

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO A CIRCUITOS DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL PARQUE TECNOLÓGICO GUATIGUARÁ (PTG)**

**CAROLINA GONZÁLEZ MARTÍNEZ
PEDRO LEONARDO SALAZAR CÁRDENAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007**

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO A CIRCUITOS DE ENERGÍA
ELÉCTRICA EN EL PARQUE TECNOLÓGICO GUATIGUARÁ (PTG)**

**CAROLINA GONZÁLEZ MARTÍNEZ
PEDRO LEONARDO SALAZAR CÁRDENAS**

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

**Director
Dr. GILBERTO CARRILLO CAICEDO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007**

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	3
1.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE TERMODINÁMICA	5
1.1.1 Energía	5
1.1.2 Sistema	5
1.1.3 Ley cero de la termodinámica	5
1.1.4 Primera ley de la termodinámica	6
1.1.5 Segunda ley de la termodinámica	7
1.1.6 Procesos reversibles	7
1.1.7 Procesos irreversibles	7
1.1.8 Sistemas cerrados	8
1.1.9 Sistemas abiertos	8
1.1.10 Entropía	9
1.1.11 Entalpía	10
1.1.12 Exergía	11
1.1.13 Exergía de la electricidad	13
1.2 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO	13
1.2.1 Balance energético	13
1.2.2 Balance exergético	13
1.2.3 Porcentaje de inutilización	14
1.2.4 Factor de deterioro	15
1.2.5 Auditoría energética	17
1.2.6 Auditoría exergética	18
1.2.7 Exergía como factor de producción	18
1.2.8 Teoría del costo energético	20
1.2.9 Costo exergoeconómico	28
1.2.10 Análisis exergético, sus beneficios y sus limitaciones	28
1.3 APLICACIONES	30
2. PROCESO DE SELECCIÓN DE CIRCUITO Y	32
EQUIPOS ELÉCTRICOS UTILITARIOS	32

2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	32
2.2 SELECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....	36
2.3 SELECCIÓN DEL TABLERO GENERAL DE MAYOR CONSUMO.....	37
2.4 SELECCIÓN DEL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE MAYOR CONSUMO.....	40
2.5 SELECCIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS UTILITARIOS.....	41
2.6 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS UTILITARIOS.....	42
2.6.1 Transformador.....	42
2.6.2 Aire acondicionado.....	46
2.6.3 Nevera.....	48
2.6.4 Cámara de bioseguridad.....	50
2.6.5 Iluminación.....	52
3. AUDITORÍAS ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA.....	54
3.1. EVALUACIÓN DE LA FACTURACIÓN.....	54
3.1.1 Centros de mecanización.....	55
3.1.2 Guatiguará.....	56
3.2 EVALUACIÓN ELEMENTOS DEL CIRCUITO SELECCIONADO.....	58
3.2.1 Evaluación exergética del transformador.....	59
3.2.2 Evaluación energética y exergética de conductores.....	71
3.2.3 Evaluación exergética y energética de la iluminación.....	89
3.2.4 Evaluación exergética de aires acondicionados.....	95
3.2.5 Evaluación exergética de las neveras.....	100
3.2.6 Evaluación exergética de las cámaras de bioseguridad.....	105
4. ANÁLISIS TERMOECONÓMICO.....	106
4.1 NIVEL DE DESAGREGACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES Y CONDUCTORES.....	107
4.2 NIVEL DE DESAGREGACIÓN DE LAS NEVERAS.....	108
4.3 NIVEL DE DESAGREGACIÓN DE LA ILUMINACIÓN.....	109
4.4 NIVEL DE DESAGREGACIÓN DE LOS AIRES ACONDICIONADOS.....	110
4.5 NIVEL DE DESAGREGACIÓN DE LAS CÁMARAS DE BIOSEGURIDAD.....	110
4.6 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS.....	111
4.7 FLUJOS EXERGÉTICOS.....	114
4.8 IRREVERSIBILIDADES.....	116
4.9 COSTOS EXERGÉTICOS.....	119
4.10 COSTO EXERGÉTICO UNITARIO.....	124

4.11 COSTO EXERGOECONÓMICO	125
5. HALLAZGOS Y PROPUESTA URE	128
5.1 HALLAZGOS GENERALES	128
5.2 TRANSFORMADOR.....	132
5.2.1 Hallazgos.....	132
5.2.2 Propuesta.....	135
5.2.3 Beneficios.....	137
5.3 ILUMINACIÓN	139
5.3.1 Hallazgos.....	139
5.3.2 Propuestas.....	140
5.3.3 Beneficios.....	141
5.4 CONDUCTORES.....	142
5.4.1 Hallazgos.....	142
5.4.2 Propuesta.....	142
5.5 CÁMARAS DE BIOSEGURIDAD.....	142
5.5.1 Hallazgos.....	142
5.5.2 Propuesta.....	143
5.6 AIRES ACONDICIONADOS	143
5.6.1 Hallazgos.....	143
5.6.2 Propuestas.....	145
5.6.3 Beneficios.....	146
6. CONCLUSIONES	147
7. BIBLIOGRAFÍA	149
8. ANEXOS	152
ANEXO 1	153
ANEXO 2.....	157
ANEXO 3.....	159
ANEXO 4	160
ANEXO 5.....	161
ANEXO 6.....	163
ANEXO 7.....	165
ANEXO 8.....	167

ANEXO 9	170
ANEXO 10	172
ANEXO 11	174
ANEXO 12	176
ANEXO 13	179
A13.1 Modelo del transformador	179
A13.1.1 Balance de masa:	179
A13.1.2 Balance energético	179
A13.1.3 Balance exergético	179
A13.1.4 Nivel de desagregación	179
A13.1.5 Análisis energético	180
El análisis se realiza sin tener sin considerar componentes armónicas.	180
A13.1.6 Análisis exergético	181
A13.1.7 Evaluación exergética	181
A13.1.8 Evaluación energética	182
A13.2 Modelo exergético del conductor	182
A13.3 Modelo exergético de la iluminación	182
A13.3.1 Balance de masa	182
A13.3.2 Balance energético	183
A13.3.3 Balance exergético	183
A13.3.4 Nivel de desagregación	183
A13.3.5 Análisis energético	184
A13.3.6 Análisis exergético	185
A13.3.7 Evaluación exergética	185
A13.3.8 Evaluación energética	185
A13.4 Modelo exergético cámara de bioseguridad	186
A13.4.1 Balance de masa	186
A13.4.2 Balance energético	186
A13.4.3 Balance exergético	186
A13.4.4 Nivel de desagregación	186
A13.4.5 Análisis energético	187
A13.4.6 Análisis exergético	188
A13.4.7 Evaluación exergética	188
A13.4.8 Evaluación energética	189
A13.5 Modelo exergético de la nevera	189
A13.5.1 Balance de masa	189
A13.5.2 Balance energético	189

A13.5.3 Balance exergético.....	190
A13.5.4 Nivel de desagregación	190
A13.5.4.1 Compresor	191
A13.5.4.2 Válvula de expansión	193
A13.5.4.3 Condensador.....	194
A13.5.4.4 Evaporador	197
A13.6 Aire Acondicionado	199
A13.6.1 Balance de masa	200
A13.6.2 Balance de energía	200
A13.6.3 Balance de exergía	200
A13.6.4 Nivel de desagregación	201
A13.6.4.1 Compresor y válvula de expansión	202
A13.6.4.2 Evaporador	202
A13.6.4.3 Condensador.....	204
ANEXO 14.....	206

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1.1 Ley cero de la termodinámica.....	6
Figura 1.2 Sistemas cerrado y abierto	8
Figura 1.3 Flujos exergéticos de entrada y salida	14
Figura 1.4 Flujos energéticos de entrada y salida	15
Figura 1.5 Flujos exergéticos de entrada y salida	16
Figura 1.6 Flujos energéticos de entrada y salida	16
Figura 1.7 Modelo ilustrativo.	26
Figura 2.1 Curva de carga subestación 1.	36
Figura 2.2 Curva de carga subestación 2.	36
Figura 2.3 Curva de carga tablero general TG2	38
Figura 2.4 Curva de carga tablero general TG3	38
Figura 2.5 Curva de carga tablero general TG4	39
Figura 2.6 Curva de carga tablero general TG6	39
Figura 2.7 Esquema de funcionamiento del aire acondicionado	47
Figura 2.8 Esquema del refrigerador.	48
Figura 2.9 Esquema de funcionamiento del refrigerador.....	49
Figura 2.10 Diagrama de flujos cabina de bioseguridad	51
Figura 3.1 Comportamiento Fp CM1	55
Figura 3.2 Comportamiento Fp CM2	56
Figura 3.3 Consumo Potencia Activa y Reactiva del PTG	57
Figura 3.4 Comportamiento Fp en el PTG.....	57
Figura 3.5 Componentes del circuito de mayor consumo	58
Figura 3.6 Flujos exergéticos de entrada y salida del transformador	59
Figura 3.7 Flujos energéticos de entrada y salida del transformador.....	60
Figura 3.8. Comparación capacidad TRF 1 con potencia entregada	66
Figura 3.9. Comparación factor de potencia para la carga de la SE1	67
Figura 3.10 Comparación Capacidad TR2 con potencia entregada.	70
Figura 3.11 Comportamiento factor de potencia Subestación 2.....	70
Figura 3.12. Potencia activa y reactiva consumida por SE2	71
Figura 3.13 Componentes de la corriente.....	72
Figura 3.14 Comportamiento del factor de potencia del tramo 1.	76

Figura 3.15 Comparación del consumo de las potencias activa y reactiva	76
Figura 3.16 Datos tomados aguas arriba.....	77
Figura 3.17 Datos tomados aguas abajo	78
Figura 3.19 Flujos energéticos de entrada y salida del conductor	79
Figura 3.20 Comparación potencia activa y reactiva tramo 2.....	83
Figura 3.21 Comportamiento factor de potencia tramo 2, Fase A.....	84
Figura 3.22 Comportamiento factor de potencia tramo 2, Fase B.....	84
Figura 3.23 Comportamiento factor de potencia tramo 2, Fase C.....	85
Figura 3.24 Comparación potencia activa y reactiva tramo 3.....	86
Figura 3.25 Comportamiento factor de potencia tramo 3, Fase A.....	87
Figura 3.26 Comportamiento factor de potencia tramo 3, Fase B.....	87
Figura 3.27 Comportamiento factor de potencia tramo 3, Fase C.....	88
Figura 3.28 Distribución de energía en luminaria	92
Figura 3.29 Flujos exergéticos de entrada y salida del aire acondicionado	95
Figura 3.30 Flujos energéticos de entrada y salida del aire acondicionado.....	96
Figura 3.31 Flujos exergéticos para la nevera.....	100
Figura 4.1 Nivel de desagregación para el transformador.....	120
Figura 4.2 Nivel de desagregación para el conductor.....	107
Figura 4.3 Nivel de desagregación para la nevera	108
Figura 4.4 Nivel de desagregación para la iluminación eléctrica.....	109
Figura 4.5 Nivel de desagregación para el aire acondicionado.....	110
Figura 4.6 Nivel de desagregación para la cámara de bioseguridad	111
Figura 4.7 Planta circuito T8	112
Figura 4.8 Planta circuito T9	112
Figura 4.9. Matriz de incidencia circuito T8	116
Figura 4.10. Matriz de incidencia circuito T9	117
Figura 4.11 Irreversibilidades circuito T8.....	118
Figura 4.12. Irreversibilidades circuito T9.....	119
Figura 4.13. Matriz de bifurcaciones circuito T8	121
Figura 4.14 Matriz de bifurcaciones circuito T9	121
Figura 4.15. Costos exergéticos circuito T8.....	123
Figura 4.16. Costos exergéticos circuito T9.....	124
Figura 5.1 Comportamiento Factores de inutilización y deterioro con rendimientos energético...	131
Figura 5.2 Variación del índice de carga del transformador	133

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 2.1 Carga de los tableros de distribución.....	35
Tabla 2.2 Energía subestaciones.	37
Tabla 2.3 Energía tableros generales.....	39
Tabla 2.4 Energía tableros de distribución	40
Tabla 2.5 Aires acondicionados.....	47
Tabla 2.6. Neveras.....	50
Tabla 2.7 Cámaras de Bioseguridad	52
Tabla 3.1 Resumen resultados transformador subestación 1.....	65
Tabla 3.2 Resumen resultados transformador subestación 2.....	69
Tabla 3.3 Resumen resultados tramo 2.....	82
Tabla 3.4 Resumen resultado tramo 2.....	86
Tabla 3.5 Resumen resultado tramo 3.....	89
Tabla 3.6 Porcentaje de deterioro iluminación T8.....	90
Tabla 3.7 Porcentaje de deterioro iluminación T9.....	91
Tabla 3.8 Evaluación calidad de iluminación en recintos del CINTROP.....	91
Tabla 3.9 Datos de entrada y salida iluminación T8.....	93
Tabla 3.10 Datos de entrada y salida iluminación T9.....	94
Tabla 3.11 Rendimiento energético de Iluminación de T8.....	94
Tabla 3.12 Rendimiento energético de Iluminación de T9.....	95
Tabla 3.13 Exergías y energías de entrada y salida del aire acondicionado	99
Tabla 3.14 Resultados de aires acondicionados.....	100
Tabla 3.15 Resultados de las Nevera.....	104
Tabla 4.1 Insumo y producto de el transformador y los conductores.....	107
Tabla 4.2 Insumo y producto en la nevera.....	108
Tabla 4.3 Insumo y producto en la iluminación.....	109
Tabla 4.4 Insumo y producto en el aire acondicionado.....	110
Tabla 4.5 Insumo y productos en la cámara de bioseguridad.....	111
Tabla 4.6. Descripción equipos T8.....	113
Tabla 4.7. Descripción equipos T9.....	113
Tabla 4.8. Flujos exegéticos T8.....	114

Tabla 4.9. Flujos exegéticos T9.	115
Tabla 4.10. Irreversibilidades circuito T8.	117
Tabla 4.11. Irreversibilidades circuito T9.	118
Tabla 4.12. Costos exergéticos circuito T8.	122
Tabla 4.13. Costos exergéticos circuito T9.	123
Tabla 4.14. Costo exergético unitario circuito T8.	124
Tabla 4.15. Costo exergético unitario circuito T9.	125
Tabla 4.16. Costo exergoeconómicos circuito T8.	126
Tabla 4.17. Costo exergoeconómicos circuito T9.	127
Tabla 5.1 Factores de inutilización y rendimientos energéticos.	129
Tabla 5.2 Variación eficiencia e Índice de carga.	134
Tabla 5.3 Resumen resultados con sólo el transformador 1.	137
Tabla 5.4 Comparación situación actual y propuesta.	138
Tabla 5.5 Capacidad aires acondicionados según área.	144

RESUMEN

TÍTULO

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO A CIRCUITOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PARQUE TECNOLÓGICO GUATIGUARÁ (PTG).*

AUTORES: CAROLINA GONZÁLEZ MARTINEZ**
PEDRO LEONARDO SALAZAR CÁRDENAS

PALABRAS CLAVES: Energía, exergía, auditoria energética, auditoria exergética, factor de inutilización, factor de deterioro, termoeconomía.

DESCRIPCIÓN

En el presente proyecto se presenta la aplicación del análisis exergético al circuito de mayor consumo en la Parque Tecnológico Guatiguará (PTG). La aplicación de este análisis esta encaminado a la reducción del consumo de energía eléctrica sin afectar la calidad o cantidad de las actividades realizadas en el parque.

Se realizó la selección del circuito de mayor consumo, así como de los aparatos eléctricos que son alimentados por el circuito seleccionado, para esto se tuvieron en cuenta tres criterios: consumo, potencia y tiempo de utilización. Una vez definido el sistema, se aplican las auditorias energética y exergética, primero se realiza una evaluación de la facturación, a continuación se realiza la evaluación de los equipos a analizar por medio de tres indicadores: porcentaje de utilización, factor de deterioro, que permiten establecer sobreinversiones realizadas y deficiencias en la operación de los equipos, y rendimiento energético.

Finalmente se realizó un análisis termoeconómico, con el cual se pudieron establecer las irreversibilidades de cada unos de los equipos seleccionados, así como los costos exergéticos, exergéticos unitarios y exergoeconómicos. Realizado este análisis y con base en los resultados obtenidos es posible identificar las oportunidades de ahorro del sistema. Con esta información se determinan las recomendaciones de tipo operativo y de diseño; las cuales permiten reducir el consumo de energía eléctrica, lo finalmente se ve reflejado en beneficios económicos. El proyecto aporta una nueva metodología de diagnóstico energético para desarrollar planes de uso racional de la energía en instalaciones eléctricas a partir del análisis exergético.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Dr. Gilberto Carrillo Caicedo.

ABSTRACT

TITLE

APPLICATION OF THE ANALYSIS EXEGETIC TO THE CIRCUIT OF GREATER DEMAND AT THE "PARQUE TECNOLÓGICO GUATIGUARÁ.*

AUTHORS: CAROLINA GONZÁLEZ MARTINEZ**
PEDRO LEONARDO SALAZAR CÁRDENAS

INDEX TERMS: Energy, exergy, audit, useless factor, deterioration factor, thermoeconomic. .

DESCRIPTION

This book presents an exegetic analysis application at the circuit of greater demand at the "Parque Tecnológico Guatiguará". The application of this analysis is focused to reduce the consumption of electrical energy without affecting the quality and quantity of the activities doing there.

The greater demand circuit and the equipment to be analyzed are selected by the mean of three aspects, which are: demand, power, and using time. After this, there are apply the exegetic and energetic audits to the circuit. These audits permit to do an evaluation of the invoicing, the personal consumption habits, and the equipment operation. The last one evaluation is made by the mean of three factors, which are: useless, deterioration, and losses. After this it is made the thermo-economic analysis, which present the equipment irreversibilities, flows exegetic cost, flows unit exegetic cost, and exegetic economic costs.

With this information possible recommendations are determined, this recommendations can be related with the design or the operation system, which permit to get energy saving. Some of the project conclusions are: Make an exegetic audit is very important because is the way to know the real opportunities to save energy and money. The useless factor shows over investments done in the past, and the deterioration factor, the bad equipment operation. This project is the start of a new investigation about the exegetic analysis, applicable to electrical energy fields.

* Proyect of grade

** Faculty of Physical-mechanical. Electric, Electronic school of Engineerings and of Telecommunications. Manager: Dr. Gilberto Carrillo Caicedo.

INTRODUCCIÓN

Desde el principio, el hombre ha necesitado fuentes de energía que le permiten obtener un trabajo, estas fuentes son de origen hidráulico, térmico, químico, nuclear, eólico, geotérmico, solar etc. Una de las fuentes mas importante de energía está constituida por combustibles fósiles, los cuales son recursos No Renovables y se encuentran concentrados en zonas muy específicas del planeta [MENDEZ, 2006].

La conservación de las fuentes energéticas Renovables y No Renovables es de gran importancia para el país y para el mundo. Ésta se puede realizar de diferentes formas; una de ellas es administrando la fuente o el recurso en sí mismo, y otra, es actuando sobre los consumidores, es decir los procesos, los equipos y las personas que están utilizando la energía producida por aquellos recursos.

La administración de la fuente implica la reducción en la explotación de los recursos, pero esta solución implica racionamientos y consecuencias económicas y políticas que los países generalmente no están dispuestos a asumir.

Actuar sobre el consumidor, es obtener la máxima eficiencia en la utilización de la energía, reduciendo el consumo sin perjuicio de la productividad, la calidad de los servicios, y de manera general, la calidad de vida.

En este sentido, este proyecto nace de la necesidad de proveer un conocimiento real del consumo de energía a la comunidad, y a partir de esto, proponer un procedimiento para buscar su reducción y así, poder aportar a la conservación de las fuentes de energía.

La metodología empleada consiste en aplicar los principios del análisis exergético en el circuito de mayor consumo de energía eléctrica del Parque Tecnológico Guatiguará (PTG), para así conducir al desarrollo de propuestas tendientes a la reducción del consumo de energía, manteniendo la productividad de los procesos que allí se realizan. El análisis exergético se hace por medio del desarrollo de modelos exergéticos, y la cuantificación del impacto energético, se realiza con base en la teoría termoeconómica.

Esta metodología fue aplicada al PTG, polo de investigaciones de la Universidad, por ser un centro importante de consumo de energía eléctrica para la UIS.

Este documento se encuentra estructurado de la siguiente forma: en el capítulo uno se hace una descripción de los conceptos fundamentales y metodologías utilizadas en este proyecto, y se muestran las acciones que trae consigo la aplicación de un análisis exergético al circuito de una instalación eléctrica. En el segundo capítulo se hace una descripción de la metodología utilizada para el proceso de selección, tanto del circuito a trabajar, como de los equipos a ser analizados exergéticamente. En el tercer capítulo se desarrollan las auditorías exergética y energética del circuito seleccionado. El cuarto capítulo consta del análisis termoeconómico, el quinto contiene la propuesta para el Uso Racional y Eficiente de la energía (URE), y en el sexto capítulo se encuentran las observaciones y conclusiones del proyecto. Por último están la bibliografía y los anexos, en los cuales se presentan cálculos, medidas, planos e información adicional que complementa los capítulos anteriores.

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En un principio los consumos de energía no eran significativos y sus costos eran bajos [ICEL, 1992] . Sin embargo, el crecimiento industrial ha hecho que la demanda de energía y su costo hayan aumentado; por ello los programas y proyectos URE, se han convertido en un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional.

Los programas URE han venido siendo promovidos por los gobiernos de diferentes formas. Una de ellas es a través de leyes que incentiven el desarrollo de estos. Un ejemplo de estos países son Costa Rica y Colombia, donde existen leyes como la Ley 7447 de 1994 de Costa Rica, donde se consolida la participación del Estado en la promoción y la ejecución gradual del programa de uso racional de la energía; y la Ley 697 de Octubre 3 de 2001 de Colombia, mediante la cual se fomenta el Uso Racional y Eficiente de la Energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

La ley colombiana, brinda incentivos para aquellas personas que a través de Colciencias investiguen acerca de este campo, o por medio del ICETEX estudien especializaciones o carreras orientadas en forma específica a la aplicación del URE.

El Banco Interamericano de Desarrollo BID, ha promovido el desarrollo de programas URE a través de préstamos otorgados a los países. En los últimos lustros, los proyectos URE se han focalizado en países como Brasil, México, Perú y Colombia.

Estos programas implementados, se basan en el análisis de balances energéticos, los cuales ofrecen información general de los consumos de energía, sin identificar las opciones **reales** de mejoramiento. Por tanto no es posible establecer recomendaciones específicas que generen ahorros significativos en el consumo. Este análisis de balance energético es complementado por medio de la capacitación al personal, que frecuentemente se aplica sólo al ahorro mediante el control de iluminación, y por lo tanto no influye significativamente en el ahorro económico global [ICEL, 1992] .

Debido a lo anterior, se han generado nuevas metodologías para la optimización del funcionamiento y operación de los sistemas. En este aspecto el análisis exergético ha logrado gran aceptación en plantas cuyo objetivo es la producción de energía útil. Este método ha mostrado ser satisfactorio desde el punto de vista termodinámico, pero no es capaz de determinar por sí sólo el diseño óptimo real de un sistema. Por esta razón, su uso ha sido asociado generalmente con el análisis económico de costos. Esto ha llevado al desarrollo de procedimientos basados en la combinación de los métodos económicos y termodinámicos, denominado análisis termoeconómico [CLIOPE, 1999].

La aplicación de esta metodología al URE, permite un análisis energético asignando costos a los insumos del proceso, para cuantificar las mejoras realizables en materia de eficiencia.

Para tener una idea mas clara de esta nueva metodología, se deben tener en cuenta algunos conceptos fundamentales de termodinámica y economía que se presentan a continuación.

1.1 Conceptos fundamentales de termodinámica

1.1.1 Energía

Es la capacidad de los cuerpos o conjunto de éstos para efectuar un trabajo. Todo cuerpo material que pasa de un estado a otro produce fenómenos físicos, que no son otra cosa que manifestaciones de alguna forma de transformación de la energía [GORDON, 2001].

1.1.2 Sistema

Conjunto estructurado de unidades relacionadas entre sí y con su entorno. Un sistema termodinámico es una cantidad de materia o una región en el espacio, elegida para estudio, y se le representa por un grafo dirigido, abierto y de longitud finita. Cada flujo conecta un par de elementos [CLIOPE, 1999].

1.1.3 Ley cero de la termodinámica

Se tiene un sistema en equilibrio térmico, cuando la temperatura de los elementos que lo conforman, alcanza un valor estable o cuando no presentan ningún cambio de temperatura.

Si este sistema entra en contacto con un segundo sistema también en equilibrio térmico pero a una temperatura diferente, estos dos sistemas también encuentran el equilibrio térmico a una temperatura intermedia entre los dos.

Sí dos sistemas A y B, inicialmente a diferente temperatura, tal que $T_A > T_B$. Al entrar los dos sistemas en contacto por medio de una pared conductora del calor, se observa cómo el sistema adquiere una temperatura final de equilibrio. El nuevo sistema encuentra el equilibrio térmico, como se observa en la figura 1.1 [CLIOPE, 1999] [<http://jfinternational.com>].

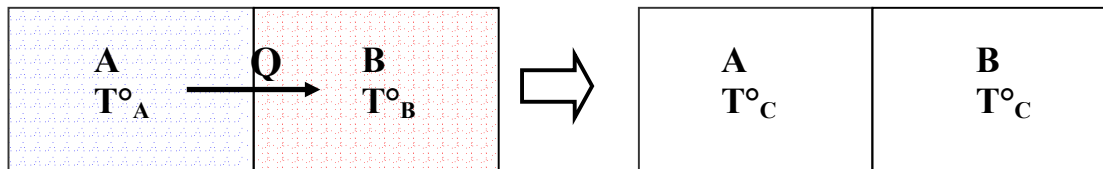


Figura 1.1 Ley cero de la termodinámica.

1.1.4 Primera ley de la termodinámica

Esta ley muestra que durante la interacción entre un sistema y sus alrededores, la cantidad de energía ganada por el sistema debe ser exactamente igual a la energía perdida por su entorno.

Esta ley se expresa según la ecuación 1.1.

$$\Delta E = Q - W \quad (1.1)$$

Donde ΔE es el cambio de energía en el sistema, Q representa la transferencia de calor y W el trabajo efectuado por el sistema.

1.1.5 Segunda ley de la termodinámica

Esta ley indica las limitaciones existentes en las transformaciones energéticas, la cual se puede definir como: *"No existe un proceso cuyo único resultado sea la absorción de calor de una fuente y la conversión íntegra de este calor en trabajo"*.

Cuando se habla de limitaciones se hace referencia a que la energía tiene calidad, además de cantidad, y que los procesos reales tienden a la reducción de la calidad de la energía [BUSTAMANTE, 2003].

1.1.6 Procesos reversibles

Son aquellos que se pueden realizar en sentido opuesto sin dejar ninguna huella en los alrededores; tanto el sistema como los alrededores regresan a sus estados iniciales, al final del proceso inverso. Esto es posible sólo si el intercambio de calor neto y de trabajo neto entre el sistema y los alrededores es cero para el proceso combinado (original e invertido). Estos procesos son ideales [GORDON, 2001].

1.1.7 Procesos irreversibles

Son aquellos que no se pueden revertir por sí solos de modo espontáneo y regresar al sistema a su estado inicial [GORDON, 2001].

1.1.8 Sistemas cerrados

Un sistema es cerrado cuando la masa no es capaz de cruzar su frontera, pero si hay transferencia de energía en forma de calor o trabajo. También se denomina masa de control, y puede ser “no aislada”, si hay intercambio energético con el exterior, y “aislada” si no existe intercambio ni de masa ni de energía (figura 1.2) [CENGEL & BONES, 1999].

1.1.9 Sistemas abiertos

Un sistema es abierto cuando la masa y la energía pueden cruzar la frontera del sistema, también se denomina volumen de control (figura 1.2) [CENGEL & BONES, 1999].

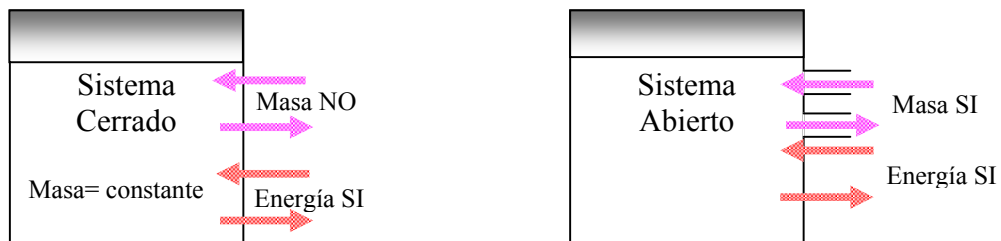


Figura 1.2 Sistemas cerrado y abierto

1.1.10 Entropía

Es función de sus potenciales intensivos, y está definida de tal manera que crece más, cuantos menos efectos útiles produzca el sistema al evolucionar. Para un sistema 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 sistema.

El concepto de entropía está íntimamente relacionado con la segunda ley de la termodinámica y está asociada al desorden. La segunda ley establece que la entropía nunca disminuye en un sistema aislado en el universo, por tanto se puede decir que la energía se conserva pero se va degradando a medida que la entropía del sistema aumenta.

La expresión matemática que describe la entropía fue descubierta por Clausius a partir de su desigualdad, ecuación 1.2.

$$\oint \frac{\partial Q}{T} \leq 0 \quad (1.2)$$

Donde ∂Q es el intercambio de calor en Calorías y T es la temperatura absoluta en Kelvines. Para procesos reversibles se cumple la igualdad en la ecuación y para procesos con alguna irreversibilidad, la desigualdad.

La nueva propiedad descubierta por Clausius fue definida matemáticamente por la expresión 1.3.

$$dS = \left(\frac{\partial Q}{T} \right) \quad (1.3)$$

Así, el cambio de entropía de un sistema está dado por la ecuación .4.

$$\Delta S = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right) \quad (1.4)$$

Al hacer una combinación entre la desigualdad de Clausius y la Entropía, se llega a la conclusión que el cambio de entropía total durante un proceso, es positivo en procesos reales y es cero en procesos reversibles.

El cambio de entropía total en un proceso es la cantidad de entropía generada durante el proceso, y es igual a la suma del cambio de entropía del sistema y de los alrededores [CENGEL & BONES, 1999].

1.1.11 Entalpía

Se simboliza como H y es la suma de la energía interna de la materia y la energía del movimiento (el producto de su volumen multiplicado por la presión). Es una función de estado cuantificable; la entalpía total de un sistema no puede ser medida directamente, en cambio la variación de entalpía de un sistema sí puede ser medida. Esta propiedad se puede aplicar únicamente a cuerpos a presión constante.

La entalpía se define mediante la siguiente ecuación:

$$H = U + P V \quad (1.5)$$

Donde: U es la energía interna y P y V son la presión y el volumen del sistema, respectivamente.

La variación de entalpía se define mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta H = H_{final} - H_{inicial} \quad (1.6)$$

Donde ΔH es la variación de entalpía, H_{final} es la entalpía final y $H_{inicial}$ es la entalpía inicial del sistema.

La variación infinitesimal de la entalpía se obtiene a partir de la ecuación de Gibbs (1.7).

$$TdS = dU + PdV \quad (1.7)$$

Aplicando el diferencial en la ecuación 1.5 se obtiene la ecuación 1.8.

$$dH = dU + PdV + VdP \quad (1.8)$$

Remplazando la ecuación 1.7 en la 1.8, se obtiene la expresión:

$$dH = T dS + V dP \quad (1.9)$$

Siempre y cuando el único trabajo realizado sea a través de un cambio de volumen. La entalpía es la cantidad de calor que expide una sustancia, puesto que la expresión TdS siempre representa una transferencia de calor [GORDON, 2001].

1.1.12 Exergía

Se define como la máxima cantidad de trabajo que un subsistema puede hacer sobre sus alrededores hasta alcanzar el equilibrio termodinámico en forma

reversible. Es proporcional a la futura producción de entropía, pero con unidades de energía [CENGEL & BONES, 2004]. .

La exergía puede tener cuatro componentes: la exergía cinética (asociada al movimiento relativo), la exergía potencial (asociada a diferencias de potenciales gravitacionales o electromagnéticas), la exergía física (asociada a diferencias de presión y/o temperatura) y la exergía química (asociada a diferencias en la composición).

La exergía es diferente de cero cuando el sistema en consideración tiene alguna diferencia con sus alrededores en una o más de las cuatro componentes enumeradas arriba.

Es importante anotar algunas propiedades de la exergía como:

- Puede transferirse de o hacia un sistema en tres formas: calor, trabajo, y flujo másico.
- En un sistema aislado siempre decrece o en el caso limitante de un proceso reversible permanece constante.
- No se conserva en un proceso físico, ya que se puede ganar o perder, pero también se puede acumular y encontrar en diferentes presentaciones como por ejemplo en carbones minerales.
- La exergía destruida también se denomina irreversibilidad y representa el potencial perdido de realizar trabajo.
- La exergía que entra o sale de cualquier subsistema puede ser medible y definida.

1.1.13 Exergía de la electricidad

El concepto de exergía fue establecido sólo para procesos termodinámicos, es decir procesos que se caracterizan por tener involucrado movimiento, fuerzas gravitatorias o diferencias de temperatura y presión. Además este concepto es aplicado sólo a situaciones en las que se puede definir un equilibrio y una frontera. Por esta razón y para efectos de este trabajo (donde se analizan equipos netamente eléctricos como conductores y transformadores), se considera la exergía eléctrica como la máxima cantidad de trabajo que el dispositivo puede llegar a realizar en función del propósito con que este fue diseñado.

1.2 Conceptos fundamentales del análisis exergético

1.2.1 Balance energético

Es el cambio que existe entre la energía de entrada a un sistema y la energía de salida del mismo.

1.2.2 Balance exergético

Es el cambio de exergía de un sistema durante un proceso. Es igual a la diferencia entre la transferencia neta de exergía a través de la frontera del sistema y la exergía destruida dentro de la frontera del sistema como resultado de las

irreversibilidades, este principio se expresa en la ecuación 1.10 [CENGEL & BONES, 2004]. .

$$\underbrace{X_{entra} - X_{sale}}_{\text{Transferencia neta de exergía por calor, trabajo y masa}} - \underbrace{X_{destruida}}_{\text{Destrucción de exergía}} = \underbrace{\Delta X_{Sistema}}_{\text{Cambio de exergía}} \quad (1.10)$$

1.2.3 Porcentaje de inutilización

El balance exergético anteriormente descrito es utilizado en procesos termodinámicos, donde no está involucrada la electricidad. En procesos donde ésta está involucrada, es necesario introducir un porcentaje que indique la parte de la energía que no se está utilizando y que el equipo puede suministrar sin sobrepasar su límite de eficiencia, este porcentaje se halla como sigue y se ilustra en el siguiente ejemplo:

Se supone un equipo con los siguientes datos nominales:

Eficiencia: 90%

Capacidad de entrega: 90 kJ

Con lo anterior se deduce que por cada 100 kJ a la entrada, se entregan 90 kJ de **exergía** a la salida, como se ilustra en la figura 1.3.

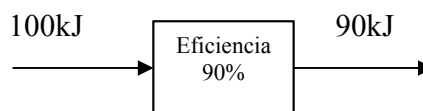


Figura 1.3 Flujos exergéticos de entrada y salida

Después de hacer medidas al mismo equipo se encuentra lo siguiente (figura 1.4):

Energía de entrada: 80 kJ

Energía de salida: 72 kJ

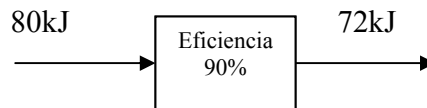


Figura 1.4 Flujos energéticos de entrada y salida

Aunque el equipo está trabajando con la eficiencia correcta no se está utilizando a su plena capacidad.

De esta manera el porcentaje de inutilización está dado por la ecuación 1.11.

$$\%Inutilización = \frac{\text{Exergía de salida} - \text{Energía de salida}}{\text{Exergía de salida}} * 100\% \quad (1.11)$$

En el caso del ejemplo, el porcentaje de inutilización se obtiene con la ecuación 1.12.

$$\%Inutilización = \frac{90 - 72}{90} * 100\% = 20\% \quad (1.12)$$

El 20% de la capacidad del equipo se está dejando de utilizar.

1.2.4 Factor de deterioro

El factor de inutilización permite evaluar exergéticamente los elementos que aunque tienen capacidad de entregar todo su potencial, no lo hacen debido a que

no se requiere, pero existe la posibilidad que requiriéndose el potencial no se pueda entregar a causa del deterioro o del mal funcionamiento del elemento, este porcentaje se halla como sigue y se ilustra en el siguiente ejemplo:

Se supone un equipo con los siguientes datos nominales:

Eficiencia: 90%

Capacidad de entrega: 90 kJ

Con lo anterior se deduce que por cada 100 kJ a la entrada, se entregan 90 kJ de exergía a la salida, como se ilustra en la figura 1.5.

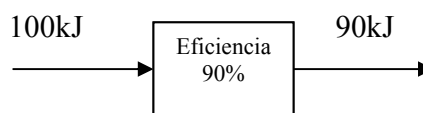


Figura 1.5 Flujos exergéticos de entrada y salida

Después de hacer medidas al mismo equipo se encuentra lo siguiente (figura 1.6):

Energía de entrada: 100 kJ

Energía de salida: 80 kJ

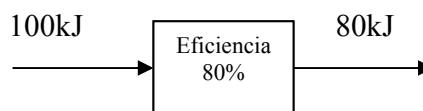


Figura 1.6 Flujos energéticos de entrada y salida

Con esto se deduce que el elemento no está cumpliendo con la eficiencia nominal, a causa de su deterioro o de su mala selección. Se puede evaluar según la ecuación 1.13.

$$\%Deterioro = \frac{\text{Exergía de salida} - \text{Energía de salida}}{\text{Exergía de salida}} * 100\% \quad (1.13)$$

En el caso del ejemplo el porcentaje de deterioro se obtiene con la ecuación 1.13.

$$\%Deterioro = \frac{90 - 80}{90} * 100\% = 11,11\% \quad (1.14)$$

El equipo se deterioro en un 11,11%, es decir no está entregando la capacidad que podría entregar.

1.2.5 Auditoría energética

Es un proceso sistemático el cual permite [ICEL, 1992] :

- Obtener un conocimiento confiable del consumo energético de la empresa.
- Detectar los factores que afectan el consumo de energía.
- Identificar, evaluar y ordenar las distintas oportunidades de ahorro de energía, en función de su rentabilidad.

El procedimiento a seguir en una auditoría energética es el siguiente:

- Hacer una memoria descriptiva de las instalaciones en general, centros productivos y servicios comunes generales, teniendo en cuenta los flujos de materia.
- Calcular el consumo específico anual.
- Hacer un análisis detallado de utilización de la energía. Este tiene como objetivo obtener información específica sobre el empleo de la energía en las diferentes operaciones básicas que componen un proceso productivo, realizándose por medio de flujos energéticos.
- Realizar por cada unidad de análisis u operación básica, un balance de materia y energía, que permita conocer las pérdidas, los rendimientos, los consumos específicos, etc., de modo que comparando con los valores nominales del proceso, se puedan determinar las posibles mejoras a

efectuar, con el fin de disminuir las pérdidas y aumentar el rendimiento energético.

- Comparar los consumos específicos y rendimientos obtenidos con los de diseño, para evaluar las eficiencias energéticas y así determinar los centros donde existen posibilidades de ahorro.

1.2.6 Auditoría exergética

Tiene el mismo principio que la auditoría energética, con la diferencia de que adicionalmente permite cuantificar las mejoras realizables. Esto se efectúa a partir de los flujos de exergía involucrados en los sistemas o procesos comparados con los flujos de energía utilizados, con el fin de conocer la forma de administración y utilización de la energía.

1.2.7 Exergía como factor de producción

La teoría económica clásica expone tres factores de producción básicos, con los cuales se pueden elaborar productos, bienes y servicios. Estos factores para algunos economistas son: la tierra, el capital y la mano de obra, para otros la tierra está comprendida en lo que se denomina capital.

La teoría neo-clásica enuncia dos factores de producción más, estos son: la exergía y la materia, que se pueden concentrar en uno llamado exergía.

Los factores de producción como anteriormente se mencionó, son agentes que permiten llegar a elaborar un producto, al utilizar estos factores correctamente se puede realizar lo que se desea eficientemente.

Cuando se piensa en la exergía como factor de producción, es necesario también pensar en el “producto final” o su propósito, ya que la caracterización, cuantificación y evaluación de estos “productos”, están dadas en términos energéticos.

En este sentido, la Segunda Ley de la Termodinámica, permite cuantificar la mayor o menor irreversibilidad y eficiencia de los procesos, a través de la función de exergía.

De esta manera, siendo P el propósito de producción de un proceso (Producto) y F los recursos disponibles consumidos (factor de producción o insumo), ambos valorados por su exergía, se cumple la ecuación 1.15:

$$F - P = I > 0 \quad (1.15)$$

Siendo $I = T_0 S_g$, la cuantificación en términos de exergía destruida, la irreversibilidad del proceso. La eficiencia termodinámica viene dada por la ecuación 1.16.

$$\eta_b = \frac{P}{F} \leq 1 \quad (1.16)$$

Esta relación evalúa la calidad de los procesos.

La inversa de la función eficiencia así definida representa el costo exergético, ver ecuación 1.17.

$$K = \frac{F}{P} = \frac{1}{\eta_b} \geq 1 \quad (1.17)$$

En sentido estricto, el objetivo de la optimización energética debe encaminarse a minimizar el costo exergético unitario de los productos finales (o maximizar la eficiencia). Éste, es el costo monetario de la exergía de entrada a la planta, necesaria para producir el flujo (producto).

El propósito de la optimización es encontrar aquellos valores de las variables de diseño (temperatura, presión, y composición química de los flujos: tipo, forma, tamaño de equipos, materiales, etc.) que minimicen el costo de los productos finales.

La termoeconomía se ocupa de establecer la relación existente entre los conceptos y/o variables que utilizan la termodinámica y la economía y de formular las metodologías apropiadas para el análisis, optimización y síntesis de los sistemas energéticos [CLIOPE, 1999].

1.2.8 Teoría del costo energético

El denominado costo exergético no corresponde a dinero (pesos \$, dólares U\$, etc.), sino una cuantificación energética expresada en una forma común, como es la contabilidad de costos. En los procesos energéticos complejos, la estructura del sistema juega un papel predominante a la hora de estudiar su eficiencia y sus costos. La teoría del costo exergético es una metodología de costos

termoeconómicos que formula un procedimiento de asignación de costos basado en consideraciones termodinámicas.

La esencia de estas reglas está en repercutir el costo de los recursos de cada equipo, en sus productos útiles haciéndolos proporcionales a su exergía. Se trata de una técnica esencialmente numérica que permite cuantificar los costos, pero que no responde de manera completa a las causas del proceso de formación de costos y en especial de los residuos, ni a la influencia que ejerce en él la estructura productiva.

A continuación se presentan algunas definiciones esenciales para el entendimiento de esta teoría.

- **Nivel de agregación:** Es la colección de equipos y sus relaciones, que constituyen el sistema total. Para una misma planta puede haber distintos niveles de agregación, desde el más simple, que estaría constituido por la planta vista como un solo equipo. El nivel de agregación depende del tipo y profundidad del análisis y de la cantidad de medidas disponibles, y permite separar la irreversibilidad total del sistema en tantas componentes como equipos se consideren.
- **La matriz de incidencia:** Esta matriz $[A(n \times m)]$ muestra las relaciones entre los n componentes de un sistema a través de m flujos. Los elementos de esta matriz representan los flujos que entran y salen de los equipos; así:

-1 Si es un flujo de entrada

1 Si es un flujo de salida

En el caso de que el sistema funcione en estado estacionario, la matriz de incidencia permite expresar los balances de materia, energía y exergía de acuerdo con las ecuaciones 1.18, 1.19 y 1.20:

$$[A]_{n \times m} \times [M]_{m \times 1} = [0]_{n \times 1} \quad (1.18)$$

$$[A]_{n \times m} \times [H]_{m \times 1} = [0]_{n \times 1} \quad (1.19)$$

$$[A]_{n \times m} \times [B]_{m \times 1} = [I]_{n \times 1} \quad (1.20)$$

Siendo M, H y B vectores que contienen la masa, energía y exergía de cada uno de los flujos. El elemento i-esimo del vector I representa la exergía destruida en dicho componente debido a irreversibilidades internas y externas.

A partir de las anteriores ecuaciones se pueden definir matrices de incidencia para los flujos de insumo $A_F(n \times m)$ y los flujos producto $A_P(n \times m)$, según las ecuaciones 1.21, 1.22 y 1.23:

$$[A_F]_{n \times m} - [A_P]_{n \times m} = [A]_{n \times m} \quad (1.21)$$

$$[A_F]_{n \times m} \times [B]_{m \times 1} = [F]_{n \times 1} \quad (1.22)$$

$$[A_P]_{n \times m} \times [B]_{m \times 1} = [P]_{n \times 1} \quad (1.23)$$

Siendo F y P vectores, cuya componente i-esima contiene la exergía del insumo F_i y del producto P_i , respectivamente.

- **Residuos:** Son aquellos materiales generados en la actividades de producción, transformación y consumo que no han alcanzado, en el contexto en que son generados, ningún valor comercial.

