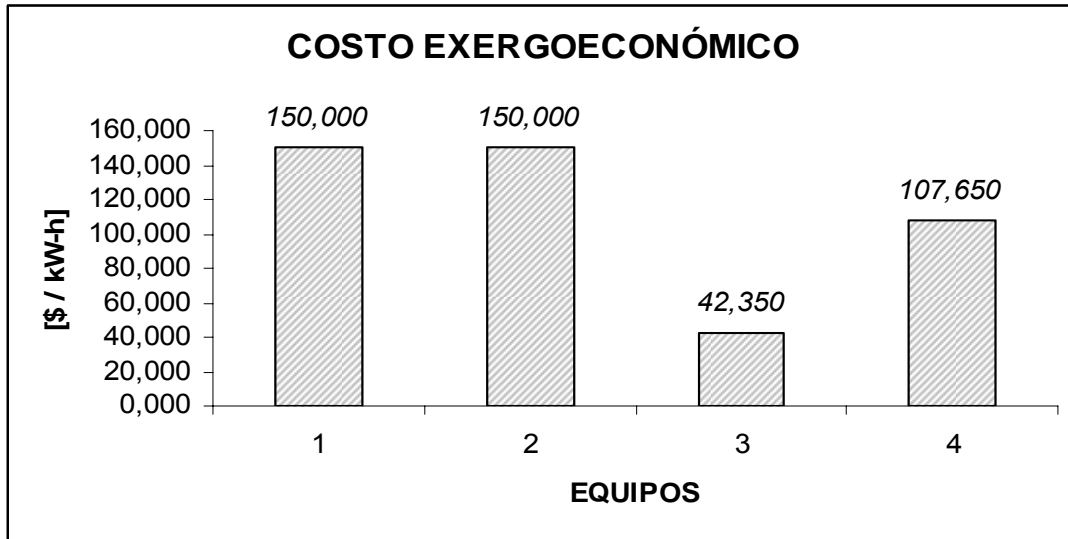


Figura 6.13. Costo exergoeconómico circuito TP

6.4. POTENCIAL DE AHORRO

El concepto de URE en sistemas energéticos, implica considerar que no solo se trata de llevar un control de los procesos de transformación de energía, sino que también trae asociado consigo la capacidad que tienen estos sistemas de satisfacer las necesidades de los usuarios finales de la energía misma. De igual forma, si se introduce el aspecto económico, se requiere también que la cantidad de recursos sea la estrictamente necesaria y suficiente para cubrir los costos que se generan en los diferentes procesos.

Identificar los potenciales de ahorro energético en las instalaciones tiene como objetivo, tener de una manera localizada los equipos y procesos en los cuales un plan de uso racional de la energía sería la solución al consumo desmedido de recursos para cubrir los costos generados en cada proceso.

El criterio escogido para hallar el potencial de ahorro en cada circuito será relacionado con el costo exergético (B^*) de los equipos constituyentes del sistema, y luego de un análisis sencillo se mostrarán las razones que lleven a la escogencia de los mismos.

✓ CIRCUITO TL1

Los costos exergéticos asociados a cada uno de los equipos se presentaron en la figura 6.3. En la tabla 6.1 se muestra el porcentaje del costo exergético del insumo principal (Flujo 1) que necesita cada equipo para su funcionamiento.

EQUIPO	COSTO EXERGÉTICO B* [kWh]	PORCENTAJE DEL COSTO EXERGÉTICO DEL FLUJO PRINCIPAL DE ENTRADA
1.TRANSFORMADOR	12,150	100,00%
2.CONDUCTOR	12,150	100,00%
3. ILUM. ESP.	1,205	9,92%
4. ILUM. COM.	3,222	26,52%
5. AIRE ACOND.	2,890	23,78%
6. EQUIPOS ESP.	4,833	39,78%

Tabla 6.1. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TL1

De acuerdo con la tabla anterior los costos exergéticos del transformador y del conductor (equipos 1 y 2) son iguales, es decir, en términos energéticos ambos equipos para su funcionamiento requieren la cantidad de exergía que el insumo de entrada proporcione al sistema, ya que el costo exergético es una propiedad conservativa.

También es claro que los mayores porcentajes del costo exergético de entrada al sistema lo poseen las cargas por iluminación común (26,52%), aire acondicionado (23,78%) y equipos especiales (39.78%).

De acuerdo con estos resultados se pueden llegar a formular las siguientes conclusiones:

1. Refiriéndose al rendimiento exergético del **transformador** mostrado en la tabla 4.6, se puede afirmar que es un valor aceptable para la función que está cumpliendo, por lo tanto no se considera una fuente de ahorro potencial de energía.

2. El **conductor** utilizado cumple con los requerimientos de capacidad amperimétrica impuestos por el circuito, ya que su capacidad es de 65 A y con toda la carga nominal en funcionamiento, este valor alcanzaría los 55,16 A, por lo tanto se llega a la conclusión que está bien dimensionado y no proporciona una fuente de ahorro significativa.
3. Debido a la poca cantidad de **luminarias especiales** existentes dentro del circuito, el porcentaje del costo exergético de estos equipos es relativamente bajo (9,92%), por lo tanto no se incluirán en los equipos con mayor potencial de ahorro, pero sí se harán recomendaciones respecto a estas más adelante.
4. Respecto a la **iluminación común**, y **aire acondicionado**, estos equipos se constituyen en un **50,30%** del costo exergético total del circuito, por lo tanto presentan una buena opción para obtener ahorro energético.
5. Los **equipos especiales**, aunque presentan el mayor porcentaje individual del costo exergético de entrada (39,78%), no representan un gran potencial de ahorro, ya que su configuración y consumo de energía viene determinado por los fabricantes, y sobre ellos solo se podría dar recomendaciones sobre el uso adecuado que se les debe dar.

✓ **CIRCUITO TB3**

Siguiendo el mismo procedimiento para el circuito anterior, en la tabla 6.2 se muestra el porcentaje de exergía de cada equipo sobre el costo exergético del insumo principal (Flujo 1).

EQUIPO	COSTO EXERGÉTICO B* [kW-h]	PORCENTAJE DEL COSTO DE FLUJO DE ENTRADA
1. TRANSFORMADOR	12,134	100,00%
2. CONDUCTOR	12,134	100,00%
3. ILUM.ESPECIAL	4,506	37,13%
4. ILUM.COMÚN	0,698	5,74%
5. AIRE ACOND.1(doble)	4,620	38,08%
6. AIRE ACOND.2	2,310	19,03%

Tabla 6.2. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TB3

De los resultados arrojados por la tabla 6.2 se puede ver que los mayores porcentajes del costo exergético de entrada al sistema lo poseen las cargas por iluminación especial (37,13%), el aire acondicionado 1(doble) (38,08%) y el aire acondicionado 2 (19,03%), por lo tanto sobre estos equipos se buscará el mayor potencial de ahorro energético.

✓ **CIRCUITO TO**

Siguiendo el mismo procedimiento para el circuito anterior, en la tabla 6.3 se muestra el porcentaje de exergía de cada equipo sobre el costo exergético del insumo principal (Flujo 1).

EQUIPO	COSTO EXERGÉTICO B* [kW-h]	PORCENTAJE DEL COSTO DE FLUJO DE ENTRADA
1. TRANSFORMADOR	34,152	100,00%
2. CONDUCTOR	34,152	100,00%
3. ILUM.COMÚN	0,870	2,55%
4. MAQ.1	1,036	3,03%
5. MAQ.2	4,143	12,13%
6. MAQ.3	1,036	3,03%
7. MAQ.4	5,598	16,39%
8. MAQ.5	5,183	15,18%
9. MAQ.6	2,384	6,98%
10. MAQ.7	2,384	6,70%
11. MAQ.8	1,555	4,55%
12. MAQ.9	3,111	9,11%
13. MAQ.10	3,111	9,11%
14. MAQ.11	0,560	1,64%
15. MOTOR	3,182	9,32%

Tabla 6.3. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TO

De los resultados arrojados por la tabla 6.3 se puede ver que los mayores porcentajes del costo exergético de entrada al sistema lo poseen las cargas conformadas por la máquina 2 (12,13%), máquina 4 (16,39%) y máquina 5 (15,18%), por lo tanto sobre estos equipos se buscará la forma de obtener el mayor potencial de ahorro energético.

✓ **CIRCUITO TP**

Siguiendo el mismo procedimiento para el circuito anterior, en la tabla 6.4 se muestra el porcentaje de exergía de cada equipo sobre el costo exergético del insumo principal (Flujo 1).

EQUIPO	COSTO EXERGÉTICO B* [kW-h]	PORCENTAJE DEL COSTO DE FLUJO DE ENTRADA
1.TRANSFORMADOR	16,020	100,00%
2.CONDUCTOR	16,020	100,00%
3.AIRE ACOND.(doble)	4,523	28,23%
4. EQUIPOS ESP.	11,497	71,77%

Tabla 6.4. Porcentajes del costo exergético de entrada circuito TP

De los resultados arrojados por la tabla 6.4 se puede ver que los mayores porcentajes del costo exergético de entrada al sistema lo poseen las cargas por el aire acondicionado (doble) (28,23%) y los equipos especiales (71,77%), pero como ya se mencionó sobre los equipos especiales se harán recomendaciones acerca de la mejor manera de utilizarlos. Por lo tanto el mayor potencial de ahorro energético se buscará sobre el aire acondicionado.

Como conclusión general de esta sección se puede afirmar, basados en los resultados obtenidos de los diferentes análisis efectuados, que las mayores oportunidades de ahorro energético se presentan a nivel de equipos, en la iluminación y los sistemas de aire acondicionado que componen las instalaciones estudiadas. Por lo tanto la propuesta se centrará en obtener los mayores potenciales de ahorro en estos equipos.

6.5. PROPUESTA URE

Para realizar la propuesta de uso racional de la energía (URE) se ha dividido ésta, en dos tipos:

- 1. *Propuesta a nivel de procedimiento.***
- 2. *Propuesta a nivel de cambio de tecnología.***

A continuación se realiza la descripción de cada tipo mencionado con sus respectivas recomendaciones:

6.5.1. PROPUESTA A NIVEL DE PROCEDIMIENTO

El ahorro generado por la reducción del uso inadecuado de la energía constituye, quizá la alternativa más barata dentro de un programa de URE. Sin embargo puede ser también la más difícil de alcanzar, mantener y evaluar, debido a las características del factor humano que interviene directamente en las actividades. Por ello una labor fundamental la constituye el aspecto cultural para acostumbrar al personal a que haga uso adecuado de los recursos naturalmente.

Las opciones de ahorro y uso racional de la energía a nivel de procedimiento, se pueden conseguir a partir de varios tipos de acciones:

1. Acciones educativas y de capacitación.

Las acciones que se proponen desarrollar para ser ampliadas posteriormente y crear una cultura de ahorro y eficiencia energética en las instalaciones de la universidad son:

- *Mejorar el aprovechamiento de la energía por parte de los consumidores, mediante cambios en hábitos y métodos de uso de los equipos e instalaciones.*
- *Campañas de información por los medios de comunicación internos de la universidad como son la radio, programas televisivos y prensa escrita.*
- *Proyectos educativos que busquen capacitar y concientizar a los integrantes de la comunidad universitaria, de la importancia de implementar programas y acciones que conlleven al ahorro energético en las instalaciones.*
- *Exposiciones y demostraciones sobre equipos eficientes, y el uso adecuado que se debe dar a estos, buscando incentivar la cultura del uso racional de la energía (URE) y del ahorro.*
- *Crear centros de información y enseñanza que busquen generar propuestas y proyectos orientados al mejor manejo de los recursos energéticos con que*

cuenta la universidad, para luego de realizar los estudios respectivos se logre su implementación.

2. Implantación de políticas de gestión energética.

En este marco se propone implementar en la universidad un sistema de administración energética (**SAE**), cuyo objetivo primordial sea el de coordinar de forma sistemática los recursos en la universidad para optimizar el uso de la energía en las instalaciones y mantener mediante información y capacitación la cultura del uso eficiente de los recursos.

Para desarrollar un SAE dentro de la UIS es necesario contar con el apoyo de la administración y de los diferentes entes universitarios que estén dispuestos a fomentar el uso racional de la energía y la implantación de medidas que aumenten la eficiencia energética en los procesos llevados a cabo en las instalaciones.

Dentro de este sistema propuesto, no se debe dejar por fuera el fomento del llamado “*ahorro por gestión*”, el cual consiste en generar todos los ahorros de energía posibles con la participación de estudiantes y empleados dentro de la universidad.

❖ Beneficios asociados

1. Un sistema de administración energética como el propuesto, debe posicionar a la universidad como un ente impulsor y orientador de políticas de ahorro y conservación de la energía, el cual si es desarrollado en forma adecuada, convertiría a la UIS en un centro piloto de prácticas para el URE.
2. Un control de la energía consumida en las diferentes instalaciones, y un diagnóstico del estado de los equipos.
3. La definición de indicadores de gestión que muestren cómo se están administrando los recursos destinados a cubrir los costos generados en los procesos de las instalaciones, permitiendo así tomar medidas

preventivas y correctivas sobre el trabajo que se esté haciendo sobre las mismas.

❖ ***Contribuir al mejor desempeño de los equipos.***

Dentro de los aspectos asociados en este punto se proponen acciones que mejorarán el aprovechamiento de la energía y el uso de los equipos mediante la revisión, control, mantenimiento y mejora en el propio lugar de instalación:

➤ **AIRE ACONDICIONADO**

1. Instalar termostatos si el sistema de aire acondicionado no los tiene incorporado o si no proporciona información precisa sobre la temperatura.
2. Regular el termostato del aire acondicionado a 25°C. Cada grado que disminuya la temperatura, aumentará el consumo de energía un 8%, pero no el confort (CENEAM, 2000).
3. Si se dispone de sensores de temperatura ambiente, se deben alejar de las fuentes de calor (sol, lámparas, etc).
4. Revisar y limpiar los filtros del aire acondicionado, pues es ventajoso para la salud de las personas dentro del recinto refrigerado y ahorra energía.
5. Mantener las puertas y ventanas cerradas, evitando el ingreso de aire del exterior al ambiente climatizado.
6. Realizar mantenimiento preventivo a los sistemas de aire acondicionado periódicamente.
7. Instalar películas polarizadas o persianas en las ventanas de los recintos, para que la transferencia de calor al ambiente refrigerado sea menor y el sistema de refrigeración no trabaje con una carga térmica adicional.