- **Pérdidas:** Son aquellos flujos que salen de un componente y de la planta, sin ser objeto de producción o posible utilización en posteriores procesos, y que son eliminados sin necesitar un consumo adicional de recursos. Estos flujos tienen todavía exergía y la disipan en el ambiente.
- **Subproductos:** En algunos sistemas es posible distinguir flujos físicos que pueden ser útiles en otros procesos, pero que no son el principal propósito de producción del sistema. Este tipo de flujo también tiene exergía y su utilización, ayuda a reducir el consumo de recursos internos o externos del sistema.
- **Costo exergético:** El costo en términos de exergía, de la obtención de un producto, es igual a la exergía de los recursos consumidos.
- **Costo exergético unitario:** 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 de exergía necesaria para producirlo. El costo exergético unitario corresponde al costo exergético de un flujo por unidad de exergía, así como lo expresa la ecuación 1.24.

$$k_i^* = \frac{B_i^*}{B_i} \quad (1.24)$$

Cuando en un sistema se obtiene un único producto, es muy sencillo calcular su costo exergético a partir de su definición. Cuando el flujo es interno, sale de un componente y entra en otro, la exergía consumida para producirlo puede ser calculada como la suma de todos los consumos de exergía en los componentes anteriores, hasta llegar a los recursos de entrada al sistema. Cuando existen bifurcaciones, los costos se distribuyen de forma proporcional a la exergía.

El costo de un flujo es una propiedad emergente y significa que no existe como una propiedad termodinámica de un flujo aislado, sino que debe ir asociado a un proceso de producción. Se determina no el costo de un flujo aislado, sino de un conjunto de flujos internos y externos interrelacionados. La distinción de flujo interno o externo no depende de elemento físico alguno sino de los límites que se definen para el sistema.

El problema de asignación de costos exergéticos puede ser formulado de la siguiente manera: *Dado un sistema para el que se han definido sus límites y nivel de agregación, indicando los elementos que lo componen, ¿cómo obtener el costo de todos los flujos que los interrelacionan?*

Para resolver este problema, 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 como se muestra en la ecuación 1.25.

$$[A] * [B^*] = 0 \quad (1.25)$$

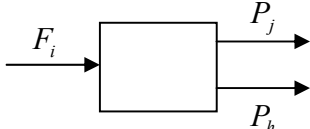
Donde B^* es un vector ($m \times 1$) cuyas componentes contienen los valores de los costos de los flujos. Esta propiedad define tantas ecuaciones como elementos en la instalación.

P2 = El costo exergético de los flujos que 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. Su costo exergético unitario es uno. Esta propiedad permite definir tantas ecuaciones como flujos de entrada al sistema.

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, ecuación 1.26.

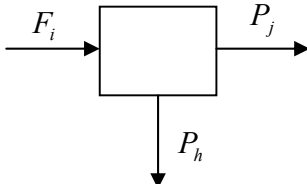


The diagram shows a rectangular box representing a process component. An arrow labeled F_i points into the box from the left. Two arrows point out of the box to the right: the top one is labeled P_j and the bottom one is labeled P_h .

$$\frac{B_j^*}{B_j} = \frac{B_h^*}{B_h} \quad (1.26)$$

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, su costo exergético es el mismo que el del flujo de entrada del que proviene, ecuación 1.27.



The diagram shows a rectangular box representing a process component. An arrow labeled F_i points into the box from the left. An arrow labeled P_j points out of the box to the right. A downward-pointing arrow labeled P_h originates from the bottom of the box, indicating a loss.

$$\frac{B_j^*}{B_j} = \frac{B_i^*}{B_i} \quad (1.27)$$

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.

De forma general, el sistema de ecuaciones para determinación de los costos exergéticos esta determinado por las ecuaciones, 1.28, 1.29, 1.30 y 1.31.

$$A_p x B^* = Y_e \quad (1.28)$$

$$B^* = A_p^{-1} x Y_e \quad (1.29)$$

Donde,

$$A_p \equiv \left(\begin{array}{c} A \\ \alpha_e / \alpha_b \end{array} \right) \quad (1.30)$$

$$Y_e^* = \left(\begin{array}{c} -Z \\ w_e / 0 \end{array} \right) \quad (1.31)$$

Siendo $[A_p]$ (n x m) una matriz formada por la matriz de incidencia A (n x m), correspondiente a los coeficientes de las ecuaciones de la proposición P1; la matriz α_e (e x m) de coeficientes asociados a las ecuaciones de las proposiciones P2 y P3; y la matriz α_b (m-n-e x m) de coeficientes correspondientes a las proposiciones P4 y P5. El vector Y^* (m x 1) contiene los valores de las asignaciones de recursos externos. Este vector puede expresarse tanto en términos de exergía, como en términos económicos [CLIOPE, 1999].

En la figura 1.7 se presenta un modelo ilustrativo al cual se le aplica la teoría de costo exergético. Se tiene una planta con 3 elementos y 5 flujos.

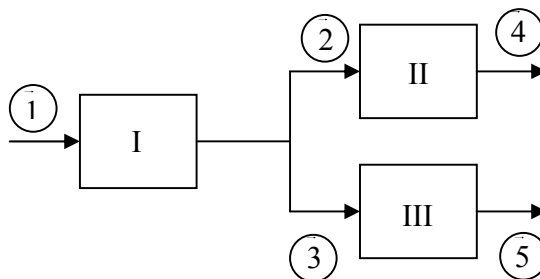


Figura 1.7 Modelo ilustrativo.

Una vez definida la planta, de acuerdo con la definición de la matriz de incidencia tenemos:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Conociendo los valores de cada uno de los flujos de la planta y con la matriz de incidencia es posible establecer el valor de las irreversibilidades en cada equipo, mediante la ecuación 1.32.

$$[I] = [A] \times [B] \quad (1.32)$$

Donde $[B]$ es el vector de flujos exergéticos.

A continuación se establece la matriz de entradas $[\alpha_e]$, la cual en este caso estaría conformada por el flujo 1.

$$[\alpha_e] = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Para poder aplicar la ecuación 1.29 y obtener el valor de los costos exergéticos, es necesario establecer un sistema de ecuaciones linealmente independientes. Para esto se aplican las preposiciones para la asignación de costos P4 y P5, con lo cual se obtiene la matriz $[\alpha_b]$.

$$[\alpha_b] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -\frac{B_2}{B_3} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Finalmente, se determina el vector de costo externos $[Y^*]$, con lo cual se da solución al sistema de ecuaciones dado por la ecuación 1.29.

$$[B^*] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\frac{B_2}{B_3} & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ B_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

1.2.9 Costo exergoeconómico

Es la suma de dos contribuciones, la primera que procede del costo de la exergía de entrada a la planta necesaria para producir dicho flujo, y la segunda, que engloba el resto de los costos originados en el proceso productivo (capital, operación, mantenimiento, depreciación, etc.) [CLIOPE, 1999].

La metodología a realizar es igual a la anteriormente expuesta, con la diferencia que el vector de entradas α_e contiene los costos económicos de los flujos de entrada.

1.2.10 Análisis exergético, sus beneficios y sus limitaciones

Las técnicas de análisis exergético han sido utilizadas frecuentemente para determinar y evaluar numéricamente las causas de la ineficiencia de los procesos industriales [CLIOPE, 1999].

Los beneficios asociados a la aplicación de estas técnicas son los siguientes:

- Permite evaluar la verdadera eficiencia de la planta y de sus equipos individuales, así como repartir la irreversibilidad total entre ellos (ahorro termodinámico del recurso o insumo).
- La comparación de los resultados obtenidos con respecto a los de referencia, que vienen determinados por el nivel de decisión que limita el tipo de acciones a emprender, cuantifica el ahorro técnico de insumos que es posible alcanzar en la práctica.
- El cálculo de los costos exergéticos de los flujos, permite valorar la repercusión en consumo de insumo de la instalación, que puede conseguirse al mejorar la eficiencia de un equipo específico hasta su valor de diseño.
- Este análisis permite resolver de manera inequívoca los interrogantes de dónde, cómo y qué parte de la energía consumida por el proceso, puede ahorrarse manteniendo constantes la cantidad y especificaciones de los productos finales del proceso.

Las limitaciones asociadas a la aplicación de estas técnicas son las siguientes:

- La primera limitación técnica a la que se enfrenta el análisis exergético cuando se aplica a una planta industrial, estriba en la insuficiencia de la instrumentación, mientras un análisis energético típico sólo requiere medidas asociadas al cálculo de los flujos de entrada (insumo) y salida (producto), la desagregación de la irreversibilidad total por equipo, que es la base fundamental del diagnóstico exergético, necesita además, medidas sobre los flujos internos de la instalación.

- Las normas para el cálculo del rendimiento están basadas en perspectivas energéticas, que no involucran o lo hacen muy limitadamente, la potencia de diagnóstico del segundo principio.

1.3 Aplicaciones

Una vez desentrañada la relación conceptual entre la Segunda Ley de la Termodinámica, la Eficiencia y el Costo exergético, la aplicación de la segunda ley permite no solo desglosar la irreversibilidad o ineficiencia de un sistema, sino 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 recursos ocasionado por el mal funcionamiento de cualquier de los equipos que componen la estructura del sistema (Auditoría exergética).

Es así como se ha aplicado esta teoría en diversas áreas de trabajo en la industria, como son las plantas de producción de energía geotérmica y en la industria petroquímica [BONILLA, 2006].

El sector de producción de acero ha sido también objeto de estudio. Se puede citar el caso del método de contabilidad exergética [BONILLA, 2006].

En el área de procesos de combustión, específicamente en motores de combustión interna, también se han realizado análisis basados en la segunda ley de la termodinámica para examinar la destrucción de disponibilidad energética en estos procesos [BONILLA, 2006].

Las industrias de alimentos que han utilizado el método del análisis de exergía como herramienta para cuantificar el grado de irreversibilidad de sus procesos son, industrias azucareras, plantas productoras de leche, plantas de procesamiento de pasta de tomate, industrias de conservas de pescado, líneas de producción de paletizado de alimentos balanceados y la industria de la harina de pescado [BONILLA, 2006].

Las aplicaciones mas recientes realizadas por estudiantes de la UIS fueron, la propuesta para URE aplicada en el sistema de bombeo Bosconia del acueducto metropolitano de Bucaramanga [BONILLA. 2006] y la aplicación del análisis exergético a circuitos eléctricos en los edificios de la facultad de ingenierías fisicoquímicas y planta de aceros de la UIS [THERÁN & POSADA, 2007].

2. PROCESO DE SELECCIÓN DE CIRCUITO Y EQUIPOS ELÉCTRICOS UTILITARIOS

El Parque Tecnológico Guatiguará (PTG) está conformado por un sistema eléctrico complejo, con el fin de enfocar el análisis exergético de este proyecto, se hace la selección del circuito de mayor consumo.

Este capítulo contiene la descripción de la selección del tablero de distribución a analizar. Definido éste, se seleccionan los equipos eléctricos utilitarios sobre los cuales se realiza el análisis exergético e introduce al lector a su funcionamiento básico.

2.1 Descripción del sistema

El PTG se alimenta del circuito 3020 de la subestación eléctrica de la Empresa Electrificadora de Santander S.A. (ESSA) a un nivel de tensión de 13,2 kV, mediante una red aérea y dos subterráneas que llegan a cada una de las subestaciones.

En el PTG se encuentran tres subestaciones que se encargan de alimentar áreas específicas del parque (planos 1 y 2).

- Subestación 1: Se encuentra ubicada en el costado oriental, está conformada por un transformador de 300 kVA que tiene las siguientes características:
 - Potencia: 300 kVA
 - Tensión primaria: 13,2 kV
 - Tensión secundaria: 220/127 V
 - Corriente primaria: 13,2 A
 - Conexión: DY5

- Subestación 2: Se encuentra ubicada en el costado norte, junto al Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC), está conformada por un transformador de iguales características al de la subestación 1.

En esta subestación se tiene el módulo de media tensión, con su equipo de maniobra y protección, y el equipo de medida. Se utilizan medidores de potencia activa y reactiva. Los medidores tienen las siguientes características:

Contador Trifásico, 60 Hz, 1 kW: 1873 r.p.m.

Medidor de tarifas múltiples: 3 X 120 V, 5 A, 60 Hz

- Subestación 3: Se encuentra ubicada en el costado sur de PTG, suplente la demanda de la granja, es de tipo aérea con una capacidad de 30 kVA.

Cada una de las subestaciones alimenta un grupo de tableros generales. A continuación se describe la procedencia de las acometidas de baja tensión.

- Acometidas de baja tensión que proceden de la subestación 1:
Se derivan 4 acometidas que alimentan seis tableros generales, los tableros generales TG2, TG3, TG4 y TG5, tienen acometidas independientes; las acometidas de los tableros TG6 y TG8 se derivan de TG2 (plano 2).
- Acometidas de baja tensión que proceden de la subestación 2:
Se derivan las acometidas que alimentan los tableros generales TG7 y TG9 ubicados en el CIC y un compresor de 10 HP junto a la subestación (plano 2).
- Acometidas de baja tensión que se derivan de la subestación 3:
De la subestación 3 proviene la acometida aérea que alimenta a toda la granja (plano 2).

Los seis tableros generales que son alimentados por la subestación 1, alimentan 30 tableros de distribución. Dado que en el PTG se han realizado diferentes reparaciones a las redes internas, se desconocía la distribución de los circuitos ramales; por tanto se hizo necesario realizar una identificación de los diferentes circuitos. Para esto se realizó un corte programado de energía eléctrica el día 22 de agosto de 2006, (tabla 2.1).

Tablero General	Tablero de distribución	Carga
TG2	T2	Microbiología 1 y 2, Área de calor, Cuarto de Material, Oficina CETSG.
	T3	Centro de Investigación Servicios Generales, Salón de Conferencias, cafetería
	T4	Salón de Conferencias, Lab. Microscopia 1 y 2, Oficinas, Baños, Pasillo
	T5	Cuarto de neveras, Aula (Lab. Nuevo)
	T6	Lab. Central CINBIN, Oficina dirección CINBIN, Lab. Micología 1 y 2, Baños
	T7	Secretaría CINBIN, baños, Bioprocesos CINBIN 1 y 2
	T1	TG6
	T8	Insectario, Lab Epistemología, Sala computo CINTRO, Molecular 2, Lab. Insecticidas, destilación H2O, Viroológica, Laboratorio CINBIN, Cuarto de Lavado
	T9	Xenodiagnóstico, Molécula 1, Cuarto de cultivos, Parasitología, Inmunología
	T	CEIAM
TG3	T11	Anatomía INSED
	T12	CDET del Gas
	T17	Lab. Catálisis (Hidrotratamiento, Estudio)
	T18	Lab. Catálisis (Preparación de muestras Lab. Investigación Catálisis)
	T19	Lab. Catálisis (Lab Oxidación)
	T25	Lab. Fotocatálisis
TG4	T13	GIC UIS
	T14	Lab Óptica, Aula Tecnología Pecuaria
	T15	Lab. Metalúrgica (Biohidrometalurgia, Pirometalurgia, Hidrometalurgia, Absorción Atómica y Polarización.)
	T16	Aulas segundo piso INSED, Oficina
	T26	Lab Metalúrgica (Hidrometalurgia, Absorción Atómica y Polarización, Fluorescencia)
	T27	Lab. Metalúrgica (Biohidrometalurgia, Pirometalurgia)
	T47	Aula Tecnología Pecuaria, Aulas Especiales
TG5	T1	Centro de Desarrollo Productos Alimenticios
	T10	Bodega CINBIN
	T28	Secretaría CORASFALTOS, Pool de oficinas CORASFALTOS, Sala de juntas CORASFALTOS, Dirección CORASFALTOS, Contabilidad CORASFALTOS Baños
	T29	Lab Asfaltos, Planta piloto y Bodega CORASFALTOS
	T30	Lab Materiales CORASFALTOS, Muestras Asfálticas
TG6	T31 T31A	Primer Pisos: Sala de estudios, Dirección CINTROP, Oficina CIC, Portería. Segundo Piso
TG8		Auditorio Nicanor Pinzón Neira

Tabla 2.1 Carga de los tableros de distribución.

Los tableros generales TG7 y TG9 provienen de la subestación 2 y alimentan al CIC.

2.2 Selección de la subestación

Para la selección de la subestación a ser analizada, se realizaron medidas de tensión y corriente en el secundario de cada uno de los transformadores, con los cuales se obtiene la carga de cada una de las subestaciones como se muestra a continuación en las figuras 2.1 y 2.2.

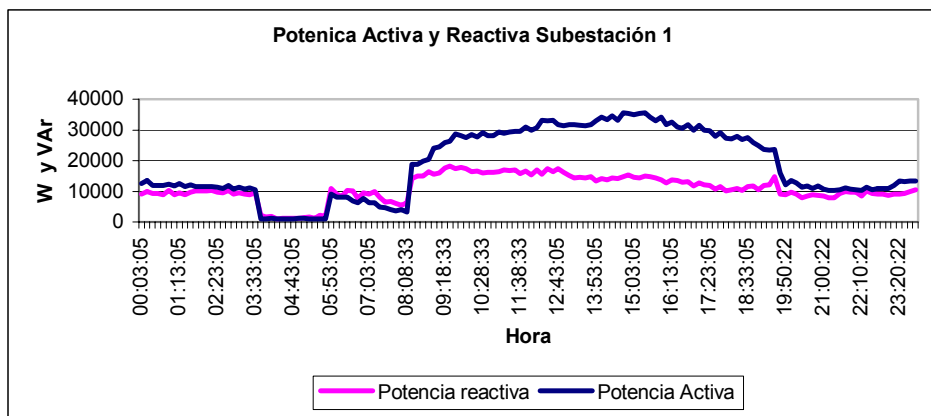


Figura 2.1 Curva de carga subestación 1.

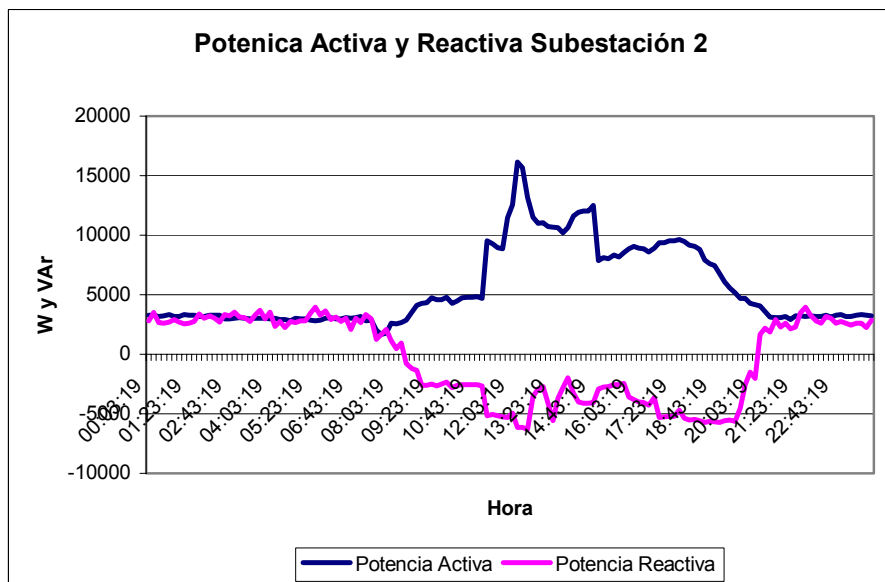


Figura 2.2 Curva de carga subestación 2.

Las medidas de la subestación 3, la cual corresponde a la granja, no se realizaron ya que su transformador es de 30 kVA, y la selección se realizó por capacidad.

Los datos se procesaron en EXCEL y se presentan en la tabla 2.2.

Subestación	Energía activa requerida (kWh-día)
1	446,945
2	133,174

Tabla 2.2 Energía subestaciones.

Como se observa, el consumo de la subestación 1 es superior en un 335,6 % al de la subestación 2, por tanto el análisis se realizará a la subestación 1 y al circuito de mayor consumo que ésta alimenta.

2.3 Selección del tablero general de mayor consumo

Teniendo en cuenta la forma de distribución y la ubicación de cada uno de los tableros generales se realizaron medidas de tensión y corriente en cada una de las fases de los tableros generales TG2, TG3, TG4 y TG6 (anexo 1).

En el tablero general TG8, no se tomaron medidas, ya que durante la toma de datos el auditorio no presentaba ningún consumo.

Las medidas de tensión y corriente en los tableros generales TG5, TG7 y TG9 no fue posible realizarlas, debido a su ubicación. Estos se encuentran dentro de CORASFALTOS y CIC. Estos lugares son corporaciones, es decir, su funcionamiento está a cargo de entidades privadas y el acceso a los tableros es limitado y restringido.

Los datos se procesaron en MATLAB y se obtuvieron las respectivas curvas de carga de cada uno de los tableros (ver figuras de 2.3 a 2.6) y con el área bajo cada una de las curvas, se obtuvieron los kVA-h requeridos (tabla 2.3).

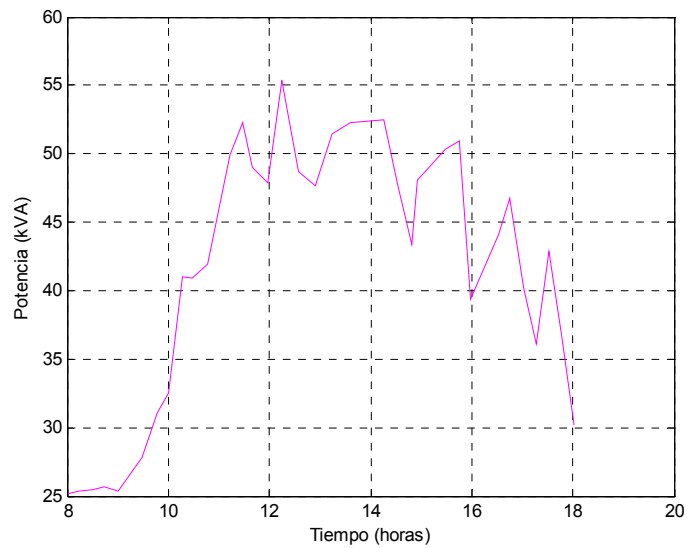


Figura 2.3 Curva de carga tablero general TG2

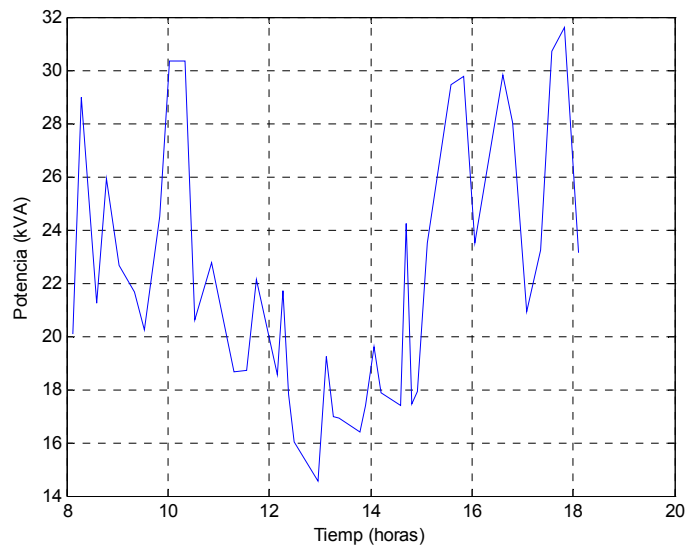


Figura 2.4 Curva de carga tablero general TG3

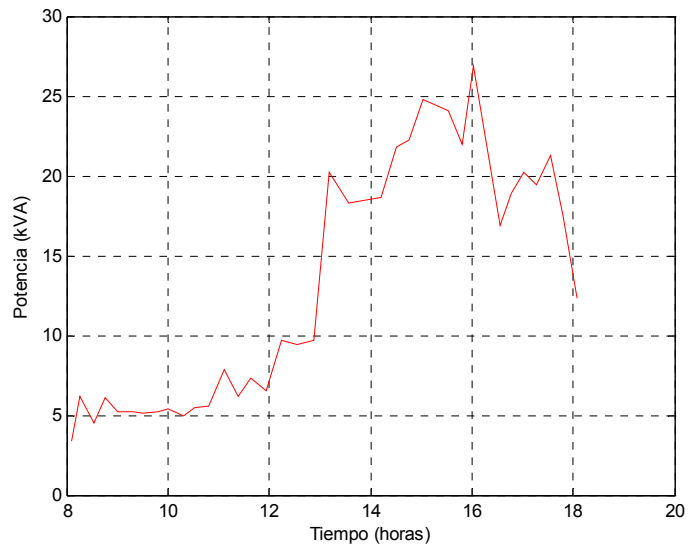


Figura 2.5 Curva de carga tablero general TG4

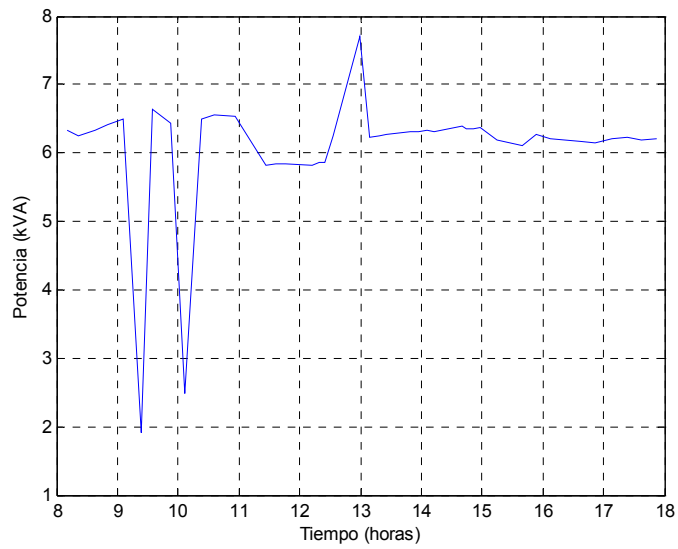


Figura 2.6 Curva de carga tablero general TG6

Tablero	Energía requerida (kVAh-10h)
TG2	424,8446
TG3	218,2684
TG4	136,1796
TG6	57,3529

Tabla 2.3 Energía tableros generales

El consumo en el tablero general TG2 es el más elevado de los cuatro, siendo superior en un 194,6% al consumo de TG3, en un 311,97% al de TG4 y en un 740,8% al de TG6.

Dada la significativa diferencia en el consumo del tablero general TG2 con respecto a los demás tableros generales, se establece que este circuito es el más significativo, y por tanto se continúa el análisis teniendo en cuenta los circuitos ramales de este tablero general.

2.4 Selección del tablero de distribución de mayor consumo

En el tablero general TG2 se encontraron 10 interruptores. Se tomaron medidas de tensión y corriente en cada uno de ellos, de tal manera que fuera posible tener un criterio general para determinar cual era el circuito ramal de mayor consumo.

Los datos se procesaron en EXCEL y se obtuvieron las respectivas curvas de carga de cada uno de los tableros y con el área bajo cada una de las curvas, se obtuvieron los kVA-h consumidos (anexo 2).

Tablero de distribución	Energía requerida (kVA-día)
T	7,38
T1	34,74
T2	19,35
T3	33,52
T4	1,71
T5	18,54
T6	6,74
T7	4,97
T8	34,87
T9	26,81

Tabla 2.4 Energía tableros de distribución

Con base en la información recopilada, se observa en la tabla 2.4 que el circuito ramal de mayor consumo es el del tablero de distribución T8, el cual alimenta parcialmente las instalaciones del centro de investigaciones en enfermedades tropicales, CINTROP. En este centro se realizan estudios clínico epidemiológicos, estudio de la relación hospedero parásito, aislamiento y caracterización bioquímica y genética de parásitos y vectores, transferencia de tecnología e implementación de nuevos métodos de diagnóstico, biología de vectores, evaluación de estrategias de control, susceptibilidad y resistencia a insecticidas, factores de riesgo sociales para la transmisión de enfermedades tropicales, a enfermedades como dengue y mal de chagas.

Los equipos allí utilizados se encuentran alimentados por los tableros de distribución T8 y T9, por tanto se optó por realizar el análisis a los dos tableros de distribución, con el fin de establecer un análisis exergético a un área completa y poder desarrollar recomendaciones aplicables a procesos completos.

2.5 Selección de equipos eléctricos utilitarios

Una vez seleccionado el tablero de distribución de mayor consumo, se determinaron los equipos eléctricos utilitarios que son alimentados por estos circuitos ramales. Para esto se realizó un inventario de los equipos que se encuentran en el CINTROP (Anexo 3). Estos abarcan una gran variedad, de acuerdo con la actividad propia del centro. Para la selección de los equipos eléctricos utilitarios a los cuales se realiza el análisis exergético se tuvieron en cuenta dos factores, la potencia nominal de cada equipo y su tiempo de utilización. De acuerdo con lo anterior se descartaron equipos como microscopios, agitadores, balanzas electrónicas, centrífugas de mesa, microcentrífugas y otros elementos

de baja potencia. Una vez realizada esta preselección se obtuvieron los equipos a ser analizados.

2.6 Descripción de los equipos eléctricos utilitarios

2.6.1 Transformador

Los transformadores son máquinas eléctricas estáticas cuya misión es transmitir energía eléctrica desde una tensión dada, hasta otra tensión deseada.

El transformador tiene algunas características que vale la pena mencionar, como son:

- **Tensión nominal del primario:** La tensión calculada a partir de la tensión nominal del secundario por la relación de transformación [NTC-317 1998]
- **Tensión nominal del secundario:** La tensión en vacío al cual el transformador está diseñado para entregar los kVA nominales, al cual opera y a la cual son referidas las características de desempeño [NTC-317 1998].
- **Relación de transformación:** La relación de el número de espiras del devanado de alta tensión a las del devanado de baja tensión [NTC-317 1998].

- **kVA Nominales:** La salida que puede ser entregada por un tiempo especificado a una tensión nominal, en el secundario y a frecuencia nominal, sin exceder las limitaciones de incremento de temperatura especificadas, bajo condiciones prescritas [NTC-317 1998].

Como el transformador no funciona siempre en régimen nominal, es decir, con las corrientes nominales de entrada y salida I_{N1} e I_{N2} , si no que puede llevar otras corrientes I_1 e I_2 , entonces se define el índice de carga por la ecuación 2.1.

$$C = \frac{I_1}{I_{N1}} = \frac{I_2}{I_{N2}} \quad (2.1)$$

Esta relación proporciona una medida de la exigencia del transformador así:

- C<1 El transformador funciona holgadamente. Están circulando corrientes inferiores a las de diseño, su calentamiento no será peligroso y puede funcionar de modo continuo.
- C>1 El transformador está sobrecargado, funciona por encima de sus posibilidades, pues por sus devanados circula una corriente mayor que la nominal. Los calentamientos alcanzados pueden llegar a ser peligrosos y dañar los aislantes. El funcionamiento en estas condiciones no puede ser continuo.

Los regimenes de carga constantes no son los más frecuentes en los transformadores. El índice de carga varía a lo largo de un periodo de tiempo

La corriente media en un periodo de tiempo dado se calcula según la ecuación 2.2.

$$I_c = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n I_j^2 t_j}{\sum_{j=1}^n t_j}} \quad (2.2)$$

Entonces el índice de carga medio se determina a partir de la expresión.

$$C_M = \frac{I_c}{I_N} \quad (2.3)$$

Las pérdidas que se producen en un transformador son fundamentalmente de dos tipos: pérdidas en el circuito magnético y pérdidas por efecto Joule en los devanados. Las pérdidas en el circuito magnético son también llamadas pérdidas de vacío o pérdidas en el hierro (P_o). Son independientes de la carga a la cual esté sometido y son prácticamente invariables a tensión y frecuencia constantes.

Las pérdidas por efecto Joule se deben a las pérdidas en los arrollamientos del transformador debido a su resistencia. Se les suele llamar pérdidas del cobre y varían proporcionalmente con el cuadrado de la corriente, como se presenta en la ecuación 2.4.

$$P_{cu} = C^2 P_{cc} = \left(\frac{I_C}{I_N}\right)^2 P_{cc} \quad (2.4)$$

Donde:

P_{cc} : Pérdidas a régimen nominal

C: Índice de Carga

Las pérdidas totales en un transformador se determinan por medio de la ecuación 2.5.

$$P_{perdidas} = P_o + P_{cu} = P_o + C^2 P_{cc} \quad (2.5)$$

Donde

P_o : Pérdidas en el hierro

P_{cc} : Pérdidas del cobre a régimen nominal

Para que el transformador tenga su máxima eficiencia, debe cumplirse que su rendimiento (ver ecuación 2.6) sea cercano a la unidad. EL rendimiento se define como:

$$\eta = \frac{\text{Potencia de Salida}}{\text{Potencia de Entrada}} \quad (2.6)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{perdidas}} \quad (2.7)$$

Reemplazando la ecuación 2.5 en la ecuación 2.7, se obtiene la ecuación 2.8.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_o + C^2 P_{cc}} \quad (2.8)$$

Reemplazando las potencias por sus valores de tensión, corriente y factor de potencia en la ecuación 2.6:

$$\eta = \frac{\sqrt{3} V_2 I_{N2} C \cos \phi_2}{\sqrt{3} V_2 I_{N2} C \cos \phi_2 + P_o + C^2 P_{cc}} \quad (2.9)$$

A partir de la anterior ecuación se deduce que el rendimiento máximo de un transformador está dado por:

$$\frac{d\eta}{dC} = 0 \quad (2.10)$$

$$\frac{d\eta}{dC} = \frac{-\sqrt{3}(C^2 P_{cc} - P_o) V_2 I_{N2} \cos \phi_2}{(\sqrt{3} C^2 P_{cc} + C V_2 I_{N2} \cos \phi_2 + P_o)^2} = 0 \quad (2.11)$$

Despejando P_o de la anterior ecuación se tiene:

$$P_o = C^2 P_{cc} \quad (2.12)$$

$$C = \sqrt{\frac{P_o}{P_{cc}}} \quad (2.13)$$

2.6.2 Aire acondicionado

El principio básico de la producción de frío de confort, consiste en tomar el calor de un medio que debe enfriarse (aire o agua), llamado fuente caliente y transferirlo hacia un medio exterior (agua o aire exterior) que enfría (fuente fría). Esta transferencia de energía se realiza por la intermediación de un fluido refrigerante sometido a un ciclo termodinámico continuo de sucesión de cambios de estados: vapor/líquido (figura 2.7).

El ciclo implica las siguientes cuatro fases:

- Compresión: la temperatura y la presión del fluido bajo forma gaseosa se elevan.
- Condensación: paso por un intercambiador situado al contacto del medio exterior (más frío), el fluido pasa al estado líquido y expulsa calor hacia el exterior.
- Distensión: el fluido bajo forma líquida, ve reducida su presión y su temperatura.

- Evaporación: al paso por un intercambiador situado al contacto con el medio que debe enfriarse (más caliente), el fluido absorbe calorías y se vaporiza.

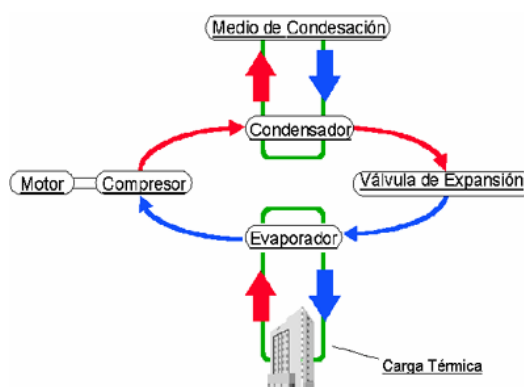


Figura 2.7 Esquema de funcionamiento del aire acondicionado

El circuito T8 cuenta con un aire acondicionado mientras el circuito T9 cuenta con 2, los cuales se describen a continuación.

Equipo	Ubicación-Circuito	Potencia (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Capacidad de Enfriamiento (BTU/h)	Temperatura nominal (°C)	Temperatura real del recinto (°C)
Aire acondicionado LG Gold	Viroológica –T8	1513	220	8,6	18000	18	19
Aire acondicionado LG Gold	Parasitología-T9	1513	220	8,6	18000	19	22
Aire acondicionado York	Inmunología-T9	2200	220	12,5	24000	19	20

Tabla 2.5 Aires acondicionados

2.6.3 Nevera

Un refrigerador doméstico o nevera, es una máquina compuesta básicamente por un fluido refrigerante que es forzado a recorrer un circuito tubular, el cual pasa por un compresor, un condensador, un tubo capilar (o válvula de expansión) y un evaporador (figura 2.8).

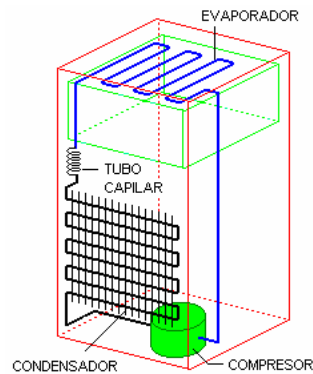


Figura 2.8 Esquema del refrigerador.

El fluido refrigerante debe poseer características especiales como por ejemplo, baja temperatura de vaporización (o de condensación) y debe requerir presiones relativamente bajas para pasar de estado gaseoso a líquido a temperatura ambiente.

El compresor es una bomba de succión accionada por un motor eléctrico, que retira el fluido refrigerante del tramo de tubería que lo antecede a baja presión y lo inyecta al tramo de tubería que lo sigue, a una presión mayor. Así el compresor impulsa el líquido refrigerante a través de la tubería.

El condensador está formado por un largo tubo en forma de serpentina con un conjunto de varas metálicas, formando un gran radiador, generalmente ubicado en la parte de atrás del refrigerador. Al entrar y salir del compresor el refrigerante se

encuentra en estado gaseoso, al pasar por el condensador, el refrigerante en forma de gas pierde energía en forma de calor liberado al ambiente, y el refrigerante pasa de estado gaseoso a líquido.

El tubo capilar es un tubo de un diámetro interno de cerca de medio milímetro. El fluido refrigerante entra al capilar en forma de líquido, al salir se expande rápidamente, pasando a estado gaseoso. Esta expansión se produce en el evaporador.

El evaporador está constituido por una serpentina acoplada en la parte interna del refrigerador. Para pasar de estado líquido a estado gaseoso, el fluido refrigerante absorbe energía en forma de calor del interior de refrigerador. Al salir el fluido del evaporador en estado gaseoso, llega al compresor y el ciclo comienza nuevamente (figura 2.9).

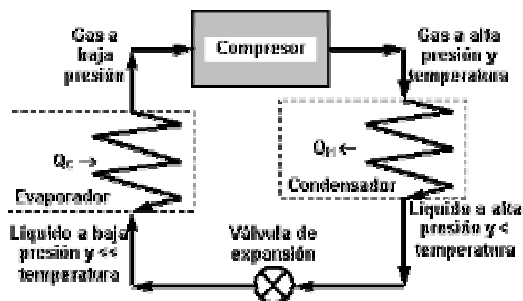


Figura 2.9 Esquema de funcionamiento del refrigerador

Las neveras son equipos fundamentales en el CINTROP, por tanto estas se encuentran distribuidas en las diferentes áreas según se muestra en la tabla 2.6.

Equipo	Ubicación- Circuito	Potencia (kWh/día)	Tension (V)	Corriente (A)	Volumen (m ³)	Temperatura Interior (°C)	Temperatura Del reinto (°C)
Nevera HACEB Softline	Virología –T8	3	115	2,2	0,257	3	19
Cogelador ELECTROLUX FEE24	Parasitología-T9	2,3	115	2,5	0,2265	-5	22
Nevera MABE	Virología-T8 Xenología-T9	1,7	110	1,7	0,283	5	22 y 25
Congelador CENTRALES	Inmunología-T9	1,6	115	2,2	0,2548	-4	20
Biofreezer Forma Scientific 8516	Xenodiagnostico- T9	8928	120	15,5	0,450	-79	25

Tabla 2.6. Neveras

2.6.4 Cámara de bioseguridad

Las cabinas de bioseguridad proveen una protección al usuario, al producto y al medio ambiente, mediante la circulación de aire en un circuito como se describe a continuación.

La entrada de aire se desplaza desde la habitación hacia la embocadura perforada en la zona de trabajo (para prevenir la contaminación del producto, la entrada de aire no se mezcla con el aire limpio del interior), conduciéndose a través de un plenum bajo la superficie de trabajo.

Un flujo vertical filtrado mediante un filtro HEPA (es un filtro de alta eficiencia en el control de partículas suspendidas, también son conocidos como filtros absolutos debido a su eficiencia) en el interior de la cabina (también denominado Impulsión - flecha azul en figura 2.10) se mueve hacia abajo desde la parte superior de la

cabina sobre la zona de trabajo. Otro filtro HEPA montado en la parte superior, suministra este tipo de flujo y asegura que la zona de trabajo esté siendo continuamente “renovada” con aire limpio, protegiendo al producto o muestra de la contaminación presente en el aire de la sala.

Cerca de la zona de trabajo, el aire impulsado se divide en dos direcciones, hacia la embocadura frontal y hacia la parte trasera de la superficie de trabajo. Con la embocadura frontal, el aire de entrada se dirige a través de un plenum técnico bajo la superficie de trabajo, hacia el plenum general donde se encuentra ubicado el ventilador.

Del plenum general, aproximadamente un 30% del aire es filtrado y expulsado a la sala a través de un filtro HEPA, mientras el 70% restante se filtra por HEPA y se recircula a la zona de trabajo como aire impulsado.

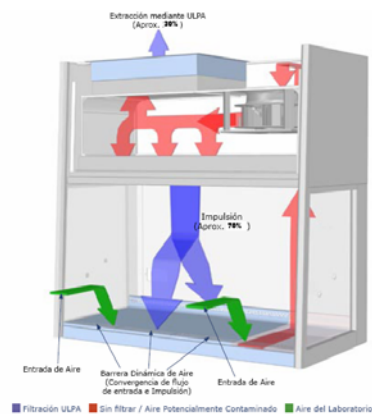


Figura 2.10 Diagrama de flujos cabina de bioseguridad

Las cámaras de bioseguridad se encuentran distribuidas en CINTROP de acuerdo con la tabla 2.7.

Equipo	Ubicación-Circuito	Potencia (W)	Tension (V)	Corriente (A)
Cámara de bioseguridad THERMO Modelo 1200	Viroológica –T8	1251,2	115	13,6
Cámara de bioseguridad THERMO Modelo 1200	Parasitología-T8	1251,2	115	13,6
Cámara de bioseguridad LABCONCO purifer classII	Cuarto de cultivos-T9	1104	115	12

Tabla 2.7 Cámaras de Bioseguridad

2.6.5 Iluminación

La iluminación es una manifestación de radiación electromagnética. Se puede obtener calentando un filamento hasta la incandescencia (lámparas incandescentes), o a través de una descarga eléctrica entre dos placas paralelas en un gas ionizado (lámparas fluorescentes).

La luz se propaga en tres dimensiones y lo hace a través de los gases, sólidos y líquidos.

La iluminación tiene varias magnitudes asociadas a ella, que permiten hacer una evaluación de la iluminación que haya en un recinto y que es emitida por algún manantial luminoso, algunas de ellas son las siguientes:

Flujo luminoso: Energía radiante emitida por un manantial luminoso en un determinado tiempo. Su símbolo es ϕ y sus unidades son el lumen.

Intensidad luminosa: Potencia luminosa radiada en una dirección dada, su símbolo es **I** y sus unidades las candela [Cd].

Illuminancia de una superficie: Razón entre el flujo que recibe y su área, su símbolo es **E** y sus unidades son Luxes [Lux].

La cantidad de iluminación depende de la fuente y de la distancia. Varios factores influyen sobre la iluminación (E) que recibe un objeto. Entre ellos están: la intensidad de la fuente luminosa, el ángulo bajo el cual inciden los rayos sobre el objeto, y la distancia entre la fuente y el objeto. La iluminación se afecta también por la cantidad de luz que alcanza el objeto indirectamente por reflexión desde los objetos próximos, como las paredes, el techo o los propios vestidos.

Los manantiales luminosos encontrados en el CINTROP son lámparas fluorescentes, al encenderse, por los electrodos pasa una corriente eléctrica y hace que estos se calienten y liberen electrones del material emisor con el cual están revestidos. Además de los electrones liberados térmicamente, existen otros electrones liberados por la diferencia de potencial entre los electrodos. Estos electrones viajan a altas velocidades, de un electrodo al otro, estableciendo una descarga eléctrica o arco a través del vapor de mercurio, este arco al estar encerrado en un tubo de vidrio revestido de fósforo hace que se produzca luz visible.

3. AUDITORÍAS ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA

Teniendo en cuenta los pasos a seguir para realizar una auditoría y habiendo previamente realizado un estudio detallado de los componentes del PTG, los cuales fueron descritos en el capítulo tres, se continua con la evaluación de facturación.

3.1. Evaluación de la facturación

Al PTG llegan tres facturas, dos son de los centros de mecanización que tienen un consumo relativamente bajo con respecto a la factura identificada como Guatiguará.

El análisis se basó en el factor de potencia debido a que Guatiguará es un cliente no regulado para la ESSA, y por esta razón en el momento que el factor de potencia de la energía consumida sea menor que 0,9, la energía reactiva es cobrada.

Para el análisis no se tuvieron en cuenta los factores de potencia en los cuales P y Q son cero o cuando solo P es cero.

3.1.1 Centros de mecanización

Las facturas de los centros de mecanización dieron como resultado lo siguiente (Anexo 4 y 5, Figuras 3.1 y 3.2)

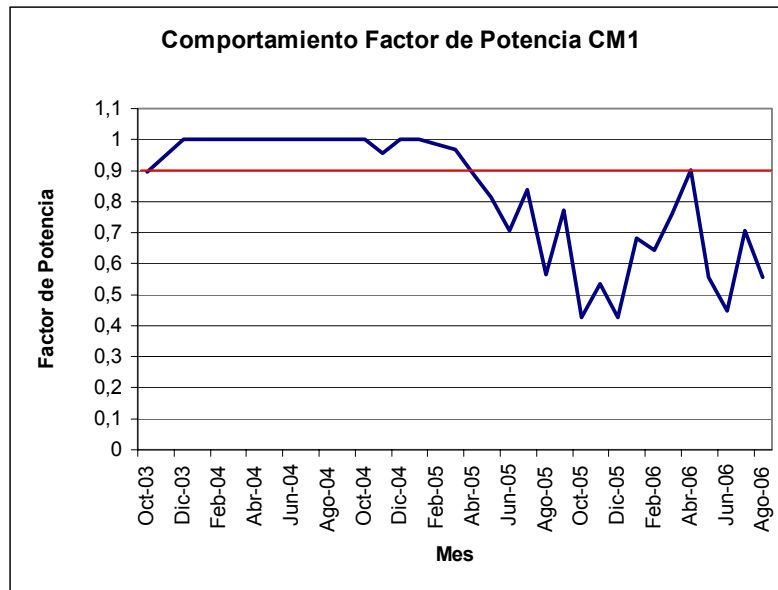


Figura 3.1 Comportamiento Fp CM1

Se tiene que en el centro de mecanización 1, el 27,02 % de los meses el factor de potencia es mayor a 0,9.