8. Evitar encender las luces en recintos donde no se hace necesaria su utilización, ya que esto aumenta la carga térmica que tiene que superar el sistema de refrigeración.

➤ **ILUMINACIÓN**

1. Tener circuitos independientes para apagar luces que no se utilizan.
2. Utilizar programadores horarios para el encendido y apagado automático de luces.
3. Reemplazar las lámparas fluorescentes que parpadean consumiendo la misma energía.
4. Mantener los vidrios de las ventanas y domos limpios.
5. Estimular a las personas a apagar las luces utilizadas de manera innecesaria.
6. Procurar que el color de techos, pisos y paredes sea claro y utilizar pinturas que reflejen la luz (dentro de los límites permitidos).
7. Utilizar sensores de presencia.
8. Reacomodar los muebles para que no obstruyan la entrada de luz natural a las instalaciones.
9. Colocar láminas translúcidas en techos para permitir el paso de luz natural.
10. Utilizar lámparas fluorescentes en tonos cálidos y blanco frío.

6.5.2. PROPUESTA A NIVEL DE CAMBIO DE TECNOLOGÍA.

❖ AIRE ACONDICIONADO

Para la propuesta a nivel de cambio de tecnología se tendrán en cuenta algunas situaciones observadas dentro de las instalaciones, que se podrían mejorar para obtener un mejor desempeño de los equipos. A continuación se presentarán estas situaciones por circuito con las medidas respectivas para su solución:

- **Circuito TL1**

De acuerdo a la relación de eficiencia energética (REE) mencionada en el capítulo 4, para el aire acondicionado se obtuvo un valor de $REE = 2,603$. En la tabla 6.5 se muestran los valores de relación de eficiencia energética para equipos unitarios que sugiere la nueva norma NTC-5104.

RANGOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (W_t / W_e)		
RANGO	Límite inferior (incluido)	Límite superior
A	4,35	EEC ³
B	4,00	4,35
C	3,65	4,00
D	3,30	3,65
E	2,95	3,30
F	2,60	2,95
G	0,00	2,60

Tabla 6.5. Rangos de la relación de eficiencia energética para equipos unitarios [Fuente: (Orozco, 2004)]

Como se puede observar, el aire acondicionado del circuito se ubica en la penúltima categoría de los rangos de eficiencia energética dados por la norma (F), entonces se propone cambiarlo por un equipo más eficiente energéticamente.

³ Eficiencia Energética de Carnot

- La carga térmica del recinto es aprox. de 84408 Wt (2 TR⁴).
- La relación de eficiencia energética del equipo actual es de 2,603.
- La relación de eficiencia energética del equipo nuevo a instalar es de 2,810.
- El costo del kWh es de \$150.
- Se utilizará un factor de diversidad de 0,6 (nivel de ocupación promedio).

- **Cálculo de costo anual para el equipo actual**

$$0,6 \cdot 84408 [Wt-h] \cdot 0,3842 \left[\frac{W-h}{Wt-h} \right] \cdot 0,15 \left[\frac{\$}{W-h} \right] \cdot 312 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{\text{dia}} = 21\,854\,924 \frac{\$}{\text{año}}$$

- **Cálculo de costo anual para el equipo nuevo**

$$0,6 \cdot 84408 [Wt-h] \cdot 0,3558 \left[\frac{W-h}{Wt-h} \right] \cdot 0,15 \left[\frac{\$}{W-h} \right] \cdot 312 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{\text{dia}} = 20\,239\,412 \frac{\$}{\text{año}}$$

El ahorro por el cambio de equipo es de $1\,615\,512 \frac{\$}{\text{año}}$

El valor del equipo nuevo es de \$ 2 504 440, el tiempo de recuperación de la inversión (sin tener en cuenta la vida útil y el valor del dinero en el tiempo) sería de:

$$TRI = \frac{\text{Costo equipo}}{\text{Ahorro generado}} = \frac{2\,504\,440 \$}{1\,615\,512 \frac{\$}{\text{año}}} = 1,55 \text{ años} \cong 18 \text{ meses}$$

⁴ Toneladas de refrigeración

- **Circuito TB3**

En este circuito se detectó una situación energéticamente desfavorable en el salón 309 (sala de informática), pues se encuentran trabajando dos equipos de aire acondicionado tipo ventana de igual capacidad (9000 Btu). Para mejorar el rendimiento en la refrigeración de este salón se propone cambiar las dos unidades existentes por una unidad de la misma capacidad de enfriamiento, tipo *split* con una mejor relación de eficiencia energética.

- La cara térmica del recinto es aprox. 63306 Wt (1,5 TR).
- La relación de eficiencia energética del equipo actual es de 1,163.
- La relación de eficiencia energética del equipo nuevo a instalar es de 2,6.
- El costo del kWh es de \$150.
- Se utilizará un factor de diversidad de 0,6 (nivel de ocupación promedio).

- ***Cálculo de costo anual para el equipo actual***

$$0,6 \cdot 63306 [Wt-h] \cdot 0,8598 \left[\frac{W-h}{Wt-h} \right] \cdot 0,15 \left[\frac{\$}{W-h} \right] \cdot 312 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{\text{dia}} = 36\,681\,801 \frac{\$}{\text{año}}$$

- ***Cálculo de costo anual para el equipo nuevo***

$$0,6 \cdot 63306 [Wt-h] \cdot 0,3846 \left[\frac{W-h}{Wt-h} \right] \cdot 0,15 \left[\frac{\$}{W-h} \right] \cdot 312 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{\text{dia}} = 16\,408\,258 \frac{\$}{\text{año}}$$

El ahorro por el cambio de equipo es de $20\,273\,542 \frac{\$}{\text{año}}$

El valor del equipo nuevo es de \$ 2 200 000, el tiempo de recuperación de la inversión (sin tener en cuenta la vida útil y el valor del dinero en el tiempo) sería de:

$$TRI = \frac{\text{Costo equipo}}{\text{Ahorro generado}} = \frac{2\,200\,000 \$}{20\,273\,542 \frac{\$}{\text{año}}} = 0,108 \text{ años} \cong 1 \text{ mes}$$

- **Circuito TO**

La mayoría de los equipos que están conectados al circuito TO son hornos de mufla (de resistencia eléctrica), al hacer la visita a las instalaciones se notó que son equipos extremadamente antiguos y que tienen problemas de aislamiento térmico, por lo tanto se recomienda revisar el aislamiento de estos equipos y de acuerdo a la frecuencia de uso que se les esté dando en las instalaciones considerar cambiarlos.

- **Circuito TP**

En este circuito se detectó una situación energéticamente desfavorable en el salón 004 pues se encuentran trabajando dos equipos de aire acondicionado tipo ventana de igual capacidad (9000 Btu). Para mejorar el rendimiento en la refrigeración de este salón se propone cambiar las dos unidades existentes por una unidad de la misma capacidad de enfriamiento, tipo *split* con una mejor relación de eficiencia energética.