En algunos meses el factor de potencia es uno debido a que la medida de los contadores no se pudo realizar, de esta manera Q se toma como cero y P se toma del valor promedio de la medida.

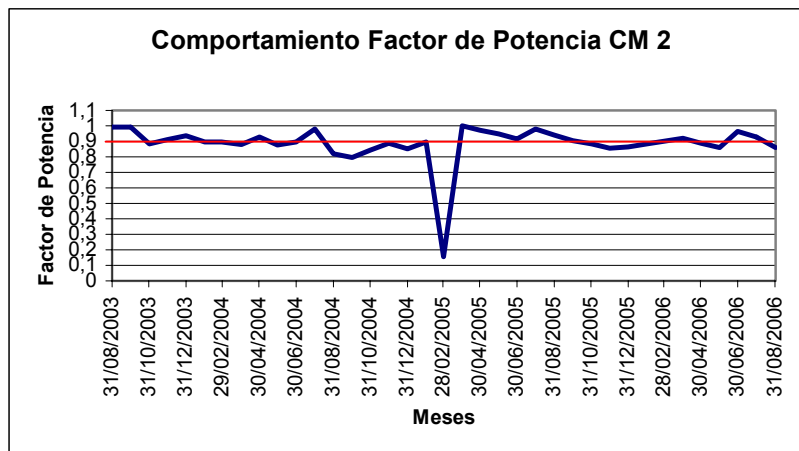


Figura 3.2 Comportamiento Fp CM2

En el centro de mecanización 2, el 43 % de los meses el factor de potencia es mayor a 0,9.

Como se ve en las figuras 3.1 y 3.2 y en los anexos 4 y 5, existe en estos centros una oportunidad de ahorro al compensar la potencia reactiva.

3.1.2 Guatiguará

Aunque como se muestra en las figuras 3.3 y 3.4 el factor de potencia en el transcurso del mes tiene un buen comportamiento, ya que el 63 % de los meses esta por encima de 0,9 y tiende a mantenerse, el PTG al ser un cliente no regulado, la ESSA monitoriza sus consumos cada 15 minutos en el día, si en ese tiempo el factor de potencia es mas bajo que 0,9, en la factura mensual llega el cobro de la energía reactiva consumida en ese intervalo de tiempo, es decir, así el factor de potencia total del mes sea mayor que 0,9, en las facturas es cobrada una penalización por energía reactiva.

Por esta razón es de suma importancia hacer un análisis más profundo de estos factores para llegar a una solución a estos cobros.

Los datos de estas figuras se encuentran en el anexo 6.

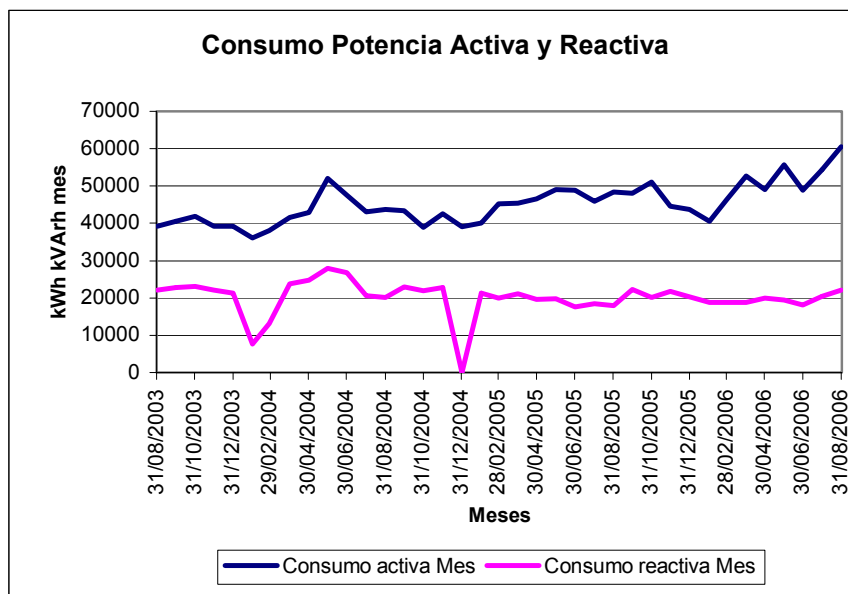


Figura 3.3 Consumo Potencia Activa y Reactiva del PTG

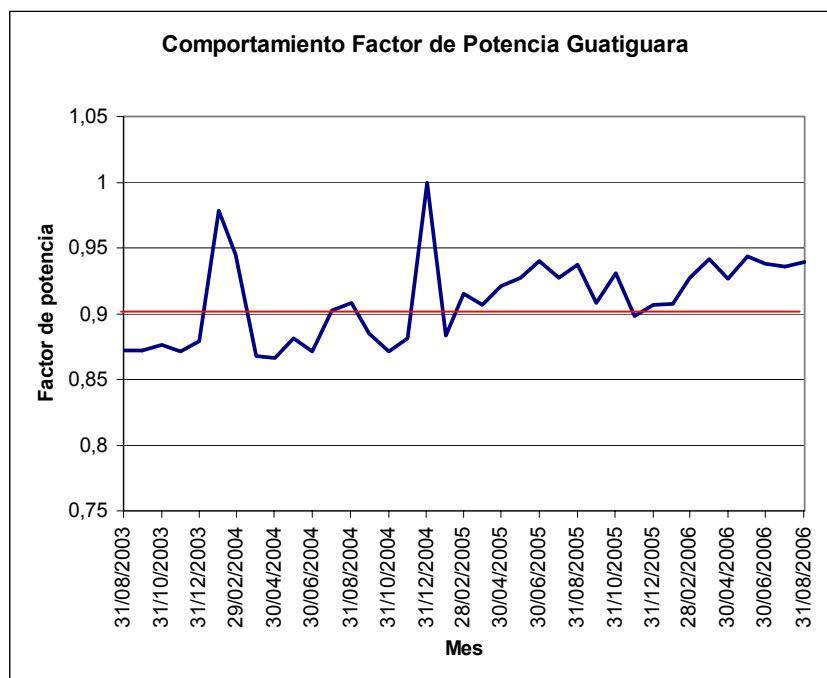


Figura 3.4 Comportamiento Fp en el PTG

3.2 Evaluación Elementos del circuito seleccionado

Siguiendo con los pasos de la auditoría especificados en el capítulo dos, y después de haber realizado la búsqueda del circuito de mayor consumo, se procede a realizar el análisis de cada uno de los elementos que conforman este circuito.

Los elementos a analizar son los siguientes, y se encuentran conformando el circuito como se observa en la figura 3.5.

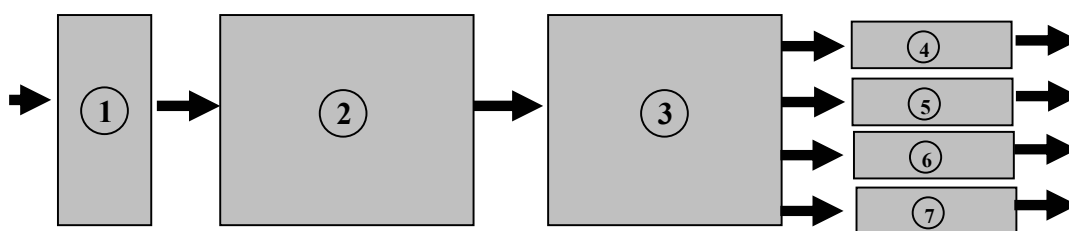


Figura 3.5 Componentes del circuito de mayor consumo

1. Transformador
2. Conductor tramo subestación -Tablero general 2
3. Conductores: Tramo tablero general 2 – Tablero distribución T8
Tramo tablero general 2 – Tablero distribución T9
4. Aires acondicionados
5. Iluminación
6. Cámaras de bioseguridad
7. Neveras

3.2.1 Evaluación exergética del transformador

En el circuito a analizar este elemento no es el final de la cadena, se considera como de paso, es decir no transforma la energía eléctrica en ninguna otra clase de energía, si no que cambia algunas características de la electricidad y otras las deja constantes.

En el transformador la entrada y salida de energía dependen de la carga, por ésta razón, no siempre éste trabaja a condiciones nominales de entrada.

El análisis exergético se realiza empleando el concepto de factor de inutilización y el análisis energético por medio del rendimiento energético.

Teniendo en cuenta que los dos transformadores tienen las mismas características de diseño, los análisis se realizaron según los siguientes datos

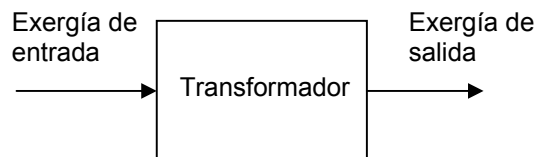


Figura 3.6 Flujos exergéticos de entrada y salida del transformador

La exergía de entrada está dada por las siguientes características:

- La tensión de entrada nominal o de diseño: 13200 V
- La corriente de entrada nominal o de diseño: 12,2 A
- El factor de potencia, el cual es variante en el tiempo y depende de la carga incluyendo el transformador como carga, pero para efectos prácticos se considera el factor de potencia de entrada igual que el de salida.

La exergía de salida está dada por las siguientes características:

- La tensión de salida nominal o de diseño: 220 V
- La corriente de salida nominal o de diseño: 787,81 A
- El factor de potencia, el cual es variante con el tiempo y depende de la carga.



Figura 3.7 Flujos energéticos de entrada y salida del transformador

La energía de salida está dada por las siguientes características:

- La tensión de salida medida, cuyo valor varía con el tiempo.
- La corriente de salida medida, cuyo valor varía con el tiempo.
- El factor de potencia, el cual es variante con el tiempo y depende de la carga.

La energía de entrada es hallada con los anteriores valores y con los valores teóricos de pérdidas del transformador.

Con las anteriores características se obtiene una potencia activa y una potencia reactiva, con la cual se hallan las energías y exergías activa y reactiva respectivamente de la siguiente manera:

- Exergía activa de entrada: $\int \sqrt{3} * 13200 \text{ V} * 12,2 \text{ A} * [\text{Cos}\theta] dt \quad (3.1)$

- Exergía reactiva de entrada: $\int \sqrt{3} * 13200 \text{ V} * 12,2 \text{ A} * [\text{Sen}\theta] dt \quad (3.2)$

- Exergía activa de salida: $\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 787,81 \text{ A} * [\text{Cos}\theta] dt$ (3.3)

- Exergía reactiva de salida: $\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 787,81 \text{ A} * [\text{Sen}\theta] dt$ (3.4)

- Energía activa de salida: $\int \sqrt{3} * V(t) * I(t) * [\text{Cos}\theta] dt$ (3.5)

- Energía reactiva de salida: $\int \sqrt{3} * V(t) * I(t) * [\text{Sen}\theta] dt$ (3.6)

- Energía activa de entrada: Energía Activa de Salida + Pérdidas*24 h (3.7)

Las pérdidas se obtienen de las ecuaciones 2.5, 2.3 y 2.2

- Energía reactiva de entrada:

$$\text{Energía reactiva de salida} = \text{Energía activa de entrada} * \frac{\text{Energía reactiva de salida}}{\text{Energía activa de salida}} * 100\% \quad (3.8)$$

- El porcentaje de inutilización con la energía activa:

$$\% \text{Inutilización P} = \frac{\left(\int \sqrt{3} * 220 * 787,81 * (\text{cos}\theta) dt \right) - \int \sqrt{3} * V(t) * I(t) (\text{cos}\theta) dt}{\left(\int (\text{cos}\theta) * \sqrt{3} * 220 * 787,81 dt \right)} * 100\% \quad (3.9)$$

Este factor representa la porción de energía activa que el transformador esta dejando de utilizar, suponiendo que solo transportara este tipo de energía.

- El porcentaje de inutilización con la energía reactiva:

$$\%Inutilización Q = \frac{(\sqrt{3} * 220 * 787,81 * \int (\text{sen}\theta)dt) - \int \sqrt{3} * V(t) * I(t) * (\text{sen}\theta)dt}{(\sqrt{3} * 220 * 787,81 * \int (\text{sen}\theta)dt)} * 100\% \quad (3.10)$$

Este factor representa la porción de energía reactiva que el transformador esta dejando de utilizar, suponiendo que solo transportara este tipo de energía.

- El porcentaje de inutilización TOTAL:

$$\%Inutilización TOTAL = \frac{\text{Exergía activa de salida} - \text{Energía aparente de salida}}{\text{Exergía activa de salida}} * 100 \quad (3.11)$$

- Rendimiento energético:

$$\eta = \frac{\text{Energía activa de salida}}{\text{Energía activa de entrada}} * 100\% = \frac{\text{Energía activa de salida}}{\text{Energía activa de salida} + \text{Pérdidas}} * 100\% \quad (3.12)$$

Según la ecuación 3.9 a medida que la corriente se acerque a 787,81 A, el factor de inutilización se acercara a 0%, pero las pérdidas del cobre se acercan al valor de las pérdidas a régimen nominal, es decir, el transformador estaría perdiendo la máxima cantidad de potencia en sus devanados y en el hierro.

Con lo anterior se deduce que hay que encontrar el punto más eficiente para el transformador, teniendo en cuenta las pérdidas y a su vez teniendo en cuenta que el porcentaje de inutilización sea bajo.

A continuación se realiza el cálculo tipo de los valores anteriormente descritos para el transformador de la subestación 1. En las tablas 3.1 y 3.2 se muestran los resultados para cada uno de los transformadores.

Transformador Subestación 1

Haciendo uso de las ecuaciones desde la 3.1 hasta la 3.7 se obtiene:

- Exergía activa de entrada: $\int \sqrt{3} * 13200 \text{ V} * 12,2 \text{ A} * [\text{Cos}\theta] dt$

Exergía activa de entrada: 5348,388 kWh-día

- Exergía reactiva de entrada: $\int \sqrt{3} * 13200 \text{ V} * 12,2 \text{ A} * [\text{Sen}\theta] dt$

Exergía reactiva de entrada: 3850,928 kVArh-día

- Exergía activa de salida: $\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 787,81 \text{ A} * [\text{Cos}\theta] dt$

Exergía activa de salida: 5756,167 kWh-día

- Exergía reactiva de salida: $\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 787,81 \text{ A} * [\text{Sen}\theta] dt$

Exergía reactiva de salida: 4144,535 kVArh-día

- Energía activa de salida: $\int \sqrt{3} * V(t) * I(t) * [\text{Cos}\theta] dt$

Según el anexo 7

Energía activa de salida: 446,945 kWh-día

- Energía reactiva de salida: $\int \sqrt{3} * V(t) * I(t) * [\text{Sen}\theta] dt$

Según el anexo 7

Energía reactiva de salida: 264,094 kVArh-día

- Energía activa de entrada

Índice medio

$$I_c = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n I_j^2 t_j}{\sum_{j=1}^n t_j}} \quad (2.2)$$

Índice Medio trifásico = 104,078

Índice de carga

$$C_M = \frac{I_c}{I_N} = \frac{I_c}{787.81} \quad (2.3)$$

C_M Trifásico= 0,1321

Haciendo uso de la ecuación 2.5.

$$P_{perdidas} = P_o + P_{cu} = 765 + C^2 3575$$

$$P_{perdidas} = P_o + P_{cu} = 765 + 0,1321^2 * 3575$$

$$P_{perdidas} = P_o + P_{cu} = 827,38W$$

Energía activa de entrada = 446,945+0.827*24h = 466.793kWh-día

- Energía reactiva de entrada

$$\text{Energía reactiva de salida} = \text{Energía activa de entrada} * \frac{\text{Energía reactiva de salida}}{\text{Energía activa de salida}} \quad (3.8)$$

$$\text{Energía reactiva de salida} = 466,793 * \frac{264,094}{464,945} = 265,144$$

Energía reactiva de entrada= 265,144 kVAh-día

Porcentajes de Inutilización

$$\%Inutilización P = \frac{\text{Exergía activa de salida} - \text{Energía activa de salida}}{\text{Exergía activa de salida}} * 100\% \quad (3.9)$$

$$\%Inutilización P = \frac{5756,167 \text{ kWh} - \text{dia} - 446,945 \text{ kWh} - \text{dia}}{5756,167 \text{ kWh}} * 100\%$$

$$\%Inutilización P = 92,235\%$$

$$\%Inutilización Q = \frac{\text{Exergía reactiva de salida} - \text{Energía reactiva de salida}}{\text{Exergía reactiva de salida}} * 100\% \quad (3.10)$$

$$\%Inutilización Q = \frac{4144,535 \text{ kVArh} - \text{dia} - 264,094 \text{ kVArh} - \text{dia}}{4144,535 \text{ kVArh} - \text{dia}} * 100\%$$

$$\%Inutilización Q = 93,628\%$$

$$\%Inutilización TOTAL = \frac{\text{Exergía Activa de salida} - \text{Energía Aparente de salida}}{\text{Exergía Activa de salida}} * 100 \quad (3.11)$$

$$\%Inutilización TOTAL = \frac{5756,167 \text{ kWh} - \text{dia} - 525087,312 \text{ kVAh} - \text{dia}}{5756,167 \text{ kWh} - \text{dia}} * 100\%$$

$$\%Inutilización TOTAL = 90.878\%$$

Rendimiento energético:

$$\eta = \frac{\text{Energía Activa de salida}}{\text{Energía Activa de entrada}} * 100\% = \frac{446,946 \text{ kWh} - \text{dia}}{466,793 \text{ kWh} - \text{dia}} * 100\%$$

$$\eta = 95,748\%$$

$$\int \cos \phi = 19,1747666 \ 9$$

$$\int \text{sen} \phi = 13,8061074 \ 5$$

	Exergía Activa kWh-dia	Exergía Reactiva kVArh-dia	Energía Activa kWh-dia	Energía Reactiva kVArh-dia	Energía Aparente kVAh-dia
Entrada	5348,407	3850,930	466,793	265,144	
Salida	5756,187	4144,537	446,946	264,094	525,087
	% Inutilización P=			92,235	%
	% Inutilización Q=			93,628	%
	% Inutilización Total=			90,878	%
	Rendimiento energético=			95,748	%

Tabla 3.1 Resumen resultados transformador subestación 1.

Aunque los porcentajes de inutilización son muy altos, también es necesario analizar los picos de demanda.

La potencia aparente pico que se obtuvo de la toma de medidas fue 38,555 kVA, lo cual indica que el transformador entrega máximo el 13% de su capacidad nominal, esto se puede observar en la figura 3.8.

Con las ecuaciones 2.12 y 2.13, se halla el Índice de carga ideal (3.13), que para este transformador es de 0,463 con un porcentaje de inutilización del 53,67%.

$$C = \sqrt{\frac{P_o}{P_{cc}}} = \sqrt{\frac{765}{3575}} = 0,463 \quad (3.13)$$

Sin embargo actualmente se encuentra en 0,396, lo cual indica que el transformador esta por debajo de la carga ideal para su máxima eficiencia.

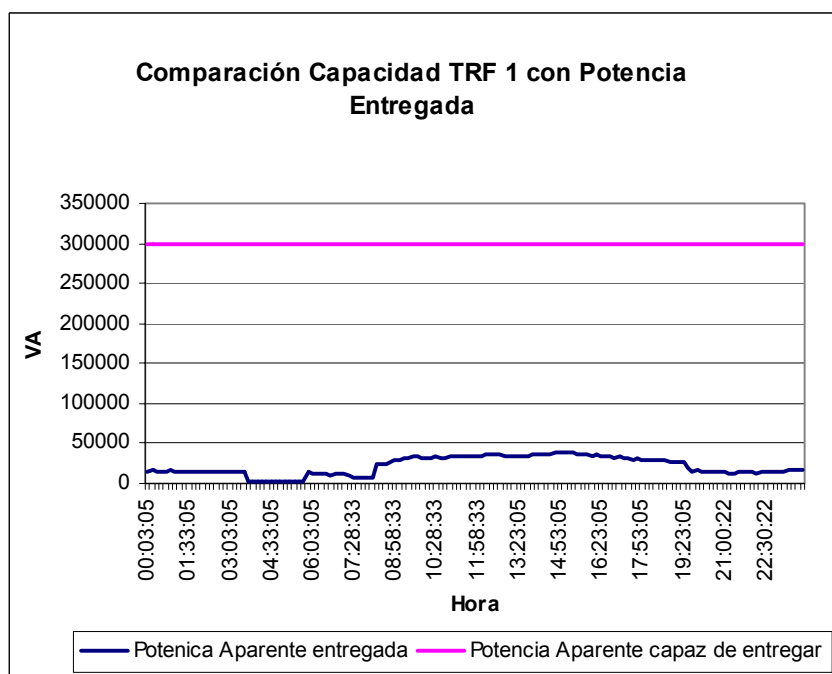


Figura 3.8. Comparación capacidad TRF 1 con potencia entregada

Es importante también analizar el factor de potencia que registra la carga de esta subestación, para acotar el problema del cobro de reactiva por parte de la empresa suministradora del servicio al PTG. Estas condiciones se observan en la figura 3.9.

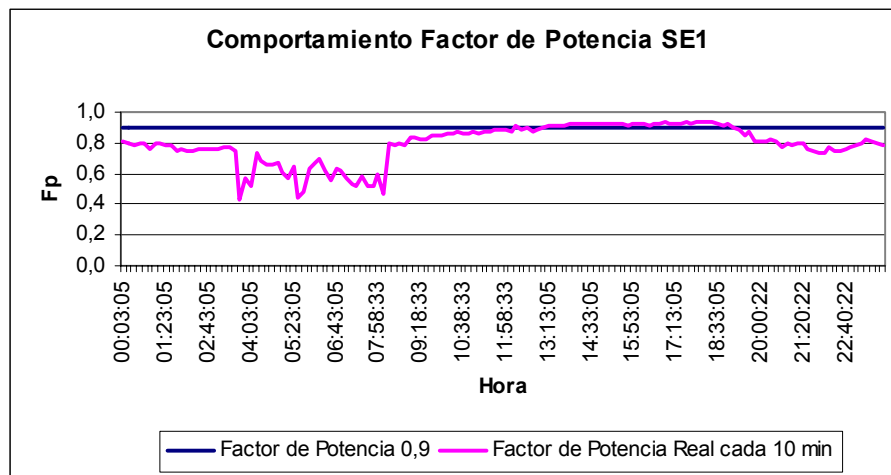


Figura 3.9. Comparación factor de potencia para la carga de la SE1

El 74,31% del tiempo, el factor de potencia de la carga que supe la subestación 1 esta por debajo de 0,9.

Transformador Subestación 2

Realizando los mismos cálculos que con el transformador de la subestación 1, pero teniendo los datos y resultados de la subestación presentados en el anexo 8 y los siguientes datos, se obtienen los resultados de la tabla3.2.

$$\int [Cos \theta] dt = 19,586$$

$$\int [Sen \theta] dt = 3,028$$

Índice medio

$$I_c = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n I_j^2 t_j}{\sum_{j=1}^n t_j}} \quad (2.2)$$

Índice Medio trifásico = 20,356

Índice de carga (ecuación 2.3):

$$C_M = \frac{I_c}{I_N} = \frac{I_c}{787,81}$$

C_M trifásico = 0,0261

Potencia perdida hallada con ecuación 2.5

$$P_{perdidas} = P_o + P_{cu} = 765 + C^2 3575$$

$$P_{perdidas} = P_o + P_{cu} = 765 + 0,0261^2 * 3575$$

$$P_{perdidas} = P_o + P_{cu} = 767.435W$$

Porcentajes de inutilización

Haciendo uso de las ecuaciones 3.9, 3.10 y 3.11 se obtiene:

$$\%Inutilización P = \frac{5879,637 \text{ kWh - dia} - 133,174 \text{ kWh - dia}}{5879,637 \text{ kWh}} * 100\%$$

$$\%Inutilización = 97,735\%$$

$$\%Inutilización Q = \frac{908,993 \text{ kVArh - dia} - (|-11,287|) \text{ kVArh - dia}}{908,993 \text{ kVArh - dia}} * 100\%$$

$$\%Inutilización Q = 98,7583\%$$

$$\% \text{Inutilización TOTAL} = \frac{5879,637 \text{ kWh - dia} - 157,492 \text{ kVAh - dia}}{5879,637 \text{ kWh - dia}} * 100\%$$

$$\% \text{Inutilización TOTAL} = 97,3214\%$$

Rendimiento energético

$$\eta = \frac{133,174 \text{ kWh - dia}}{151,592 \text{ kWh - dia}} * 100\%$$

$$\eta = 87,85\%$$

$$\int \cos \phi = 19,58651926 \quad \int \text{sen } \phi = 3,027632$$

	Exergía Activa kWh-día	Exergía Reactiva kVArh-día	Energía Activa kWh-día	Energía Reactiva kVArh-día	Energía Aparente kVAh-día
Entrada	5463,257	844,496	151,592	-12,849	
Salida	5879,793	908,883	133,174	-11,288	157,492
% Inutilización P=			97,735	%	
% Inutilización Q=			98,758	%	
% Inutilización TOTAL=			97,321	%	
Rendimiento energético=			87,850	%	

Tabla 3.2 Resumen resultados transformador subestación 2.

Aunque los porcentajes de inutilización son muy altos, también es necesario analizar los picos de demanda.

La potencia aparente pico que se obtuvo de la toma de medidas fue 17,289 kVA, lo cual indica que el transformador entrega máximo el 6% de su capacidad nominal, esto se puede observar en la figura 3.10.

Con las ecuaciones 2.12 y 2.13, se halla el Índice de carga ideal (3.13), que para este transformador es de 0,463 con un porcentaje de inutilización del 54,65%.

$$C = \sqrt{\frac{P_o}{P_{cc}}} = \sqrt{\frac{765}{3575}} = 0,463$$

Actualmente se encuentra en 0,781, lo cual indica que el transformador no alcanza sus pérdidas nominales, pero no tiene la carga ideal para un rendimiento máximo.

Como se dijo anteriormente es importante también analizar el factor de potencia que registra la carga de esta subestación, para acotar el problema del cobro de reactiva por parte de la empresa suministradora del servicio al PTG, este análisis se observa en la figura 3.11.

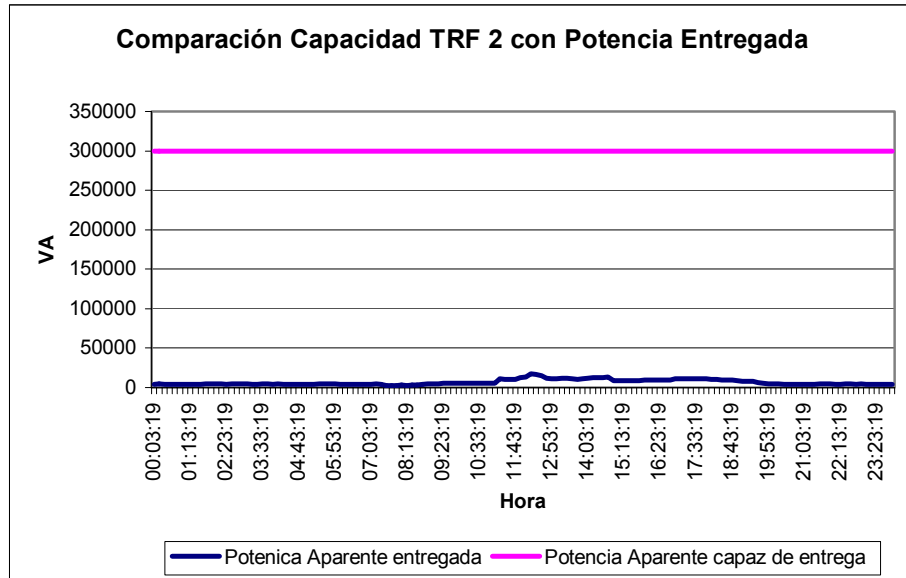


Figura 3.10 Comparación Capacidad TR2 con potencia entregada.

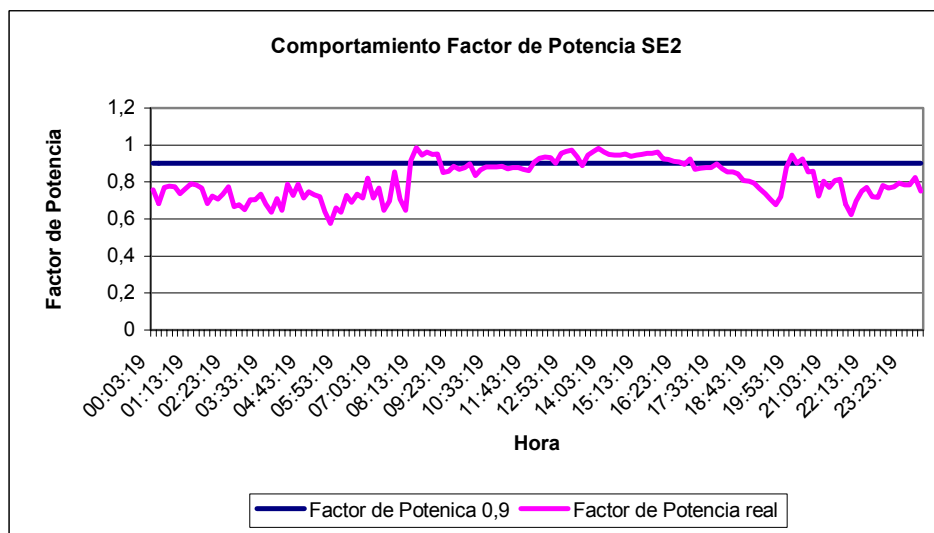


Figura 3.11 Comportamiento factor de potencia Subestación 2.

El 74,31 % del tiempo el factor de potencia es menor a 0,9, la diferencia radica en que la potencia reactiva que hace que éste baje, puede estar siendo entregada por el banco de condensadores que está en paralelo con la carga, es decir, aunque la carga de esta subestación está compensada, el factor de potencia sigue siendo bajo.

La subestación dos no aporta al cobro en reactivos ya que la ESSA, sólo penaliza cuando este factor es inductivo, y en esta subestación es capacitivo en casi todo el tiempo como se observa en la figura 3.12, esto puede causar sobretensiones en algunos puntos del sistema que pueden ser perjudiciales para los equipos.

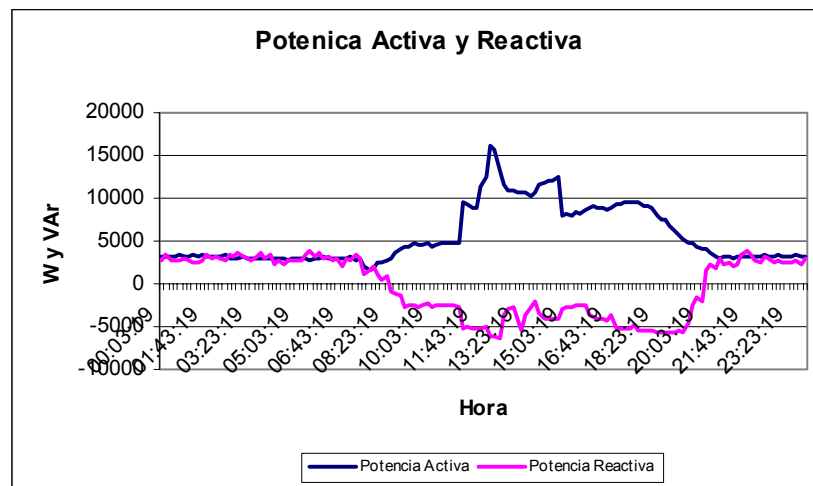


Figura 3.12. Potencia activa y reactiva consumida por SE2

3.2.2 Evaluación energética y exergética de conductores

En una industria como el PTG es muy importante analizar los conductores, ya que son parte fundamental de la instalación eléctrica, por tener un propósito tan importante como es el de transportar energía.

Los conductores al igual que los transformadores son elementos de paso que están destinados a transportar energías (activas, reactivas o ambas)

Aunque la función del conductor no discrimina la clase de energía a transportar, al existir la posibilidad de compensar la energía reactiva y aumentar la capacidad de transporte del conductor, siempre se trata que la corriente que ocupa el conductor sea la activa, esto se justifica a continuación.

La corriente se puede descomponer en corriente activa y reactiva, como se muestra en la figura 3.13.

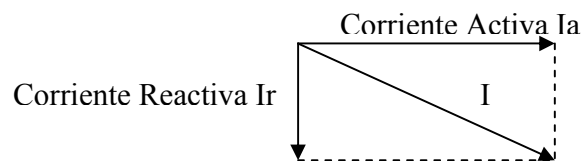


Figura 3.13 Componentes de la corriente.

La corriente total que transportan los conductores se puede calcular como lo expresa la ecuación 3.14.

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad (3.14)$$

Donde:

$$I_a = I \cos \phi$$

$$I_r = I \sin \phi$$

Al multiplicar cada una de las anteriores corrientes por la tensión, se encuentran las ecuaciones 3.15 y 3.16, que son las potencias activa y reactiva respectivamente.

$$P = \sqrt{3}V_L I_L \cos \phi \quad (3.15)$$

$$Q = \sqrt{3}V_L I_L \sin \phi \quad (3.16)$$

La potencia aparente que al evaluarse en un periodo de tiempo es la energía total transportada por los conductores está dada por la expresión 3.17.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.17)$$

El factor de potencia está dado por la ecuación 3.18.

$$Fp = \frac{P}{S} \quad (3.18)$$

El factor de potencia es la relación que expresa el porcentaje de energía que debería transportar con la que suministra realmente.

El buen desempeño de los conductores eléctricos depende en gran medida del factor de potencia que registre la instalación, ya que un bajo factor de potencia implica pérdidas y baja disponibilidad o capacidad en los conductores, y un alto factor de potencia implica que la mayoría de la potencia transportada por los conductores está siendo transformada al final del circuito en trabajo útil.

Las consecuencias de tener un factor de potencia bajo, son altas pérdidas por calor en los conductores, ya que se transportan las dos corrientes y se reduce la capacidad del conductor para transportar corriente activa.

El suministro de corriente reactiva es necesario para que equipos eléctricos (transformadores, lámparas fluorescentes, motores, equipos de soldadura, etc.), funcionen, sin embargo, se puede generar localmente evitando que pase por los conductores, y por tanto, evitar las pérdidas asociadas a ella.

Las pérdidas totales de energía están dadas por:

$$Energía_{pérdida} = (I)^2 * R * t \quad (3.19)$$

$$Energía_{pérdida} = (I_a^2 + I_r^2) * R * t \quad (3.20)$$

Las pérdidas inevitables están dadas por:

$$Exergía_{destruida} = (I_a^2) * R * t \quad (3.21)$$

La forma de obtener una mayor eficiencia en el transporte de la potencia a través de los conductores, es que éstos transporten solamente la energía activa.

Como en el caso particular de las industrias, la corriente reactiva suele ser de carácter inductivo; es decir la corriente se encuentra atrasada 90° con respecto a la tensión. La solución es, conectar condensadores en paralelo al equipo que está necesitando la corriente reactiva, para que éstos tomen una corriente reactiva que esté adelantada 90° con la tensión y así, al estar en oposición de fase con respecto a la inductiva, se reduzca la corriente reactiva total transportada por los conductores.

Algunas otras ventajas de la compensación son:

- Se puede impedir penalizaciones como las que se presentan en el PTG por parte de la ESSA por tener un factor de potencia más bajo que 0,9.

- Se aumenta la potencia disponible en el transformador de alimentación.
- Se disminuyen las caídas de tensión.
- Se reducen las pérdidas eléctricas.

Con lo anteriormente mencionado se mejora la capacidad del conductor para transportar energía activa, y no se perjudica el proceso, ya que la energía reactiva necesaria a la salida se suministra sin ocupar el conductor.

En el circuito a evaluar se encuentran 3 tramos de conductores importantes para analizar, el primero es el tramo que comprende desde la subestación hasta el tablero general 2, el segundo tramo a considerar es el que empieza en el tablero general 2 y termina en el tablero de distribución T8 y el tercero y último es el que va desde TG2 hasta T9.

El primer análisis que se hace es la cuantificación y comparación entre la energía activa y la reactiva que estos tres tramos transportan.

Primer tramo: Subestación- TG2

El comportamiento del factor de potencia es muy parecido al del transformador de la subestación que alimenta este tramo de los conductores como se observa en las figuras 3.14 y 3.15, se quiso analizar un poco más profundamente este comportamiento analizando por fases para observar cual transporta la mayor cantidad de reactiva.

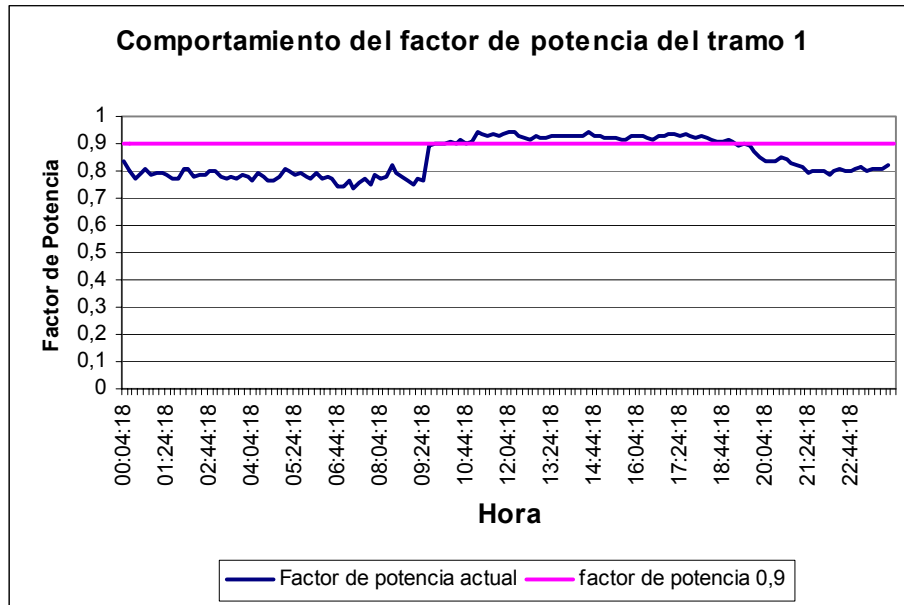


Figura 3.14 Comportamiento del factor de potencia del tramo 1.

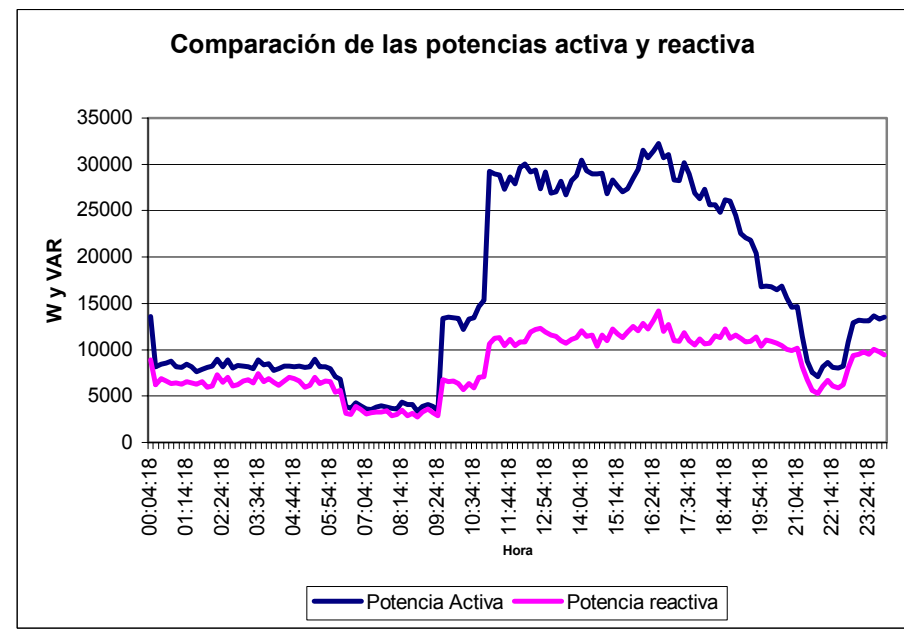


Figura 3.15 Comparación del consumo de las potencias activa y reactiva

Para este tramo se tomaron medidas aguas abajo y aguas arriba del conductor cada 10 minutos a diferentes horas, y en diferentes días las cuales arrojaron los siguientes resultados.

Datos tomados aguas arriba del conductor:

Punto 1 en la Figura 3.16: Datos tomados durante 24 horas.

Punto 2 en la Figura 3.16: Datos tomados durante 15 horas desde 09:34:18 hasta 00:04:18.

Punto 3 en la Figura 3.16: Datos tomados durante 19 horas desde 11:04:18 hasta 06:14:18.

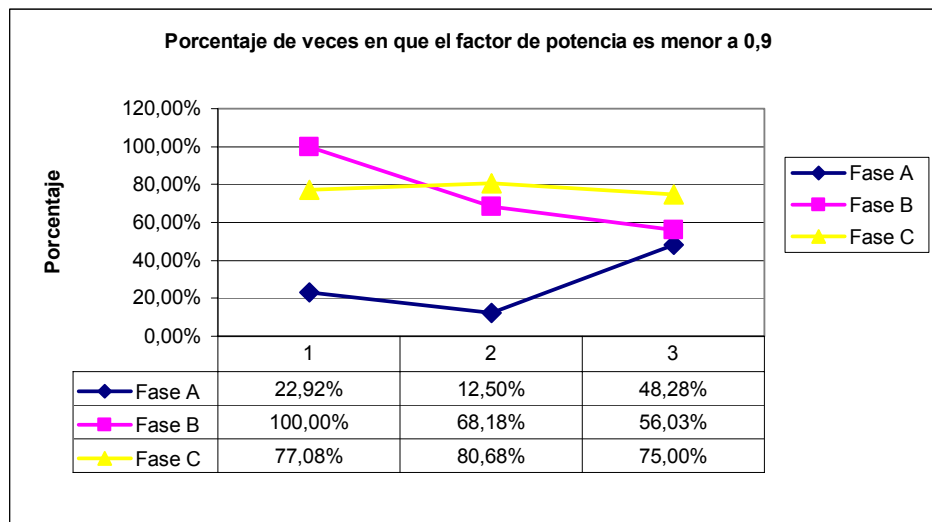


Figura 3.16 Datos tomados aguas arriba

Datos tomados aguas abajo del conductor:

Punto 1 en la Figura 3.17: Datos tomados durante 13 horas desde 16:28:45 hasta las 05:38:45.

Punto 2 en la Figura 3.17: Datos tomados durante 6 horas desde 14:48:45 hasta 01:38:45.

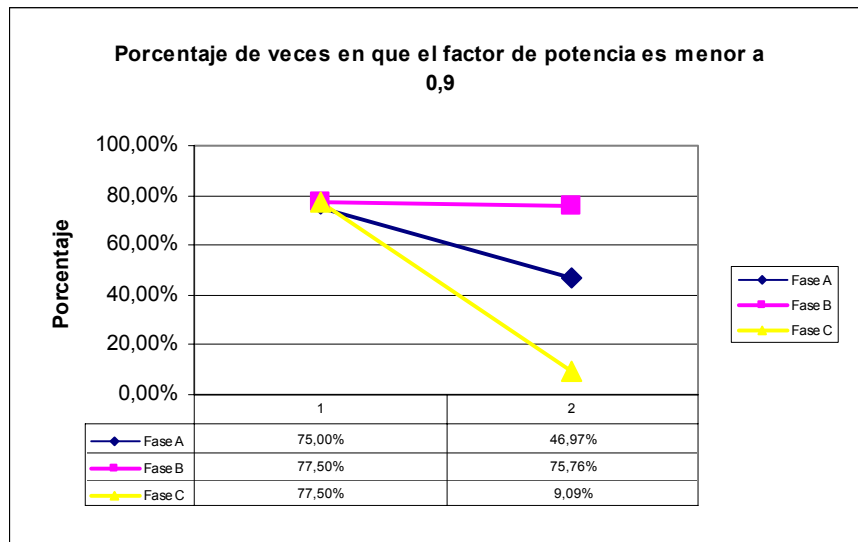


Figura 3.17 Datos tomados aguas abajo

Como se puede observar de las dos gráficas, la fase C es la que está más cargada con elementos inductivos, ya que es la que requiere más potencia reactiva, y por esta razón son los conductores de esta fase los más vulnerables a la hora de hacer cálculos de pérdidas por calentamiento, pero también son ellos, los candidatos más idóneos para realizar una mejora con respecto a compensación.

Conductores de SE 1 -TG2:

Los análisis energéticos y exergéticos se realizan teniendo en cuenta los siguientes datos

El conductor tiene las siguientes características:

- Calibre 350 MCM ACAR
- Capacidad de corriente: 310 A
- Resistividad: 0,1879 ohm/km
- Longitud: 40 m
- El tramo lleva 2 conductores por fase.

Para los anteriores conductores las exergías y energías de entrada y salida se consideran como sigue:

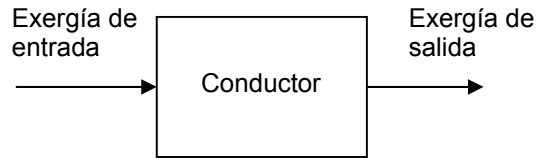


Figura 3.18 Flujos exergéticos de entrada y salida del conductor

La exergía de entrada está dada por las siguientes características:

- La tensión de entrada nominal o de diseño: 220 V
- La corriente de entrada nominal o de diseño: $310 \text{ A} \cdot 2$ ya que el tramo posee 2 conductores por fase.
- El factor de potencia: es variante en el tiempo y depende de la carga incluyendo el conductor como carga.