- La cara térmica del recinto es aprox. 63306 Wt (1,5 TR).
- La relación de eficiencia energética del equipo actual es de 1,111.
- La relación de eficiencia energética del equipo nuevo a instalar es de 2,7.
- El costo del kWh es de \$150.
- Se utilizará un factor de diversidad de 0,6 (nivel de ocupación promedio).

- **Cálculo de costo anual para el equipo actual**

$$0,6 \cdot 63306 [Wt-h] \cdot 0,9001 \left[\frac{W-h}{Wt-h} \right] \cdot 0,15 \left[\frac{\$}{W-h} \right] \cdot 312 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{\text{dia}} = 38401127 \frac{\$}{\text{año}}$$

- **Cálculo de costo anual para el equipo nuevo**

$$0,6 \cdot 63306 [Wt-h] \cdot 0,3703 \left[\frac{W-h}{Wt-h} \right] \cdot 0,15 \left[\frac{\$}{W-h} \right] \cdot 312 \frac{\text{dias}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{h}{\text{dia}} = 15798175 \frac{\$}{\text{año}}$$

El ahorro por el cambio de equipo es de $22\,602\,952 \frac{\$}{\text{año}}$

Si el valor del equipo nuevo es de \$ 2 200 000, el tiempo de recuperación de la inversión (sin tener en cuenta la vida útil y el valor del dinero en el tiempo) sería de:

$$TRI = \frac{\text{Costo equipo}}{\text{Ahorro generado}} = \frac{2200000 \$}{22602952 \frac{\$}{\text{año}}} = 0,097 \text{ años} \cong 1 \text{ mes}$$

Cabe anotar que los equipos que sean cambiados se pueden instalar en sitios donde su capacidad sea acorde con la carga térmica del lugar escogido.

Nota: Las especificaciones técnicas de los equipos escogidos se encuentran en el anexo E.

❖ ILUMINACIÓN

Según el inventario realizado por tableros se puede verificar que las fuentes artificiales de luz mas usadas son las lámparas fluorescentes, esta opción es muy acertada ya que dentro de la gama de lámparas, estas poseen una eficacia en lumen por vatio que va de 20 a 103 con una vida útil de 7500 a 20000 horas.

Las lámparas fluorescentes para su funcionamiento requieren de un dispositivo llamado balasto, el cual tiene como objetivo suministrar un voltaje inicial alto para empezar la descarga, limita la corriente y absorbe la variación de la red en un rango amplio con el fin de suministrar los parámetros eléctricos adecuados para el buen funcionamiento de la misma.

Todas las lámparas se ven afectadas en su eficiencia y en su flujo emitido por la tensión de suministro de la energía eléctrica. Cuando la lámpara arranca con tensiones inferiores a la nominal se desprende más material acortándose su vida útil; a ello, que no solo afecta a la duración de la lámpara sino también a la depreciación del flujo que emite a lo largo de su utilización.

En los tableros seleccionados se puede apreciar que el de regulación más desfavorable es TL1 con una regulación de 3.6445% cuando debe ser máximo de 3% según la norma de la electrificadora de Santander. Esto indica que el conductor tiene una caída de tensión desfavorable, situación que puede estar afectando el funcionamiento de las lámparas fluorescentes que estén alimentadas por este tablero. En el trabajo de grado de (Cala, Consuegra, 2006) se realiza el respectivo rediseño de la instalación de los circuitos eléctricos de los edificios en mención, ajustando las regulaciones a los valores permitidos.

CAMBIO DE TECNOLOGIA

- En el mercado ya se pueden encontrar lámparas fluorescentes que utilizan nuevos materiales y técnicas de recubrimiento del tubo, lo cual contribuye a una conversión más eficiente de la radiación ultravioleta procedente de la descarga de la lámpara en luz visible.
- Los nuevos recubrimientos fosforescentes, presentan la ventaja de una alta eficacia luminosa con una salida de banda estrecha, pico espectral próximo a la máxima sensibilidad de repuesta del ojo humano y con un excelente mantenimiento del flujo luminoso a lo largo de toda la vida de la lámpara.

Otro punto a destacar en cuanto a mejorar las características de las lámparas es en cuanto al balasto. Actualmente este dispositivo es electromagnético, no quiere decir esto que no cumpla con su función pero existe otra clase con tecnología de punta como es el caso de los balastos electrónicos. Estos equipos ofrecen las siguientes ventajas:

- *Encendido.* Con estos balastos, que utilizan el encendido con precaldeo, se aumenta la vida útil del tubo en un 50%, pasando de las 12000 horas que se dan como vida estándar de los tubos a 18000 horas
- *Parpadeos y efecto estroboscópico.* Por un lado se ha conseguido eliminar mediante un diseño adecuado el parpadeo típico de los tubos fluorescentes y, por otro, al existir una alimentación por alta frecuencia, el efecto estroboscópico queda totalmente fuera de la percepción humana.
- *Flujo luminoso útil.* El flujo luminoso se mantendrá constante a lo largo de toda la vida de los tubos. La luminaria emitirá más luz que una igual que utilice equipos estándar.
- *Reducción de consumo.* Todos los balastos de alta frecuencia reducen en un alto porcentaje el consumo de electricidad. Dicho porcentaje varía entre el 22% en tubos de 18 W sin regulación y el 70% cuando se añade regulación del flujo.
- *Factor de potencia.* Los balastos de alta frecuencia tienen un factor de potencia muy parecido a la unidad, por lo que no habrá consumo de energía reactiva.

7. CONCLUSIONES

1. El método exergético utilizado para realizar el diagnóstico de los diferentes procesos de transformación de energía en las instalaciones escogidas, se constituye como una herramienta útil e innovadora para caracterizar los sistemas y determinar las irreversibilidades presentadas durante las etapas de transformación que experimenta la energía desde que entra al sistema hasta que sale para proporcionar un servicio a los usuarios finales.
2. Implementar auditorías exergéticas, como una manera alternativa de recolectar y analizar datos de los procesos de transformación, proporciona información que permite determinar y evaluar de una manera cuantitativa las causas de la ineficiencia de los procesos y el costo que produce esta ineficiencia en el mantenimiento y cobertura de los gastos necesarios para mantener en funcionamiento las instalaciones.
3. La aplicación del análisis termoeconómico como paso siguiente a la auditoría exergética, proporciona herramientas que permiten realizar un diagnóstico del funcionamiento de los sistemas energéticos desde el punto de vista del segundo principio de la termodinámica, encontrando las eficiencias de los equipos involucrados en los procesos, así como también la del sistema en general.
4. Después de realizar un análisis detallado de los resultados obtenidos aplicando los principios de la termoeconomía y la teoría del costo exergético fue posible determinar los potenciales de ahorro en cada circuito escogido, y realizar propuestas para incrementar la eficiencia de los equipos y disminuir por tanto, el costo exergético asociado a cada uno.
5. Dentro del marco del uso racional de la energía (URE) la implementación de procedimientos orientados bajo el segundo principio de la termodinámica presenta ventajas sobre los métodos convencionales de diagnóstico y

evaluación energética, pues no solo se está haciendo un balance de energía cuantitativo, sino que se puede ver en detalle la manera en que la energía pierde valor útil en los procesos, permitiendo proponer mejoras para aumentar la eficiencia de los mismos.