La exergía de salida está dada por las siguientes características:

- La tensión de salida nominal o de diseño: 220 V
- La corriente de salida nominal o de diseño: $310 \text{ A} \cdot 2$
- La pérdidas de potencia, las cuales son iguales a: $2 \cdot R \cdot (310 \text{ A})^2$ donde R es función de la resistividad del conductor y de la longitud de éste.
- El factor de potencia, el cual es variante con el tiempo y depende de la carga

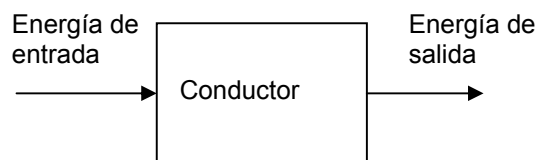


Figura 3.19 Flujos energéticos de entrada y salida del conductor

La energía de salida está dada por las siguientes características:

- La tensión de salida medida cuyo valor varía con el tiempo
- La corriente de salida medida cuyo valor varía con el tiempo
- El factor de potencia, el cual es variante con el tiempo y depende de la carga

La energía de entrada se halla con los anteriores valores y con los valores teóricos de pérdidas del conductor.

Con las características anteriormente descritas se obtiene una potencia activa y una potencia reactiva, con la cual se hallan las energías y exergías activa y reactiva, de la siguiente manera:

- Exergía activa de entrada: $\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 310 * 2 \text{ A} * [\text{Cos } \theta] dt$

Exergía activa de entrada: 4799,07 kWh-día

- Exergía reactiva de entrada: $\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 310 * 2 \text{ A} * [\text{Sen } \theta]$

Exergía reactiva de entrada: 2924 kVArh-día

- Exergía activa de salida:

$$\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 310 \text{ A} * 2 * [\text{Cos } \theta] dt - (0,044 \text{ km} * 0,1879 \text{ ohm/km}) * (310)^2 * 2 * 24 \text{ h}$$

Exergía activa de salida: 4722,8 kWh-día

- Exergía reactiva de salida:

$$\int \sqrt{3} * 220 \text{ V} * 310 \text{ A} * 2 * [\text{Sen } \theta] dt - (0,044 \text{ km} * 0,1879 \text{ ohm/km}) * (310)^2 * 2 * 24 \text{ h}$$

Exergía reactiva de salida: 2847,73 kVArh-día

- Energía activa de salida: $\int \sqrt{3} * V(t) * I(t) * [\text{Cos}\theta] dt$

Según el anexo 9

Energía activa de salida: 382,94 kWh-día

- Energía reactiva de salida: $\int \sqrt{3} * V(t) * I(t) * [\text{Sen}\theta] dt$

Según el anexo 9

Energía reactiva de salida: 198,804 kVAh-día

- Energía aparente de salida: $\int \sqrt{3} * V(t) * I(t) dt$

Según el anexo 9

Energía aparente de salida: 434,783 kVAh-día

- Energía aparente de entrada

Energía aparente de salida + $(0,044 \text{ km} * 0,1879 \text{ ohm/km}) * \left(\int I(t)^2 dt \right)$

Energía aparente de entrada = 434,783 kVAh-día + $(0,044 \text{ km} * 0,1879 \text{ ohm/km}) * 627,939 \text{ A}^2\text{-día}$

Energía aparente de entrada = 439,974 kVAh-día

Porcentaje de inutilización

El análisis se realizó por medio del concepto de % de inutilización debido a que los conductores no trabajan a régimen nominal, es decir su entrada no siempre es la de diseño.

Haciendo uso de las ecuaciones 3.9, 3.10 y 3.11 se obtiene:

$$\% \text{Inutilización } P = \frac{4722,8 \text{ kWh - día} - 382,94 \text{ kWh - día}}{4722,8 \text{ kWh - día}} * 100 = 91,891\%$$

Si el conductor solo transportara energía activa, éste se estaría inutilizando en un 91,9 %

$$\%Inutilización Q = \frac{2847,73 \text{ kVArh - dia} - 198,804 \text{ kVArh - dia}}{2847,73 \text{ kVArh - dia}} * 100 = 93,01\%$$

Si el conductor solo transportara energía reactiva, éste se estaría inutilizando en un 93.01 %

$$\%Inutilización TOTAL = \frac{4722,8 \text{ kWh - dia} - 338,9193 \text{ kVAh - dia}}{4722,8 \text{ kWh - dia}} * 100 = 92,8237\%$$

Rendimiento energético

Haciendo uso de la ecuación 3.12.

$$\eta = \frac{434,783 \text{ kWh - dia}}{439,974 \text{ kWh - dia}} * 100\%$$

$$\eta = 98,820\%$$

	Exergía Activa kWh-día	Exergía Reactiva kVArh-día	Energía Activa kWh-día	Energía Reactiva kVArh-día	Energía Aparente kVAh-día
Entrada	4799,070	2924,000	388,132	203,995	439,975
Salida	4722,800	2847,730	382,940	198,804	434,783
% Inutilización P=			91,900	%	
% Inutilización Q=			93,010	%	
% Inutilización TOTAL=			92,823	%	
Rendimiento =			98,820	%	

Tabla 3.3 Resumen resultados tramo 2.

En un 92,823 % se puede mejorar el transporte en estos conductores ya que si toda la potencia aparente que está saliendo, fuera potencia activa, el conductor estaría entregando su máxima capacidad sin alterar su eficiencia inherente.

Aún cuando la idea es que los 198,804 kVArh-día no sean transportados por el conductor, si así lo fuera, la capacidad que tiene éste de transportar grandes cantidades de energía al estar sobredimensionado, hace que se esté subutilizado el conductor. Es decir, teniendo en cuenta que la inversión del conductor ya está hecha, la compensación se haría sólo para reducir las pérdidas por calentamiento debido a la corriente reactiva y para aumentar el factor de potencia de todo el conjunto de carga.

Tramo 2: TG2 – t8

El análisis de este tramo se realiza igual que el del tramo uno, teniendo en cuenta los factores de potencia obtenidos para cada una de las fases, como se observan en las figuras 3.20, 3.21, 3.22, y 3.23.

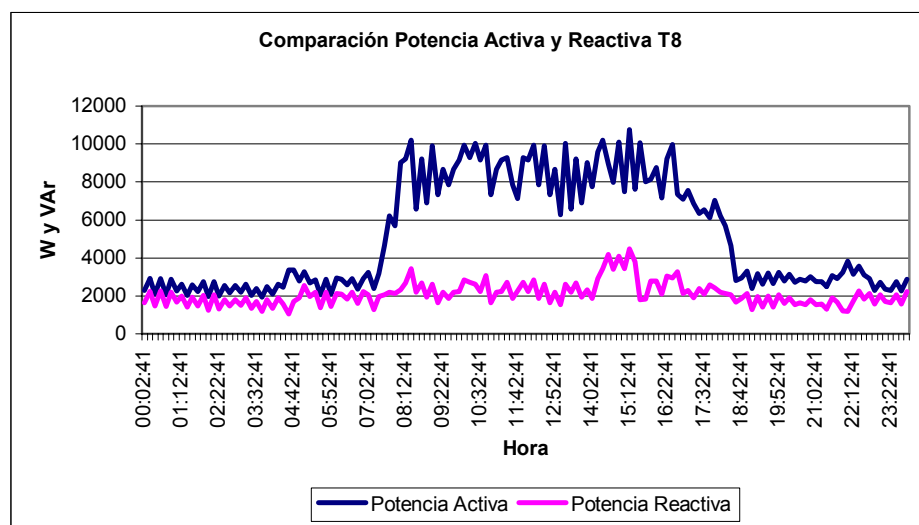


Figura 3.20 Comparación potencia activa y reactiva tramo 2

Para este tramo se tomaron medidas aguas arriba del conductor cada 10 minutos en diferentes días, las cuales arrojaron los siguientes resultados.

Datos tomados aguas arriba

Fase A: el 41,67 % del tiempo el factor de potencia es más bajo que 0,9.

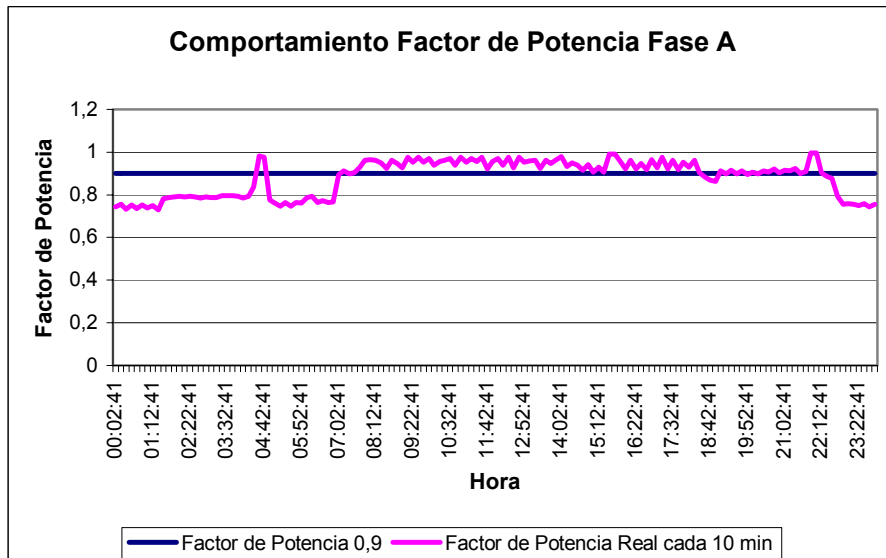


Figura 3.21 Comportamiento factor de potencia tramo 2, Fase A

Fase B: el 50,69 % del tiempo el factor de potencia es más bajo que 0,9.

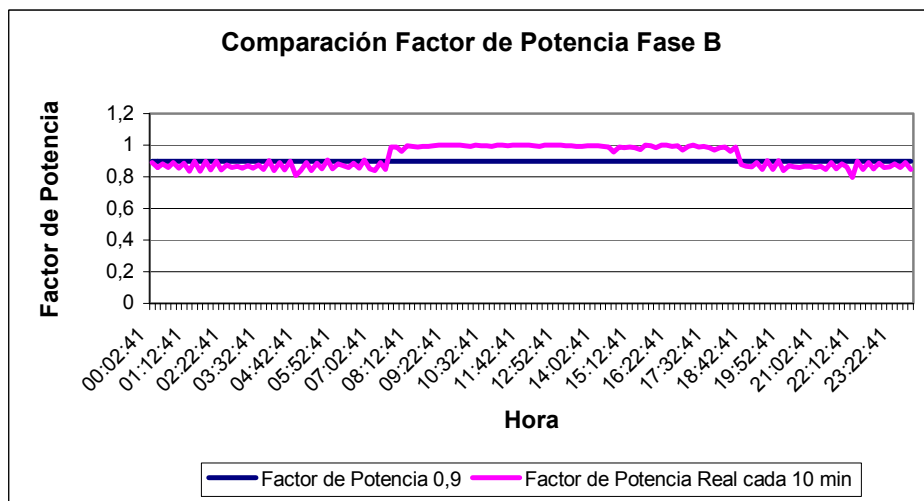


Figura 3.22 Comportamiento factor de potencia tramo 2, Fase B

Fase C: El 100 % del tiempo el factor de potencia es más bajo que 0.9.

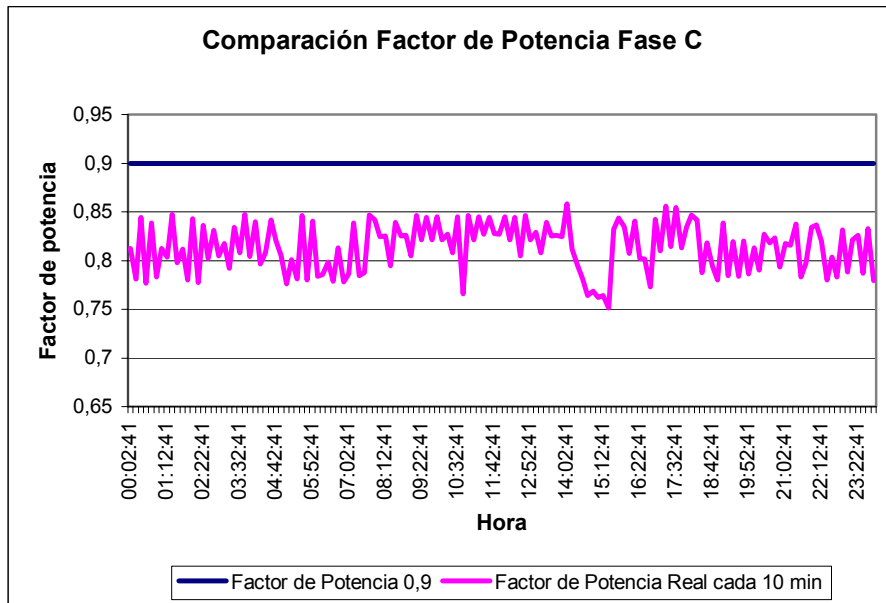


Figura 3.23 Comportamiento factor de potencia tramo 2, Fase C

El análisis de % de inutilización se realizó de la misma manera que en el tramo anterior, teniendo en cuenta las características particulares de este conductor, y que los datos fueron tomados aguas arriba del conductor.

El conductor tiene las siguientes características

- Calibre #2 AWG THW ACSR
- Capacidad de corriente: 183 A
- Resistividad: 1,012 ohm/km
- Longitud: 50 m
- El tramo lleva 1 conductores por fase

Los datos medidos y calculados para este tramo se observan en el anexo 10.

$$\int [\text{Cos } \theta] dt = 21,369874$$

$$\int [\text{Sen } \theta] dt = 10,28004864$$

	Exergia Activa kWh-día	Exergia Reactiva kVARh-día	Energía Activa kWh-día	Energía Reactiva kVARh-día	Energía Aparente kVAh-día
Entrada	1490,172	716,852	125,064	50,090	136,154
Salida	1449,503	676,183	121,978	47,004	133,068
% Inutilización P=			91,585	%	
% Inutilización Q=			93,049	%	
% Inutilización TOTAL=			90,607	%	
Rendimiento =			97,733	%	

Tabla 3.4 Resumen resultado tramo 2

Tramo 3: TG2 – T9

A continuación se presenta un tratamiento igual al anterior.

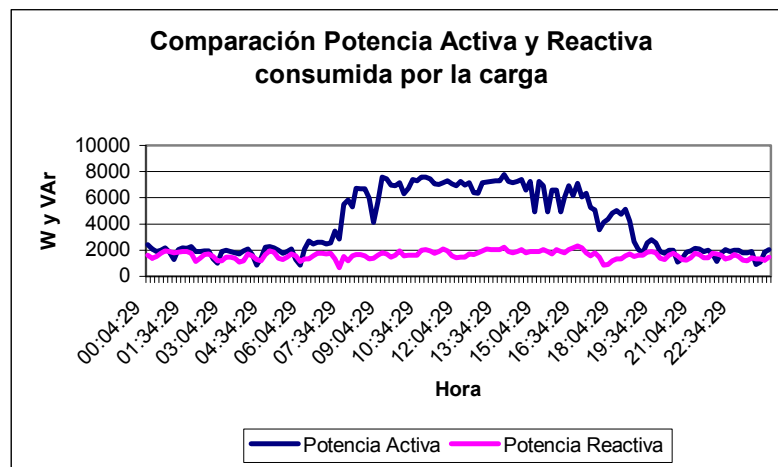


Figura 3.24 Comparación potencia activa y reactiva tramo 3

Para este tramo se tomaron medidas aguas arriba del conductor cada 10 minutos en diferentes días, las cuales arrojaron los resultados que se observan en las figuras 3.25, 3.26, 3.27.

Datos tomados aguas arriba del conductor:

Fase A: el 45,14% del tiempo el factor de potencia es más bajo que 0,9.

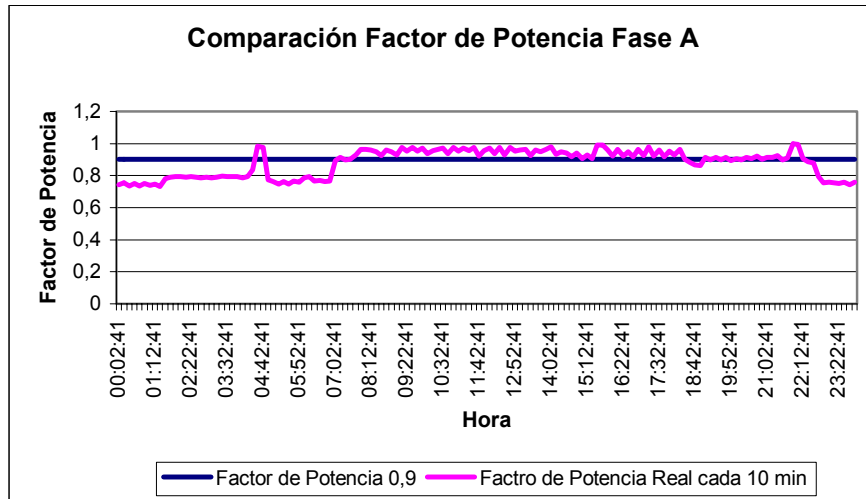


Figura 3.25 Comportamiento factor de potencia tramo 3, Fase A

Fase B: el 43,06% del tiempo el factor de potencia es más bajo que 0,9.

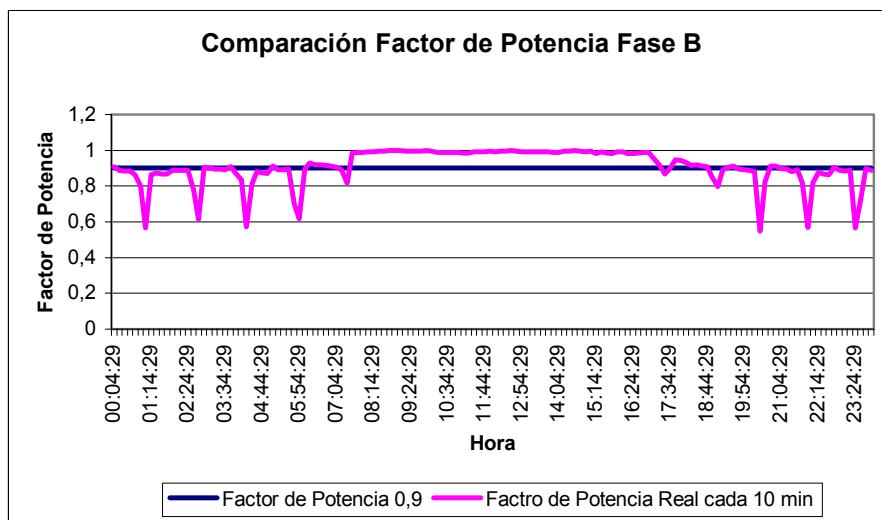


Figura 3.26 Comportamiento factor de potencia tramo 3, Fase B

Fase C: El 97,22 % del tiempo el factor de potencia es más bajo que 0,9.

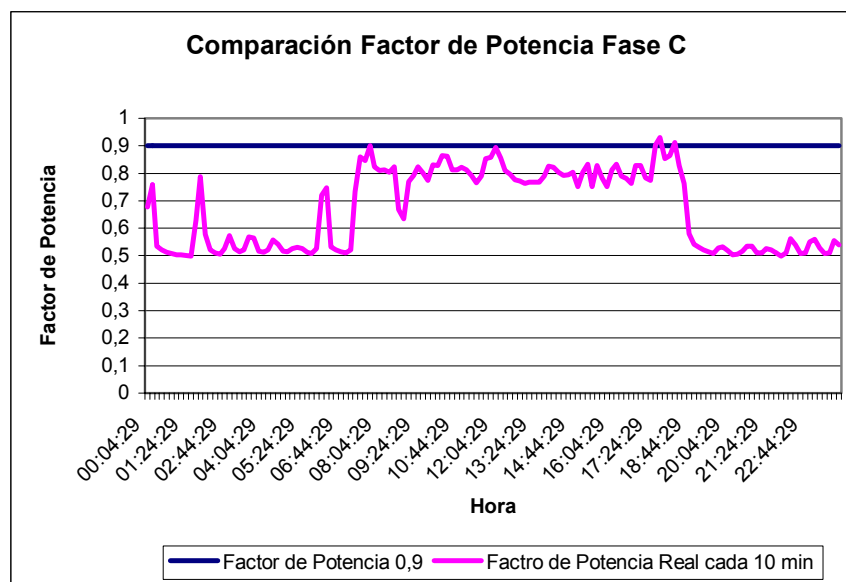


Figura 3.27 Comportamiento factor de potencia tramo 3, Fase C

Los resultados para este tramo se obtienen de forma similar a los dos anteriores, teniendo cuenta las características particulares de este conductor.

El conductor tiene las siguientes características:

- Calibre #2 AWG THW ACSR
- Capacidad de corriente: 183 A
- Resistividad: 1,012 ohm/km
- Longitud: 60 m
- El tramo lleva 1 conductores por fase

Los datos medidos y calculados para este tramo se observan en el anexo 11.

	Exergía Activa kWh-día	Exergía Reactiva kVArh-día	Energía Activa kWh-día	Energía Reactiva kVArh-día	Energía Aparente kVAh-día
Entrada	1433,510	753,175	96,630	38,857	106,211
Salida	1384,707	704,372	94,246	36,472	103,826
% Inutilización P=			93,194	%	
% Inutilización Q=			94,822	%	
% Inutilización TOTAL=			92,502	%	
Rendimiento=			97,755	%	

Tabla 3.5 Resumen resultado tramo 3.

3.2.3 Evaluación exergética y energética de la iluminación

Las lámparas fluorescentes que están instaladas en el CINTROP tienen las siguientes características:

Marca: General Electric

Referencia: FT32T8SP65ECO

Potencia: 32 W

Rendimiento: 84 lúmenes por watt

Flujo Luminoso Iniciales: 2700

Flujo Luminoso promedio: 2565

Cada Luminaria instalada tiene 2 bombillas

Porcentaje de luz visible: 23% de la energía de entrada

La evaluación se realizó por medio del porcentaje de deterioro, debido a que las lámparas analizadas consumen su potencia nominal, pero la salida no siempre es la exergía o capacidad de la lámpara. La ecuación 3.22 ilustra lo anterior.

$$\%Deterioro = \frac{\text{Capacidad luminica} - \text{Lumenes medidos}}{\text{Capacidad luminica}} * 100 \quad (3.22)$$

Para evaluar este factor, se midió con un luxómetro la iluminancia de cada recinto, con esta iluminancia se calculó el flujo que las lámparas emiten y se procedió a hacer el cálculo.

El flujo luminoso emitido por la lámpara se obtiene con la ecuación 3.23.

$$\phi = E * 2 * hm^2 \quad (3.23)$$

Donde hm es la altura de montaje de la lámpara con respecto al plano de trabajo y E es la iluminancia medida en luxes.

Los resultados se resumen en las tablas 3.6 y 3.7

ILUMINACIÓN - CARGA T8				
DESCRIPCIÓN	luxes medidos	Lumenes medidos por luminaria	Capacidad luminica por luminaria	Factor de deterioro
Iluminación Virologia	540	2430	5130	52,632%
Iluminación Destilacion	450	2025	5130	60,526%
Iluminación Lab. Insectisida	300	1350	5130	73,684%
Iluminación Cuarto de lavado	140	3049	5130	40,561%
Iluminación Molecular	300	1350	5130	73,684%
Iluminación pasillo	400	1800	5130	64,912%

Tabla 3.6 Porcentaje de deterioro iluminación T8.

ILUMINACIÓN- CARGA T9				
DESCRIPCIÓN	luxes medidos	Lumenes medidos por luminaria	Capacidad luminica por luminaria	factor de deterioro
Iluminación Inmunologia	460	2070	5130	59,649%
Iluminación Parasitologia	280	1260	5130	75,439%
Iluminación Xenodiagnostico	200	900	5130	82,456%
Iluminación Cuarto Cultivos	750	3375	5130	34,211%
Iluminación Molecular	200	900	5130	82,456%

Tabla 3.7 Porcentaje de deterioro iluminación T9.

Hay que tener en cuenta que la precisión de estos factores está acotada por el instrumento de medida utilizado (diseñado para iluminación vial, y no para cavidad zonal).

Con la información obtenida se hace una evaluación de la calidad de iluminación prestada, como se muestra en la tabla 3.8.

Lugar	Categoría	Nivel de Iluminación recomendada [Lux]	Nivel ,edido Lux	Evaluación
Iluminacion Virologia	E	500-1000	540	Bien
Iluminacion Destilacion	D	200-500	450	Bien
Iluminacion Lab. Insectisida	D	200-500	300	Bien
Iluminacion Cuarto de lavado	C	100-200	140	Bien
Iluminacion Molecular	D	200-500	300	Bien
Iluminacion pasillo	B	50-100	400	Bien
Iluminacion Inmunologia	E	500-1000	460	Mal
Iluminacion Parasitologia	E	500-1000	280	Mal
Iluminacion Xenodiagnostico	D	200-500	200	Bien
Iluminacion Cuarto Cultivos	D	200-500	750	Bien
Iluminacion Molecular	C	100-200	200	Bien

Tabla 3.8 Evaluación calidad de iluminación en recintos del CINTROP.

Para el análisis energético fue necesario hallar las exergías y energías de entrada y salida para cada recinto, lo cual se halló de la siguiente manera, asumiendo un factor de potencia para las lámparas de 0,9:

- Exergía activa de entrada = # lámparas x # bombillas x 0,032 W x 8horas
- Exergía reactiva de entrada = Exergía Activa de entrada x 0,4359 /0,9
- Energía activa de entrada = Exergía Activa de entrada
- Energía reactiva de entrada = Exergía Reactiva de entrada
- Exergía de salida = Según catalogo del fabricante el 23 % de la potencia activa de entrada es convertida en luz visible, como ilustra la figura 3.28. Se obtuvo el valor de la exergía de salida por medio de la ecuación 3.24.

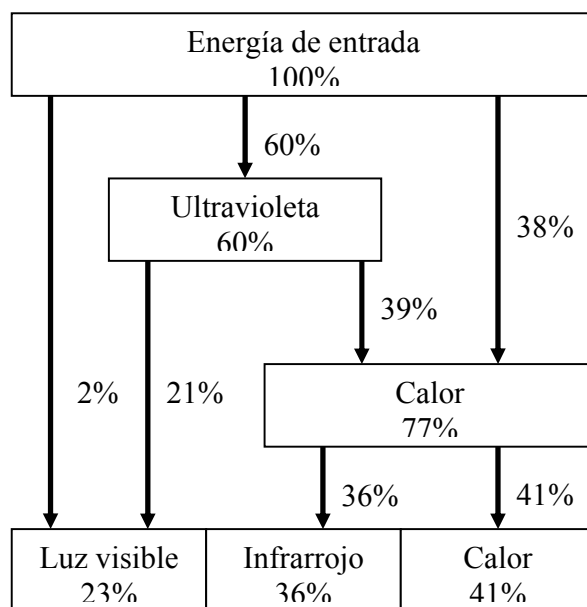


Figura 3.28 Distribución de energía en luminaria

$$\text{Energía de salida} = \frac{32W \times 0.23 \left(\frac{\# \text{ bombillas} \times \# \text{ lamparas} \times 8h \times \text{lum medidos}}{2700} \right)}{1000} \quad (3.24)$$

Los datos obtenidos se resumen en las tablas 3.9 y 3.10.

ILUMINACION T8						
# lámparas	# bombillas por lámpara	DESCRIPCION	Exergia activa kWh-día	Exergia reactiva kVARh-día	Energía activa kWh-día	Energía reactiva kVARh-día
6	2	Entrada Iluminación Virologia	3,072	1,488	3,072	1,488
2	2	Entrada Iluminación Destilacion	1,024	0,496	1,024	0,496
2	2	Entrada Iluminación Lab. Insectisida	1,024	0,496	1,024	0,496
2	2	Entrada Iluminación Cuarto de lavado	1,024	0,496	1,024	0,496
3	2	Entrada Iluminación Molecular	1,536	0,744	1,536	0,744
3	2	Entrada Iluminación pasillo	1,536	0,744	1,536	0,744
6	2	Salida Iluminación Virologia	0,707		0,636	
2	2	Salida Iluminación Destilacion	0,236		0,177	
2	2	Salida Iluminación Lab. Insectisida	0,236		0,118	
2	2	Salida Iluminación Cuarto de lavado	0,236		0,266	
3	2	Salida Iluminación Molecular	0,353		0,177	
3	2	Salida Iluminación pasillo	0,353		0,236	
		Entrada Total	9,216	4,464	9,216	4,464
		Salida Total	2,120		1,608	

Tabla 3.9 Datos de entrada y salida iluminación T8.

ILUMINACION- CARGA T9						
# lámparas	# bombillas por lampara	DESCRIPCIÓN	Exergia activa kWh-día	Exergia reactiva kVArh-día	Energía activa kWh-día	Energía reactiva kVArh-día
4	2	Entrada Iluminación Inmunología	2,048	0,992	2,048	0,992
6	2	Entrada Iluminación Parasitología	3,072	1,488	3,072	1,488
3	2	Entrada Iluminación Xenodiagnostico	1,536	0,744	1,536	0,744
2	2	Entrada Iluminación Cuarto Cultivos	1,024	0,496	1,024	0,496
1	2	Entrada Iluminación Molecular	0,512	0,248	0,512	0,248
4	2	Salida Iluminación Inmunología	0,471		0,361	
6	2	Salida Iluminación Parasitología	0,707		0,330	
3	2	Salida Iluminación Xenodiagnostico	0,353		0,118	
2	2	Salida Iluminación Cuarto Cultivos	0,236		0,294	
1	2	Salida Iluminación Molecular	0,118		0,039	
		Entrada Total	8,192	3,968	8,192	3,968
		Salida Total	1,884		1,142	

Tabla 3.10 Datos de entrada y salida iluminación T9.

Con los datos anteriores se hace la evaluación energética de cada uno de los sistemas de iluminación del CINTROP, por medio del rendimiento energético.

DESCRIPCIÓN	Rendimiento energético
Iluminación Virología	20,700%
Iluminación Destilación	17,250%
Iluminación Lab. Insectisida	11,500%
Iluminación Cuarto de lavado	25,975%
Iluminación Molecular	11,500%
Iluminación pasillo	15,333%

Tabla 3.11 Rendimiento energético de Iluminación de T8.

DESCRIPCIÓN	Rendimiento energético
Iluminación Inmunología	17,633%
Iluminación Parasitología	10,733%
Iluminación Xenodiagnostico	7,667%
Iluminación Cuarto Cultivos	28,750%
Iluminación Molecular	7,667%

Tabla 3.12 Rendimiento energético de Iluminación de T9.

3.2.4 Evaluación exérgica de aires acondicionados

El aire acondicionado es un equipo que tiene dos funciones, la primera de ellas, el refrigerar el aire del recinto, y la segunda, el de controlar la humedad. Para el análisis que se desarrollará, sólo se tendrá en cuenta la función de refrigeración.

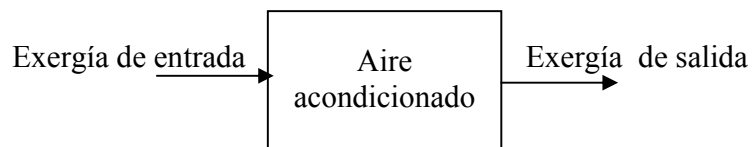


Figura 3.29 Flujos exérgicos de entrada y salida del aire acondicionado

En la figura 3.29 se muestra el nivel de desagregación para el aire acondicionado.

Las exergías activa y reactiva de entrada se obtienen a partir de los datos nominales de placa del equipo y su tiempo de utilización. De acuerdo con los periodos de trabajo en CINTROP, el aire acondicionado funciona durante 8 horas al día.

- La exergía activa de entrada se obtiene a partir de la expresión 3.25.

$$\text{Exergía activa de entrada} = B_{pin} = V \times I \times \cos \varphi \times t \quad (3.25)$$

Donde V es la tensión de operación, I la corriente nominal de operación y $\cos \varphi$ el factor de potencia del equipo.

- La exergía reactiva de entrada se obtiene con la expresión 3.26.

$$\text{Exergía reactiva de entrada} = B_{pin} = V \times I \times \text{sen} \varphi \times t \quad (3.26)$$

- La exergía del flujo de salida se obtiene como una transferencia de calor entre dos reservorios a una temperatura T y T_o , donde T es la temperatura de salida del equipo y T_o es la temperatura ambiente, según la ecuación se observa en la ecuación 3.27.

$$\text{Exergía de salida del aire} = B_{out} = Q_0 \left(\frac{T_o}{T} - 1 \right) \quad (3.27)$$

Donde Q es la capacidad de enfriamiento del equipo, T_o la temperatura ambiente y T la temperatura a la cual está graduado el aire acondicionado, es decir, la ideal.

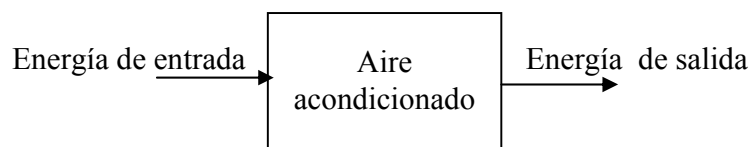


Figura 3.30 Flujos energéticos de entrada y salida del aire acondicionado

En la figura 3.30 se muestra el nivel de desagregación para el aire acondicionado.

- Las energías Activa y Reactiva de entrada son iguales a las exergías de entrada debido a que siempre el equipo consume la misma corriente.
- La energía del flujo de salida, se obtiene a partir de la ecuación 3.27 con la diferencia que T es la temperatura real del recinto.

La eficiencia energética se define como la razón entre la capacidad de enfriamiento Q_0 y la potencia demandada W_D . Esta razón es adimensional ya que expresa vatios térmicos sobre vatios eléctricos $\left(\frac{W_t}{W_E}\right)$. Para convertir los vatios térmicos en eléctricos se debe multiplicar por 0,000293 como se muestra en la ecuación 3.28 [HINCAPIÉ, 2004].

$$REE = \frac{Q_0}{W_D} = \frac{Q_0 \times 0,000293}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (3.28)$$

Otra información de importancia es el factor de deterioro, el cual se obtiene por medio de la expresión 1.13.

Donde la energía y la exergía de salida se hallan con la ecuación 3.27 para la temperatura ideal y real respectivamente.

El rendimiento energético relaciona la energía de salida y la energía de entrada, y se obtiene a partir de la ecuación 3.29.

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} * 100\% \quad (3.29)$$

A continuación, se realiza el cálculo tipo de los datos requeridos para el desarrollo del análisis al equipo de aire acondicionado LG Gold, ubicado en el laboratorio de Parasitología. Los resultados de lo restantes aires se encuentran en la tabla 3.14.

- Exergías activa y reactiva de entrada:

Haciendo uso de las ecuaciones 3.25 y 3.26 se obtiene.

$$\text{Exergía activa de entrada} = B_{P_{in}} = 220 \times 8,6 \times 0,8 \times 8$$

$$\text{Exergía activa de entrada} = B_{P_{in}} = 12,1088[kWh - dia]$$

$$\text{Exergía reactiva de entrada} = B_{Q_{in}} = 220 \times 8,6 \times 0,6 \times 8$$

$$\text{Exergía reactiva de entrada} = B_{Q_{in}} = 9,0816[VArh - dia]$$

- Exergía del flujo de salida:

Haciendo uso de la ecuación 3.27 se obtiene.

$$B_{outt} = Q_0 \left(\frac{T_0}{T_i} - 1 \right) = 5,274 \left(\frac{28 + 273,15}{19 + 273,15} - 1 \right) \times 8h - dia$$

$$B_{outt} = 1,2998kWh - dia$$

- Energías activa y reactiva de entrada:

Los valores son idénticos a los de las exergías activa y reactiva de entrada.

- Energía del flujo de salida:

De acuerdo con los datos nominales del equipo, éste tiene una capacidad de enfriamiento de 18000 BTU/h, lo cual equivale a 5,274 kW.

Reemplazando los valores en la ecuación 3.27, se obtiene la exergía de salida.

$$Energía_{out} = 5,274 \left(\frac{28 + 273,15}{22 + 273,15} - 1 \right) \times 8h$$

$$Energía_{out} = 0,8577kWh - día$$

Los resultados de las exergías y energías de entrada y salida están dados en la tabla 3.13.

B_{Pind}	12,109 kWh-día
B_{Qind}	9,082 kVArh-día
B_{outd}	1,299 kWh-día
E_{Pin}	12,109 kWh-día
E_{Qin}	9,082 kVArh-día
E_{out}	0,858kWh-día

Tabla 3.13 Exergías y energías de entrada y salida del aire acondicionado

- Relación de eficiencia:

Haciendo uso de la ecuación 3.28 se obtiene:

$$REE = \frac{18000 \times 0,000293}{\sqrt{1,514^2 + 1,13^2}} = 2,787$$

- Porcentaje de deterioro: se halla según la ecuación 1.13 así:

$$\%Deterioro = \frac{1,2998 - 0,8577}{1,2998} \times 100$$

$$\%Deterioro = 34,01\%$$

- Rendimiento energético:

Aplicando la ecuación 3.29, se obtiene el valor de la energía de salida como se muestra a continuación.

$$\eta = \frac{0,8577kWh - día}{15,136} \times 100$$

$$\eta = 5,66\%$$

En la tabla 3.14 se muestran los resultados de las exergías y energías de entrada y salida para los aires acondicionados, las cuales fueron calculadas de forma similar.

Equipo	Ubicación-Circuito	T° Ideal	T° Real	Exergia Activa de entrada kWh-día	Exergia Reactiva de entrada kVArh-día	Energía Activa de entrada kWh-día	Energía Reactiva de entrada kVArh-día	Exergia de flujo de salida kWh-día	Energía de flujo de salida kWh-día	REE	% Deterioro	Rendimiento energetico
Aire acondicionado LG Gold	Parasitología-T9	19	22	12,1088	9,0816	12,109	9,082	1,300	0,858	2,788	34,011%	5,667%
Aire acondicionado LG Gold	Virología-T8	18	19	12,1088	9,0816	12,109	9,082	1,449	1,300	2,788	10,308%	8,587%
Aire acondicionado YORK	Inmunología-T9	19	20	17,6	13,2	17,600	13,200	1,300	1,151	2,557	11,414%	5,234%

Tabla 3.14 Resultados de aires acondicionados.

3.2.5 Evaluación exérgica de las neveras

La nevera tiene como propósito mantener a una temperatura establecida algunos elementos utilizados en el CINTROP. Sin embargo como se explicó al inicio del capítulo dada la dificultad en la toma de las medidas, se tomó como exergía de salida la temperatura que la nevera alcanza en su interior.

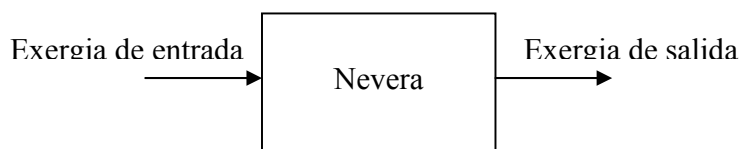


Figura 3.31 Flujos exérgicos para la nevera

La figura 3.3 muestra el nivel de desagregación de la nevera.

Al igual que los aires acondicionados, la exergía activa y reactiva se obtiene a partir de los datos nominales de los equipos y su tiempo de utilización.

- La exergía activa de entrada para la nevera es la nominal o de placa.
- La exergía reactiva de entrada se obtiene a partir de la ecuación 3.30.

$$\text{Exergía reactiva de entrada} = B_{Qin} = B_{Pin} \tan(\cos^{-1}(0,8)) \quad (3.30)$$

- La exergía del flujo de salida se puede calcular considerando que se presenta una transferencia de calor entre el líquido refrigerante de la nevera y los elementos contenidos en esta. Para el desarrollo del análisis los elementos son recipientes de agua, los cuales ocupan un 5% del volumen total de la nevera y su temperatura inicial es la misma del ambiente. El valor de la transferencia de calor se obtiene a partir de la ecuación 3.31.

$$Q_0 = mc(T_f - T_i) \quad (3.31)$$

Donde m es la masa del aire, c la constante calorífica, T_f es temperatura que debe alcanzar el interior (según el dial) y T_i la temperatura inicial, que para este caso es la temperatura ambiente dentro del recinto la cual se encuentra controlada por medio del aire acondicionado.

La exergía de flujo de salida se obtiene a partir de la ecuación 3.26.

Las energías activa y reactiva de entrada son idénticas a las exergías.

La energía del flujo de salida se obtiene con la ecuación 3.26 teniendo en cuenta que T_f es la temperatura real que alcanza el aire al interior de la nevera.

A continuación se muestra el desarrollo de cálculo tipo para obtener los resultados de las neveras. Para el este cálculo se tiene en cuenta la nevera HACEB softline ubicada en Parasitología. Los resultados de las demás neveras se encuentran en la tala 3.15.

- Exergía activa de entrada: con base en los valores de placa del equipo se tiene una exergía activa de entrada de:

$$\text{Exergía activa de entrada} = B_{pin} = 1,3kWh - dia$$

- Exergía reactiva de entrada: se obtiene suponiendo un factor de potencia de 0,8 y aplicando la expresión 3.30.

$$\text{Exergía reactiva de entrada} = B_{Qin} = 1,3 \times \tan(\cos^{-1}(0,8))$$

$$\text{Exergía reactiva de entrada} = B_{Qin} = 0,975kWh / dia$$

- Exergía del flujo de salida: para obtener este valor es necesario hallar la transferencia de calor según la expresión 3.29, lo cual fue imposible de hallar debido a que no se sabe cuanto es el valor de la temperatura que deben suministrar al interior, es decir el ideal.

- Energía activa y reactiva de entrada: estos valores son idénticos a los de exergía anteriormente descritos.
- Energía de salida: para obtener este valor es necesario hallar la transferencia de calor según la expresión 3.31

$$Q_0 = 12,829 \times 4,1818 \times ((3 + 273,15) - (19 + 273,15))$$

$$Q_0 = -858,359 \text{ kJ}$$

El signo negativo en el valor de la transferencia de calor, indica que se está pasando de una temperatura superior a una inferior.

El valor de la energía de salida puede ser calculada de forma similar que en el caso del aire acondicionado mediante la ecuación 3.27.

$$\text{Energía de salida} = E_{out} = Q_0 \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right) = 858,359 \left(\frac{273,15 + 28}{273,15 + 3} - 1 \right)$$

$$\text{Energía de salida} = E_{out} = 49,76 \text{ kJ}$$

Las unidades de la energía de salida son kJ , lo cual es equivalente a tener kWs , para poder realizar una comparación con los demás elementos del sistema es necesario tener todos los datos expresados en la misma unidad, de acuerdo con los datos de la nevera, ésta funciona durante un periodo de 6,423 horas al día, por tanto:

$$E_{outt} = 49,76 \text{ kWs} \times \frac{6,422 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$E_{outt} = 0,088718kWh - dia$$

El cálculo del rendimiento se hace por medio de la ecuación 3.29, con lo cual se obtiene:

$$\eta = 14,67\%$$

El procedimiento para obtener los flujos de exergía en las neveras restantes es de forma similar, en la tabla 3.15 se encuentran los valores de las exergías de salida y entrada para las demás neveras.

Equipo	Ubicación- Circuito	Exergía activa de entrada kWh-día	Exergía reactiva de entrada kVARh-día	Temperatura interior (°C)	Temperatura recinto (°C)	Q (°C)	Energía de flujo de salida kWh-día
Nevera HACEB Softline	Virología -T8	1,300	0,975	3	19	858,359	0,08872
Cogelador ELECTROLUX FEE24	Parasitología-T9	23667	1775	-5	22	1275,723	0,36715
Nevera MABE	Virología-T8	1.7	1275	5	19	827,048	0,13140
Nevera MABE	Xenología-T9	1.7	1275	5	25	1273,610	0,28910
Congelador CENTRALES	Inmunología-T9	1.6	1.2	-4	20	1276,320	0,24991
Biofreezer Forma Scientific 8516	Xenodiagnostico- T9	8928	6696	-79	25	9750,878	7,25450

Tabla 3.15 Resultados de las Nevera.

En estas neveras no fue posible establecer el valor teórico de temperatura por esta razón no se halló el porcentaje de deterioro.

3.2.6 Evaluación exergética de las cámaras de bioseguridad

Las cámaras de bioseguridad son elementos cuyo factor de deterioro es cero y el rendimiento energético es 100%, ya que, el propósito de ésta es permitir que el usuario trabaje en un ambiente seguro, por lo tanto el usuario enciende la máquina sólo cuando tiene el elemento a manejar dentro de la cámara, y lo apaga cuando ha culminado su labor.

4. ANÁLISIS TERMOECONÓMICO

La teoría de costo exergético asocia un costo exergético a cada flujo físico que aparece conectando subsistemas en la planta. Para ellos es necesario identificar todos los flujos de la planta, determinar su exergía y asignar un rendimiento a cada equipo.

El nivel de desagregación del estudio depende del tipo y profundidad del análisis y de la cantidad de medidas disponibles, por tanto, dada la complejidad de los sistemas que se están analizando, así como la dificultad en la toma de algunas medidas fundamentales para el cálculo de la exergía de los diferentes flujos, se hace necesario establecer los niveles de desagregación para cada uno de los elementos que intervienen en el análisis. A continuación se presentan los niveles de desagregación para cada uno de los sistemas a analizar para la conformación del sistema total.

Como se explicó anteriormente, al contener el sistema elementos netamente eléctricos, fue necesario diferenciar entre la capacidad de trabajo que tiene un elemento y el trabajo que realiza. La diferencia se hizo en la forma de llamar estas exergías, es decir aunque las dos son exergías, en todo el libro se llamó exergía a la capacidad y energía al trabajo que el elemento realiza, sin olvidar que las dos son exergías ya que definitivamente las dos son útiles.

4.1 Nivel de desagregación de los transformadores y conductores



Figura 4.1 Nivel de desagregación para el transformador

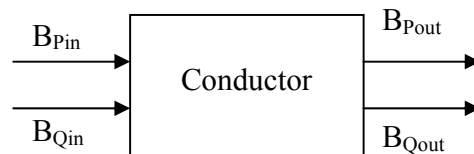


Figura 4.2 Nivel de desagregación para el conductor

En las figuras 4.1 y 4.2 se observa el nivel de desagregación del transformador y de los conductores, donde:

B_{Pin} = Exergía activa de entrada.

B_{Qin} = Exergía reactiva de entrada.

B_{Pout} = Exergía activa de salida.

B_{Qout} = Exergía reactiva de salida.

Teniendo en cuenta el propósito del transformador y los conductores se define el insumo y el producto, como se indica en la tabla 4.1.

	Transformador	Conductores
Insumo	B_{Pin}, B_{Qin}	B_{Pin}, B_{Qin}
Producto	B_{Pou}, B_{Qut}	B_{Pou}, B_{Qut}

Tabla 4.1 Insumo y producto de el transformador y los conductores.

4.2 Nivel de desagregación de las Neveras

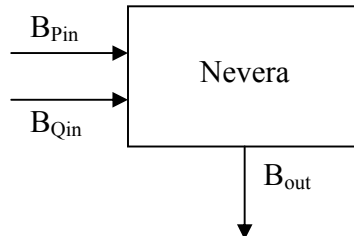


Figura 4.3 Nivel de desagregación para la nevera

La figura 4.3 muestra el nivel de desagregación de la nevera, donde:

B_{Pin} = Exergía activa de entrada.

B_{Qin} = Exergía reactiva de entrada.

B_{out} = Exergía la masa contenida en la nevera.

El propósito de la nevera en el sistema es disminuir la temperatura de la masa de entrada, por tanto el insumo y producto para este equipo puede ser definido como se indica en la tabla 4.2.

Nevera	
Insumo	B_{Pin}, B_{Qin}
Producto	B_{out}

Tabla 4.2 Insumo y producto en la nevera.

4.3 Nivel de desagregación de la Iluminación

El nivel de desagregación para la iluminación es descrito mediante la figura 4.4, donde:

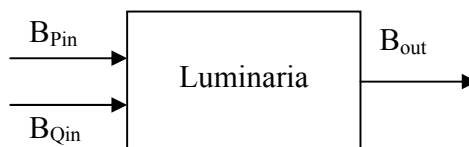


Figura 4.4 Nivel de desagregación para la iluminación eléctrico.

B_{Pin} = Exergía activa de entrada.

B_{Qin} = Exergía reactiva de entrada.

B_{Out} = Exergía del flujo luminoso.

El propósito de las luminarias, es entregar por medio de una lámpara un flujo luminoso para el plano de trabajo, de tal forma que el nivel de iluminación sea el indicado para la tarea que se realiza. De acuerdo con esto se puede definir el insumo y el producto de este elemento como se indica en la tabla 4.3.

Iluminación	
Insumo	B_{Pin}, B_{Qin}
Producto	B_{Out}

Tabla 4.3 Insumo y producto en la iluminación.

4.4 Nivel de desagregación de los aires acondicionados

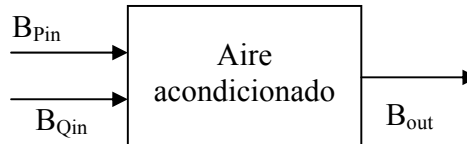


Figura 4.5 Nivel de desagregación para el aire acondicionado

En la figura 4.5 se muestra el nivel de desagregación para el aire acondicionado, para el cual.

B_{Pin} = Exergía activa de entrada.

B_{Qin} = Exergía reactiva de entrada.

B_{out} = Exergía del aire al local.

Aire acondicionado	
Insumo	B_{Pin}, B_{Qinn}
Producto	B_{Ou}

Tabla 4.4 Insumo y producto en el aire acondicionado.

4.5 Nivel de desagregación de las cámaras de bioseguridad

En la figura 4.6 se observa el nivel de desagregación para la cámara de bioseguridad. Como se explicó en el capítulo 2, para la cámara de bioseguridad sólo se tendrá en cuenta la potencia eléctrica consumida.

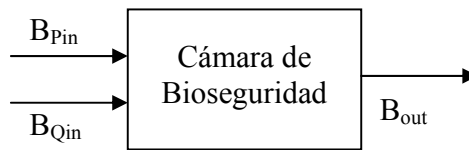


Figura 4.6 Nivel de desagregación para la cámara de bioseguridad.

B_{Pin} = Exergía activa de entrada.

B_{Qin} = Exergía reactiva de entrada.

B_{out} = Exergía de salida.

Cámara de bioseguridad	
Insumo	B_{Pin}, B_{Qin}
Producto	B_{out}

Tabla 4.5 Insumo y productos en la cámara de bioseguridad.

4.6 Descripción de las plantas

Una vez definidos los niveles de desagregación, se realiza el esquema del sistema completo para establecer los flujos y costos exergéticos correspondientes.

Para tener en cuenta los efectos que tiene en el sistema el consumo de energía reactiva, los flujos de exergía activa y reactiva se sumaron, con lo cual se obtienen los flujos de entrada a cada elemento para realizar el análisis termoeconómico. Los diagramas y valores de los flujos de cada planta se pueden observar en el anexo 12.

La planta, para el análisis de costos exergéticos, está compuesta por la subestación 1, el tablero general de distribución TG2, los tableros de distribución

T8 y T9 y los equipos seleccionados para el análisis, neveras, aires acondicionados, iluminación y cámaras de bioseguridad, como se encuentra en el esquema de la figura 4.7.

De acuerdo con los esquemas de las figuras 4.7 y 4.8, los diagramas de T8 y T9 constan de 10 equipos y 17 flujos, y 12 equipos y 21 flujos respectivamente.

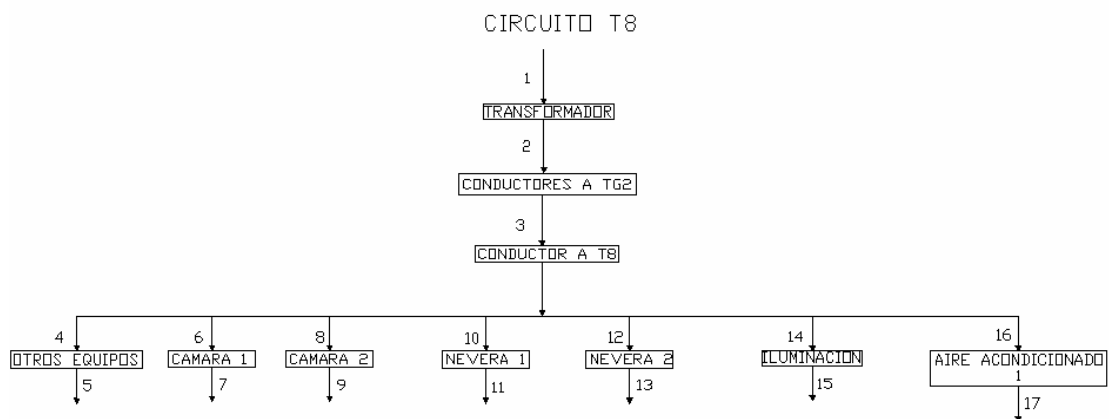


Figura 4.7 Planta circuito T8

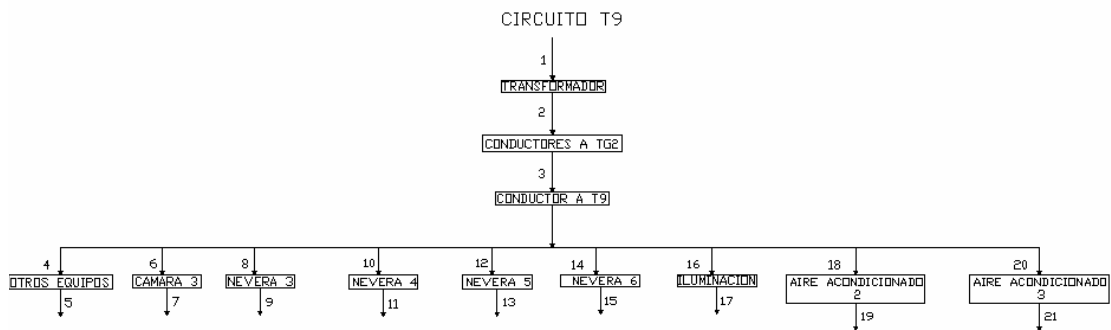


Figura 4.8 Planta circuito T9

Es necesario establecer y ubicar cada uno de los equipos seleccionados dentro de los esquemas de cada una de las plantas. Para el circuito T8 (figura 4.7), los equipos seleccionados para el análisis se encuentran descritos en la tabla 4.6.

Equipo	Representación en T8
Cámara de bioseguridad THERMO Modelo 1200	Cámara de bioseguridad 1
Cámara de bioseguridad THERMO Modelo 1200	Cámara de bioseguridad 2
Nevera MABE	Nevera 1
Nevera HACEB Softline	Nevera 2
Lámparas fluorescentes GE	Iluminación
Aire acondicionado LG Gold	Aire acondicionado 1

Tabla 4.6. Descripción equipos T8.

Para el circuito T9, la descripción de los equipos seleccionados se muestra en la tabla 4.7.

Equipo	Representación en T9
Cámara de bioseguridad LABCONCO purifer class II	Cámara de bioseguridad 3
Congelador ELECTROLUX FEE24	Nevera 3
Nevera MABE	Nevera 4
Congelador CENTRALES	Nevera 5
Biofreezer Forma Scientific 8516	Nevera 6
Lámparas fluorescentes GE	Iluminación
Aire acondicionado LG Gold	Aire acondicionado 2
Aire acondicionado YORK	Aire acondicionado 3

Tabla 4.7. Descripción equipos T9.

Para los dos esquemas, los “otros equipos” representan todos los elementos de poco consumo o que su uso es limitado y por tanto no son tenidos en cuenta en forma directa para el desarrollo del análisis; se considera que estos equipos tienen una eficiencia de 40%, es decir su salida es el 40% de su entrada.

4.7 Flujos exergéticos

Para el desarrollo del análisis termoeconómico se hace necesario establecer el valor exergético de cada uno de los flujos en cada planta. Las tablas 4.8 y 4.9, muestran el valor exergético de cada uno de los flujos que componen las dos plantas.

Flujo	Descripción	B [kWh / día]
1	Potencia de entrada a la planta	177,28
2	Potencia de salida del transformador	176,16
3	Potencia de salida de los conductores a TG2	175,15
4	Potencia de entrada a los otros equipos	111,34
5	Potencia de salida de los otros equipos	44,537
6	Potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 1	8,759
7	Potencia de salida de la cámara de bioseguridad 1	8,759
8	Potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 2	8,759
9	Potencia de salida de la cámara de bioseguridad 2	8,759
10	Potencia de entrada a la nevera 1	2,975
11	Salida de la nevera 1	0,131
12	Potencia de entrada a la nevera 2	2,275
13	Salida de la nevera 2	0,0887
14	Potencia de entrada a la iluminación	13,68
15	Salida de la iluminación	1,608
16	Potencia de entrada a el aire acondicionado 1	21,19
17	Salida del aire acondicionado 1	1,449

Tabla 4.8. Flujos exergéticos T8.

Flujo	Descripción	B [kWh / día]
1	Potencia de entrada a la planta	137,22
2	Potencia de salida del transformador	136,14
3	Potencia de salida de los conductores a TG2	135,49
4	Potencia de entrada a los otros equipos	35,299
5	Potencia de salida de los otros equipos	14,12
6	Potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 3	7,728
7	Potencia de salida de la cámara de bioseguridad 3	7,728
8	Potencia de entrada a la nevera 3	4,1417
9	Salida de la nevera 3	0,367
10	Potencia de entrada a la nevera 4	2,975
11	Salida de la nevera 4	0,289
12	Potencia de entrada a la nevera 5	2,8
13	Salida de la nevera 5	0,2499
14	Potencia de entrada a la nevera 6	15,624
15	Salida de la nevera 6	7,254
16	Potencia de entrada a la iluminación	12,16
17	Salida de la iluminación	1,342
18	Potencia de entrada a el aire acondicionado 2	21,19
19	Salida del aire acondicionado 2	0,8577
20	Potencia de entrada a el aire acondicionado 3	30,8
21	Salida del aire acondicionado 3	1,733

Tabla 4.9. Flujos exegéticos T9.

4.8 Irreversibilidades

Para el cálculo de las irreversibilidades se establece el siguiente sistema de ecuaciones:

$$[A]_{n \times m} \times [B]_{m \times 1} = [I]_{n \times 1} \quad (4.1)$$

Donde $[A]_{n \times m}$ es la matriz de incidencia, la cual representa la estructura física de la planta y contiene la descripción de todas las conexiones entre los n equipos y los m flujos; sus elementos a_{ij} , toman los valores de 1 si el flujo j entra en el equipo, -1 si sale y 0 si no interviene en el equipo. El vector $[B]_{m \times 1}$ contiene los valores exergéticos de cada uno de los flujos de la planta.

Para cada una de las dos plantas se tienen sus respectivas matrices de incidencia, las cuales se pueden observar en la figuras 4.9 y 4.10, y los vectores de valores exergéticos los cuales se muestran en las tablas 4.8 y 4.9 para el circuito T8 y T9 respectivamente.

$$A_{T8} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Figura 4.9. Matriz de incidencia circuito T8

$$A_{T9} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Figura 4.10. Matriz de incidencia circuito T9

Aplicando la ecuación 4.1 para cada una de las plantas se obtienen las irreversibilidades de los elementos. Los valores de las irreversibilidades se muestran en las tablas 4.10 y 4.11 para los circuitos T8 y T9 respectivamente.

Circuito T8		
Equipo	Irreversibilidad [kWh / dia]	% Respecto a las entrada
Transformador	1,1187	0,63103
Conductores a TG2	1,009	0,57276
Conductores a T8	6,172	3,5238
Otros equipos	66,806	60
Cámara de bioseguridad 1	0	0
Cámara de bioseguridad 2	0	0
Nevera 1	2,884	95,597
Nevera 2	8,186	96,101
Iluminación	12,072	88,246
Aire Acondicionado 1	19,741	93,162

Tabla 4.10. Irreversibilidades circuito T8.

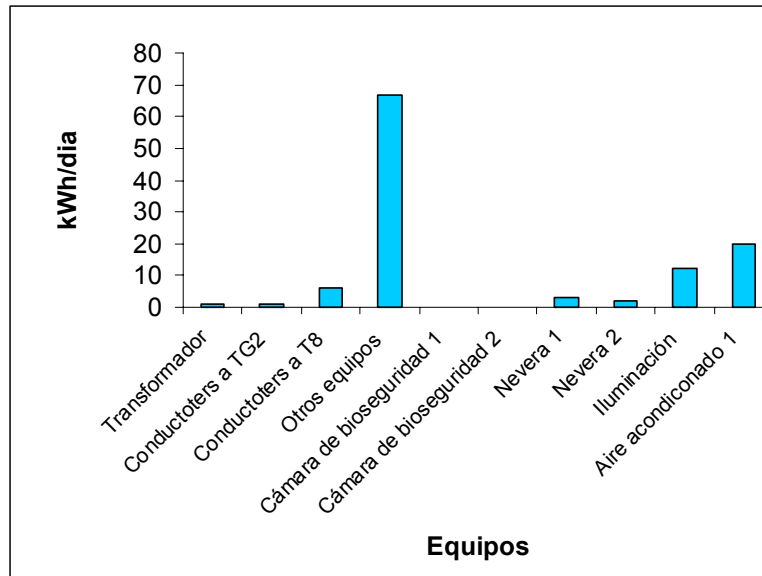


Figura 4.11 Irreversibilidades circuito T8.

Circuito T9		
Equipo	Irreversibilidad [<i>kWh / día</i>]	% Respecto a las entrada
Transformador	1,0878	0,79272
Conductores a TG2	0,649	0,47673
Conductores a T8	2,769	2,0437
Otros equipos	21,179	60
Cámara de bioseguridad 3	0	0
Nevera 3	3,775	91,139
Nevera 4	2,686	90,286
Nevera 5	2,55	91,075
Nevera 6	8,37	53,571
Iluminación	10,818	88,964
Aire Acondicionado 2	20,333	95,952
Aire Acondicionado 3	29,067	94,373

Tabla 4.11. Irreversibilidades circuito T9.

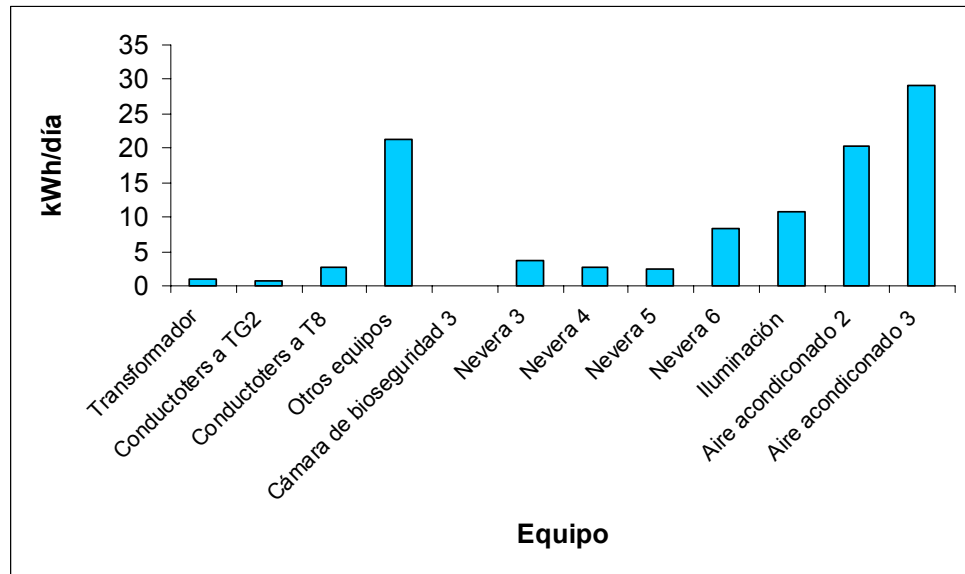


Figura 4.12. Irreversibilidades circuito T9

De acuerdo con las tablas 4.10 y 4.11 y las figuras 4.11 y 4.12, se observa que los equipos que presentan mayor irreversibilidad son los equipos de aire acondicionado e iluminación. Es importante tener en cuenta lo denominado “otros equipos”, dado que no es un equipo específico y su salida se consideró un 40% de su entrada.

4.9 Costos exergéticos

El siguiente paso para el desarrollo del análisis termoeconómico es calcular los costos exergéticos, B^* , de los flujos de la planta. Para calcularlos se establece el siguiente sistema de ecuaciones:

$$[A_P]_{m \times m} \times [B^*]_{m \times 1} = [Y^*]_{m \times 1} \quad (4.2)$$

Donde la matriz $[A_p]_{m \times m}$ es la matriz de producción, siendo m el número de flujos de la planta. Esta matriz esta compuesta por tres submatrices:

$[A]_{n \times m}$: Matriz de incidencia. Representa la estructura física de la planta, siendo la misma matriz utilizada para el cálculo de las irreversibilidades de los equipos.

$\alpha_e(n \times m)$: Submatriz asociada a los flujos de entrada a la planta y sus elementos no nulos $(\alpha_e)_{ij}$, toman el valor de 1 si el flujo j entra desde el exterior en el equipo i .

Para este caso, en los circuitos T8 y T9, las entradas al sistema son las entradas de exergía activa y reactiva del transformador. Las matrices $\alpha_{e(n \times m)}$ se expresan de la siguiente manera:

Para el circuito T8:

$$\alpha_{eT8} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Para el circuito T9:

$$\alpha_{eT9} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

$\alpha_b(b \times m)$: Submatriz asociada a las b bifurcaciones de la planta ($m - n - e$). Todo flujo bifurcado debe estar contenido en la definición de insumo (del tipo $F = B_i - B_j$) o en las definiciones de residuo, pérdidas o subproductos. Los criterios de valoración, proposiciones PF, proporcionan b ecuaciones de las cuales se obtienen los elementos $(\alpha_b)_{ij}$ de esta submatriz.

Una vez definidos los elementos de la ecuación 4.2, es posible resolver el sistema lo cual permite establecer los costos exergéticos de cada flujo, como se indica a continuación:

$$[A_p] \times [B^*] = [Y^*]$$

$$\begin{bmatrix} [A] \\ [\alpha_e] \\ [\alpha_b] \end{bmatrix} \times [B^*] = [Y^*]$$

$$[B^*] = \begin{bmatrix} [A] \\ [\alpha_e] \\ [\alpha_b] \end{bmatrix}^{-1} \times [Y^*]$$

Para cada una de las plantas o circuitos (T8 y T9), los resultados de los costos exergéticos se muestran en las tablas 4.12 y 4.13 para los circuitos T8 y T9 respectivamente.

Flujo	Costo exergético B* [kWh / día]
1	177,28
2	177,28
3	177,28
4	118,94
5	118,94
6	8,8654
7	8,8654
8	8,8654
9	8,8654

Flujo	Costo exergético B* [kWh / día]
10	3,0111
11	3,0111
12	2,3026
13	2,3026
14	13,846
15	13,846
16	21,448
17	21,448

Tabla 4.12. Costos exergéticos circuito T8.

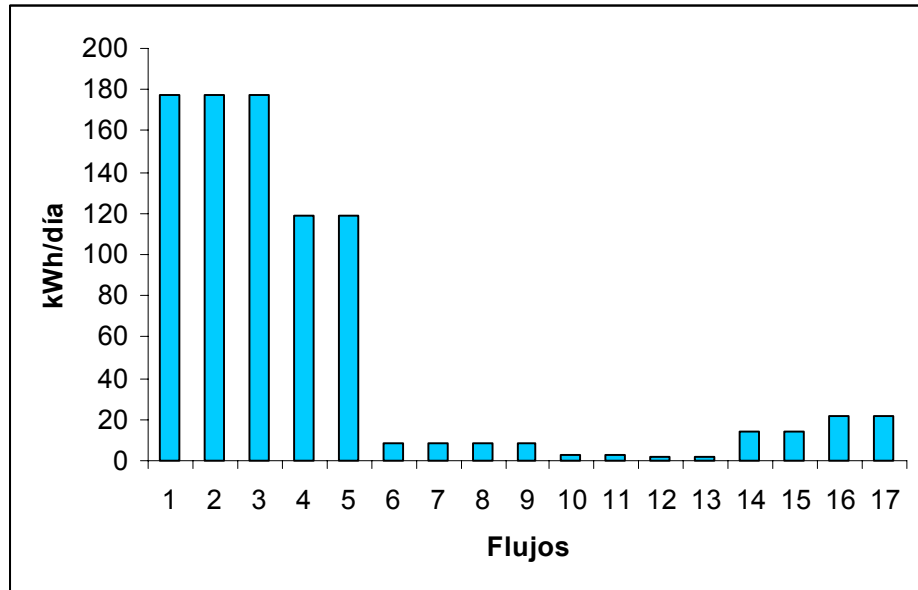


Figura 4.15. Costos exergéticos circuito T8

Flujo	Costo exergético B* [kWh/día]
1	137,22
2	137,22
3	137,22
4	38,556
5	38,556
6	7,8271
7	7,8271
8	4,1948
9	4,1948
10	3,0131
11	3,0131

Flujo	Costo exergético B* [kWh/día]
12	2,8359
13	2,8359
14	15,824
15	15,824
16	12,316
17	12,316
18	21,462
19	21,462
20	31,195
21	31,195

Tabla 4.13. Costos exergéticos circuito T9.

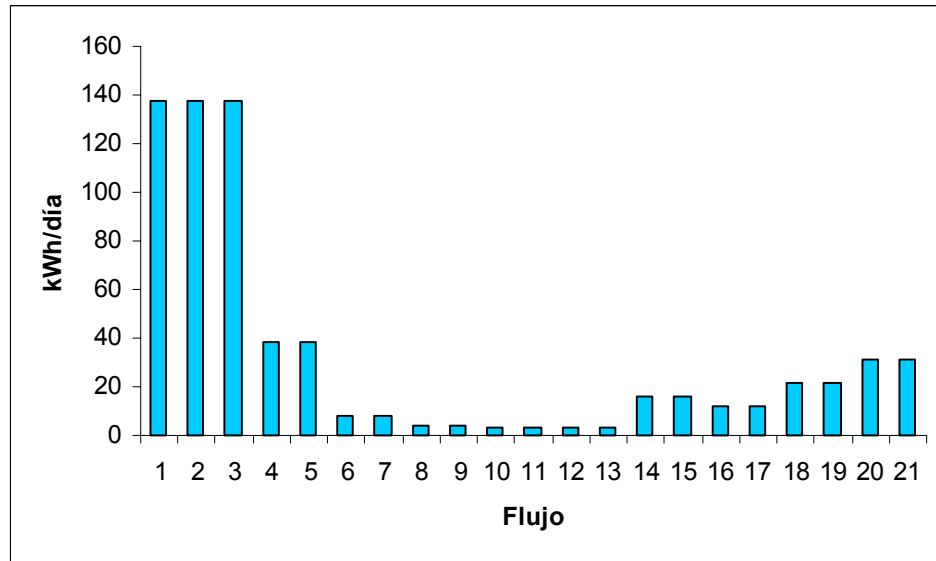


Figura 4.16. Costos exergéticos circuito T9

4.10 Costo exergético unitario

Una vez calculado el costo exergético de cada flujo de las plantas, se obtiene el valor del costo exergético unitario, el cual está definido para cada flujo según la ecuación 4.3 y se muestran en las tablas 4.14 y 4.15.

$$k_i^* = \frac{B_i^*}{B_i} \quad (4.3)$$

Flujo	Costo exergético unitario k^*
1	1
2	1,0064
3	1,0121
4	1,0683
5	2,6706
6	1,0121
7	1,0121
8	1,0121
9	1,0121

Flujo	Costo exergético unitario k^*
10	1,0121
11	22,986
12	1,0121
13	25,96
14	1,0121
15	8,6108
16	1,0121
17	14,802

Tabla 4.14. Costo exergético unitario circuito T8.

Flujo	Costo exergético unitario k*	Flujo	Costo exergético unitario k*
1	1	12	1,0128
2	1,008	13	11,348
3	1,0128	14	1,0128
4	1,0923	15	2,1815
5	2,7307	16	1,0128
6	1,0128	17	9,1773
7	1,0128	18	1,0128
8	1,0128	19	25,022
9	11,43	20	1,0128
10	1,0128	21	18
11	10,426		

Tabla 4.15. Costo exergético unitario circuito T9.

4.11 Costo exergoeconómico

El cálculo de los costos exergoeconómicos para cada una de las plantas, se lleva a cabo mediante una metodología similar a la utilizada para el cálculo de los costos exergéticos. Se tomó un valor para el kWh de \$280. Dado que el análisis se realizó para un periodo de un día, el valor total del flujo de entrada se obtiene de multiplicar el valor del kWh por 24 horas, además, es necesario tener en cuenta el cobro de la exergía reactiva. Para esto, al valor de la exergía activa se le sumó un porcentaje en representación de la exergía reactiva cobrada, de acuerdo con el promedio de porcentaje de cobro de Q en P (Anexo 6). Para el circuito T8 se tiene:

$$\begin{aligned} \$/\text{día} &= W_{T8} \times \$kWh + \frac{\text{prom}\%}{100} \times W_{T8} \\ \$/\text{día} &= 126,3792 * 280 + \frac{1,83}{100} * 126,3792 \\ \$/\text{día} &= 35388 \end{aligned}$$

En el caso del circuito T9, el valor del costo exergoeconómico de entrada se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \$/\text{día} &= W_{T9} \times \$kWh + \frac{\text{prom}\%}{100} \times W_{T9} \\ \$/\text{día} &= 97,7296 * 280 + \frac{1,83}{100} * 97,7296 \\ \$/\text{día} &= 27366 \end{aligned}$$

Los costos exergoeconomicos de los flujos de los circuitos T8 y T9 se presentan en las tablas 4.16 y 4.17.

Flujo	Costo exergoeconomicos [\$/ día]
1	35388
2	35388
3	35388
4	23743
5	23743
6	1769,7
7	1769,7
8	1769,7
9	1769,7

Flujo	Costo exergoeconomicos [\$/ día]
10	601,07
11	601,07
12	459,64
13	459,64
14	2763,9
15	2763,9
16	4281,4
17	4281,4

Tabla 4.16. Costo exergoeconómicos circuito T8.

Flujo	Costo exergoeconómicos [\$/ día]	Flujo	Costo exergoeconómicos [\$/ día]
1	27366	12	564,93
2	27366	13	564,93
3	27366	14	3152,3
4	7680,6	15	3152,3
5	7680,6	16	2453,4
6	1559,2	17	2453,4
7	1559,2	18	4275,4
8	835,63	19	4275,4
9	835,63	20	6214,2
10	600,24	21	6214,2
11	600,24		

Tabla 4.17. Costo exergoeconómicos circuito T9.

Una vez calculados los valores de irreversibilidades, costos exergéticos y costos exergoeconómicos, se pueden establecer las posibles oportunidades de ahorro y definir algunas pautas que permitan generar una propuesta de uso racional de la energía (URE), en los circuitos de las instalaciones analizadas en este proyecto.

Los programas en MATLAB que se emplearon para realizar los cálculos anteriores se encuentran en el anexo 14.

5. HALLAZGOS Y PROPUESTA URE (USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA)

Una vez evaluada la operación de los circuitos seleccionados por medio de los factores de inutilización y deterioro, y el rendimiento energético y después de haber obtenido las irreversibilidades de los equipos y los costos asociados a cada uno de los flujos del sistema, se procede a presentar en este capítulo los hallazgos más relevantes que se obtuvieron y las propuestas de uso racional y eficiente de la energía asociadas a ellos y los beneficios que conllevaría realizar dichas propuestas.

5.1 HALLAZGOS GENERALES

En la tabla 5.1 se muestran los resultados de rendimiento energético, factor de inutilización y de deterioro, para cada uno de los equipos analizados.

Equipo	Factor de Inutilización y deterioro	Rendimiento energético
Transformador SE1	90,878%	93,354%
Transformador SE2	97,321%	87,582%
Conductor tramo 1	92,823%	98,82%
Conductor tramo 2	90,607%	97,733%
Conductor tramo 3	92,502%	97,755%
Iluminación Virologia (T8)	52,632%	20,700%
Iluminación Destilación (T8)	60,526%	17,250%
Iluminación Lab. Insecticida (T8)	73,684%	11,500%
Iluminación Cuarto de lavado (T8)	40,561%	25,975%
Iluminación Molecular (T8)	73,684%	11,500%
Iluminación pasillo (T8)	64,912%	15,333%
Iluminación Inmunologia (T9)	59,649%	17,633%
Iluminación Parasitologia (T9)	75,439%	10,733%
Iluminación Xenodiagnostico (T9)	82,456%	7,667%
Iluminación Cuarto Cultivos (T9)	34,211%	28,750%
Iluminación Molecular (T9)	82,456%	7,667%
Cámara Bioseguridad 1 (T8)	0%	100%
Cámara Bioseguridad 2 (T9)	0%	100%
Cámara Bioseguridad 3 (T9)	0%	100%
Nevera HACEB Softline (T8)	-	14,673%
Congelador ELECTROLUX FEE24 (T9)	-	12,326%
Nevera MABE (T9)	-	10,811%
Nevera MABE (T8)	-	16,648%
Congelador CENTRALES (T9)	-	17,727%
Biofreezer FORMA Scientific 8516 (T9)	-	27,04%
Aire Acondicionado LG Gold (T8)	34,011%	5,66%
Aire Acondicionado LG Gold (T9)	15,1345%	8,587%
Aire AcondicionaYORK (T9)	11,4143%	5,234%

Tabla 5.1 Factores de inutilización y rendimientos energéticos.

De acuerdo con los datos obtenidos y expresados en la tabla 5.1 y figura 5.1, los equipos eléctricos de paso, transformadores y conductores, presentan un alto porcentaje de inutilización, al igual que la mayor parte del sistema de iluminación.

Dadas las características de diseño y construcción de los transformadores y conductores, presentan un rendimiento energético alto. Por el contrario las neveras presentan rendimientos energéticos muy bajos, esto como consecuencia de la naturaleza mecánica del proceso, donde la base de éste es la transferencia de calor.

En la figura 5.1 se observa que para los dos criterios de análisis (rendimientos energéticos, y factores de inutilización y deterioro), los resultados son muy diferentes, es decir, con el análisis energético se podría decir que los elementos críticos y en los que hay que poner mas atención al realizar un programa URE serían las neveras, los aires acondicionados y algunos sistemas de iluminación, en cambio con el análisis exergético los resultados llevan a pensar en una mejora enfocada en los transformadores, conductores y algunos sistemas de iluminación.

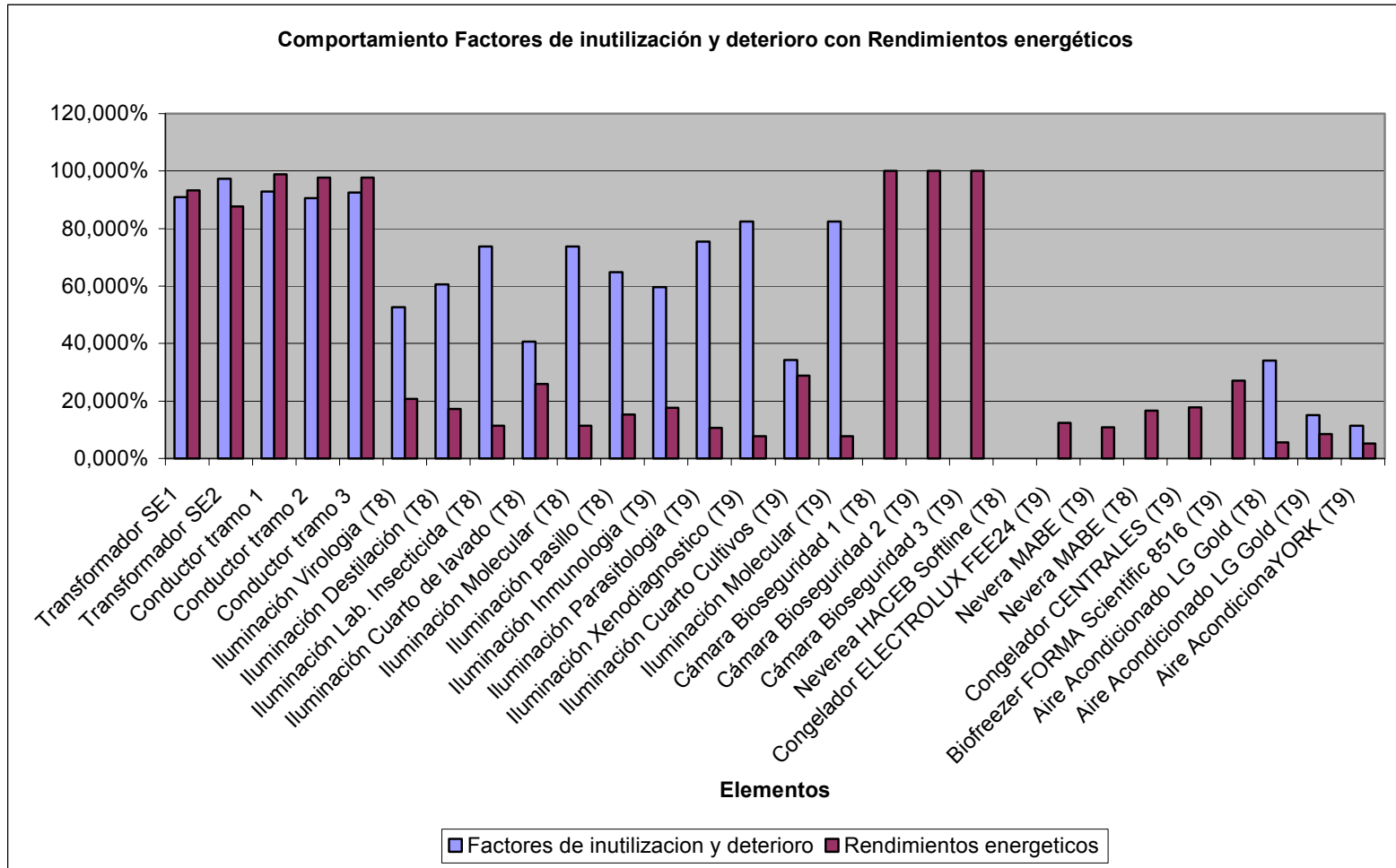


Figura 5.1 Comportamiento Factores de inutilización y deterioro con rendimientos energético.

5.2 TRANSFORMADOR

5.2.1 Hallazgos

Entre los hallazgos más importantes se encuentran los siguientes:

El análisis realizado para los transformadores instalados en el PTG, indican que los dos transformadores, están sobredimensionados para la carga que estos alimentan.

Los datos obtenidos anteriormente indican lo siguiente:

- El transformador de la subestación 1 sólo está cargado en un 13 % en el pico de carga, y en condición normal se está inutilizando en un 90,88 % con un índice de carga de 0,1321.
- El transformador de la subestación 2 sólo está cargado en un 6 % en el pico de carga, y en condición normal se está inutilizando en un 97,32 % con un índice de carga de 0,0261.

Los transformadores pueden entregar su máxima capacidad de potencia en régimen nominal, a razón de una pérdidas altas de cobre, también pueden estar cargados de cierta forma para que el rendimiento de éste sea máximo, lo anterior fue discriminado en la tabla 5.2 la figura 5.2.

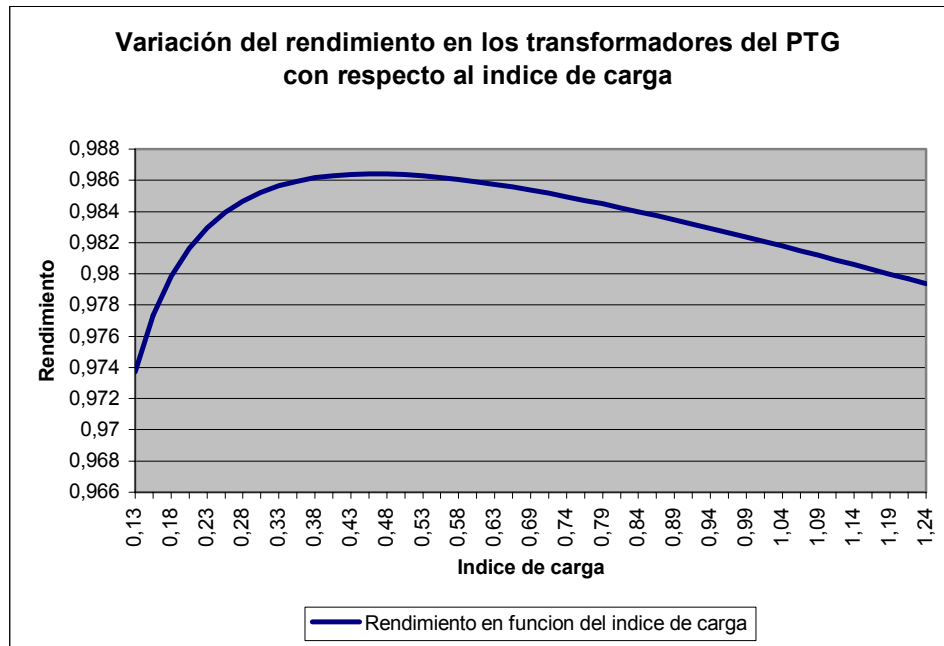


Figura 5.2 Variación del índice de carga del transformador

I nominal [A]	787,81
Perdidas del hierro nominal [W]	765
Perdidas del cobre nominal [W]	3575
Índice de carga ideal	0,462586223
Factor de potencia para rendimiento	0,8

I [A]	Índice de Carga	Peridas totales [W]	Rendimiento %
100	0,127	822,601	0,9737
120	0,152	847,946	0,9773
140	0,178	877,899	0,9798
160	0,203	912,460	0,9816
180	0,228	951,629	0,9830
200	0,254	995,406	0,9839
220	0,279	1043,791	0,9847
240	0,305	1096,784	0,9852
260	0,330	1154,385	0,9856
280	0,355	1216,595	0,9859
300	0,381	1283,413	0,9862
320	0,406	1354,838	0,9863
340	0,432	1430,872	0,9864
360	0,457	1511,514	0,9864
380	0,482	1596,764	0,9864
400	0,508	1686,622	0,9864
420	0,533	1781,089	0,9863
440	0,559	1880,163	0,9862
460	0,584	1983,846	0,9860
480	0,609	2092,136	0,9859
500	0,635	2205,035	0,9857
520	0,660	2322,542	0,9856
540	0,685	2444,657	0,9854
560	0,711	2571,380	0,9852
580	0,736	2702,711	0,9849
600	0,762	2838,651	0,9847
620	0,787	2979,198	0,9845
640	0,812	3124,353	0,9842
660	0,838	3274,117	0,9840
680	0,863	3428,489	0,9837
700	0,889	3587,469	0,9835
720	0,914	3751,057	0,9832
740	0,939	3919,253	0,9829
760	0,965	4092,057	0,9826
780	0,990	4269,469	0,9824
800	1,015	4451,490	0,9821
820	1,041	4638,118	0,9818
840	1,066	4829,355	0,9815
860	1,092	5025,200	0,9812
880	1,117	5225,653	0,9809
900	1,142	5430,714	0,9806
920	1,168	5640,383	0,9803
940	1,193	5854,660	0,9800
960	1,219	6073,545	0,9797
980	1,244	6297,039	0,9794
1000	1,269	6525,140	0,9790

Tabla 5.2 Variación eficiencia e Índice de carga.

El estudio realizado del factor de potencia de la carga de los dos transformadores arrojó los siguientes resultados:

- En el transformador uno el 74 % del tiempo el factor de potencia es menor a 0,9.
- Aunque la subestación dos esta compensada con capacitores, el 73 % del tiempo el factor de potencia es menor a 0,9, lo cual indica que los condensadores no están haciendo su función correctamente, y aunque esta condición de consumo de corriente capacitiva no se penaliza es perjudicial para la instalación eléctrica ya que se pueden producir sobretensiones.

5.2.2 Propuesta

Teniendo en cuenta el análisis exergético y el termoeconómico se propone lo siguiente:

Eliminar uno de los dos transformadores (plano 3), dejándolo en stand by, para ser utilizado en caso de falla o en caso de que el principal necesite mantenimiento.

Dejar en operación el transformador de la subestación 1 debido a que este es el transformador que más esta cargado de los dos, por esta razón la corriente que circulará por los conductores que vayan desde este transformador hasta la subestación dos, será menor que si se hace en el otro sentido.

Cablear el tramo desde la subestación 1 a la 2 con las especificaciones técnicas correctas. El recorrido que haga el conductor que une este único transformador con la otra subestación debe ser lo mas corto posible, ya que como se muestra en la ecuación 4.21, la exergía destruida también es función directa de la resistencia del conductor, donde este valor depende de la resistividad del material, de la longitud de éste y de la temperatura a la cual opere.

Al alambrar el trayecto es igualmente necesario cumplir con las normas que exige el código eléctrico colombiano NTC 2050, con respecto al espacio libre que deben tener los conductores en el ducto para mantener una temperatura adecuada, esto se requiere para que el valor de la resistencia, que depende de la temperatura de operación según la ecuación 3.21, no se incrementen por encima de los valores establecidos de operación de los conductores.

$$R_H = R_L + \alpha(T_H - T_L) \quad (3.21)$$

Donde

R_H = Resistencia a la temperatura alta en ohms.

R_L = Resistencia a la temperatura baja o de referencia en ohms.

T_H = Temperatura alta en °C.

T_L = Temperatura baja o de referencia en °C.

α = Coeficiente que depende del material.

Compensar toda la carga del PTG, es decir la alimentada por las subestaciones 1 y 2 con un banco de condensadores automático, para realizar una compensación que sea función de la carga, esto debido a la irregularidad del consumo de reactiva en el PTG. Esta opción puede conllevar a una inversión considerable.

Realizar la compensación de la carga con un banco de condensadores fijo, con el cual se pueda ahorrar dinero al evitar penalizaciones por parte de la ESSA, pero sin que conlleve una inversión muy grande.

5.2.3 Beneficios

Los beneficios que se obtendrían al realizar la propuesta URE serían:

Mejor factor de inutilización: El porcentaje de inutilización es de 88,14%, que es inferior al existente cuando se utilizan los dos transformadores (tablas 5.3 y 5.4).

Reducción de pérdidas: Entre los dos transformadores se pierden 1594,815 W, al dejar sólo uno se reducen las pérdidas a 853,057 W. Las pérdidas del conductor que va desde la subestación 1 a la 2 son 15,744 W asumiendo un conductor de 250 MCM con longitud de 150 m (tablas 5.3 y 5.4).

Aumento en el rendimiento: El rendimiento del transformador 1 operando con toda la carga sería de 96,59%, que al compararse con los rendimientos cuando trabajan los dos, se observa una mejora (tablas 5.3 y 5.4).

Realizando los mismos cálculos hechos en el capítulo 3 se obtendrían los siguientes resultados dejando solo uno de los dos transformadores

	Exergia Activa kWh-día	Exergia Reactiva kVARh-día	Energía Activa kWh-día	Energía Reactiva kVARh-día	Energía Aparente kVAh-día
Entrada	5348,407	3850,930	600,594	261,729	
Salida	5756,187	4144,537	580,120	252,807	682,580
			% Inutilización P=		89,92%
Pérdidas totales transformadorW =		853,075	% Inutilización Q=		93,90%
Pérdidas en el conductor W=		15,744	% Inutilización Total=		88,14%
			Rendimiento=		96,59%

Tabla 5.3 Resumen resultados con sólo el transformador 1.

	Situación Actual		Situación propuesta
	Transformador 1	Transformador 2	Unico transformador
Factor de Inutilización	90,878%	97,321%	88,140%
Pérdidas	827,38 W	767,435 W	868,7 W
Rendimiento	95,748%	87,850%	96,590%

Tabla 5.4 Comparación situación actual y propuesta.