6. Uno de los inconvenientes que se pueden presentar al auditor exergético, es que existen gran cantidad de procesos que requieren equipo especializado para la medición de las variables energéticas involucradas. Esto limita un poco el trabajo a efectuar si no se cuenta con los recursos técnicos necesarios para caracterizar completamente los procesos de transformación de energía.
7. Dentro de los circuitos analizados se pudo determinar que los rendimientos exergéticos mas desfavorables se presentaron en los equipos de acondicionamiento de aire, pues la transformación energética realizada dentro de estos equipos representa una gran pérdida en la calidad de la energía eléctrica de entrada.
8. Con el análisis termoeconómico aplicado a los circuitos, se pudo determinar el costo exergético de cada equipo respecto al costo total de la exergía de entrada. Con esto se lograron localizaciones y medidas de conservación y ahorro de energía para mejorar el desempeño de los mismos.
9. Es necesario resaltar, la falta de una política de gestión energética en la universidad, pues dentro de ella se llevan a cabo una gran cantidad de procesos de transformación de energía, sobre los cuales es posible implementar medidas de ahorro, esto es, tienen un gran potencial para aplicar programas de uso racional de la energía.
10. El potencial de ahorro puede estar determinado por niveles de decisión que van desde la elección del diseño involucrando el tipo de tecnología, hasta la mejora de algún proceso realizando ajustes mínimos sobre los equipos. Sin embargo, el compromiso de cambio de actitud de las personas es una

opción que debe ir de la mano con los cambios realizados al sistema para lograr disminuir los costos energéticos.

8. BIBLIOGRAFIA

- BONILLA William (2006). Propuesta para un uso racional de la energía en el acueducto metropolitano de Bucaramanga en el sistema subestación alimentadora sistema de bombeo de la planta de Bosconia. Proyecto de grado de ingeniería eléctrica dirigido por Gilberto Carrillo Caicedo y codirigido por Carlos Cárdenas Guerra. Universidad Industrial de Santander.
- CALA Carlos; Consuegra Jaime; Ortega Elkin (2006). Estudio de las instalaciones y redes eléctricas de los edificios ingeniería química y Jorge Bautista Vesga de la UIS. Proyecto de grado de ingeniería eléctrica dirigido por Ciro Jurado Jerez. Universidad Industrial de Santander.
- CAPTE, proyecto Cliope (1999). Caso piloto planta termobarranca. Informe técnico termoeconomía. Documento de trabajo escuela de ingeniería mecánica. Universidad Industrial de Santander.
- CÁRDENAS Carlos (2006). URE: metodología para gestión energética desde un enfoque exergético para pymes. Proyecto de grado de maestría en ingeniería eléctrica dirigido por Gilberto Carrillo Caicedo. Universidad Industrial de Santander.
- CENGEL Yunus; Boles Michael (2003). Termodinámica 4ta edición. Editorial Mc Graw Hill.
- DINCER Ibrahim; Cengel Yunus (2001). *Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering*. www.mdpi.org/entropy/
- ENERSIS. Endesa (2005). Especificación técnica: transformadores de distribución convencionales (E-MT-009). www.endesa.es/.../E-MT-009.pdf

- GONZÁLEZ Enrique. (2005). Taller promoción de tecnologías de eficiencia energética y energías renovables. Buenos Aires. http://www.iram.com.ar/eventos/OPET_OLA/ponencias/session1/politica%20de%20energia%20sustentable%20en%20Argentina%20-%20Ing%20E.pdf
- JARAMILLO Hebert (1999). Gestión energética en la industria. Escuela de estudios gerenciales. Universidad ICESI. Cali – Colombia. www.icesi.edu.co/es/publicaciones/publicaciones/contenidos/73/hjaramillo_gestion-energetica.pdf
- LOZANO M.A.; Valero A.; Guayar J. (1997); *teoría del coste exergético. conceptos básicos*. <http://circe.cps.unizar.es/>
- OROZCO, Carlos (2004). Ahorro de energía y eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado y refrigeración. Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de ingeniería mecánica. www.energia.inf.cu/PAEC/conten/bibliot/sistemas%20aire.pdf
- PÉREZ, José Ignacio. (2004). Energía y desarrollo sostenible. Discurso de aceptación de la membresía de la Real Academia de Ingeniería. España. http://www.real-academia-de-ingenieria.org/publicaciones/discursos_ingreso/main.htm
- ROLONG Alejandro. (2004) Estudio para la implementación de un programa de uso racional y eficiente de la energía eléctrica en la industria cementera. Proyecto de Grado de ingeniería eléctrica dirigido por Ciro Jurado Jerez. Universidad Industrial de Santander.
- SHUKUYA Masanori; Hammache Abdelaziz. (2002). *Introduction to the concept of exergy - for a better understanding of low-temperature-heating and high-temperature-cooling systems*. <http://www.lowex.net/downloads/>

- TORRA, Carlos (2004). Uso racional de la energía en los sectores productivos. Instituto Catalán de la energía. Zaragoza – España. http://aragon.isf.es/educacion/archivos/Aud_energeticas.pdf
- VALERO Antonio, (1998). Termoeconomía: El punto de encuentro de la termodinámica, la economía y la ecología. <http://circe.cps.unizar.es/>
- Manual de Luminotecnia
<http://edison.upc.es/curs/llum/lamparas/ldesc2.html>.