Ahorro de dinero en la factura de la energía:

Las pérdidas de potencia correspondientes a los transformadores de las subestaciones 1 y 2 son 827,38 W y 767,455 W respectivamente, de esta manera, sabiendo que el kWh cuesta \$ 280, se puede hacer la siguiente comparación.

$$\text{Cobro por pérdidas TRF 1 y 2} = (0,827 + 0,786)kW \times 280\$ / kWh = 452,64\$/h$$

$$\text{Cobro por pérdidas TRF 1 y 2 al mes} = \$452,64/h * 720h = 325900,8\$/mes$$

$$\text{Cobro por pérdidas al dejar sólo el TRF 1} = (0,853 + 0,0157)kW \times 280\$ / kWh = 243,236\$ / h$$

$$\text{Cobro por pérdidas al dejar sólo el TRF 1 mes} = \$243,236 / hora \times 720h = 175129,92\$/mes$$

$$\text{Ahorro al mes al dejar un solo TRF} = \$325900 - \$175129 = 150170\$/mes$$

A este ahorro al mes por pérdidas en el transformador se le puede sumar el ingreso que representaría la venta del transformador 2, sin olvidar que para poder obtener estos beneficios es necesaria una inversión al instalarse el conductor de unión entre las dos subestaciones.

La compensación con condensadores es de vital importancia, ya que al tener toda la carga sobre un solo transformador es relevante que éste sea capaz de entregar toda la potencia requerida en caso de expansión. A medida que el factor de

potencia crece, la potencia aparente total para una misma potencia activa disminuye, mejorándose así la capacidad total del transformador.

Si se supone un factor de potencia actual de 0,8 y con la compensación se logra aumentar a 0,92 el transformador de 300 kVA aumentaría su potencia activa disponible 36 kW, según la expresión 5.1, lo cual porcentualmente corresponde a un 15%

$$P_1 - P_2 = S(fp_2 - fp_1) \quad (5.1)$$

$$P_1 - P_2 = 300kVA(0.92 - 0.8)$$

$$P_1 - P_2 = 36kW$$

5.3 Iluminación

5.3.1 Hallazgos

Entre los hallazgos más importantes se encuentran los siguientes:

Los factores de deterioro encontrados en la iluminación de los recintos del CINTROP son muy variables, y oscilan entre el 34% y 82%.

La energía consumida por la iluminación en el parque tecnológico Guatiguará y más específicamente en el CINTROP, no presenta un alto porcentaje dentro del consumo total.

En el CINTROP se observó que en muchos lugares específicos del laboratorio se dejan encendidas las luces todo el tiempo sin importar que el recinto este vacío por largos periodos de tiempo.

5.3.2 Propuestas

Algunas de las propuestas de URE son las siguientes:

Rediseñar la iluminación del laboratorio contemplando la posibilidad de hacer una iluminación general-localizada, es decir, un nivel de iluminación en todo el recinto que brinde confort para tareas que no requieren precisión, y localizar luminarias específicas en donde los sitios de trabajo estén agrupados y requieran un grado de precisión alto.

Reducir el factor total de pérdida de luz escogiendo una luminaria la cual minimice la acumulación de mugre.

Mejorar el programa de mantenimiento para reemplazar las lámparas antes de que se quemen. Se puede realizar un programa de reemplazo de lámparas en grupo, reemplazando las lámparas fluorescentes cuando estas emitan el 70% de los lúmenes iniciales, es decir a las 18000 horas, en este momento el 10 % de las lámparas podrían estar próximas a dañarse.

Utilizar como control del sistema de iluminación, un control automático por pasos preestablecidos, el cual produce la cantidad adecuada de luz cuando sea necesario.

Mantener los vidrios de las ventanas y domos limpios.

Procurar que el color de techos, pisos y paredes sea claro y utilizar pinturas que reflejen la luz (dentro de los límites permitidos).

Reacomodar los muebles para que no obstruyan la entrada de luz natural a las instalaciones.

Colocar láminas translúcidas en techos para permitir el paso de luz natural.

5.3.3 Beneficios

Los beneficios que aportarían los cambios son:

Mediante el rediseño se puede conseguir niveles de iluminación adecuados que están acorde con los límites normalizados y que a su vez, brinden una buena uniformidad y confort para los ocupantes del recinto.

Utilizar un sistema de control por pasos permite ahorrar energía, cuando se pueda aprovechar la luz natural que pasa a través de las ventanas. Por ejemplo el sistema puede tener los siguientes pasos, pasando del 50 al 100 % o empezando en 33%, 67 % y 100% escalonadamente. Este sistema puede reducir el nivel de iluminación, por ejemplo para tareas de limpieza o cuando haya suficiente luz natural, aumentándose al máximo en horas de trabajo, y en la noche.

5.4 Conductores

5.4.1 Hallazgos

Los hallazgos relacionados con los conductores son:

Los conductores están sobredimensionados: tienen factores de inutilización de más del 90%

En los tres tramos analizados, la fase C es la que tiene mas elementos inductivos. Requiere mas potencia reactiva.

5.4.2 Propuesta

Aunque estos conductores están sobredimensionados, no se puede proponer nada con respecto a esto, debido a que la inversión ya fue hecha y no se puede recuperar como en el caso del transformador. Las expansiones del parque son viables respecto a capacidad de conductores se refiere.

5.5 Cámaras de bioseguridad

5.5.1 Hallazgos

En las cámaras de bioseguridad se encontró que:

El rendimiento energético es 100%

El factor de deterioro es del 0%

El manejo dado por los estudiantes y personal del laboratorio a estos equipos es el adecuado.

5.5.2 Propuesta

Continuar con el manejo que se le da a las cámaras, siempre teniendo en cuenta que solo se enciendan, cuando el material a analizar ya este dentro y se apague tan pronto se saca el material. Procurar no dejarlo encendido sin tener elementos adentro.

5.6 Aires acondicionados

5.6.1 Hallazgos

Con relación a los aires acondicionados se encontró que:

Hay una deficiencia en los periodos de utilización. Durante su uso, los aires acondicionados no se apagan debido al deficiente nivel de aislamiento que se tiene con el exterior.

Las salas o laboratorios están separados por paredes de vidrio que no llegan hasta el techo, lo cual hace que el aire tenga que actuar sobre un volumen grande.

La selección de los equipo es incorrecta al evaluarse la capacidad de enfriamiento en función del área del recinto a refrigerar.

El tamaño de las áreas que los aires acondicionados de los laboratorios de Parasitología, Inmunología y Virología deben acondicionar son, 60,51m², 39,77m² y 43,54 respectivamente, de acuerdo con las tablas 2.5 y 2.4, los aires acondicionados de los laboratorios de parasitología y virología no tienen la capacidad adecuada de refrigeración.

Área (m ²)	Capacidad del aire acondicionado (BTU)
0 a 4	6000
4 a 8	8000
8 a 12	10000
12 a 16	12000
16 a 20	14000
20 a 25	18000
25 a 30	20000

Fuente: Quecalor, México

Tabla 5.5 Capacidad aires acondicionados según área.

El mantenimiento preventivo que se les da a los equipos no es continuo, en las persianas de salida del aire caliente exterior se encuentra gran cantidad de suciedad, lo cual dificulta la salida del mismo al exterior, generando una operación inadecuada del equipo.

5.6.2 Propuestas

Para mejorar la operación de los aires acondicionados se propone:

Revisar y de ser posible rediseñar las separaciones entre los laboratorios, evitando las aberturas, que generen posibles fugas de aire frío.

Implementar en las puertas de acceso a los laboratorios y al centro, gatos hidráulicos que permita mantener cerradas las puertas de manera continua.

Realizar un estudio de la carga térmica, la cual permita la selección del equipo adecuado de acondicionamiento del aire. Al realizar el cambio de los equipos, es importante tener en cuenta una REE (Relación de Eficiencia Energética) alta.

Rediseñar el sistema de refrigeración, instalando aires acondicionados acordes a la carga térmica, o diseñar un sistema de refrigeración central.

Implementar un plan de mantenimiento preventivo, enfocado a la limpieza de los equipos. Dado el bajo nivel de suciedad en el ambiente, dicho mantenimiento se podría realizar una vez al año.

Instalar termostatos si el sistema de aire acondicionado no los tiene incorporado o si no proporciona información precisa sobre la temperatura.

Si el aire acondicionado dispone de sensores de temperatura ambiente, se deben instalar lejos de fuentes de calor (hornos, lámparas, etc).

Instalar 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.

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.

5.6.3 Beneficios

Los beneficios de las propuestas son:

El mantenimiento preventivo no solo reduce el consumo de energía, sino que aumenta la vida útil del equipo.

Encerrar los sitios a refrigerar de manera adecuada, permite que el aire funcione correctamente, encendiendo y apagando el compresor según sea necesario, reduciendo así, el consumo de energía eléctrica.

Al diseñar un sistema de refrigeración central, se obtiene una temperatura uniforme en todo el CINTROP.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones mas importantes del trabajo realizado son las siguientes:

1. Realizar una auditoría exergética del sistema es de vital importancia ya que permite detectar oportunidades de ahorro significativas.
2. Realizar una evaluación energética paralela a la exergética permite comparar los resultados obtenidos con las dos metodologías, y concluir que si bien se complementan, la evaluación exergética es más completa y por esta razón los resultados son mas específicos y detallados, y las propuestas mas tangibles y dicientes.
3. La aplicación del análisis termoeconómico en 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 además del porcentaje de inutilización un costo asociado a los procesos que realizan los equipos.
4. El análisis exergético y el cálculo de las irreversibilidades permiten establecer las oportunidades reales de ahorro de los elementos del final de la cadena.
5. Las irreversibilidades que se obtuvieron son generadas por tres causas: las condiciones bajo las cuales operan los equipos, deterioro de estos o mal diseño del acondicionamiento de aire e iluminación del lugar.

6. La aplicación del análisis termoeconómico en circuitos eléctricos de gran tamaño requiere de gran cantidad de datos, los cuales se deben tomar al mismo tiempo para lograr obtener resultados reales.
7. El análisis termoeconómico se puede realizar fraccionando la planta, seleccionando los subsistemas que presentan mayor consumo, mayores irreversibilidades u otro criterio que satisfaga los requerimientos del análisis.
8. La selección de un subsistema para realizarle el análisis termoeconómico, limita los resultados a los equipos que no tienen flujos a la salida que en el proceso alimenten equipos que no han sido tenidos en cuenta en el análisis.
9. Al ser el cobro de energía reactiva función de la relación de consumo entre potencia activa y reactiva, y por ende función del tiempo, no se le puede asignar al flujo de reactiva un costo constante. Por tanto no es posible identificar los elementos del circuito causantes del cobro de las penalizaciones, a no ser que se realice un análisis minuto a minuto.
10. Por medio del análisis termoeconómico se pudo establecer que las mayores oportunidades de ahorro se presentan en los equipos que su proceso implica transferencia de calor, como es el caso de las neveras y los equipos de aire acondicionado.
11. Se desarrollaron modelos exergéticos para cada uno de los equipos del sistema (Anexo 13). Sin embargo, estos se pueden simplificar, de acuerdo con la posibilidad de medición de las variables requeridas.
12. Por medio de éste proyecto fue posible la aplicación de conceptos aprendidos durante la carrera, lo cual condujo al desarrollo de más metodologías aplicadas al URE.

7. BIBLIOGRAFÍA

[BONILLA, 2006]. BONILLA W. Proyecto de grado: Propuesta para un Uso Racional y Eficiente de la Energía en el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga en el Sistema Subestación Alimentadora Sistema de Bombeo de la Planta Bosconia, dirigido por el Dr. Gilberto Carrillo Caicedo y codirigido por Carlos Cárdenas Guerra. Bucaramanga, 2006.

[BUSTAMANTE, 2003]. BUSTAMANTE, S., Termodinámica y el concepto de entropía, 2003.

[CARDENAS, CARRILLO y BONILLA. 2006] . CÁRDENAS C., CARRILLO G. y BONILLA W. An Exergetic Analysis for the Optimization of Energy Use in Industry. XII Congreso Internacional de Ingenierías Electrónica, Sistemas y Eléctrica, Intercom 2006. Universidad del Callao, Perú, 2006.

[CENGEL & BONES, 1999]. CENGEL Yunus, Bones Michael. Termodinámica 4ta edición. Editorial Mc Graw Hill, México 1999.

[CENGEL & BONES, 2004]. . CENGEL Y, BONES M. Termodinámica Tomo I 4ta edición. Editorial Mc Graw Hill, México 2004.

[CLIOPE, 1999]. CENTRO PILOTO DE CAPACITACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE CENTRALES TÉRMICAS Y ESTUDIOS ENERGÉTICOS. Proyecto CLIOPE, Caso Piloto Planta Termobarranca. Colombia, 1999.

[GORDON, 2001]. Gordon J. Fundamentos de termodinámica. Editorial Limusa México 2001.

[HINCAPIÉ, 2004]. HINCAPIÉ, C., Ahorro de energía y eficiencia energética en sistemas de aire. Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, 2004.

[ICEL, 1992] . INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A., ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A., ELECTRIFICADORA DE BOYACÁ S.A. Manual de ahorro de energía. Santa Fe de Bogotá, Julio de 1992.

[LINDERBURG, 2000]. LINDERBURG M., FE Revie Manual. USA, 2000.

[LOZANO, GUAYAR y VALERO 1988]. LOZANO M., GUAYAR J. Y VALERO A., Teoría del Costo Exegético I Conceptos básicos. Centro Politécnico Superior de Ingenieros Industriales. España, 1988.

[MENDEZ, 2006]. MÉNDEZ J. Conferencia “La próxima crisis de los hidrocarburos. Reflexiones españolas y europeas en un entorno global”, VI Semana Técnica Ingeniería Mecánica, Energía y Ambiente, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Febrero de 2006.

[NTC-317 1998]. Norma Técnica Colombiana, NTC-317, ELECTROTECNIA. TRANSFORMADORES DE POTENCIA Y DISTRIBUCIÓN. TERMINOLOGÍA. ICONTEC 1998.

[RIVERO, MONTERO, y PULIDO. 1990]. RIVERO R., MONTERO G Y PULIDO R. Terminología para la Aplicación del Método de Exergía, Subdirección de Ingeniería

de Proyectos de Plantas Industriales I.M.P. Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos. A.C. México, Septiembre-Octubre de 1990.

[SCIUBBA, 2001]. SCIUBBA E., Beyond thermoeconomics The concept of extended exergy accounting and its application to the analysis and design of thermal systems.in: Exergy, an international journal. Sweden, May 2001.

[WALL, 1998]. WALL, G., Exergetic, Mölndal 1998.

[SUI]. SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS S.U.I.
http://www.sui.gov.co/reportesSUI/SUI_ReporteEnergía.htm

[<http://jfinternational.com>] <http://jfinternational.com/mf/termodinamica.html>

8. ANEXOS

Anexo 1
Medidas tomadas de tensión y corriente en TG2, TG3, TG4, TG6

MEDIDAS TOMADAS DE CORRIENTE Y TENSION EN TG2									
Tablero	Hora	minutos	I(A) [A]	I(B) [A]	I(C) [A]	V(AB) [V]	V(BC) [V]	V(CA) [V]	Potencia Total [W]
TG2	11:14	00:16	100			219	219	220	21900
TG2	11:30	00:12	127			218	220	219	27686
TG2	11:42	00:26	114			220	219	220	25080
TG2	12:08	00:08	109			221	220	219	24089
TG2	12:16	00:06	115			220	220	221	25300
TG2	12:22	00:07	122			221	220	222	26962
TG2	12:29	00:26	121			220	222	221	26620
TG2	12:55	00:08	115			221	221	220	25415
TG2	13:03	00:11	130	123	105	220	221	221	78988
TG2	13:14	00:07	126		92	220	220	222	48144
TG2	13:21	00:24	113		101	221	220	221	47294
TG2	13:45	00:08	116		87	220	221	220	44660
TG2	13:53	00:08	128		89,4	220	220	221	47917,4
TG2	14:01	00:08	139		108,3	221	221	220	54545
TG2	14:09	00:24	116		91,7	219	220	220	45578
TG2	14:33	00:08	132		95	220	219	218	49750
TG2	14:41	00:01	125		109,4	221	220	221	51802,4
TG2	14:42	00:10	112,8		107,8	219	220	220	48419,2
TG2	14:52	00:04	112,1		113	221	220	221	49747,1
TG2	14:56	00:33	120	128	135	217	217	218	83246
TG2	15:29	00:16	135	135	131	216	218	218	87148
TG2	15:45	00:14	120	152	130	218	220	220	88200
TG2	15:59	00:32	107	113	89	219	222	222	68277
TG2	16:31	00:14	122	120	103	220	222	222	76346
TG2	16:45	00:16	130	130	108	219	220	221	80938
TG2	17:01	00:15	113	89	112	221	222	222	69595
TG2	17:16	00:15	100	98	83	222	223	223	62563
TG2	17:31	00:15	110	125	98	222	223	223	74149
TG2	17:46	00:15	90	108	88	222	223	224	63776
TG2	18:01		74	88	72	222	223	224	52180
TG2	08:00	00:14	58	79	60	220	221	221	43479
TG2	08:14	00:16	64	68	66	221	222	222	43892
TG2	08:30	00:14	60	72	67	221	222	222	44118
TG2	08:44	00:16	70	68	64	219	220	220	44370
TG2	09:00	00:17	54	72	72	221	222	222	43902
TG2	09:17	00:12	68	68	74	220	221	221	46342
TG2	09:29	00:18	53	97	69	219	220	221	48196
TG2	09:47	00:13	81	80	83	220	221	221	53843
TG2	10:00	00:17	65	111	78	221	222	223	56401
TG2	10:17	00:12	92,8	118	110	221	222	222	71124,8
TG2	10:29	00:18	112	110	99	220	222	221	70939
TG2	10:47	00:26	115	112	102	220	221	221	72594
TG2	11:13	00:15	124,2	148,2	124,1	218	218	218	86437
TG2	11:28	00:12	126,5	148,2	141,6	217	218	218	90626,9
TG2	11:40	00:18	123,1	132	133,6	218	219	218	84868,6
TG2	11:58	00:17	103	138	142	216	217	216	82866
TG2	12:15	00:19	126,7	163,7	144,2	220	221	221	95919,9
TG2	12:34	00:20	123,7	124,5	131,3	221	223	222	84249,8
TG2	12:54	00:20	125	112	141	218	219	218	82516
TG2	13:14	00:22	135	148	130	216	216	216	89208
TG2	13:36	00:40	128,2	145,7	146,4	215	215	216	90510,9
TG2	14:16	00:16	118,3	168,9	137,6	213	214	215	90926,5
TG2	14:32	00:17	120	122	140	216	216	217	82652
TG2	14:49		112	113	123	215	216	216	75056

MEDIDAS TOMADAS DE CORRIENTE Y TENSION EN TG3								
Julio 25 de 2006								
Tablero	Hora	I(A) [A]	I(B) [A]	I(C) [A]	V(AB) [V]	V(BC) [V]	V(CA) [V]	Potencia Total [W]
TG3	11:18	57	45	45	221	220	219	32352
TG3	11:34	56	45	46	220	221	220	32385
TG3	11:44	73	48	53	220	222	219	38323
TG3	12:10	57	41	47	222	222	220	32096
TG3	12:17	61	52	57	222	222	220	37626
TG3	12:23	52	45	43	221	220	221	30895
TG3	12:30	52	36	38	221	220	219	27734
TG3	12:57	40,8	35,8	38,1	220	219	221	25236,3
TG3	13:07	53,6	47,2	49,8	222	220	222	33338,8
TG3	13:16	50,6	37,5	45	222	220	221	29428,2
TG3	13:23	49,9	37,8	45,9	219	219	220	29304,3
TG3	13:47	52,2	33,7	42	222	220	223	28368,4
TG3	13:55	51,7	38,3	44,9	224	222	224	30141
TG3	14:04	64,8	50,7	38,5	221	221	220	33995,5
TG3	14:12	50,1	49,1	41,6	220	220	219	30934,4
TG3	14:35	54,1	35,5	47,1	221	221	220	30163,6
TG3	14:43	72,6	56,4	60,7	222	220	222	42000,6
TG3	14:49	54,9	34,9	47,4	221	219	221	30251,4
TG3	14:56	55,2	39	47,5	219	220	219	31071,3
Agosto 2 de 2006								
TG3	15:08	78,5	51,4	56,9	218	217	218	40671
TG3	15:35	96	66	72,3	218	217	218	51011,4
TG3	15:50	98,8	65	70,3	220	219	221	51507,3
TG3	16:04	76	53,2	54,8	222	220	222	40741,6
TG3	16:36	98,7	60,2	74,5	222	220	221	51619,9
TG3	16:49	66	54,5	98,9	221	220	222	48531,8
TG3	17:05	63,9	54,5	45	222	220	223	36210,8
TG3	17:21	82,3	54,2	43,5	224	222	224	40211,6
TG3	17:35	95,5	73,6	69,9	223	222	223	53223,4
TG3	17:50	95	81,3	69,3	223	222	224	54756,8
TG3	18:07	77,1	44,1	58,3	224	223	223	40105,6
Agosto 4 de 2006								
TG3	08:07	70	36	50	223	222	223	34752
TG3	08:18	94	60	74	220	220	220	50160
TG3	08:35	70	45,5	52	220	219	220	36804,5
TG3	08:47	85	56	64	219	218	220	44903
TG3	09:03	72	46	59	222	221	222	39248
TG3	09:21	72	42	56	221	220	221	37528
TG3	09:32	72	43	43	222	221	223	35076
TG3	09:50	84	48	61	220	219	220	42412
TG3	10:02	104	60	74	221	220	221	52538
TG3	10:20	105	56	77	221	220	221	52542
TG3	10:32	70	45	46	222	221	221	35651
TG3	10:51	82	49,5	47	221	220	221	39399

MEDIDAS TOMADAS DE CORRIENTE Y TENSION EN TG4								
Julio 25 de 2006								
Tablero	Hora	I(A) [A]	I(B) [A]	I(C) [A]	V(AB) [V]	V(BC) [V]	V(CA) [V]	Potencia Total [W]
TG4	11:05	33,0	0	0	220,0	220	219	7260
TG4	11:28	28,0	0	0	221,0	220	218	6188
TG4	11:38	28,0	0	0	218,0	221	220	6104
TG4	12:06	28,0	0	0	219,0	220	220	6132
TG4	12:14	29,0	0	0	220,0	219	221	6380
TG4	12:21	34,0	0	0	220,0	219	220	7480
TG4	12:27	35,0	0	0	219,0	220	219	7665
TG4	12:56	34,0	0	0	221,0	221	220	7514
TG4	13:04	34,2	0	48,1	220,0	221	220	18106
TG4	13:15	21,1	0	43	221,0	220	221	14166,1
TG4	13:22	21,2	0	23,2	221,0	221	221	9812,4
TG4	13:46	26,0	0	23	220,0	220	220	10780
TG4	13:54	27,5	0	48,4	221,0	221	221	16773,9
TG4	14:02	33,0	0	52,7	219,0	220	219	18768,3
TG4	14:11	27,8	0	41,4	220,0	219	220	15224
TG4	14:34	35,0	0	41,2	219,0	220	220	16729
TG4	14:43	46,5	0	41,5	220,0	220	221	19401,5
TG4	14:48	29,2	0	47,5	219,0	221	219	16797,3
TG4	14:54	43,1	0	47,4	219,0	220	220	19866,9
Agosto 2 de 2006								
TG4	15:03	64,6	72	60,3	217	219	219	42991,9
TG4	15:32	64,3	72	55,4	217	218	219	41781,7
TG4	15:48	57,6	63	51,9	219	221	221	38007,3
TG4	16:02	69	80	61,2	220	222	222	46526,4
TG4	16:34	26	58	47,9	220	222	223	29277,7
TG4	16:46	33,7	59	55,4	220	221	222	32751,8
TG4	17:02	42,8	63	52,2	220	222	222	34990,4
TG4	17:17	44	50	57,3	222	223	223,5	33724,55
TG4	17:33	44,8	57	63,5	222	223	224	36880,6
TG4	17:48	44,2	45	46,1	223	224	224	30263
TG4	18:04	37	27	31,2	223	225	224	21314,8
Agosto 4 de 2006								
TG4	08:05	15,5	8	2,8	222	224	224	5860,2
TG4	08:16	15	7,6	26	220	222	222	10759,2
TG4	08:32	11,2	13,8	10	221	222	222	7758,8
TG4	08:46	23	15	10	219	221	219	10542
TG4	09:01	17	14	9,8	221	223	222	9054,6
TG4	09:19	16,8	13,8	9,9	221	222	222	8974,2
TG4	09:31	16,5	14	9,9	219	221	221	8895,4
TG4	09:48	16,9	14	10	220	222	221	9036
TG4	10:01	16,9	15	9,9	221	222	223	9272,6
TG4	10:19	12,8	15,8	10	222	223	223	8595
TG4	10:31	16,9	15,9	10	221	223	222	9500,6
TG4	10:49	16,8	15,8	10,9	220	222	221	9612,5
Agosto 15 de 2006								
TG4	11:06	27	20,5	14,8	218	219	219	13616,7
TG4	11:23	20,3	17,3	11,5	218	220	219	10749,9
TG4	11:38	26,2	20,4	11,5	218	220	220	12729,6
TG4	11:56	20	20,3	11,8	216	218	218	11317,8
TG4	12:14	44,7	20	11,2	221	223	221	16813,9
TG4	12:33	28,6	24,6	20,4	222	224	223	16408,8
TG4	12:53	26,5	29,4	20,9	218	220	219	16822,1
TG4	13:11	39,6	59,8	61,3	217	218	218	34993
TG4	13:34	30,8	59,7	55,9	215	216	217	31647,5
TG4	14:13	37,3	56,1	55,5	219	216	216	32274,3
TG4	14:31	36,9	68,5	69,8	214	215	216	37700,9
TG4	14:46	43,6	67,4	67,5	215	216	217	38579,9

MEDIDAS TOMADAS DE CORRIENTE Y TENSION EN TG6								
Julio 25 de 2006								
Tablero	Hora	I(A) [A]	I(B) [A]	I(C) [A]	V(AB) [V]	V(BC) [V]	V(CA) [V]	Potencia Total [W]
TG6	11:26	23	17	6	219	220	219	10091,00
TG6	11:36	23	17	6	220	221	219	10131,00
TG6	11:46	23	17	6	220	219	220	10103,00
TG6	12:12	23	17	6	219	220	219	10091,00
TG6	12:19	23	17	6	221	221	220	10160,00
TG6	12:25	23	17	6	220	221	220	10137,00
TG6	12:33	24,3	17,8	6,9	221	220	221	10811,20
TG6	12:59	29,5	17,9	13	221	221	221	13348,40
TG6	13:09	24,2	17,9	6,9	220	220	220	10780,00
TG6	13:18	24,1	18	6,9	221	221	221	10829,00
TG6	13:25	24,2	18,1	6,7	221	222	222	10853,80
TG6	13:49	24,2	18	6,9	222	223	223	10925,10
TG6	13:57	24,2	18,1	6,9	222	223	223	10947,40
TG6	14:05	24,6	18,3	6,9	219	221	221	10956,60
TG6	14:13	24,4	18,2	6,9	220	222	222	10940,20
TG6	14:40	24,8	18,3	6,9	220	222	223	11057,30
TG6	14:45	24,8	18,3	6,8	220	221	222	11009,90
TG6	14:51	24,7	18,4	6,8	221	220	221	11009,50
TG6	14:58	24,7	18,5	6,9	220	220	221	11028,90
Agosto 2 de 2006								
TG6	15:15	24,5	18,1	6,9	217	216	217	10723,40
TG6	15:39	23,8	18,2	6,9	216	216	217	10569,30
TG6	15:54	24,2	18,4	6,9	220	219	220	10871,60
TG6	16:07	24,3	17,8	6,9	220	218	221	10751,30
TG6	16:38	24	17,8	6,9	220	218	220	10678,40
TG6	16:52	24,1	17,7	6,9	219	218	219	10647,60
TG6	17:08	23,8	18	6,9	221	220	220	10737,80
TG6	17:24	23,8	17,9	6,9	223	221	222	10795,10
TG6	17:37	23,5	17,8	6,9	222	222	223	10707,30
TG6	17:53	23,8	17,8	6,9	222	222	222	10767,00
Agosto 4 de 2006								
TG6	08:11	24	18,2	7,4	221	221	222	10969,00
TG6	08:21	24	17,3	8	220	219	220	10828,70
TG6	08:38	24,8	18,2	7,2	219	218	220	10982,80
TG6	08:50	24,5	18,5	7,4	221	220	221	11119,90
TG6	09:05	24,8	18,7	7,4	221	221	221	11248,90
TG6	09:24	7,6	0	7,4	221	219	220	3307,60
TG6	09:35	25	19	8	222	220	221	11498,00
TG6	09:53	25	18,5	7,4	219	219	220	11154,50
TG6	10:06	9,2	2,8	7,4	222	221	221	4296,60
TG6	10:23	25	19	7,3	220	219	220	11267,00
TG6	10:35	24,8	19	7,9	220	219	220	11355,00
TG6	10:56	25,3	19,1	7,2	220	219	220	11332,90

Anexo 2
Medidas tomadas para tableros de distribución de TG2

Medidas tomadas para tableros de distribución de TG2								
Taco	Hora	I(A) [A]	I(B) [A]	I(C) [A]	V(AB) [V]	V(BC) [V]	V(CA) [V]	Potencia Total [W]
T2	11:14	13,7	13,4	2,8	218	218	218	3763,283
T2	11:29	13,7	23,5	2,7	217	218	218	5013,996
T2	11:43	11,5	23,2	2,8	218	219	218	4733,231
T2	12:00	13,7	23,4	2,5	216	217	216	4951,931
T2	12:16	13,9	13,2	8,2	220	221	221	4496,055
T2	12:35	13,8	13,2	8,1	221	223	222	4498,480
T2	12:55	13,8	13,3	19,9	218	219	218	5923,207
T2	13:15	13,8	23,2	19,6	216	216	216	7058,450
T2	13:37	14	23,3	8,2	215	215	216	5652,661
T2	14:18	14,2	13,5	19,8	213	214	215	5871,996
T2	14:34	14	23,4	7,9	216	216	217	5653,815
T2	14:51	13,3	7,8	23,4	215	216	216	5541,809
T9	11:14	20,9	24,3	18,5	218	218	218	8017,429
T9	11:29	21,7	21,7	18,2	217	218	218	7740,589
T9	11:43	19,7	19,3	20,3	218	219	218	7474,777
T9	12:00	21,1	18,8	20,2	216	217	216	7505,781
T9	12:16	20,3	21,9	20,3	220	221	221	7962,927
T9	12:35	21,1	20,4	18,5	221	223	222	7689,898
T9	12:55	20,5	12,1	20,4	218	219	218	6677,688
T9	13:15	21,7	19,9	17,2	216	216	216	7332,807
T9	13:37	20,3	21,8	18,6	215	215	216	7545,445
T9	14:18	20,7	19,1	15,9	213	214	215	6879,125
T9	14:34	21	23	19,6	216	216	217	7942,719
T9	14:51	13,1	12,7	19,6	215	216	216	5654,162
T8	11:15	24,7	27,1	9,5	219	218	218	7729,620
T8	11:30	25,2	34,2	9,6	217	219	218	8689,695
T8	11:44	26,4	34,6	9,5	218	219	217	8887,784
T8	12:01	32,6	50,7	20,5	216	217	216	12973,921
T8	12:17	33,5	38,3	21,2	222	221	221	11885,616
T8	12:36	24,8	23,7	9,6	221	223	220	7435,056
T8	12:56	25,1	20	12,4	218	219	218	7248,629
T8	13:16	35,5	20	21,6	216	216	216	9614,956
T8	13:38	39,6	21	26,3	215	216	216	10814,227
T8	14:19	38,7	36,6	28,2	213	214	216	12797,944
T8	14:35	34,7	14,3	21,2	216	216	217	8766,713
T8	14:52	31,9	18,3	14,8	217	216	216	8124,411
T6	11:15	8,2	5,7	8	219	218	218	2761,119
T6	11:30	3,2	3,8	3,1	217	219	218	1271,556
T6	11:44	7,8	2	1,3	218	219	217	1397,476
T6	12:01	8,3	3,7	8	216	217	216	2496,288
T6	12:17	3,3	3,9	4,9	222	221	221	1545,797
T6	12:36	5,7	4	5,8	221	223	220	1978,983
T6	12:56	8	4	5,8	218	219	218	2242,658
T6	13:16	1,8	3,6	1,5	216	216	216	860,482
T6	13:38	2,1	5,8	2	215	216	216	1233,393
T6	14:19	7,8	1,3	5,6	213	214	216	1818,191
T6	14:35	2	3,8	1,8	216	216	217	948,817
T6	14:52	5,3	3,6	5,6	217	216	216	1811,320
T7	11:16	11	3,6	2,7	220	219	220	2195,316
T7	11:31	6,7	3,8	5,8	217	218	218	2047,687
T7	11:45	1,4	5,3	5,9	218	219	218	1588,925
T7	12:02	3,6	3,1	7,3	218	217	216	1751,853
T7	12:18	3,3	1,8	1,7	220	221	221	865,736
T7	12:37	3,4	1,1	7,1	221	223	222	1485,464
T7	12:57	3	1,8	5,5	218	219	218	1297,421
T7	13:17	2,8	1,4	1,2	217	216	218	676,423
T7	13:39	3	1,6	5,6	215	215	216	1269,362
T7	14:20	3,6	1	5,4	216	214	215	1242,804
T7	14:36	3,2	2,3	6	216	219	217	1441,585
T7	14:53	3,4	3,3	1,9	215	216	216	1070,522

Medidas tomadas para tableros de distribución de TG2								
Taco	Hora	I(A) [A]	I(B) [A]	I(C) [A]	V(AB) [V]	V(BC) [V]	V(CA) [V]	Potencia Total [W]
T4	11:16	1,3	1,2	1,3	220	219	220	481,972
T4	11:31	1	1,8	1	217	218	218	477,699
T4	11:45	1,2	2	0	218	219	218	403,914
T4	12:02	1,1	1,8	1,1	218	217	216	501,140
T4	12:18	1,1	1,2	1,2	220	221	221	445,945
T4	12:37	1,4	1,5	1,4	221	223	222	551,196
T4	12:57	2	1,2	0,9	218	219	218	516,728
T4	13:17	1	0,9	0,7	217	216	218	325,625
T4	13:39	1,4	1,1	0,9	215	215	216	422,562
T4	14:20	1,5	1,2	1	216	214	215	459,455
T4	14:36	1,8	1,2	1	216	219	217	501,486
T4	14:53	1,4	1	0,8	215	216	216	398,256
T	11:17	1	13,2	6,6	218	218	218	2617,936
T	11:32	0,7	5,8	6,7	219	218	220	1669,523
T	11:46	1,8	6,68	6,6	218	219	218	1901,860
T	12:03	7	15,2	6,7	216	217	216	3612,825
T	12:19	7,2	9,6	6,6	220	221	221	2981,551
T	12:39	7,1	9,7	6,7	221	221	222	3002,335
T	12:59	6,9	9,5	6,5	220	219	218	2895,699
T	13:18	6,8	9,6	6,4	216	216	216	2843,333
T	13:40	6,9	9,6	6,3	215	217	216	2844,892
T	14:21	0,8	10,2	1,2	213	214	215	1507,576
T	14:37	0,9	9	0,8	216	216	217	1334,833
T	14:54	0,6	0,7	0,7	215	216	218	249,877
T3	11:17	17,4	30,2	25,8	218	218	218	9238,293
T3	11:32	17,9	28,3	25,8	219	218	220	9102,211
T3	11:46	17,5	31,2	25,6	218	219	218	9369,582
T3	12:03	17,6	30,5	25,9	216	217	216	9245,972
T3	12:19	17,7	28,2	26	220	221	221	9163,815
T3	12:39	17,7	31,8	25,6	221	221	222	9597,116
T3	12:59	17,4	30,5	25,6	220	219	218	9288,580
T3	13:18	17	32,5	35,8	216	216	216	10637,558
T3	13:40	17	33,9	25,8	215	217	216	9574,830
T3	14:21	18,1	36,5	27	213	214	215	10087,055
T3	14:37	17,9	28,4	26,9	216	216	217	9144,127
T3	14:54	17,8	34,2	27	215	216	218	9872,800
T1	11:18	25,4	30,3	31,3	218	218	218	10950,020
T1	11:33	25,7	29,7	31,5	217	218	218	10922,596
T1	11:47	24,9	31,5	30,6	218	219	218	10968,207
T1	12:04	25,4	31,7	31,1	216	217	216	11017,512
T1	12:20	23,8	29,4	33,4	220	221	221	11035,930
T1	12:40	19,1	21,7	36,6	221	223	222	9921,991
T1	13:01	19,1	21,6	39,1	218	219	218	10056,282
T1	13:20	25,2	22	32,1	216	216	216	9889,313
T1	13:40	19,1	29,7	26,8	215	215	216	9399,720
T1	14:21	19,2	9,8	29,3	213	214	215	7208,965
T1	14:37	20	9,8	31,6	216	216	217	7675,291
T1	14:54	19	19,8	28,9	215	216	216	8431,735
T5	11:18	5,3	15,2	25,4	218	218	218	5777,080
T5	11:33	4,9	15,6	25,8	217	218	218	5824,595
T5	11:47	4,8	15,7	13,9	218	219	218	4338,728
T5	12:04	4,1	15,1	25,8	216	217	216	5620,560
T5	12:20	4	15,6	17,5	220	221	221	4731,441
T5	12:39	4,2	15,3	16,3	221	223	222	4594,955
T5	13:01	4,1	15,5	16,5	218	219	218	4552,578
T5	13:20	4,1	15,8	19,2	216	216	216	4876,067
T5	13:40	4,2	15,4	25,2	215	215	216	5575,584
T5	14:21	4,6	15,4	18,8	213	214	215	4802,051
T5	14:37	4,5	15,5	16,3	216	216	217	4536,297
T5	14:54	4,6	15	16,3	215	216	216	4474,347

Anexo 3

Equipos utilitarios encontrados en el CINTROP

INVENTARIO ELEMENTOS RELEVANTES EN EL CINTROP					
INV	DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	Marca del ELEMENTO	VALOR DE COMPRA	Profesor	LAB
58104	NEVERA HACEB DE 257 LITROS SOF LINE UNA PUERTA		\$ 517.241,00	PATRICIA ESCOBAR RIVERO	Parasitologia
59120	ESTUFA INDUSTRIAL BIOQUIMICA A 37 EN LAMINA DE ACERO C		\$ 1.300.000,00	PATRICIA ESCOBAR RIVERO	Parasitologia
61047	TERMOCICLADOR CYCLER BIORAD REF 170-8720		\$ 26.358.637,00	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Inmunologia
18183	NEVERA PX-810 SERIE # 11514050	PHLLIPS	\$ 189.000,00	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Xenodiagnostico
61033	INUBADOR CHAQUETA DE AGUA CON MICROPRO.SITE.DE FLUJO C		\$ 17.403.825,16	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Inmunologia
49262	CONGELADOR VERTICAL CON ACCESORIOS REF	FORMA SCIE	\$ 14.867.122,00	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Xenodiagnostico
18195	CONGELADOR MOD IC0-09 # 11000024 CAP 9 PIES	CENTRALES	\$ 294.368,00	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Inmunologia
18541	CENTRIFUGA DE MESA MOD MICROFUGUE REF 4235 S# IF 005	BECKMAN	\$ 2.128.000,00	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Inmunologia
49281	CABINA DE BIOSEGURIDAD 4 PIES CLASE II TIPO B2 REF. 36		\$ 12.710.343,00	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Inmunologia
49272	CABINA DE BIOSEGURIDAD 4 PIES CLASE II TIPO A/B3 REF.		\$ 12.710.343,00	RAQUEL ELVIRA OCAZONEZ JIMENEZ	Virologia
14812	NEVERA DUPLEX PX-816 SERIE #01000900	PHILLIPS	\$ 282.850,00	VICTOR MANUEL ANGULO SILVA	Destilacion
47160	MICROCENRIFUGA REFRIGERADA MOD: 5417R EPPENDORF REF:		\$ 9.830.332,00	VICTOR MANUEL ANGULO SILVA	Molecular 2
49975	INCUBADORA ANALOGA 28 LTS		\$ 1.360.000,00	VICTOR MANUEL ANGULO SILVA	Inmunologia
52144	DESTILADOR		\$ 3.800.000,00	VICTOR MANUEL ANGULO SILVA	Destilacion
47159	BANO DE CIRCULACION REFRIGERADO LAUDA MOD: RE 106 REF:		\$ 4.165.400,00	VICTOR MANUEL ANGULO SILVA	Parasitologia
48645	AUTOCLAVE PELTON CREANE MOD. OMNI-CLAVE SERIE A-437736		\$ 3.700.000,00	VICTOR MANUEL ANGULO SILVA	Cuarto de Lavado
49977	AGITADOR TITRIMAX 1000/MOV. CIRCULAR		\$ 1.680.000,00	VICTOR MANUEL ANGULO SILVA	Inmunologia

Anexo 4
Historial Facturación Centro de Mecanización 1 y Calculo factor de potencia

Datos del cliente:				Datos contador 1			
Dirección: Km 2 Vía Guatiguara-Refugio Centro de Mecanización PCTA Municipio: Pidecuesta Tarifa: Comercial Medidos instalados : 2 Entidad: Universidad Industrial de Santander Carga instalada: 7,5 Factor Utilización: 3				Tipo: A5 Relación de Corriente: 200 / 5 Factor multiplicidad: 40			
				Datos contador 2			
				Tipo: R1			
				Convenciones			
				Contador 1: Potencia Activa			
				Contador 2: Potencia Reactiva			
				Relación de Corriente: 200 / 5			
				Factor multiplicidad: 40			
Fecha	Lectura Tomada Contador 1	Lectura Facturada Contador 1	Consumo cobrado Contador 1	Lectura Tomada Contador 2	Lectura Facturada Contador 2	Consumo cobrado Contador 2	Factor de Potencia
31/10/2003	474	474	80	34	34	40	0,894
31/12/2003	478	478	160	34	34	0	1,000
31/01/2004	474	479,168	47	34	34	0	1,000
30/05/2004	476	476	40	35	35	0	1,000
30/06/2004	477	477	40	35	35	0	1,000
31/10/2004	478,34	478,34	54	35,8	35,8	0	1,000
30/11/2004	479	479	26	36	36	8	0,956
31/12/2004	480	480	40	36	36	0	1,000
31/01/2005	481	481	40	36	36	0	1,000
31/03/2005	0	481,675	27	0	36,175	7	0,968
30/04/2005	491	491	373	41	41	193	0,888
31/05/2005	498	498	280	46	46	200	0,814
30/06/2005	5030	503	200	51	51	200	0,707
31/07/2005	0	506,825	153	0	53,5	100	0,837
31/08/2005	512,62	512,62	232	63	63	340	0,564
30/09/2005	0	517,62	211	0	66,325	173	0,773
31/10/2005	50,2	50,2	92	71,2	71,2	195	0,427
30/11/2005	522,6	522,6	96	75	75	152	0,534
31/12/2005	525,54	525,54	118	91,3	91,3	251	0,425
31/01/2006	533,7	533,7	326	90	90	348	0,684
28/02/2006	539,6	539,6	236	97	97	280	0,644
31/03/2006	546,6	546,6	280	103	103	240	0,759
30/04/2006	553	553	586	110	110	280	0,902
31/05/2006	557	557	160	116	116	240	0,555
30/06/2006	560	560	120	122	122	240	0,447
31/07/2006	566	566	240	128	128	240	0,707
31/08/2006	570	570	160	134	134	240	0,555

Anexo 5

Historial Facturación Centro de Mecanización 2 y Calculo factor de potencia

Datos del cliente:				Datos contador 1			
Dirección: Km 2 Vía Guatiguara-Refugio Centro de Mecanización PCTA				Tipo: A5			
Municipio: Pidecuesta				Relación de Corriente: 500 / 5			
Tarifa: Comercial				Factor multiplicidad: 100			
Medidos instalados : 2				Datos contador 2			
Entidad: Universidad Industrial de Santander				Tipo: R1			
Carga instalada: 97,9				Relación de Corriente: 500 / 5			
Factor Utilización: 12				Factor multiplicidad: 100			
Convenciones							
Contador 1: Potencia Activa							
Contador 2: Potencia Reactiva							
Fecha	Lectura Tomada Contador 1	Lectura Facturada Contador 1	Consumo cobrado Contador 1	Lectura Tomada Contador 2	Lectura Facturada Contador 2	Consumo cobrado Contador 2	Factor de Potencia
31/08/2003	0	1312,388	939	0	373,233	123	0,992
30/09/2003	0	1323,341	1095	0	374,671	144	0,991
31/10/2003	1341	1341	1766	384	384	933	0,884
30/11/2003	1361	1361	2000	393	393	900	0,912
31/12/2003	1369	1369	800	396	396	300	0,936
31/01/2004	1379	1379	1000	401	401	500	0,894
27/02/2004	1378	1378	800	405	405	400	0,894
31/03/2004	1400	1400	1300	4121	4121	700	0,880
30/04/2004	1415	1415	1500	418	418	600	0,928
30/05/2004	1424	1424	900	423	423	500	0,874
30/06/2004	1440	1440	1600	431	431	800	0,894
31/07/2004	1450	1450	1000	433	433	200	0,981
31/08/2004	1460	1460	1000	440	440	700	0,819
30/09/2004	1489	1489	2900	462	462	2200	0,797
31/10/2004	1506,2	1506,2	1720	472	472	1090	0,845
30/11/2004	1522	1522	1580	481	481	810	0,890
31/12/2004	1535	1535	1300	489	489	800	0,852
31/01/2005	1547	1547	1200	495	495	600	0,894
28/02/2005	0	1563,17	1617	0	505,33	10300	0,155
31/03/2005	1566	1566	283	503	505,33	0	1
30/04/2005	1581	1581	1500	509	509	367	0,971349196
31/05/2005	1599	1599	1800	515	515	600	0,948683298
30/06/2005	0	1611,83	1283	0	520,67	567	0,914662086

Fecha	Lectura Tomada Contador 1	Lectura Facturada Contador 1	Consumo cobrado Contador 1	Lectura Tomada Contador 2	Lectura Facturada Contador 2	Consumo cobrado Contador 2	Factor de Potencia
31/07/2005	1629	1629	1717	524	524	333	0,982
31/08/2005	1643	1643	1400	529	529	500	0,942
30/09/2005	1656,1	1656,1	1310	535,2	535,2	620	0,904
31/10/2005	1667	1667	1090	541	541	580	0,883
30/11/2005	1677	1677	1000	547	547	600	0,857
31/12/2005	0	1683	600	0	550,5	350	0,864
31/01/2006	1702	1702	1990	561	561	1050	0,884
28/08/1904	1717	1717	1500	568	568	700	0,906
31/03/2006	1731	1731	1400	574	574	600	0,919
30/04/2006	0	1743,48	1248	0	580,47	647	0,888
31/05/2006	0	1756,23	1275	588	588	753	0,861
30/06/2006	1774	1774	1777	593	593	500	0,963
31/07/2006	1789	1789	1500	599	599	600	0,928
31/08/2006	1811	1811	2200	612	612	1300	0,861

Anexo 6

Historial facturación Guatiguará

Datos del cliente:					Datos contador 1		
Dirección: Guatiguara Municipio: Pidecuesta Tarifa: No Regulado Medidos instalados : 2 Entidad: Universidad Industrial de Santander Carga instalada: 300 Factor Utilizacion: 9,6					Tipo: A5 Relacion de Corriente: 60 / 5 Factor multiplicidad: 1320		
					Datos contador 2		
					Tipo: R1 Relacion de Corriente: 60 / 5 Factor multiplicidad: 1320		
Fecha	Consumo Activa /Mes	Consumo Reactiva/Mes	Factor Potencia Mes	Cantidad Consumo Q Cobrado	Consumo Cobrado Activa \$	Consumo Cobrado Reactiva \$	Porcentaje Cobro Q en P
31/08/2003	39307	22090	0,872				
30/09/2003	40580	22746	0,872				
31/10/2003	41887	23047	0,876				
30/11/2003	39219	22084	0,871				
31/12/2003	39181	21211	0,879				
31/01/2004	36100	7688	0,978				
27/02/2004	38076	13178	0,945				
31/03/2004	41591	23786	0,868				
30/04/2004	42882	24761	0,866				
30/05/2004	52099	27956	0,881				
30/06/2004	47514	26781	0,871				
31/07/2004	43101	20612	0,902				
31/08/2004	43678	20171	0,908				
30/09/2004	43443	22878	0,885		8346740	243695	2,92%
31/10/2004	38893	21936	0,871		8058160	303926	3,77%
30/11/2004	42583	22837	0,881		8648450	263803	3,05%
31/12/2004	39016	0	1		7903279	0	0,00%

Datos del cliente:					Datos contador 1		
Dirección: Guatiguara Municipio: Pidecuesta Tarifa: No Regulado Medidos instalados : 2 Entidad: Universidad Industrial de Santander Carga instalada: 300 Factor Utilización: 9,6					Tipo: A5 Relación de Corriente: 60 / 5 Factor multiplicidad: 1320		
					Datos contador 2		
					Tipo: R1 Relación de Corriente: 60 / 5 Factor multiplicidad: 1320		
Fecha	Consumo Activa /Mes	Consumo Reactiva/Mes	Factor Potencia Mes	Cantidad Consumo Q Cobrado	Consumo Cobrado Activa \$	Consumo Cobrado Reactiva \$	Porcentaje Cobro Q en P
31/01/2005	40117	21270	0,884		8448017	274306	3,25%
28/02/2005	45185	19884	0,915		8945528	84487	0,94%
31/03/2005	45383	21123	0,907		8794432	226236	2,57%
30/04/2005	46506	19692	0,921		8987441	154494	1,72%
31/05/2005	49098	19837	0,927		9607120	138149	1,44%
30/06/2005	48805	17655	0,940	395	9063519	32898	0,36%
31/07/2005	45871	18522	0,927	1206	9474717	103396	1,09%
31/08/2005	48379	17988	0,937	578	10016515	47156	0,47%
30/09/2005	48129	22229	0,908	4188	9868828	380777	3,86%
31/10/2005	51105	20085	0,931	1921	10474919	173458	1,66%
30/11/2005	44488	21784	0,898	4277	8085414	387073	4,79%
31/12/2005	43663	20348	0,906	2341	8959219	195698	2,18%

Anexo 7
 Datos medidos y calculados para subestación 1.