ANEXOS

**ANEXO A
INVENTARIO DE INSTALACIONES**

RESUMEN DE REGULACION POR TABLEROS DEL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA (S/E JORGE BAUTISTA VESGA)															
Tablero	Luces		Tomas		Carga (VA)	Corriente (A)	Calibre (AWG)	KG	Proteccion (A)	Longitud (m)	Momento (kVA-m)	Fs	Reg Parc (%)	Reg Total (%)	Observaciones
	COM	ESP	COM	ESP											
TA	17	0	2	0	1720	4,774	1/0	38,1696	3x125	20,50	35,260	1	0,0311	0,1776	P9, S.E. JBV
TD	10	0	20	8	6560	4200	4	89,2797	3x150	18,50	121,360	1	0,2504	0,3969	P6, S.E. JBV
TE	0	0	19	3	4500	12,491	8	217,6070	3x30	19,00	85,500	1	0,4300	0,8269	28 29 30 de TD
TF	22	0	0	2	6544	31,462	10	337,1540	2x30	37,03	242,324	2,25	4,2489	4,3954	P16, S.E. JBV
TG	5	0	12	7	6952	19,297	6	138,8550	3x60	38,80	269,738	1	0,8657	1,0122	P17, S.E. JBV
TH	0	0	2	9	2710	7,522	10	337,1540	3x30	36,80	99,728	1	0,7772	0,9236	P18, S.E. JBV
TI	4	0	5	1	1580	4,386	6	138,8550	3x150	52,00	82,160	1	0,2637	0,4101	P6, S.E. JBV
TK	5	0	2	4	4012	11,137	8	217,6070	3x40	21,50	86,258	1	0,4339	1,4460	7 8 9 de TG
TJ	3	0	6	2	2040	5,663	8	217,6070	3x150	48,20	98,328	1	0,4946	0,6410	P6, S.E. JBV
TN	2	0	4	6	5192	14,412	8	217,6070	3x50	18,50	96,052	1	0,4831	1,7664	A 22 23 24TQ
TO	12	0	10	13	35976	99,978	1/0	38,1696	3x150	49,00	1762,824	1	1,5552	1,7017	P12, S.E. JBV
TQ	17	9	1	2	7156	9346	2790	138,8550	3x125	49,50	354,222	1	1,1369	1,2833	P9, S.E. JBV
TR	8	0	4	11	9512	26,403	8	217,6070	3x60	17,95	170,740	1	0,8588	1,0052	P18, S.E. JBV
TS	5	0	9	3	5132	14,245	8	217,6070	3x60	13,02	66,819	1	0,3361	0,4825	P19, S.E. JBV
P13	1	0	1	0	260	2,167	12	532,1800	1x15	2,50	0,650	6	0,0480	0,1944	Subestación
P14 P15	0	0	0	1	360	1,731	12	532,1800	2x(1x20)	2,50	0,900	2	0,0221	0,1686	Subestación
TA1	9	0	10	3	7604	21,107	6	138,8550	3x80	24,20	184,017	1	0,5906	0,7371	P4, S.E. JBV
TB1	68	4	14	11	17792	49,387	6	138,8550	3x125	21,50	382,528	1	1,2277	1,3742	P9, S.E. JBV
TC1	0	0	0	1	4500	12,491	10	337,1540	3x125	23,20	104,400	1	0,8136	0,9600	P9, S.E. JBV
TD1	8	0	4	3	8360	23,206	4	89,2797	3x60	22,50	188,100	1	0,3882	0,5346	P10, S.E. JBV
TE1	0	0	0	22	6600	31,731	10	337,1540	2x50	4,85	32,010	2,25	0,5613	1,0959	ctos. 5 y 6 de TD1
TF1	2	3	0	11	7700	21,374	4	89,2797	3x400	15,73	121,121	1	0,2499	0,3964	directo a S.E. JBV
TG1	0	0	30	10	9380	26,037	8	217,6070	3x125	46,37	434,951	1	2,1877	2,3341	P9, S.E. JBV
TH1	0	0	13	3	3360	16,154	10	337,1540	2x30	53,00	178,080	1	1,3878	5,0423	ctos. 11 y 12 de TL1
TI1	12	0	22	4	6720	18,653	8	217,6070	3x50	32,00	215,040	1	1,0816	4,7361	ctos. 13 14 y 15 TL1
TJ1	2	0	10	2	2680	7,439	10	337,1540	3x125	26,00	69,680	1	0,5430	0,6895	P9, S.E. JBV
TK1	0	0	14	6	4320	36,000	12	532,1800	1x40	1,00	4,320	6	0,3188	3,0783	cto. 1 de TM1
TL1	31	9	7	8	21020	58,347	6	138,8550	3x125	52,00	1093,040	1	3,5081	3,6545	P9, S.E. JBV
TM1	8	0	3	10	16284	45,201	6	138,8550	3x80	52,80	859,795	1	2,7595	2,9060	P3, S.E. JBV
TN1	0	0	1	1	480	4,000	12	532,1800	1x30	61,86	29,693	6	2,1915	2,3379	P9, S.E. JBV
TO1	0	0	0	2	2752	13,231	12	532,1800	3x125	43,03	118,419	2	2,9133	3,0597	P9, S.E. JBV
TP1	0	0	0	1	360	1,731	12	532,1800	3x20	1,03	0,371	2	0,0091	3,0689	a 1 2 de TO1

Tabla A1 - Regulación por Tableros JBV S/E JBV – Inst. Actual [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

RESUMEN DE REGULACION POR TABLEROS DEL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA (S/E JORGE BAUTISTA VESGA)															
Tablero	Luces		Tomas		Carga (VA)	Corriente (A)	Calibre (AWG)	KG	Proteccion (A)	Longitud (m)	Momento (kVA-m)	Fs	Reg Parc (%)	Reg Total (%)	Observaciones
	COM	ESP	COM	ESP											
TA2	0	0	5	11	8734	41,990	8	217,6070	2x40	5,70	49,784	2,25	0,5634	2,4129	A 19 20 TB2
TB2	59	8	17	3	20024	55,583	6	138,8550	3x125	26,50	530,636	1	1,7031	1,8495	P9, S.E_JBV
TE2	10	0	10	1	4992	13,857	4	89,2797	3x60	77,00	384,384	1	0,7932	0,9397	P11, S.E_JBV
TI2	56	3	6	3	16908	46,933	6	138,8550	3x125	32,00	541,056	1	1,7365	1,8830	P9, S.E_JBV
TA3	0	0	15	27	13920	38,639	4	89,2797	3x80	30,70	427,344	1	0,8819	1,0283	P1, S.E_JBV
TB3	9	28	28	5	23438	65,059	4	89,2797	3x80	29,74	697,046	1	1,4384	1,5849	P2, S.E_JBV
TC3	15	12	9	3	6160	17,099	6	138,8550	3x50	28,04	172,726	1	0,5544	0,7008	P3, S.E_JBV
TD3	14	7	9	1	9934	27,575	8	217,6070	3x30	26,10	259,277	1	1,3041	1,4506	P4, S.E_JBV
TE3	0	0	0	3	10784	29,934	8	217,6070	3x50	25,60	276,070	1	1,3886	1,5350	P5, S.E_JBV
TF3	0	3	8	5	5482	26,356	8	217,6070	2x50	12,30	67,429	2,25	0,7631	2,3480	ctos. 28 y 29 de TB3
TG3	0	0	8	4	2640	22,000	10	337,1540	1x40	1,00	2,640	6	0,1234	2,4714	cto. 1 de TF3
TH3	0	0	0	18	3420	16,442	10	337,1540	2x50	28,70	98,154	2,25	1,7210	2,7494	cto. 26 y 27 de TA3
TI3	0	6	4	2	5984	28,769	8	217,6070	2x50	26,40	157,978	2,28	1,8117	3,2622	cto. 10 y 11 de TD3
Totales	414	92	344	256	291214	808,353	4/0	21,1208	3x400	2,00	300,000	1	0,1465	0,1465	Totalizador en TGA

Tabla A1. (Continuación) Regulación por Tableros JBV S/E JBV – Inst. Actual [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

RESUMEN DE REGULACION POR TABLEROS DEL EDIFICIO JORGE BAUTISTA VESGA (S/E PLANTA DE ACEROS)															
Tablero	Luces		Tomas		Carga (VA)	Corriente (A)	Calibre (AWG)	KG	Proteccion (A)	Longitud (m)	Momento (kVA-m)	Fs	Reg Parc (%)	Reg Total (%)	Observaciones
	COM	ESP	COM	ESP											
TB	0	0	0	0	0	0	2/0	31,1578	3x150	48,05	0,0000	1	0	0,19445	P7 S.E_P.A
TC	0	0	3	2	1140	1140	2/0	31,1578	3x150	49,44	56,3616	1	0,04059	0,23504	P7, S.E_PA
TM	0	0	0	11	9900	47,59615	8	217,607	2x(1x50)	1,27	12,5730	2,25	0,142288	2,01366	A 12 TL
TP	0	0	6	3	15944	44,25742	2/0	31,1578	3x150	24,01	382,8154	1	0,275695	0,47014	P13 S.E_P.A
TL	0	0	1	11	10080	48,46154	6	138,855	2x60	19,25	194,0400	2,25	1,401227	1,87137	A 19 20 TP
TC2	0	0	41	16	15720	5620	8	217,607	3x150	54,27	853,1244	1	4,291	4,48545	P7, S.E_PA
TD2	0	0	0	2	2700	800	8	217,607	3x150	78,27	211,3290	1	1,062932	1,25738	Directo a TC2
TF2	0	0	10	7	5540	900	8	217,607	3x100	51,00	282,5400	1	1,421105	1,61555	P13, S.E_PA
TG2	0	0	1	20	6180	2580	8	217,607	3x100	43,00	265,7400	1	1,336605	1,53105	P13, S.E_PA
TH2	0	0	29	5	7020	2160	6	138,855	3x100	30,61	214,8822	1	0,68966	0,88411	P13, S.E_PA
TJ2	0	0	0	1	2053,5	684	8	217,607	3x150	70,06	143,8682	1	0,723621	0,91807	P7 S.EPA
TK2	0	0	0	1	360	0	8	217,607	3x150	65,57	23,6052	2	0,237456	0,43190	P7 S.EPA
TL2	0	0	0	1	2392	0	8	217,607	3x100	41,67	99,6746	2	1,002677	1,19712	P13_S.EPA
Totales	0	0	91	80	79029,5	15800	2/0	31,1578	3x400	2,70	540,0000	1	0,194448	0,19445	Totalizador en TGA

Tabla A2. Regulación por Tableros JBV S/E Planta Aceros – Inst. Actual [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TL1 24 puestos cuarto de ductos salón 108												
Circuito	Luces		Tomas		Fases			Carga	Corriente	Calibre	Proteccion	Observaciones
(Numero)	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C	(VA)	(A)	(AWG)	(A)	
1										12	1x15	desconectado
2	6					420		420	3,5	12	1x15	pasillo exterior
3	2	2	2	3			1720	1720	14,33333	12	1x30	3 PCs ofic. Prof. y postgrado
4	1	5	1	2	1610			1610	13,41667	12	1x30	PCs ofic. Profesores, salón 107
5	3	2				540		540	4,5	12	1x15	pasillo exterior
6	13		2				2670	2670	22,25	12	1x15	estabilizador salón 105, 107
7												reserva
8										12	1x15	desconectado
9	2						300	300	2,5	12	1X15	salón 106
10	4				320			320	2,666667	12	1X15	salón 135
11 12				1		1560	1800	3360	28	10	1X30	alimentación TH1
13 14 15				1	2640	2100	1980	6720	18,6534	8	3x50	alimentación TI1
16 17				1	1500	1500		3000	14,42308	10	2x20	aire decanatura
18 19												reserva
20										12	1x15	desconectado
21			2		360			360	1,730769	12	1x15	salón 107
22,,24												reserva
Totales	31	9	7	8	6430	6120	8470	21020	58,3474	4#6	3x125	P9, S.E_JBV

Tabla A3. Tablero TL1 – Piso 1 – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TH1 6 puestos decanatura fisico-químicas salón 101 (bifásico)												
Circuito	Luces		Tomas		Fases			Carga	Corriente	Calibre	Proteccion	Observaciones
(Numero)	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C	(VA)	(A)	AWG-THHN	(A)	
1			5	1		1200		1200	10	12	1x15	PC y TV
2			2			360		360	3	12	1x15	
3										12		reserva
4			1				300	300	2,5	12	1x15	impresora
5			5	2			1500	1500	12,5	12	1x15	2 PCs
6												reserva
Totales			13	3	0	1560	1800	3360	16,15385	2#10-1#12-1t#14	2x30	ctos. 11 y 12 de TL1

Tabla A4. Tablero TH1 – Piso 1 – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TI1 18 puestos preparación de muestras salón 140												
Circuito	Luces		Tomas		Fases			Carga	Corriente	Calibre	Proteccion	Observaciones
(Numero)	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C	(VA)	(A)	(AWG)	(A)	
1 2 3				2	360	360	360	1080	2,997868	1#10-2#12	3x20	2 tomas trifásicos
4 5				2	360	360		720	3,461538	12	2x20	2 tomas bifásicos
6			3				540	540	4,5	12	1x20	
7			3		540			540	4,5	12	1x15	
8	6		3			1020		1020	8,5	12	1x15	salón 139
9			4				720	720	6	12	1x15	salón 139
10			3		540			540	4,5	12	1x15	
11			2			360		360	3	12	1x15	
12			2		360			360	3	12	1x15	
13											1x15	desconectado
14			2				360	360	3	12	1x15	
15	6				480			480	4	13	1x15	
16,,18												reserva
Totales	12		22	4	2640	2100	1980	6720	18,6534	4#8	3x50	ctos. 13 14 y 15 TL1

Tabla A5. Tablero TI1 – Piso 1 – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TO 36 puestos Sótano Lab. 006 Ala Sur												
Circuito (Numero)	Luces		Tomas		Fases			Carga	Corriente	Calibre	Proteccion	Observaciones
	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C	(VA)	(A)	(AWG)	(A)	
1 2				1	500	500		1000	4,807692	10	2x40	Maq. Lab
3 4				1	2000		2000	4000	19,23077	10	2x40	Maq. Lab
5 6				1		500	500	1000	4,807692	10	2x40	Maq. Lab
7 8 9				1	180	180	180	540	1,498934	10	3x30	Maq. Lab
10 11 12				1	1272	1272	1272	3816	10,6	10	3x30	Motor Maq 3HP
13 14				1	2700	2700		5400	25,96154	10	2x30	Maq. Lab
15 16 17				1	1666	1666	1666	5000	13,87902	10	3x40	Maq. Lab
18												Reserva
19 20				1	1150	1150		2300	11,05769	10	2x30	Maq. Lab
21 22				1	1150		1150	2300	11,05769	10	2x30	Maq. Lab
23 24				1		750	750	1500	7,211538	10	2x30	Maq. Lab
25 26				1	1500	1500		3000	14,42308	10	2x40	Maq. Lab
27 28				1	1500		1500	3000	14,42308	10	2x40	Maq. Lab
29 30				1		180	180	360	14,42308	10	2x40	
31			3		540			540	4,5	12	1x20	
32			1			180		180	1,5	12	1x20	
33			2				360	360	3	12	1x20	
34			4		720			720	6	12	1x20	
35	12					960		960	8	12	1x15	Lab. 006 2x32W
36												Reserva
Totales	12		10	13	14878	11538	9558	35976	99,97777	4#1/0	3x150	P12, S.E_JBV