SUBESTACION 1							
DATOS TRIFASICOS							
Hora real	P total W	Q total VAR	FP	S total VA	Wh	VARh	VAh
00:03:05	12622	9009	0,814	15507,278	2163,681	1621,501	2704,513
00:13:05	13446	9977	0,803	16743,715	2172,347	1582,212	2687,583
00:23:05	11875	9327	0,786	15099,989	2110,077	1608,747	2653,642
00:33:05	11924	9218	0,791	15071,920	1983,231	1545,488	2514,326
00:43:05	11841	8919	0,799	14823,909	1980,415	1511,418	2491,319
00:53:05	12286	10338	0,765	16056,687	2010,538	1604,749	2573,383
01:03:05	11777	8921	0,797	14774,818	2005,247	1604,967	2569,292
01:13:05	12500	9417	0,799	15650,226	2023,100	1528,206	2535,420
01:23:05	11438	8847	0,791	14459,901	1994,796	1522,007	2509,177
01:33:05	12216	9689	0,783	15592,134	1971,143	1544,689	2504,336
01:43:05	11488	10051	0,753	15264,313	1975,368	1645,003	2571,371
01:53:05	11550	10078	0,753	15328,496	1919,854	1677,380	2549,401
02:03:05	11528	10142	0,751	15354,814	1923,192	1685,011	2556,943
02:13:05	11471	10362	0,742	15458,486	1916,661	1708,683	2567,775
02:23:05	11324	9731	0,758	14930,722	1899,611	1674,431	2532,434
02:33:05	10864	9424	0,755	14381,481	1848,961	1596,250	2442,684
02:43:05	11926	10360	0,755	15797,159	1899,098	1648,660	2514,887
02:53:05	10745	9102	0,763	14082,003	1889,182	1621,883	2489,930
03:03:05	11347	9549	0,765	14830,854	1841,007	1554,320	2409,405
03:13:05	10743	9007	0,766	14018,603	1840,831	1546,330	2404,121
03:23:05	11038	8919	0,778	14191,129	1815,082	1493,766	2350,811
03:33:05	10489	9508	0,741	14156,936	1793,968	1535,522	2362,339
03:43:05	1036	2206	0,425	2436,824	960,398	976,125	1382,813
03:53:05	1082	1558	0,570	1896,932	176,460	313,663	361,146
04:03:05	1135	1857	0,521	2176,572	184,710	284,633	339,459
04:13:05	1072	999	0,732	1465,750	183,922	238,048	303,527
04:23:05	1076	1141	0,686	1568,282	179,061	178,317	252,836
04:33:05	1072	1243	0,653	1641,425	179,023	198,641	267,476
04:43:05	1066	1239	0,652	1634,518	178,186	206,824	272,995
04:53:05	1137	1275	0,666	1708,004	183,584	209,469	278,543
05:03:05	1132	1501	0,602	1880,113	189,046	231,339	299,010
05:13:05	1076	1554	0,569	1890,172	183,950	254,632	314,190
05:23:05	1062	1275	0,640	1659,311	178,110	235,790	295,790
05:33:05	1041	2139	0,438	2379,286	175,249	284,544	336,550
05:43:05	1034	1884	0,481	2149,341	172,956	335,292	377,386
05:53:05	9023	10921	0,637	14166,221	838,111	1067,084	1359,630
06:03:05	8132	9030	0,669	12152,397	1429,637	1662,581	2193,218
06:13:05	8042	8343	0,694	11587,556	1347,833	1447,761	1978,329
06:23:05	8166	10233	0,624	13091,957	1350,667	1547,972	2056,626
06:33:05	6841	10103	0,561	12201,274	1250,584	1694,672	2107,769
06:43:05	6248	7706	0,630	9920,436	1090,705	1484,093	1843,476
06:53:05	7599	9518	0,624	12179,263	1153,870	1435,333	1841,642
07:03:05	6287	9144	0,567	11096,664	1157,121	1555,177	1939,661
07:13:05	6277	9887	0,536	11711,599	1047,010	1585,930	1900,689
07:23:05	4870	8019	0,519	9381,442	928,909	1492,154	1757,753
07:28:33	4661	6559	0,579	8046,676	397,121	607,404	726,172
07:38:33	4008	6583	0,520	7707,429	722,458	1095,191	1312,842
07:48:33	3669	6120	0,514	7135,401	639,764	1058,590	1236,903
07:58:33	4024	5402	0,597	6736,518	641,111	960,181	1155,993
08:08:33	3268	6245	0,464	7048,148	607,695	970,587	1148,722
08:18:33	18855	14149	0,800	23573,130	1843,541	1699,487	2551,773
08:28:33	18792	15022	0,781	24058,352	3137,256	2430,887	3969,290
08:38:33	19811	14932	0,799	24808,618	3216,994	2496,156	4072,247
08:48:33	20409	16278	0,782	26105,423	3351,723	2600,817	4242,837
08:58:33	24115	15514	0,841	28674,577	3710,388	2649,271	4565,000
09:08:33	24406	16008	0,836	29187,459	4043,440	2626,831	4821,836
09:18:33	25858	17668	0,826	31317,891	4188,662	2806,376	5042,113
09:28:33	26165	18149	0,822	31843,824	4335,302	2984,794	5263,476
09:38:33	28656	17473	0,854	33563,048	4568,469	2968,519	5450,573
09:48:33	28145	17841	0,845	33323,089	4733,419	2942,811	5573,845
09:58:33	27576	17371	0,846	32591,008	4643,371	2934,340	5492,841
10:08:33	28398	16380	0,866	32783,549	4664,484	2812,600	5447,880
10:18:33	27579	16656	0,856	32218,344	4664,770	2752,986	5416,824
10:28:33	29088	16004	0,876	33200,106	4722,261	2721,662	5451,538
10:38:33	28081	16208	0,866	32423,293	4764,118	2684,363	5468,617
10:48:33	28085	16222	0,866	32433,463	4680,543	2702,522	5404,730
10:58:33	29197	16364	0,872	33470,502	4773,558	2715,495	5491,997
11:08:33	28946	17030	0,862	33584,197	4845,278	2782,872	5587,892
11:18:33	29310	16835	0,867	33800,855	4854,672	2822,100	5615,421
11:28:33	29551	16976	0,867	34080,060	4905,093	2817,588	5656,743
11:38:33	29483	15789	0,882	33444,428	4919,482	2730,434	5627,041
11:48:33	30857	16552	0,881	35016,036	5028,337	2695,050	5705,039
11:58:33	29850	15396	0,889	33586,444	5058,913	2662,314	5716,873
12:08:33	30654	17042	0,874	35072,565	5041,971	2703,164	5721,584
12:13:05	33143	15494	0,906	36585,603	5316,394	2711,304	5971,514
12:23:05	32977	17339	0,885	37257,274	5509,956	2736,081	6153,573

Hora real	P total W	Q total VAR	FP	S total VA	Wh	VARh	VAh
12:33:05	33052,943	16435,201	0,895	36913,587	5502,463	2814,533	6180,905
12:43:05	31805,469	17358,080	0,878	36233,835	5404,868	2816,107	6095,618
12:53:05	31248,454	16097,344	0,889	35150,966	5254,494	2787,952	5948,733
13:03:05	31691,934	15209,695	0,902	35152,717	5245,032	2608,920	5858,640
13:13:05	31727,761	14345,857	0,911	34820,316	5284,975	2462,963	5831,086
13:23:05	31551,066	14553,907	0,908	34746,021	5273,236	2408,314	5797,195
13:33:05	31399,853	14366,190	0,909	34530,250	5245,910	2410,008	5773,023
13:43:05	31767,221	14797,153	0,906	35044,430	5263,923	2430,279	5797,890
13:53:05	32869,624	13428,392	0,926	35506,815	5386,404	2352,129	5879,270
14:03:05	34065,099	14207,375	0,923	36909,084	5577,894	2302,981	6034,658
14:13:05	33323,496	13675,682	0,925	36020,545	5615,716	2323,588	6077,469
14:23:05	34446,094	14280,808	0,924	37289,072	5647,466	2329,707	6109,135
14:33:05	33158,379	14046,660	0,921	36010,925	5633,706	2360,622	6108,333
14:43:05	35581,256	14806,673	0,923	38539,114	5728,303	2404,444	6212,503
14:53:05	35308,351	15258,454	0,918	38464,270	5907,467	2505,427	6416,949
15:03:05	35041,238	14509,901	0,924	37926,582	5862,466	2480,696	6365,904
15:13:05	35331,627	14322,518	0,927	38124,249	5864,405	2402,702	6337,569
15:23:05	35508,602	15021,174	0,921	38555,110	5903,352	2445,308	6389,947
15:33:05	34164,920	14664,081	0,919	37178,986	5806,127	2473,771	6311,175
15:43:05	32945,963	14265,090	0,918	35901,661	5592,574	2410,764	6090,054
15:53:05	34122,957	13644,244	0,929	36749,715	5589,077	2325,778	6054,281
16:03:05	31670,247	12733,082	0,928	34134,088	5482,767	2198,111	5906,984
16:13:05	32475,815	13813,306	0,920	35291,443	5345,505	2212,199	5785,461
16:23:05	30942,165	13568,543	0,916	33786,431	5284,832	2281,821	5756,490
16:33:05	30415,293	12954,546	0,920	33059,194	5113,122	2210,257	5570,469
16:43:05	31744,850	13083,206	0,925	34335,197	5180,012	2169,813	5616,199
16:53:05	29900,382	11737,196	0,931	32121,560	5137,103	2068,367	5538,063
17:03:05	31562,053	12637,864	0,928	33998,218	5121,870	2031,255	5509,981
17:13:05	29847,330	12123,600	0,926	32215,598	5117,449	2063,455	5517,818
17:23:05	29722,941	11848,608	0,929	31997,542	4964,189	1997,684	5351,095
17:33:05	27860,369	10660,851	0,934	29830,419	4798,609	1875,788	5152,330
17:43:05	29058,704	11596,830	0,929	31287,294	4743,256	1854,807	5093,143
17:53:05	27198,908	10079,507	0,938	29006,500	4688,134	1806,361	5024,483
18:03:05	27028,524	10460,779	0,933	28982,218	4518,953	1711,691	4832,393
18:13:05	27785,127	10932,293	0,931	29858,472	4567,804	1782,756	4903,391
18:23:05	26957,611	10237,896	0,935	28836,215	4561,895	1764,182	4891,224
18:33:05	27455,983	11556,741	0,922	29789,080	4534,466	1816,220	4885,441
18:43:05	25763,245	11799,136	0,909	28336,626	4434,936	1946,323	4843,809
18:53:05	24948,840	10534,023	0,921	27081,548	4226,007	1861,097	4618,181
19:03:05	23563,343	11840,528	0,894	26370,992	4042,682	1864,546	4454,378
19:13:05	23356,939	12205,907	0,886	26353,951	3910,023	2003,870	4393,745
19:23:05	23549,224	14806,860	0,847	27817,423	3908,847	2251,064	4514,281
19:40:22	15989,314	9154,840	0,868	18424,692	5601,293	3394,574	6550,966
19:50:22	12182,321	8795,472	0,811	15025,620	2347,636	1495,859	2787,526
20:00:22	13477,801	9618,370	0,814	16557,903	2138,343	1534,487	2631,960
20:10:22	12730,949	9161,066	0,812	15684,457	2184,062	1564,953	2686,863
20:20:22	11322,541	7929,371	0,819	13822,983	2004,458	1424,203	2458,953
20:30:22	11748,847	8578,893	0,808	14547,605	1922,616	1375,689	2364,216
20:40:22	10940,047	8848,657	0,778	14070,656	1890,741	1452,296	2384,855
20:50:22	11668,517	8636,928	0,804	14517,259	1884,047	1457,132	2382,326
21:00:22	10668,660	8524,179	0,781	13655,839	1861,431	1430,092	2347,758
21:10:22	10246,625	7790,561	0,796	12871,914	1742,940	1359,562	2210,646
21:20:22	10285,861	7901,700	0,793	12970,575	1711,041	1307,688	2153,541
21:30:22	10590,123	9199,149	0,755	14027,653	1739,665	1425,071	2249,852
21:40:22	11186,161	9926,701	0,748	14955,587	1814,690	1593,821	2415,270
21:50:22	10674,690	9719,830	0,739	14436,900	1821,738	1637,211	2449,374
22:00:22	10544,305	9627,436	0,738	14278,302	1768,250	1612,272	2392,934
22:10:22	10232,031	8527,250	0,768	13319,476	1731,361	1512,890	2299,815
22:20:22	11244,841	10124,803	0,743	15131,361	1789,739	1554,338	2370,903
22:30:22	10472,703	9275,989	0,749	13990,050	1809,795	1616,733	2426,784
22:40:22	10816,711	9142,948	0,764	14163,147	1774,118	1534,911	2346,100
22:50:22	10861,116	9075,125	0,767	14153,506	1806,486	1518,173	2359,721
23:00:22	10812,558	8640,468	0,781	13840,849	1806,140	1476,299	2332,863
23:10:22	11964,854	8992,880	0,799	14967,619	1898,118	1469,446	2400,706
23:20:22	13272,965	9035,518	0,827	16056,531	2103,152	1502,367	2585,346
23:30:22	13072,761	9324,506	0,814	16057,506	2195,477	1530,002	2676,170
23:40:22	13378,324	9977,760	0,802	16689,375	2204,257	1608,522	2728,907
23:50:22	13342,254	10448,963	0,787	16946,875	2894,729	2212,895	3643,927
Energias Activa reactiva y Aparente por día					446945,666	264094,216	525087,312

Anexo 8

Datos medidos y calculados para subestación

SUBESTACION 2							
DATOS TRIFASICOS							
Hora real	P total W	Q total Var	FP	S total VA	Wh	VARh	VAh
00:03:19	3265,955	2816,729	0,757	4312,821	541,035	471,624	717,748
00:13:19	3277,317	3487,576	0,685	4785,812	545,273	525,359	758,219
00:23:19	3195,738	2641,135	0,771	4145,882	539,421	510,726	744,308
00:33:19	3238,209	2623,465	0,777	4167,561	536,162	438,717	692,787
00:43:19	3314,792	2709,874	0,774	4281,502	546,083	444,445	704,089
00:53:19	3174,196	2912,953	0,737	4308,227	540,749	468,569	715,811
01:03:19	3194,368	2684,995	0,766	4172,911	530,714	466,496	706,761
01:13:19	3325,481	2562,196	0,792	4198,056	543,321	437,266	697,581
01:23:19	3260,535	2589,830	0,783	4163,929	548,835	429,335	696,832
01:33:19	3305,185	2772,079	0,766	4313,777	547,143	446,826	706,475
01:43:19	3160,244	3382,903	0,683	4629,382	538,786	512,915	745,263
01:53:19	3200,853	3046,078	0,724	4418,602	530,091	535,748	753,999
02:03:19	3267,007	3250,511	0,709	4608,596	538,988	524,716	752,267
02:13:19	3277,846	3038,862	0,733	4469,783	545,404	524,114	756,532
02:23:19	3303,888	2703,635	0,774	4269,112	548,478	478,541	728,241
02:33:19	2949,588	3308,595	0,665	4432,479	521,123	501,019	725,133
02:43:19	2967,963	3218,927	0,678	4378,390	493,129	543,960	734,239
02:53:19	3012,842	3533,991	0,649	4643,954	498,400	562,743	751,862
03:03:19	3076,545	3100,487	0,704	4367,854	507,449	552,873	750,984
03:13:19	3046,168	3066,299	0,705	4322,191	510,226	513,899	724,170
03:23:19	2976,560	2755,538	0,734	4056,217	501,894	485,153	698,201
03:33:19	3039,332	3282,087	0,679	4473,213	501,324	503,135	710,786
03:43:19	3038,101	3687,662	0,636	4777,960	506,453	580,812	770,931
03:53:19	3012,150	2970,528	0,712	4230,494	504,188	554,849	750,705
04:03:19	2976,666	3517,822	0,646	4608,212	499,068	540,696	736,559
04:13:19	3026,610	2354,769	0,789	3834,749	500,273	489,383	703,580
04:23:19	2939,114	2771,100	0,728	4039,478	497,144	427,156	656,186
04:33:19	2905,914	2262,977	0,789	3683,124	487,086	419,506	643,550
04:43:19	2791,723	2743,323	0,713	3914,018	474,803	417,192	633,095
04:53:19	3005,925	2676,309	0,747	4024,701	483,137	451,636	661,560
05:03:19	2991,157	2803,989	0,730	4099,924	499,757	456,692	677,052
05:13:19	2948,052	2828,941	0,722	4085,819	494,934	469,411	682,145
05:23:19	2846,833	3417,784	0,640	4448,113	482,907	520,560	711,161
05:33:19	2789,086	3944,204	0,577	4830,709	469,660	613,499	773,235
05:43:19	2889,538	3289,399	0,660	4378,307	473,219	602,800	767,418
05:53:19	3021,502	3649,206	0,638	4737,739	492,587	578,217	759,671
06:03:19	3071,481	2899,015	0,727	4223,539	507,749	545,685	746,773
06:13:19	2982,874	3124,102	0,691	4319,439	504,530	501,926	711,915
06:23:19	2958,708	2734,998	0,734	4029,165	495,132	488,258	695,717
06:33:19	3065,581	3002,955	0,714	4291,331	502,024	478,163	693,375
06:43:19	3007,444	2081,762	0,822	3657,657	506,085	423,726	662,416
06:53:19	3055,497	3007,961	0,713	4287,644	505,245	424,144	662,108
07:03:19	3190,526	2676,550	0,766	4164,538	520,502	473,709	704,349
07:13:19	2812,168	3313,919	0,647	4346,302	500,225	499,206	709,237
07:23:19	2875,191	2961,172	0,697	4127,379	473,947	522,924	706,140
07:33:19	2037,015	1245,312	0,853	2387,516	409,350	350,540	542,908
07:43:19	1658,442	1657,513	0,707	2344,734	307,955	241,902	394,354
07:53:19	1768,600	2085,449	0,647	2734,418	285,587	311,914	423,263
08:03:19	2604,103	1144,225	0,916	2844,399	364,392	269,140	464,901
08:13:19	2575,352	452,470	0,985	2614,798	431,621	133,058	454,933
08:23:19	2677,742	927,625	0,945	2833,865	437,758	115,008	454,055
08:33:19	2846,442	-803,158	0,962	2957,583	460,349	10,372	482,621
08:43:19	3560,962	-1172,557	0,950	3749,045	533,950	-164,643	558,886
08:53:19	4124,673	-1339,664	0,951	4336,776	640,470	-209,352	673,818
09:03:19	4252,561	-2626,740	0,851	4998,403	698,103	-330,534	777,932
09:13:19	4340,275	-2580,080	0,860	5049,238	716,070	-433,902	837,303
09:23:19	4746,199	-2512,588	0,884	5370,242	757,206	-424,389	868,290
09:33:19	4599,238	-2638,734	0,867	5302,443	778,786	-429,277	889,390
09:43:19	4570,597	-2503,442	0,877	5211,294	764,153	-428,515	876,145
09:53:19	4800,075	-2345,451	0,898	5342,458	780,889	-404,074	879,479
10:03:19	4279,567	-2826,356	0,834	5128,643	756,637	-430,984	872,592
10:13:19	4484,756	-2612,766	0,864	5190,336	730,360	-453,260	859,915
10:23:19	4739,085	-2527,884	0,882	5371,138	768,653	-428,388	880,123
10:33:19	4802,959	-2560,250	0,882	5442,728	795,170	-424,011	901,156
10:43:19	4796,100	-2546,943	0,883	5430,423	799,922	-425,599	906,096
10:53:19	4835,736	-2564,351	0,883	5473,594	802,653	-425,941	908,668
11:03:19	4680,583	-2636,874	0,871	5372,240	793,027	-433,435	903,820
11:13:19	9531,246	-5173,852	0,879	10844,971	1184,319	-650,894	1351,434
11:23:19	9253,895	-5057,115	0,878	10545,567	1565,428	-852,581	1782,545
11:33:19	8955,595	-5151,090	0,867	10331,332	1517,458	-850,684	1739,742
11:43:19	8873,915	-5256,923	0,860	10314,146	1485,793	-867,334	1720,457
11:53:19	11450,289	-5286,912	0,908	12611,921	1693,684	-878,653	1910,506
12:03:19	12564,958	-4967,789	0,930	13511,370	2001,271	-854,558	2176,941
12:13:19	16151,485	-6170,377	0,934	17289,998	2393,037	-928,181	2566,781
12:23:19	15676,051	-6141,462	0,931	16836,155	2652,295	-1025,987	2843,846

Hora real	P total W	Q total Var	FP	S total VA	Wh	VARh	VAh
12:33:19	13193,312	-6279,514	0,903	14611,495	2405,780	-1035,081	2620,637
12:43:19	11489,610	-3556,939	0,955	12027,591	2056,910	-819,704	2219,924
12:53:19	11003,934	-2939,022	0,966	11389,663	1874,462	-541,330	1951,438
13:03:19	11019,531	-2724,457	0,971	11351,332	1835,289	-471,957	1895,083
13:13:19	10748,599	-4111,351	0,934	11508,066	1814,011	-569,651	1904,950
13:23:19	10673,601	-5558,262	0,887	12034,120	1785,183	-805,801	1961,849
13:33:19	10647,247	-3722,304	0,944	11279,159	1776,737	-773,381	1942,773
13:43:19	10189,821	-2804,097	0,964	10568,605	1736,422	-543,867	1820,647
13:53:19	10608,429	-2004,503	0,983	10796,148	1733,188	-400,717	1780,396
14:03:19	11600,733	-3305,493	0,962	12062,475	1850,764	-442,500	1904,885
14:13:19	11906,924	-3992,182	0,948	12558,358	1958,971	-608,140	2051,736
14:23:19	12031,656	-4128,874	0,946	12720,391	1994,882	-676,755	2106,562
14:33:19	12039,284	-4126,239	0,946	12726,751	2005,912	-687,926	2120,595
14:43:19	12517,925	-4039,414	0,952	13153,528	2046,434	-680,471	2156,690
14:53:19	7869,404	-2912,150	0,938	8390,956	1698,944	-579,297	1795,374
15:03:19	8120,313	-2771,709	0,946	8580,318	1332,476	-473,655	1414,273
15:13:19	8005,784	-2710,006	0,947	8452,024	1343,841	-456,810	1419,362
15:23:19	8333,439	-2533,751	0,957	8710,115	1361,602	-436,980	1430,178
15:33:19	8159,213	-2559,952	0,954	8551,381	1374,388	-424,475	1438,458
15:43:19	8542,895	-2470,997	0,961	8893,080	1391,842	-419,246	1453,705
15:53:19	8843,958	-3612,144	0,926	9553,176	1448,904	-506,928	1537,188
16:03:19	9064,334	-3785,938	0,923	9823,211	1492,358	-616,507	1614,699
16:13:19	8896,473	-3998,654	0,912	9753,792	1496,734	-648,716	1631,417
16:23:19	8877,055	-4079,334	0,909	9769,497	1481,127	-673,166	1626,941
16:33:19	8610,082	-4263,507	0,896	9607,862	1457,261	-695,237	1614,780
16:43:19	8923,947	-3668,864	0,925	9648,699	1461,169	-661,031	1604,713
16:53:19	9356,057	-5308,330	0,870	10757,052	1523,334	-748,100	1700,479
17:03:19	9394,712	-5237,464	0,873	10756,005	1562,564	-878,816	1792,755
17:13:19	9555,197	-5211,201	0,878	10883,860	1579,159	-870,722	1803,322
17:23:19	9512,202	-5222,060	0,877	10851,354	1588,950	-869,438	1811,268
17:33:19	9636,459	-4690,331	0,899	10717,301	1595,722	-826,033	1797,388
17:43:19	9462,507	-5352,469	0,870	10871,429	1591,580	-836,900	1799,061
17:53:19	9183,271	-5539,858	0,856	10724,854	1553,815	-907,694	1799,690
18:03:19	9040,757	-5484,946	0,855	10574,494	1518,669	-918,734	1774,946
18:13:19	8792,696	-5560,309	0,845	10403,295	1486,121	-920,438	1748,149
18:23:19	7892,157	-5739,902	0,809	9758,720	1390,404	-941,684	1680,168
18:33:19	7608,763	-5630,813	0,804	9465,693	1291,743	-947,560	1602,034
18:43:19	7459,948	-5684,161	0,795	9378,727	1255,726	-942,915	1570,368
18:53:19	6764,651	-5725,399	0,763	8862,319	1185,383	-950,797	1520,087
19:03:19	6073,754	-5577,872	0,737	8246,402	1069,867	-941,939	1425,727
19:13:19	5572,612	-5545,719	0,709	7861,870	970,530	-926,966	1342,356
19:23:19	5151,386	-5609,958	0,676	7616,325	893,666	-929,640	1289,850
19:33:19	4694,982	-4517,821	0,721	6515,640	820,531	-843,982	1177,664
19:43:19	4669,468	-2558,347	0,877	5324,385	780,371	-589,681	986,669
19:53:19	4285,978	-1503,757	0,944	4542,124	746,287	-338,509	822,209
20:03:19	4183,156	-2022,312	0,900	4646,347	705,761	-293,839	765,706
20:13:19	4084,562	1675,846	0,925	4414,986	688,976	-28,872	755,111
20:23:19	3572,458	2167,465	0,855	4178,559	638,085	320,276	716,129
20:33:19	3122,662	1871,181	0,858	3640,376	557,927	336,554	651,578
20:43:19	3052,280	2903,317	0,725	4212,560	514,578	397,875	654,411
20:53:19	3079,663	2268,923	0,805	3825,224	510,995	431,020	669,815
21:03:19	3154,973	2595,697	0,772	4085,523	519,553	405,385	659,229
21:13:19	2924,639	2135,198	0,808	3621,130	506,634	394,241	642,221
21:23:19	3215,485	2298,317	0,814	3952,417	511,677	369,460	631,129
21:33:19	3216,963	3478,960	0,679	4738,356	536,037	481,440	724,231
21:43:19	3151,484	3938,644	0,625	5044,281	530,704	618,134	815,220
21:53:19	3212,377	3304,784	0,697	4608,792	530,322	603,619	804,423
22:03:19	3176,812	2788,048	0,752	4226,742	532,432	507,736	736,295
22:13:19	3159,976	2602,324	0,772	4093,597	528,066	449,198	693,362
22:23:19	3300,758	3173,467	0,721	4578,854	538,395	481,316	722,704
22:33:19	3128,231	3035,221	0,718	4358,715	535,749	517,391	744,797
22:43:19	3274,082	2609,206	0,782	4186,594	533,526	470,369	712,109
22:53:19	3319,891	2782,520	0,766	4331,754	549,498	449,311	709,862
23:03:19	3164,380	2599,114	0,773	4094,960	540,356	448,470	702,226
23:13:19	3183,531	2423,651	0,796	4001,119	528,993	418,564	674,673
23:23:19	3267,074	2580,927	0,785	4163,527	537,550	417,048	680,387
23:33:19	3314,969	2615,272	0,785	4222,401	548,504	433,017	698,827
23:43:19	3261,480	2248,007	0,823	3961,160	548,037	405,273	681,963
23:53:19	3226,466	2842,762	0,750	4300,161	540,662	424,231	688,443
Energias Activa reactiva y Aparente por día					133174,1	-11287,57	157492,4

Anexo 9
 Datos medidos y calculados para tramo 1

TABLERO GENERAL 2							
DATOS TRIFASICOS							
Hora real	P total W	Q total Var	FP	S total VA	Wh	VARh	VAh
00:04:18	13552,503	8889,504	0,836	16207,826	2253,443	1525,917	2721,764
00:14:18	8193,993	6213,075	0,797	10283,181	1812,208	1258,548	2207,584
00:24:18	8413,190	6865,068	0,775	10858,679	1383,932	1089,845	1761,822
00:34:18	8582,334	6629,353	0,791	10844,574	1416,294	1124,535	1808,604
00:44:18	8735,636	6337,440	0,809	10792,335	1443,164	1080,566	1803,076
00:54:18	8167,738	6412,531	0,787	10384,242	1408,614	1062,498	1764,715
01:04:18	8130,179	6297,592	0,791	10283,942	1358,160	1059,177	1722,349
01:14:18	8445,068	6568,271	0,789	10698,662	1381,271	1072,155	1748,550
01:24:18	8176,145	6427,919	0,786	10400,360	1385,101	1083,016	1758,252
01:34:18	7617,988	6293,803	0,771	9881,583	1316,178	1060,143	1690,162
01:44:18	7924,827	6542,703	0,771	10276,665	1295,235	1069,709	1679,854
01:54:18	8066,984	5923,643	0,806	10008,285	1332,651	1038,862	1690,413
02:04:18	8232,576	6060,209	0,805	10222,594	1358,297	998,654	1685,907
02:14:18	8969,577	7307,351	0,775	11569,386	1433,513	1113,963	1815,998
02:24:18	8159,306	6487,416	0,783	10424,051	1427,407	1149,564	1832,786
02:34:18	8879,072	6994,676	0,786	11303,248	1419,865	1123,508	1810,608
02:44:18	8034,103	6093,576	0,797	10083,575	1409,431	1090,688	1782,235
02:54:18	8325,408	6254,299	0,800	10412,909	1363,293	1028,990	1708,040
03:04:18	8248,893	6604,240	0,781	10566,941	1381,192	1071,545	1748,321
03:14:18	8157,215	6764,344	0,770	10597,004	1367,176	1114,049	1763,662
03:24:18	7968,822	6439,454	0,778	10245,423	1343,836	1100,317	1736,869
03:34:18	8899,007	7394,942	0,769	11570,544	1405,652	1152,866	1817,997
03:44:18	8386,491	6588,921	0,786	10665,229	1440,458	1165,322	1852,981
03:54:18	8498,448	6887,004	0,777	10938,667	1407,078	1122,994	1800,325
04:04:18	7775,300	6520,926	0,766	10147,796	1356,146	1117,327	1757,205
04:14:18	7964,494	6136,365	0,792	10054,260	1311,650	1054,774	1683,505
04:24:18	8229,800	6658,364	0,777	10586,001	1349,525	1066,227	1720,022
04:34:18	8247,629	7016,126	0,762	10828,176	1373,119	1139,541	1784,515
04:44:18	8151,653	6916,317	0,763	10690,411	1366,607	1161,037	1793,216
04:54:18	8223,409	6614,159	0,779	10553,272	1364,589	1127,540	1770,307
05:04:18	8082,548	5982,962	0,804	10056,014	1358,830	1049,760	1717,440
05:14:18	8151,797	6134,889	0,799	10202,385	1352,862	1009,821	1688,200
05:24:18	8944,681	7014,143	0,787	11366,861	1424,707	1095,753	1797,437
05:34:18	8196,212	6335,316	0,791	10359,253	1428,408	1112,455	1810,509
05:44:18	8160,645	6616,568	0,777	10505,956	1363,071	1079,324	1738,767
05:54:18	7946,212	6590,728	0,770	10323,758	1342,238	1100,608	1735,809
06:04:18	7078,063	5434,849	0,793	8923,932	1252,023	1002,131	1603,974
06:14:18	6824,451	5624,297	0,772	8843,407	1158,543	921,596	1480,612
06:24:18	3907,867	3159,213	0,778	5025,142	894,360	731,959	1155,712
06:34:18	3658,765	3007,972	0,772	4736,503	630,553	513,932	813,470
06:44:18	4260,228	3862,037	0,741	5750,206	659,916	572,501	873,892
06:54:18	3943,692	3530,167	0,745	5292,900	683,660	616,017	920,259
07:04:18	3597,915	3054,856	0,762	4719,866	628,467	548,752	834,397
07:14:18	3521,964	3222,426	0,738	4773,705	593,323	523,107	791,131
07:24:18	3833,305	3276,088	0,760	5042,518	612,939	541,543	818,019
07:34:18	3979,337	3274,163	0,772	5153,180	651,054	545,854	849,642
07:44:18	3829,908	3409,276	0,747	5127,509	650,770	556,953	856,724
07:54:18	3691,693	2891,687	0,787	4689,398	626,800	525,080	818,076
08:04:18	3611,773	3001,224	0,769	4695,982	608,622	491,076	782,115
08:14:18	4363,162	3484,832	0,781	5584,016	664,578	540,505	856,666
08:24:18	4063,886	2851,816	0,819	4964,678	702,254	528,054	879,058
08:34:18	4096,935	3143,762	0,793	5164,118	680,068	499,632	844,066
08:44:18	3373,503	2745,998	0,776	4349,831	622,536	490,813	792,829
08:54:18	3884,186	3263,585	0,766	5073,252	604,807	500,799	785,257
09:04:18	4096,846	3609,606	0,750	5460,165	665,086	572,766	877,785
09:14:18	3901,583	3213,355	0,772	5054,503	666,536	568,580	876,222
09:24:18	3407,353	2901,576	0,761	4475,399	609,078	509,578	794,159
09:34:18	13353,859	6741,696	0,893	14959,145	1396,768	803,606	1619,545
09:44:18	13507,622	6590,331	0,899	15029,581	2238,457	1111,002	2499,060
09:54:18	13446,249	6602,210	0,898	14979,679	2246,156	1099,378	2500,772
10:04:18	13351,338	6335,316	0,903	14778,175	2233,132	1078,127	2479,821
10:14:18	12179,513	5690,451	0,906	13443,280	2127,571	1002,147	2351,788
10:24:18	13286,324	6326,218	0,903	14715,551	2122,153	1001,389	2346,569
10:34:18	13420,575	5878,433	0,916	14651,547	2225,575	1017,054	2447,258
10:44:18	14645,067	7054,376	0,901	16255,529	2338,804	1077,734	2575,590
10:54:18	15315,128	7097,525	0,907	16879,811	2496,683	1179,325	2761,278
11:04:18	29213,499	10651,444	0,940	31094,723	3710,719	1479,081	3997,878
11:14:18	29000,542	11237,964	0,932	31101,821	4851,170	1824,117	5183,045
11:24:18	28836,015	11326,032	0,931	30980,554	4819,713	1880,333	5173,531
11:34:18	27293,464	10458,784	0,934	29228,741	4677,457	1815,401	5017,441
11:44:18	28644,901	11131,134	0,932	30731,621	4661,530	1799,160	4996,697
11:54:18	27933,122	10410,129	0,937	29809,899	4714,835	1795,105	5045,127
12:04:18	29663,757	10832,856	0,939	31579,887	4799,740	1770,249	5115,816
12:14:18	30070,536	10833,516	0,941	31962,512	4977,858	1805,531	5295,200
12:24:18	29167,594	11893,766	0,926	31499,368	4936,511	1893,940	5288,490

Hora real	P total W	Q total Var	FP	S total VA	Wh	VARh	VAh
12:34:18	29396,246	12179,069	0,924	31819,318	4880,320	2006,070	5276,557
12:44:18	27375,027	12310,583	0,912	30015,705	4730,939	2040,804	5152,919
12:54:18	29209,265	11923,712	0,926	31549,264	4715,358	2019,525	5130,414
13:04:18	26911,679	11546,707	0,919	29284,209	4676,745	1955,868	5069,456
13:14:18	27060,628	11425,887	0,921	29373,942	4497,692	1914,383	4888,179
13:24:18	28167,082	11000,435	0,931	30238,949	4602,309	1868,860	4967,741
13:34:18	26726,389	10678,261	0,929	28780,638	4574,456	1806,558	4918,299
13:44:18	28229,101	11079,270	0,931	30325,441	4579,624	1813,128	4925,507
13:54:18	28752,122	11321,989	0,930	30901,002	4748,435	1866,772	5102,204
14:04:18	30460,475	12068,291	0,930	32764,069	4934,383	1949,190	5305,423
14:14:18	29311,017	11416,747	0,932	31455,966	4980,958	1957,086	5351,670
14:24:18	28989,323	11572,609	0,929	31213,877	4858,362	1915,780	5222,487
14:34:18	28987,071	10348,021	0,942	30778,756	4831,366	1826,719	5166,053
14:44:18	29031,162	11558,249	0,929	31247,423	4834,853	1825,522	5168,848
14:54:18	26819,463	10949,430	0,926	28968,494	4654,219	1875,640	5017,993
15:04:18	28318,346	12229,882	0,918	30846,373	4594,817	1931,609	4984,572
15:14:18	27609,049	11710,508	0,921	29989,925	4660,616	1995,033	5069,691
15:24:18	27029,222	11289,780	0,923	29292,286	4553,189	1916,691	4940,184
15:34:18	27356,961	11889,289	0,917	29828,820	4532,182	1931,589	4926,759
15:44:18	28500,324	12501,809	0,916	31121,756	4654,774	2032,591	5079,215
15:54:18	29470,397	12060,319	0,926	31842,670	4830,893	2046,844	5247,035
16:04:18	31489,994	12870,916	0,926	34018,821	5080,033	2077,603	5488,458
16:14:18	30721,547	12277,502	0,929	33083,992	5184,295	2095,702	5591,901
16:24:18	31477,546	13178,731	0,922	34124,989	5183,258	2121,353	5600,748
16:34:18	32250,800	14213,645	0,915	35244,032	5310,696	2282,698	5780,752
16:44:18	30743,147	11950,695	0,932	32984,242	5249,496	2180,362	5685,689
16:54:18	31018,225	12712,171	0,925	33522,076	5146,781	2055,239	5542,193
17:04:18	28321,652	10962,452	0,933	30369,250	4944,990	1972,885	5324,277
17:14:18	28267,973	10940,828	0,933	30311,384	4715,802	1825,273	5056,719
17:24:18	30165,336	11856,077	0,931	32411,635	4869,442	1899,742	5226,918
17:34:18	28996,722	10956,705	0,935	30997,730	4930,172	1901,065	5284,114
17:44:18	26879,406	10493,949	0,932	28855,249	4656,344	1787,554	4987,748
17:54:18	26331,359	11146,820	0,921	28593,567	4434,230	1803,397	4787,401
18:04:18	27330,686	10640,840	0,932	29329,062	4471,837	1815,638	4826,886
18:14:18	25647,475	10675,901	0,923	27780,710	4414,847	1776,395	4759,148
18:24:18	25648,134	11511,885	0,912	28113,169	4274,634	1848,982	4657,823
18:34:18	24797,945	11304,847	0,910	27253,214	4203,840	1901,394	4613,865
18:44:18	26164,718	12226,889	0,906	28880,604	4246,889	1960,978	4677,818
18:54:18	26032,116	11262,449	0,918	28363,953	4349,736	1957,445	4770,380
19:04:18	24493,990	11548,232	0,905	27079,830	4210,509	1900,890	4620,315
19:14:18	22555,871	11270,054	0,895	25214,707	3920,822	1901,524	4357,878
19:24:18	22059,181	10869,146	0,897	24591,580	3717,921	1844,933	4150,524
19:34:18	21833,870	10935,188	0,894	24419,178	3657,754	1817,028	4084,230
19:44:18	20389,438	11372,591	0,873	23346,627	3518,609	1858,982	3980,484
19:54:18	16784,765	10365,252	0,851	19727,311	3097,850	1811,487	3589,495
20:04:18	16876,660	11027,399	0,837	20159,990	2805,119	1782,721	3323,942
20:14:18	16819,234	10923,169	0,839	20054,981	2807,991	1829,214	3351,248
20:24:18	16456,393	10676,751	0,839	19616,469	2772,969	1799,993	3305,954
20:34:18	16832,259	10440,657	0,850	19807,379	2774,054	1759,784	3285,321
20:44:18	15576,840	10069,270	0,840	18547,996	2700,758	1709,161	3196,281
20:54:18	14582,923	9900,445	0,827	17626,130	2513,314	1664,143	3014,510
21:04:18	14658,626	10167,344	0,822	17839,568	2436,796	1672,316	2955,475
21:14:18	11476,700	8154,998	0,815	14079,014	2177,944	1526,862	2659,882
21:24:18	8778,535	6742,034	0,793	11068,772	1687,936	1241,419	2095,649
21:34:18	7570,290	5652,139	0,801	9447,537	1362,402	1032,848	1709,692
21:44:18	7080,628	5259,547	0,803	8820,325	1220,910	909,307	1522,322
21:54:18	8160,243	6108,829	0,801	10193,496	1270,073	947,365	1584,485
22:04:18	8614,104	6723,622	0,788	10927,483	1397,862	1069,371	1760,082
22:14:18	8114,572	6076,990	0,800	10137,854	1394,056	1066,718	1755,445
22:24:18	8039,519	5896,681	0,806	9970,191	1346,174	997,806	1675,670
22:34:18	8223,804	6204,457	0,798	10301,759	1355,277	1008,428	1689,329
22:44:18	10843,960	8038,384	0,803	13498,411	1588,980	1186,903	1983,347
22:54:18	12918,830	9337,695	0,810	15940,161	1980,233	1448,007	2453,214
23:04:18	13165,316	9485,669	0,811	16226,628	2173,679	1568,614	2680,566
23:14:18	13146,809	9757,297	0,803	16372,032	2192,677	1603,581	2716,555
23:24:18	13088,725	9513,439	0,809	16180,861	2186,295	1605,895	2712,741
23:34:18	13618,958	10018,308	0,806	16906,878	2225,640	1627,646	2757,312
23:44:18	13298,684	9755,284	0,806	16493,045	2243,137	1647,799	2783,327
23:54:18	13488,807	9421,501	0,820	16453,346	2232,291	1598,065	2745,533
Energias Activa reactiva y Aparente por día					382939,844	198804,280	434783,630