Tabla A6. Tablero TO – Sótano – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TB3 36 puestos Cuarto de ductos salón 307												
Circuito	Luces		Tomas		Fases			Carga	Corriente	Calibre	Proteccion	Observaciones
(Numero)	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C	(VA)	(A)	AWG-THWN	(A)	
1		6			900			900	7,5	12	1x15	salón 313
2	2					200		200	1,66667	12	1x15	cuarto ductos 307
3	1	4					680	680	5,66667	12	1x15	salón 308
4	6				900			900	7,5	12	1x15	salón 309
5			4			720		720	6	12	1x15	salones 305 y 306
6			2				360	360	3	12	1x15	salón 310
7 8				1	1196	1196		2392	11,5	12	2x20	aire biblioteca 308
9			1				180	180	1,5	12	1x15	salón 308
10			4		720			720	6	12	1x20	salones 312 y 313
11			2			360		360	3	12	1x15	salón 313
12		6					900	900	7,5	12	1x15	salón 305
13			2		360			360	3	12	1x20	salón 312
14,,18												reserva
19 20				1	180	180		360	1,73077	12	2x20	bifásico biblioteca
21 22				1	1196		1196	2392	11,5	12	2x20	aire sala informática 309
23 24				1		1196	1196	2392	11,5	12	2x20	aire sala informática 309
25			4		720			720	6	12	1x15	salones 308 y 309
26		6	9			2520		2520	21	12	1x15	salones 305, 306, 308, 309 y 312
27		6					900	900	7,5	12	1x15	salón 306
28 29	0			1	1646	3836		5482	26,3558	8	2x70	alimentación TF3
30,,36								0	0			reserva
Totales	9	28	28	5	7818	10208	5412	23438	65,0593	4#4-1t#6	3x80	P2, S.E_JBV

Tabla A7. Tablero TB3 – Piso 3 – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TF3 8 puestos salón 310 (bifásico)												
Circuito	Luces		Tomas		Fases			Carga	Corriente	Calibre	Proteccion	Observaciones
(Numero)	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C	(VA)	(A)	AWG-THWN	(A)	
1				1		2640		2640	12,6923	10	1x40	alimentación TG3
2		3			450			450	3,75	12	1x15	salón 310
3 4				1	1196	1196		2392	11,5	10	2X30	aire salón 310
5,,8												reserva
Totales	0	3	0	2	1646	3836		5482	26,3558	3#8-1t#10	2x50	ctos. 28 y 29 de TB3

Tabla A8. Tablero TF3 – Piso 3 – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TP 24 puestos Sótano Lab. 006B Ala Sur												
Circuito (Numero)	Luces		Tomas		Fases			Carga (VA)	Corriente (A)	Calibre (AWG)	Proteccion (A)	Observaciones
	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C					
1 2				1	1196	1196		2392	11,5	10	2X30	Aire Sala 004
3 4				1	1196		1196	2392	11,5	10	2X30	Aire Sala 004
5											1x40	Desconexion cuarto 003
6			1				180	180	1,5	12	1x30	cuarto 003
7											1x30	Reforma Lab. 006, 006A
8											1x40	Reforma Lab. 006, 006A
9											1x30	Reforma Lab. 006, 006A
10											1x15	Reforma Lab. 006, 006A
11											1x15	Reforma Lab. 006, 006A
12											1x15	Reforma Lab. 006, 006A
13											1x15	Reforma Lab. 006, 006A
14											1x15	Reforma Lab. 006, 006A
15											1x30	Reforma Lab. 006, 006A
16			1		180			180	1,5	12	1x20	Sala 004
17			1			180		180	1,5	12	1x40	Sala 004
18			3				540	540	4,5	12	1x20	Sala 005
19 20				1	5580	5400		10080	484615	3#6-1#12	2x60	Alimentacion TL
21 24												Reserva
Totales			6	3	8152	6776	1916	15944	44,25742	4#2/0	3x150	P13 S.E._P.A

Tabla A9 Tablero TP – Sótano – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TL 12 puestos Sótano CPIP Sala computo 004 Ala Sur												
Circuito (Numero)	Luces		Tomas		Fases			Carga (VA)	Corriente (A)	Calibre (AWG)	Proteccion (A)	Observaciones
	COM	ESP	COM	ESP	A	B	C					
1 2				1	5400	5400		9900	47,59615	8	2x(1x50)	Alimentación TM
3			1		180			180	1,5	12	1x20	
4 a 12												Reserva
Totales			1	11	5580	5400		10080	48,46154	3#6 -1#12	2x60	A 19 20 TP

Tabla A10. Tablero TL – Sótano – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

Tablero TM 8 puestos Sótano CPIP Sala computo 004 Ala Sur												
Circuito	Luces		Tomas		Fases		Carga	Corriente	Calibre	Proteccion	Observaciones	
(Numero)	COM	ESP	COM	ESP	A	B	(VA)	(A)	(AWG)	(A)		
1				2	1800		1800	15	12	1x20	C/u, con 3Pc's	
2				2	1800		1800	15	12	1x20	C/u, con 3Pc's	
3				2	1800		1800	15	12	1x20	C/u, con 3Pc's	
4											Reserva	
5											Reserva	
6				2		1800	1800	15	12	1x20	C/u, con 3Pc's	
7				1		900	900	7,5	12	1x20	3Pc's	
8				2		1800	1800	15	12	1x20	C/u, con 3Pc's	
Totales				11	5400	4500	9900	47,59615	4#8+1#12	2x(1x50)	A 1 2 TL	

Tabla A11. Tablero TM – Sótano – Instalación actual JBV [Fuente: (Cala, Consuegra, 2006)]

MATRIZ DE INCIDENCIA
FLUJOS

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
EQUIPOS	1	1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	
	2	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0

Tabla B2. Matriz de incidencia general edificio planta de aceros

ANEXO C
PROGRAMAS EN MATLAB

ANEXO D

DATOS DE EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

CAPACIDAD	<i>9.000 Btu / h</i>	<i>18.000 Btu / h</i>	<i>24.000 Btu / h</i>
CONSUMO	<i>1000 W</i>	<i>1850 W</i>	<i>2820 W</i>
CORRIENTE	<i>9,2 A</i>	<i>8,6 A</i>	<i>12,9 A</i>
VOLTAJE	<i>115 V</i>	<i>220 V</i>	<i>220 V</i>
REFRIGERANTE	<i>R22- 0.33 KG</i>	<i>R22- 0,72 KG</i>	<i>R22 - 0,83 KG</i>

Tabla D1. Datos de equipos de aire acondicionado tipo ventana

CAPACIDAD	<i>9.000 Btu / h</i>	<i>18.000 Btu / h</i>	<i>24.000 Btu / h</i>
CONSUMO	<i>880 W</i>	<i>1950 W</i>	<i>2.500 W</i>
CORRIENTE	<i>1,1 A</i>	<i>9 A</i>	<i>11,5 A</i>
VOLTAJE	<i>220 V</i>	<i>220 V</i>	<i>220 V</i>
REFRIGERANTE	<i>R22- 0,66 KG</i>	<i>R 22- 1,1 KG</i>	<i>R 22- 1,4 KG</i>

Tabla D2. Datos de equipos de aire acondicionado tipo split