Anexo 10
Datos medidos y medidos para tramo 2

TABLERO 8							
DATOS TRIFASICOS							
Hora real	P total W	Q total VAr	FP	S total	Wh	VARh	VAh
00:02:41	2275,719	1640,244	0,811	2805,227	430,018	322,463	537,566
00:12:41	2914,549	2216,109	0,796	3661,384	432,522	321,363	538,884
00:22:41	2108,152	1480,667	0,818	2576,175	418,558	308,065	519,797
00:32:41	2925,680	2247,837	0,793	3689,495	419,486	310,709	522,139
00:42:41	2048,890	1440,347	0,818	2504,506	414,548	307,349	516,167
00:52:41	2867,475	2200,177	0,793	3614,304	409,697	303,377	509,901
01:02:41	2270,787	1651,795	0,809	2808,006	428,189	320,998	535,193
01:12:41	2615,293	2002,769	0,794	3294,061	407,173	304,547	508,506
01:22:41	2033,779	1392,434	0,825	2464,778	387,423	282,934	479,903
01:32:41	2588,669	1920,941	0,803	3223,542	385,204	276,115	474,027
01:42:41	2207,189	1462,085	0,834	2647,523	399,655	281,919	489,255
01:52:41	2753,156	2041,492	0,803	3427,471	413,362	291,965	506,249
02:02:41	1969,597	1238,213	0,847	2326,475	393,563	273,309	479,495
02:12:41	2748,528	2046,191	0,802	3426,559	393,177	273,700	479,419
02:22:41	1997,841	1311,246	0,836	2389,714	395,531	279,786	484,689
02:32:41	2535,487	1797,656	0,816	3108,096	377,777	259,075	458,151
02:42:41	2160,804	1464,251	0,828	2610,193	391,358	271,826	476,524
02:52:41	2541,415	1802,005	0,816	3115,447	391,852	272,188	477,137
03:02:41	2205,228	1508,356	0,825	2671,735	395,554	275,863	482,265
03:12:41	2605,225	1882,314	0,811	3214,079	400,871	282,556	490,485
03:22:41	2031,801	1339,190	0,835	2433,443	386,419	268,459	470,627
03:32:41	2387,730	1696,403	0,815	2928,999	368,294	252,966	446,870
03:42:41	1917,518	1186,380	0,850	2254,855	358,771	240,232	431,988
03:52:41	2494,293	1792,552	0,812	3071,602	367,651	248,244	443,871
04:02:41	2076,451	1333,447	0,841	2467,738	380,895	260,500	461,612
04:12:41	2618,451	1900,791	0,809	3235,629	391,242	269,520	475,281
04:22:41	2464,266	1554,584	0,846	2913,647	423,560	287,948	512,440
04:32:41	3381,741	1038,459	0,956	3537,594	487,167	216,087	537,603
04:42:41	3353,968	1700,211	0,892	3760,295	561,309	228,223	608,157
04:52:41	2766,303	1912,800	0,823	3363,218	510,023	301,084	593,626
05:02:41	3271,661	2538,688	0,790	4141,099	503,164	370,957	625,360
05:12:41	2687,812	1962,400	0,808	3327,964	496,623	375,091	622,422
05:22:41	2843,475	2175,692	0,794	3580,361	460,941	344,841	575,694
05:32:41	2060,160	1375,276	0,832	2477,023	408,636	295,914	504,782
05:42:41	2862,807	2185,753	0,795	3601,830	410,247	296,752	506,571
05:52:41	2098,643	1438,569	0,825	2544,363	413,454	302,027	512,183
06:02:41	2939,385	2123,190	0,811	3626,006	419,836	296,813	514,197
06:12:41	2864,534	2079,269	0,809	3539,621	483,660	350,205	597,136
06:22:41	2572,596	1844,204	0,813	3165,334	453,094	326,956	558,746
06:32:41	2915,639	2203,073	0,798	3654,378	457,353	337,273	568,309
06:42:41	2338,175	1608,647	0,824	2838,099	437,818	317,643	541,040
06:52:41	2911,350	2228,321	0,794	3666,248	437,460	319,747	542,029
07:02:41	3247,109	2046,540	0,846	3838,234	513,205	356,238	625,374
07:12:41	2393,167	1267,277	0,884	2707,995	470,023	276,151	545,519
07:22:41	3175,637	1975,943	0,849	3740,190	464,067	270,268	537,349
07:32:41	4644,981	2058,596	0,914	5080,715	651,718	336,212	735,075
07:42:41	6209,851	2201,312	0,943	6588,477	904,569	354,992	972,433
07:52:41	5674,838	2115,081	0,937	6056,183	990,391	359,699	1053,722
08:02:41	9039,085	2328,995	0,968	9334,306	1226,160	370,340	1282,541
08:12:41	9212,866	2677,249	0,960	9593,986	1520,996	417,187	1577,358
08:22:41	10191,488	3438,939	0,948	10756,055	1617,030	509,682	1695,837
08:32:41	6567,696	2177,182	0,949	6919,158	1396,599	468,010	1472,934
08:42:41	9212,866	2677,249	0,960	9593,986	1315,047	404,536	1376,095
08:52:41	6913,488	1935,945	0,963	7179,429	1343,863	384,433	1397,785
09:02:41	9922,582	2617,659	0,967	10262,055	1403,006	379,467	1453,457
09:12:41	7334,530	1629,840	0,976	7513,435	1438,093	353,958	1481,291
09:22:41	8678,272	2205,246	0,969	8954,078	1334,400	319,591	1372,293
09:32:41	7837,661	1856,154	0,973	8054,455	1376,328	338,450	1417,378
09:42:41	8678,272	2205,246	0,969	8954,078	1376,328	338,450	1417,378
09:52:41	9139,092	2227,555	0,972	9406,647	1484,780	369,400	1530,060
10:02:41	9936,687	2855,419	0,961	10338,818	1589,648	423,581	1645,455
10:12:41	9298,350	2710,275	0,960	9685,293	1602,920	463,808	1668,676
10:22:41	10043,183	2599,576	0,968	10374,166	1611,794	442,488	1671,622
10:32:41	9139,092	2227,555	0,972	9406,647	1598,523	402,261	1648,401
10:42:41	9936,687	3075,800	0,955	10401,841	1589,648	441,946	1650,707
10:52:41	7334,530	1629,840	0,976	7513,435	1439,268	392,137	1492,940
11:02:41	8678,272	2205,246	0,969	8954,078	1334,400	319,591	1372,293
11:12:41	9139,092	2227,555	0,972	9406,647	1484,780	369,400	1530,060
11:22:41	9298,350	2710,275	0,960	9685,293	1536,454	411,486	1590,995
11:32:41	7837,661	1856,154	0,973	8054,455	1428,001	380,536	1478,312
11:42:41	7138,518	2248,664	0,954	7484,312	1248,015	342,068	1294,897
11:52:41	9298,350	2710,275	0,960	9685,293	1369,739	413,245	1430,800
12:02:41	9139,092	2227,555	0,972	9406,647	1536,454	411,486	1590,995
12:12:41	9936,687	2855,419	0,961	10338,818	1589,648	423,581	1645,455
12:22:41	7837,661	1856,154	0,973	8054,455	1481,196	392,631	1532,773

Hora real	P total W	Q total VAR	FP	S total	Wh	VARh	VAh
12:32:41	9922,582	2617,659	0,967	10262,055	1480,020	372,818	1526,376
12:42:41	7334,530	1629,840	0,976	7513,435	1438,093	353,958	1481,291
12:52:41	8678,272	2205,246	0,969	8954,078	1334,400	319,591	1372,293
13:02:41	6288,167	1535,717	0,971	6472,980	1247,203	311,747	1285,588
13:12:41	10043,183	2599,576	0,968	10374,166	1360,946	344,608	1403,929
13:22:41	6567,696	2177,182	0,949	6919,158	1384,240	398,063	1441,110
13:32:41	9212,866	2677,249	0,960	9593,986	1315,047	404,536	1376,095
13:42:41	6913,488	1935,945	0,963	7179,429	1343,863	384,433	1397,785
13:52:41	9039,085	2328,995	0,968	9334,306	1329,381	355,412	1376,145
14:02:41	7748,254	1852,284	0,973	7966,580	1398,945	348,440	1441,741
14:12:41	9578,072	2900,809	0,957	10007,705	1443,861	396,091	1497,857
14:22:41	10191,488	3438,939	0,948	10756,055	1647,463	528,312	1730,313
14:32:41	8949,153	4185,276	0,906	9879,467	1595,053	635,351	1719,627
14:42:41	7975,381	3412,593	0,919	8674,819	1410,378	633,156	1546,191
14:52:41	10104,036	4095,413	0,927	10902,475	1506,618	625,667	1631,441
15:02:41	7489,299	3419,247	0,910	8232,913	1466,111	626,222	1594,616
15:12:41	10763,802	4468,621	0,924	11654,527	1521,092	657,322	1657,287
15:22:41	7609,243	3792,462	0,895	8501,961	1531,087	688,424	1679,707
15:32:41	10081,660	1804,484	0,984	10241,876	1474,242	466,412	1561,986
15:42:41	8002,417	1846,845	0,974	8212,765	1507,006	304,277	1537,887
15:52:41	8147,249	2787,983	0,946	8611,069	1345,806	386,236	1401,986
16:02:41	8773,332	2785,581	0,953	9204,934	1410,048	464,464	1484,667
16:12:41	7145,496	2093,378	0,960	7445,827	1326,569	406,580	1387,563
16:22:41	9224,658	3046,468	0,950	9714,694	1364,180	428,321	1430,043
16:32:41	9968,753	2949,261	0,959	10395,873	1599,451	499,644	1675,881
16:42:41	7372,465	3263,951	0,914	8062,668	1445,102	517,768	1538,212
16:52:41	7079,571	2128,041	0,958	7392,488	1204,336	449,333	1287,930
17:02:41	7552,883	2301,253	0,957	7895,683	1219,371	369,108	1274,014
17:12:41	6855,784	1901,143	0,964	7114,501	1200,722	350,200	1250,849
17:22:41	6345,299	2393,730	0,936	6781,796	1100,090	357,906	1158,025
17:32:41	6531,495	2084,953	0,953	6856,198	1073,066	373,224	1136,500
17:42:41	6120,864	2589,702	0,921	6646,167	1054,363	389,555	1125,197
17:52:41	7040,969	2429,622	0,945	7448,376	1096,819	418,277	1174,545
18:02:41	6209,851	2201,312	0,943	6588,477	1104,235	385,911	1169,738
18:12:41	5674,838	2115,081	0,937	6056,183	990,391	359,699	1053,722
18:22:41	4644,981	2058,596	0,914	5080,715	859,985	347,806	928,075
18:32:41	2820,529	1655,781	0,862	3270,626	622,126	309,531	695,945
18:42:41	2943,071	1854,939	0,846	3478,860	480,300	292,560	562,457
18:52:41	3289,510	2140,303	0,838	3924,509	519,382	332,937	616,947
19:02:41	2393,167	1267,277	0,884	2707,995	473,556	283,965	552,709
19:12:41	3175,637	1975,943	0,849	3740,190	464,067	270,268	537,349
19:22:41	2624,543	1392,733	0,883	2971,183	483,348	280,723	559,281
19:32:41	3204,064	2001,778	0,848	3777,981	485,717	282,876	562,430
19:42:41	2661,961	1417,615	0,883	3015,903	488,835	284,949	566,157
19:52:41	3247,109	2046,540	0,846	3838,234	492,423	288,680	571,178
20:02:41	2788,869	1590,116	0,869	3210,336	502,998	303,055	587,381
20:12:41	3142,519	1902,201	0,855	3673,390	494,282	291,026	573,644
20:22:41	2722,579	1529,910	0,872	3122,989	488,758	286,009	566,365
20:32:41	2874,000	1644,562	0,868	3311,263	466,382	264,539	536,188
20:42:41	2786,123	1527,553	0,877	3177,405	471,677	264,343	540,722
20:52:41	2993,425	1796,026	0,857	3490,889	481,629	276,965	555,691
21:02:41	2760,607	1550,039	0,872	3166,003	479,503	278,839	554,741
21:12:41	2730,477	1577,311	0,866	3153,318	457,590	260,613	526,610
21:22:41	2500,729	1291,699	0,888	2814,628	435,934	239,084	497,329
21:32:41	3067,937	1890,310	0,851	3603,541	464,056	265,167	534,847
21:42:41	2923,346	1661,704	0,869	3362,620	499,274	296,001	580,513
21:52:41	3224,006	1218,639	0,935	3446,635	512,279	240,029	567,438
22:02:41	3826,191	1186,989	0,955	4006,080	587,516	200,469	621,060
22:12:41	3133,746	1717,385	0,877	3573,482	579,995	242,031	631,630
22:22:41	3548,394	2261,975	0,843	4208,044	556,845	331,613	648,460
22:32:41	3090,056	1837,817	0,859	3595,277	553,204	341,649	650,277
22:42:41	2908,383	2136,732	0,806	3608,922	499,870	331,212	600,350
22:52:41	2286,089	1582,880	0,822	2780,596	432,873	309,968	532,460
23:02:41	2710,098	2047,097	0,798	3396,356	416,349	302,498	514,746
23:12:41	2355,123	1697,890	0,811	2903,349	422,102	312,082	524,975
23:22:41	2299,704	1619,082	0,818	2812,484	387,902	276,414	476,319
23:32:41	2741,863	2068,983	0,798	3434,895	420,131	307,339	520,615
23:42:41	2248,745	1563,006	0,821	2738,584	415,884	302,666	514,457
23:52:41	2884,494	2229,306	0,791	3645,560	427,770	316,026	532,012
Energias Activa reactiva y Aparente por día					125064,362	50089,893	136154,049

Anexo 11
 Datos medidos y calculados para tramo 3

TABLERO 9							
DATOS TRIFASICOS							
Hora real	P total	Q total	FP	VA	Wh	VARh	VAh
00:04:29	2415,013	1595,375	0,834	2894,393	371,565	256,682	451,715
00:14:29	2107,332	1356,249	0,841	2506,045	376,862	245,969	450,036
00:24:29	1901,602	1537,075	0,778	2445,136	334,078	241,110	412,598
00:34:29	1999,633	1738,566	0,755	2649,744	325,103	272,970	424,573
00:44:29	2187,914	1922,351	0,751	2912,456	348,962	305,076	463,517
00:54:29	1846,475	1888,719	0,699	2641,350	336,199	317,589	462,817
01:04:29	1260,036	1790,703	0,575	2189,591	258,876	306,619	402,578
01:14:29	2027,690	1848,783	0,739	2743,998	273,977	303,291	411,132
01:24:29	2196,925	1900,614	0,756	2904,964	352,051	312,450	470,747
01:34:29	2138,284	1901,931	0,747	2861,748	361,267	316,879	480,559
01:44:29	2282,140	1750,346	0,793	2876,087	368,369	304,356	478,153
01:54:29	1900,516	1120,465	0,861	2206,219	348,555	239,234	423,525
02:04:29	1903,629	1364,585	0,813	2342,199	317,012	207,088	379,035
02:14:29	1956,441	1659,870	0,763	2565,703	321,673	252,038	408,992
02:24:29	1958,679	1699,371	0,755	2593,123	326,260	279,937	429,902
02:34:29	1312,551	1531,217	0,651	2016,783	272,603	269,216	384,159
02:44:29	977,184	1190,963	0,634	1540,546	190,811	226,848	296,444
02:54:29	1915,510	1166,957	0,854	2242,982	241,058	196,493	315,294
03:04:29	1974,639	1471,805	0,802	2462,805	324,179	219,897	392,149
03:14:29	1885,709	1475,649	0,788	2394,460	321,696	245,621	404,772
03:24:29	1797,432	1360,701	0,797	2254,389	306,928	236,363	387,404
03:34:29	1721,897	1111,603	0,840	2049,534	293,277	206,025	358,660
03:44:29	1965,430	1207,809	0,852	2306,885	307,277	193,284	363,035
03:54:29	2105,739	1695,502	0,779	2703,491	339,264	241,943	417,531
04:04:29	1675,226	1558,905	0,732	2288,355	315,080	271,201	415,987
04:14:29	875,394	1270,524	0,567	1542,902	212,552	235,786	319,271
04:24:29	1382,829	1195,365	0,757	1827,871	188,185	205,491	280,898
04:34:29	2211,177	1651,762	0,801	2760,004	299,501	237,261	382,323
04:44:29	2292,073	1919,855	0,767	2989,890	375,271	297,635	479,158
04:54:29	2167,831	1860,054	0,759	2856,447	371,659	314,992	487,195
05:04:29	1968,616	1390,299	0,817	2410,058	344,704	270,863	438,875
05:14:29	1743,637	1279,603	0,806	2162,788	309,354	222,492	381,071
05:24:29	1888,194	1482,570	0,787	2400,685	302,653	230,181	380,289
05:34:29	2097,853	1724,067	0,773	2715,399	332,171	267,220	426,340
05:44:29	1293,027	1585,342	0,632	2045,783	282,573	275,784	396,765
05:54:29	867,930	1145,857	0,604	1437,460	180,080	227,600	290,270
06:04:29	2088,947	1341,572	0,841	2482,643	246,406	207,286	326,675
06:14:29	2699,428	1313,514	0,899	3002,038	399,031	221,257	457,057
06:24:29	2480,253	1541,647	0,849	2920,331	431,640	237,930	493,531
06:34:29	2622,108	1767,843	0,829	3162,391	425,197	275,791	506,893
06:44:29	2592,362	1773,678	0,825	3141,063	434,539	295,127	525,288
06:54:29	2453,396	1704,506	0,821	2987,389	420,480	289,849	510,704
07:04:29	2578,110	1767,853	0,825	3126,013	419,292	289,363	509,450
07:14:29	3447,694	1339,165	0,932	3698,643	502,150	258,918	568,721
07:24:29	2857,015	666,754	0,974	2933,785	525,392	167,160	552,702
07:34:29	5493,867	1539,664	0,963	5705,536	695,907	183,868	719,943
07:44:29	5828,499	1174,546	0,980	5945,667	943,531	226,184	970,934
07:54:29	5310,143	1547,380	0,960	5531,004	928,220	226,827	956,389
08:04:29	6728,367	1655,939	0,971	6929,145	1003,209	266,943	1038,346
08:14:29	6676,266	1635,786	0,971	6873,742	1117,053	274,310	1150,241
08:24:29	6685,720	1566,204	0,974	6866,720	1113,499	266,833	1145,038
08:34:29	5952,478	1321,641	0,976	6097,436	1053,183	240,654	1080,346
08:44:29	4142,544	1359,258	0,950	4359,846	841,252	223,408	871,440
08:54:29	5698,723	1634,954	0,961	5928,619	820,106	249,518	857,372
09:04:29	7563,809	1813,990	0,972	7778,288	1105,211	287,412	1142,242
09:14:29	7445,744	1722,315	0,974	7642,347	1250,796	294,692	1285,053
09:24:29	6952,495	1451,012	0,979	7102,297	1199,853	264,444	1228,720
09:34:29	6897,260	1629,784	0,973	7087,199	1154,146	256,733	1182,458
09:44:29	7137,051	1945,590	0,965	7397,487	1169,526	297,948	1207,057
09:54:29	6308,649	1576,329	0,970	6502,605	1120,475	293,493	1158,341
10:04:29	6709,059	1610,727	0,972	6899,704	1084,809	265,588	1116,859
10:14:29	7406,972	1610,842	0,977	7580,109	1176,336	268,464	1206,651
10:24:29	7300,310	1599,939	0,977	7473,576	1225,607	267,565	1254,474
10:34:29	7579,364	2008,985	0,967	7841,096	1239,973	300,744	1276,223
10:44:29	7587,025	2051,489	0,965	7859,488	1263,866	338,373	1308,382
10:54:29	7450,812	1957,661	0,967	7703,703	1253,153	334,096	1296,933
11:04:29	7040,258	1735,875	0,971	7251,103	1207,589	307,795	1246,234
11:14:29	7022,401	1874,224	0,966	7268,207	1171,888	300,842	1209,942
11:24:29	7171,002	2106,880	0,959	7474,103	1182,784	331,759	1228,526
11:34:29	7320,696	1930,918	0,967	7571,066	1207,642	336,483	1253,764
11:44:29	7074,594	1561,257	0,977	7244,819	1199,608	291,015	1234,657
11:54:29	6899,183	1434,927	0,979	7046,825	1164,481	249,682	1190,970
12:04:29	7269,837	1446,593	0,981	7412,365	1180,752	240,127	1204,933
12:14:29	6984,513	1451,817	0,979	7133,806	1187,863	241,534	1212,181
12:24:29	7141,413	1723,101	0,972	7346,350	1177,161	264,577	1206,680

Hora real	P total W	Q total VAR	FP	S total	Wh	VARh	VAh
12:34:29	6412,100	1662,215	0,968	6624,046	1129,459	282,110	1164,200
12:44:29	6328,274	1777,624	0,963	6573,203	1061,698	286,653	1099,771
12:54:29	7156,108	1933,435	0,965	7412,695	1123,699	309,255	1165,492
13:04:29	7207,232	2080,956	0,961	7501,638	1196,945	334,533	1242,861
13:14:29	7272,117	2039,504	0,963	7552,699	1206,612	343,372	1254,528
13:24:29	7286,026	2034,189	0,963	7564,661	1213,179	339,474	1259,780
13:34:29	7310,514	2039,935	0,963	7589,792	1216,378	339,510	1262,871
13:44:29	7751,322	2236,474	0,961	8067,516	1255,153	356,367	1304,776
13:54:29	7263,446	1890,230	0,968	7505,373	1251,231	343,892	1297,741
14:04:29	7172,160	1818,522	0,969	7399,115	1202,967	309,063	1242,041
14:14:29	7254,727	1893,519	0,968	7497,765	1202,241	309,337	1241,407
14:24:29	7416,667	2037,654	0,964	7691,488	1222,616	327,598	1265,771
14:34:29	6596,790	1788,567	0,965	6834,955	1167,788	318,852	1210,537
14:44:29	7254,727	1893,519	0,968	7497,765	1154,293	306,841	1194,393
14:54:29	4937,410	1893,441	0,934	5288,018	1016,011	315,580	1065,482
15:04:29	7254,727	1893,519	0,968	7497,765	1016,011	315,580	1065,482
15:14:29	6926,847	2032,121	0,960	7218,776	1181,798	327,137	1226,378
15:24:29	4937,410	1893,441	0,934	5288,018	988,688	327,130	1042,233
15:34:29	6608,129	1697,845	0,969	6822,759	962,128	299,274	1009,231
15:44:29	6577,524	2033,265	0,955	6884,620	1098,804	310,926	1142,282
15:54:29	4937,410	1893,441	0,934	5288,018	959,578	327,226	1014,386
16:04:29	6002,832	1820,582	0,957	6272,839	911,687	309,502	963,405
16:14:29	6926,847	2032,121	0,960	7218,776	1077,473	321,059	1124,301
16:24:29	6175,496	2183,657	0,943	6550,199	1091,862	351,315	1147,415
16:34:29	7114,338	2316,963	0,951	7482,120	1107,486	375,052	1169,360
16:44:29	6069,619	2159,603	0,942	6442,372	1098,663	373,047	1160,374
16:54:29	6341,835	1803,332	0,962	6593,245	1034,288	330,245	1086,301
17:04:29	5241,677	1552,593	0,959	5466,784	965,293	279,660	1005,002
17:14:29	5075,438	1824,176	0,941	5393,300	859,760	281,397	905,007
17:24:29	3533,674	1488,825	0,922	3834,508	717,426	276,083	768,984
17:34:29	4126,737	861,304	0,979	4215,662	638,368	195,844	670,847
17:44:29	4382,226	892,903	0,980	4472,268	709,080	146,184	723,994
17:54:29	4851,100	1168,380	0,972	4989,818	769,444	171,774	788,507
18:04:29	5018,713	1315,924	0,967	5188,365	822,484	207,025	848,182
18:14:29	4742,225	1340,654	0,962	4928,088	813,412	221,382	843,038
18:24:29	5115,171	1574,230	0,956	5351,932	821,450	242,907	856,668
18:34:29	4195,285	1711,144	0,926	4530,831	775,871	273,781	823,564
18:44:29	2658,831	1514,213	0,869	3059,775	571,176	268,780	632,551
18:54:29	2029,116	1601,916	0,785	2585,236	390,662	259,677	470,418
19:04:29	1808,826	1599,212	0,749	2414,401	319,829	266,761	416,636
19:14:29	2554,007	1843,891	0,811	3150,061	363,569	286,925	463,705
19:24:29	2790,028	1916,353	0,824	3384,770	445,336	313,354	544,569
19:34:29	2547,339	1785,074	0,819	3110,535	444,781	308,452	541,275
19:44:29	1874,283	1352,520	0,811	2311,330	368,469	261,466	451,822
19:54:29	1752,031	1300,465	0,803	2181,931	302,193	221,082	374,438
20:04:29	2007,072	1630,761	0,776	2586,063	313,259	244,269	397,333
20:14:29	1992,490	1769,283	0,748	2664,654	333,297	283,337	437,560
20:24:29	1084,647	1584,956	0,565	1920,558	256,428	279,520	382,101
20:34:29	1329,096	1290,313	0,717	1852,405	201,145	239,606	314,414
20:44:29	1846,642	1240,901	0,830	2224,842	264,645	210,935	339,771
20:54:29	1923,679	1433,125	0,802	2398,831	314,193	222,836	385,306
21:04:29	2145,610	1734,938	0,778	2759,285	339,107	264,005	429,843
21:14:29	2070,047	1665,841	0,779	2657,089	351,305	283,398	451,364
21:24:29	1892,186	1399,365	0,804	2353,421	330,186	255,434	417,542
21:34:29	1994,746	1422,912	0,814	2450,243	323,911	235,190	400,305
21:44:29	1721,602	1763,261	0,699	2464,346	309,696	265,514	409,549
21:54:29	1158,285	1709,861	0,561	2065,248	239,991	289,427	377,466
22:04:29	1740,449	1595,163	0,737	2360,870	241,561	275,419	368,843
22:14:29	2017,213	1342,781	0,832	2423,264	313,139	244,829	398,678
22:24:29	1908,093	1427,486	0,801	2382,968	327,109	230,856	400,519
22:34:29	1984,587	1677,367	0,764	2598,489	324,390	258,738	415,121
22:44:29	2012,942	1523,445	0,797	2524,445	333,127	266,734	426,911
22:54:29	1795,192	1220,364	0,827	2170,715	317,345	228,651	391,263
23:04:29	1800,754	1206,358	0,831	2167,490	299,662	202,227	361,517
23:14:29	1903,939	1444,562	0,797	2389,925	308,724	220,910	379,785
23:24:29	885,013	1343,905	0,550	1609,139	232,413	232,372	333,255
23:34:29	1070,125	1303,611	0,634	1686,585	162,928	220,626	274,644
23:44:29	1864,681	1253,271	0,830	2246,714	244,567	213,074	327,775
23:54:29	2043,769	1484,804	0,809	2526,190	325,704	228,173	397,742
eragias Activa reactiva y Aparente por					96630,459	38856,6093	106210,738

Anexo 12

Diagramas y flujos

Debido a las características de operación del análisis termoeconómico, se hace necesario sumar las exergía de las potencias activas y reactivas de los flujos que ingresan a los diferentes equipos. En las figura A1 y A2 , se muestran las plantas de los sistemas a analizar así como los diferente flujos que lo componen. En las tablas A1 y A2 se dan los valores para cada uno de los flujos de las plantas.

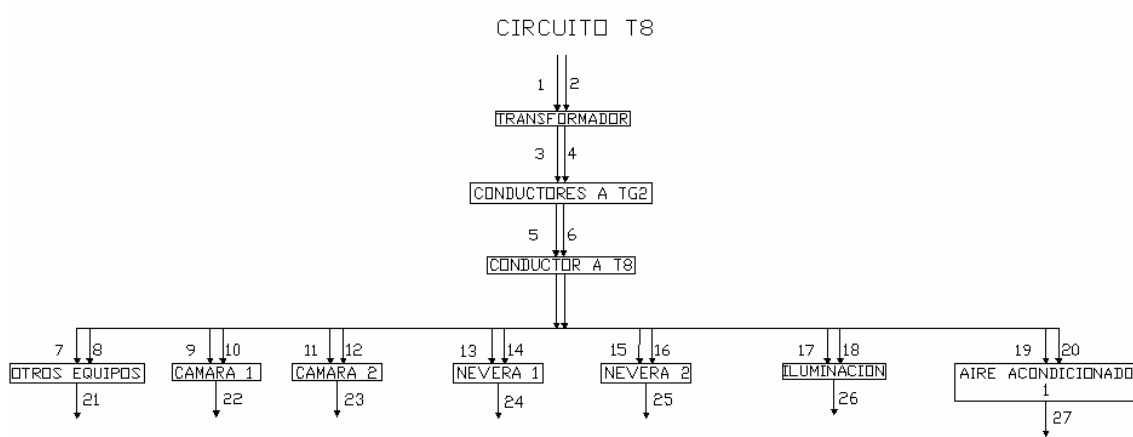


Figura A1. Planta circuito T8

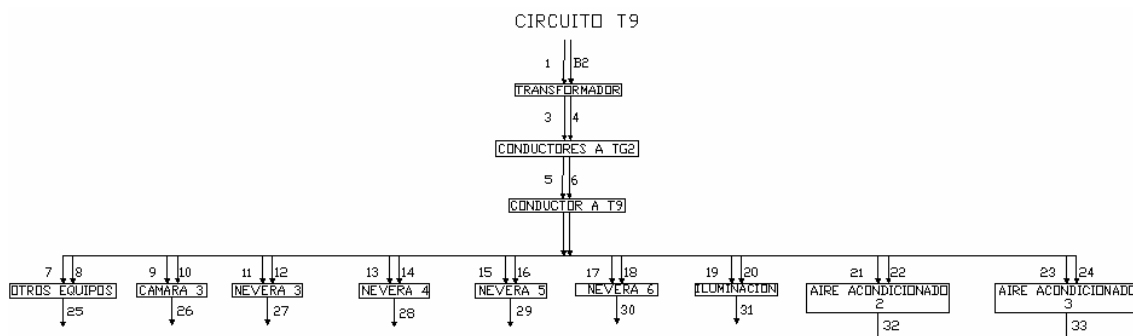


Figura A2. Planta circuito T9

Flujo	Descripción	[kWh/ dia]
1	Potencia de entrada a la planta	177.28
2	Potencia de salida del transformador	176.16
3	Potencia de salida de los conductores a TG2	175.15
4	Potencia de entrada a los otros equipos	117.13
5	Potencia de salida de los otros equipos	46.851
6	Potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 1	8.759
7	Potencia de salida de la cámara de bioseguridad 1	8.759
8	Potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 2	8.759
9	Potencia de salida de la cámara de bioseguridad 2	8.759
10	Potencia de entrada a la nevera 1	2.975
11	Potencia de salida de la nevera 1	0.0012552
12	Potencia de entrada a la nevera 2	2.275
13	Potencia de salida de la nevera 2	0.0009559
14	Potencia de entrada a la iluminación	13.68
15	Potencia de salida de la iluminación	2.014
16	Potencia de entrada a el aire acondicionado 1	21.19
17	Potencia de salida del aire acondicionado 1	1.2298

Tabla A1. Flujos exegéticos T8

Flujo	Descripción	[kWh/ dia]
1	Potencia activa de entrada a la planta	97.7296
2	Potencia reactiva de entrada a la planta	39.4942
3	Potencia activa de salida del transformador	96.955
4	Potencia reactiva de salida del transformador	39.181
5	Potencia activa de salida de los conductores a TG2	96.63
6	Potencia reactiva de salida de los conductores a TG2	38.857
7	Potencia activa de entrada a los otros equipos	44.5935
8	Potencia reactiva de entrada los otros equipos	16.0806
9	Potencia activa de entrada a la cámara de bioseguridad 3	4.416
10	Potencia reactiva de entrada a la cámara de bioseguridad 3	3.312
11	Potencia activa de entrada a la nevera 3	2.3667
12	Potencia reactiva de entrada a la nevera 3	1.775
13	Potencia activa de entrada a la nevera 4	1.7
14	Potencia reactiva de entrada a la nevera 4	1.275

15	Potencia activa de entrada a la nevera 5	1.6
16	Potencia reactiva de entrada a la nevera 5	1.2
17	Potencia activa de entrada a la nevera 6	8.928
18	Potencia reactiva de entrada a la nevera 6	6.696
19	Potencia activa de entrada a la iluminación	8.192
20	Potencia reactiva de entrada a la iluminación	3.698
21	Potencia activa de entrada a el aire acondicionado 2	12.1088
22	Potencia reactiva de entrada a el aire acondicionado 2	9.0816
23	Potencia activa de entrada a el aire acondicionado 3	17.6
24	Potencia reactiva de entrada a el aire acondicionado 3	13.2
25	Salida de los otros equipos	24.5598
26	Salida de la cámara de bioseguridad 3	7.536
27	Salida de la nevera 3	0.002607
28	Salida de la nevera 4	0.00179
29	Salida de la nevera 5	0.001935
30	Salida de la nevera 6	83.6543
31	Salida de la iluminación	1.342
32	Salida del aire acondicionado 3	0.85771
33	Salida del aire acondicionado 4	1.733

Tabla A2. Flujos exegéticos T9

Anexo 13 Modelos

A13.1 Modelo del transformador

A13.1.1 Balance de masa:

Este balance no es posible de realizar dado que no hay transferencia de masa en el proceso

A13.1.2 Balance energético



Figura A13.1. Balance energético del transformador.

A13.1.3 Balance exergético

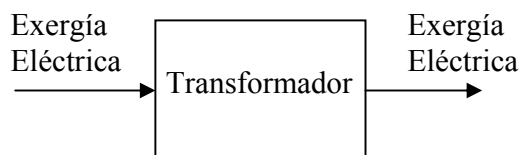


Figura A13.2. Balance exergético del transformador.

A13.1.4 Nivel de desagregación



Figura A13.3. Nivel de desagregación del transformador.

Flujo	Masa	Energía	Exergía
1	****	E ₁ =P ₁ E ₁ =Q ₁ E ₁ =S ₁	E ₁ =P ₁ E ₁ =Q ₁ E ₁ =S ₁
2	****	E ₁ =P ₂ E ₁ =Q ₂ E ₁ =S ₂	E ₁ =P ₂ E ₁ =Q ₂ E ₁ =S ₂

Tabla A13.1. Flujos de energía y exergía del transformador

A13.1.5 Análisis energético

El análisis se realiza sin tener sin considerar componentes armónicas.

La energía eléctrica es calcula a partir de las siguientes expresiones.

$$Energia_{activa} = \int P \cdot dt [Wh - dia] \quad (A13.1)$$

$$Energia_{reactiva} = \int Q \cdot dt [VARh - dia] \quad (A13.2)$$

$$Energia_{aparente} = \int S \cdot dt [VAh - dia] \quad (A13.3)$$

Donde P, Q y S son la potencia activa, reactiva y aparente, que recibe o entrega el transformador, respectivamente.

Estas potencia se hallan según las ecuaciones A13.4, A13.5 y A13.6

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi [W] \quad (A13.4)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sen \phi [VAR] \quad (A13.5)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I [VA] \quad (A13.6)$$

Donde:

- V Tensión de trabajo del transformador [V]
- I Corriente medida en el transformador [A]

A13.1.6 Análisis exergético

La exergía es calculada a partir de las ecuaciones A13.1, A13.2, A13.3, A13.4, A13.5 y A13.6, teniendo en cuenta que la tensión y la corriente utilizadas se definen como sigue

- V Tensión nominal de trabajo del transformador [V]
- I Corriente nominal del transformador [A]

A13.1.7 Evaluación exergética

Se definen los factores de inutilización según la ecuación 2.11 como sigue

$$\%Inutilizacion P = \frac{Exergia_{activa} - Energia_{activa}}{Exergia_{activa}} * 100\% \quad (A13.7)$$

$$\%Inutilizacion Q = \frac{Exergia_{Reactiva} - Energia_{Reactiva}}{Exergia_{Reactiva}} * 100\% \quad (A13.8)$$

$$\%Inutilizacion S = \frac{Exergia_{activa} - Energia_{aparente}}{Exergia_{activa}} * 100\% \quad (A13.9)$$

La ecuación A13.7 representa el porcentaje en que el transformador se esta inutilizando en la transformación de energía activa

La ecuación A13.8 representa el porcentaje en que el transformador se esta inutilizando en la transformación de energía reactiva

La ecuación A13.9 representa el porcentaje en que el transformador se esta inutilizando en la transformación de energía, ya que el transformador puede llegar

solo a transformar energía activa sin perjudicar el proceso, aumentando así su capacidad de transporte y transformación.

A13.1.8 Evaluación energética

El transformador transmite la potencia S_1 a una tensión V_1 a otro sistema a una tensión V_2 . En el paso de potencia a través del transformador se producen pérdidas de manera que a la salida llega una potencia S_2 menor que la potencia de entrada S_1

El rendimiento de la primera ley en un transformador esta dado por las ecuaciones A13.10 y A4.11.

$$\eta = \frac{\text{Energia Electrica de Salida}}{\text{Energia Electrica de Entrada}} \quad (\text{A13.10})$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{perdidas}}} \quad (\text{A13.11})$$

A13.2 Modelo exergético del conductor

Este modelo es exactamente igual al del transformador ya que son elementos que transmiten energía a una carga para que sea transformada en otra clase de energía.

A13.3 Modelo exergético de la iluminación

A13.3.1 Balance de masa

Este balance no es posible de realizar dado que no hay transferencia de masa en el proceso

A13.3.2 Balance energético

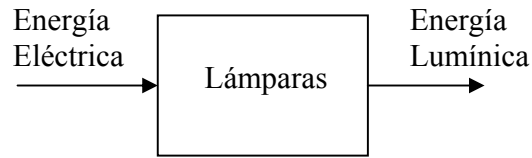


Figura A13.4. Balance energético de la lámpara.

A13.3.3 Balance exergético

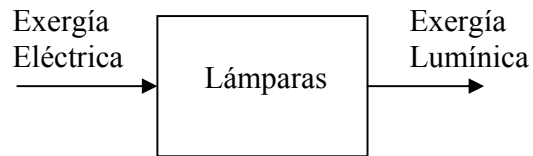


Figura A13.5. Balance exergético de la lámpara.

A13.3.4 Nivel de desagregación

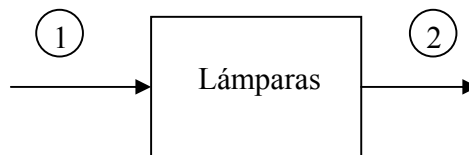


Figura A13.6. Nivel de desagregación de la lámpara.

Flujo	Masa	Energía	Exergía
1	****	$E_1=P_1$ $E_1=Q_1$ $E_1=S_1$	$E_1=P_1$ $E_1=Q_1$ $E_1=S_1$
2	****	$E_1=P_2$ $E_1=Q_2$ $E_1=S_2$	$E_1=P_2$ $E_1=Q_2$ $E_1=S_2$

Tabla A13.2. Flujos de energía y exergía de la lámpara.

A13.3.5 Análisis energético

La energía eléctrica se calcula a partir de las siguientes expresiones.

$$Energia_{activa} = \int P \cdot dt [Wh - dia] \quad (A13.1)$$

$$Energia_{reactiva} = \int Q \cdot dt [VARh - dia] \quad (A13.2)$$

$$Energia_{aparente} = \int S \cdot dt [VAh - dia] \quad (A13.3)$$

Donde P, Q y S son la potencia activa, reactiva y aparente, que recibe la lámpara, respectivamente.

Estas potencias se hallan según las ecuaciones A13.4, A13.5 y A13.6

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi [W] \quad (A13.4)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sen \phi [VAR] \quad (A13.5)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I [VA] \quad (A13.6)$$

Donde:

- V Tensión de trabajo del transformador [V]
- I Corriente medida en el transformador [A]

La energía lumínica se define como sigue.

$$Energia\ de\ salida = \frac{PbW \times \%Luz\ visible \left(\frac{\# \text{ bombillas} \times \# \text{ lamparas} \times 8h \times lum\ medidos}{Lumenes\ iniciales} \right)}{1000} [kWh - dia] \quad (A13.12)$$

Donde

- Pb es la potencia de la bombilla

- %Luz Visible es el porcentaje de la potencia de entrada que se transforma en luz visible, este dato es suministrado por el fabricante

A13.3.6 Análisis exergético

La exergía es calculada a partir de las ecuaciones A13.1, A13.2, A13.3, A13.4, A13.5 y A13.6, teniendo en cuenta que la tensión y la corriente utilizadas se definen como sigue

- V Tensión nominal de trabajo de la lámpara [V]
- I Corriente nominal de la lámpara [A]

La exergía lumínica se obtiene como sigue:

$$\text{Exergia de salida} = \text{Exergia de entrada} \times \% \text{ Luz Visible} [kWh - dia] \quad (\text{A13.13})$$

A13.3.7 Evaluación exergética

Se definen el factor de inutilización según la ecuación 2.11 como sigue

$$\% \text{Inutilizacion} = \frac{\text{Capacidad luminica} - \text{Lumenes medidos}}{\text{Capacidad luminica}} * 100 \quad (\text{A13.14})$$

La ecuación A13.14 representa en qué porcentaje la lámpara esta trabajando por debajo de su capacidad.

A13.3.8 Evaluación energética

Las lámparas transforman la energía eléctrica en energía lumínica de esta manera se define un rendimiento energético según la ecuación A13.15

$$\eta = \frac{\text{Energía Luminica de Salida [Wh - dia]}}{\text{Energía electrica de Entrada [Wh - dia]}} \quad (14.15)$$

A13.4 Modelo exergético cámara de bioseguridad

A13.4.1 Balance de masa

Este balance no es posible de realizar dado que no hay transferencia de masa en el proceso

A13.4.2 Balance energético

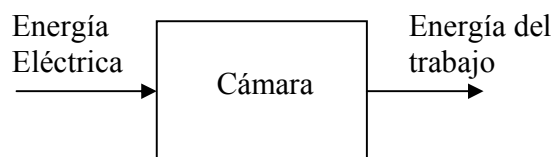


Figura A13.7. Balance energético de la cámara de bioseguridad.

A13.4.3 Balance exergético

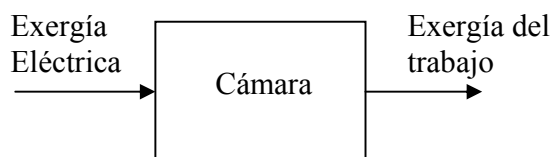


Figura A13.8. Balance exergético de la cámara de bioseguridad.

A13.4.4 Nivel de desagregación

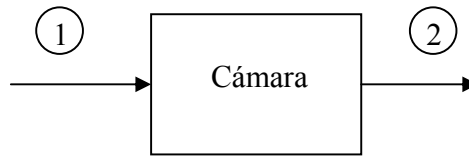


Figura A13.9. Nivel de desagregación de la lámpara.

Flujo	Masa	Energía	Exergía
1	****	$E_1=P_1$ $E_1=Q_1$ $E_1=S_1$	$E_1=P_1$ $E_1=Q_1$ $E_1=S_1$
2	****	$E_1=P_2$ $E_1=Q_2$ $E_1=S_2$	$E_1=P_2$ $E_1=Q_2$ $E_1=S_2$

Tabla A13.3. Flujos de energía y exergía de la cámara de bioseguridad.

A13.4.5 Análisis energético

La energía eléctrica es calcula a partir de las siguientes expresiones.

$$Energia_{activa} = \int P \cdot dt [Wh - dia] \quad (A13.1)$$

$$Energia_{reactiva} = \int Q \cdot dt [VARh - dia] \quad (A13.2)$$

$$Energia_{aparente} = \int S \cdot dt [VAh - dia] \quad (A13.3)$$

Donde P, Q y S son la potencia activa, reactiva y aparente, que recibe la cámara de bioseguridad, respectivamente.

Estas potencias se hallan según las ecuaciones A13.4, A13.5 y A13.6

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi [W] \quad (A13.4)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sen\phi [VAR] \quad (A13.5)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I [VA] \quad (A13.6)$$

Donde:

- V Tensión de trabajo de la cámara [V]
- I Corriente medida en la cámara [A]

La energía de trabajo se define como se define como sigue.

Energía de salida = *Potencia* consumida por la cámara × Tiempo que se usa (A13.16)

A13.4.6 Análisis exergético

La exergía es calculada a partir de las ecuaciones A13.1, A13.2, A13.3, A13.4, A13.5 y A13.6, teniendo en cuenta que la tensión y la corriente utilizadas se definen como sigue

- V Tensión nominal de trabajo del transformador [V]
- I Corriente nominal del transformador [A]

La exergía de salida de trabajo esta definida como sigue

Exergía de salida = Energía consumida por la cámara (14.17)

A13.4.7 Evaluación exergética

Se definen el factor de inutilización según la ecuación 2.11 como sigue

$$\%Inutilizacion = \frac{\text{Exergía de trabajo} - \text{Energía de trabajo}}{\text{Exergía de trabajo}} * 100 \quad (\text{A13.18})$$

La ecuación A13.18 representa el porcentaje de tiempo en que la cámara se esta dejando de utilizar estando esta encendida.

A13.4.8 Evaluación energética

Las cámaras usan la energía eléctrica para crear un ambiente seguro donde los personas puedan trabajar sin riesgo alguno, por esta razón se define el rendimiento energético según la ecuación A13.19

$$\eta = \frac{\text{Energía de trabajo de Salida}}{\text{Energía eléctrica de Entrada}} \quad (\text{A13.19})$$

A13.5 Modelo exergético de la nevera

A13.5.1 Balance de masa

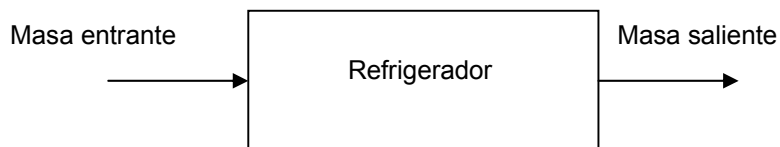


Figura A13.10. Balance másico de la nevera.

A13.5.2 Balance energético

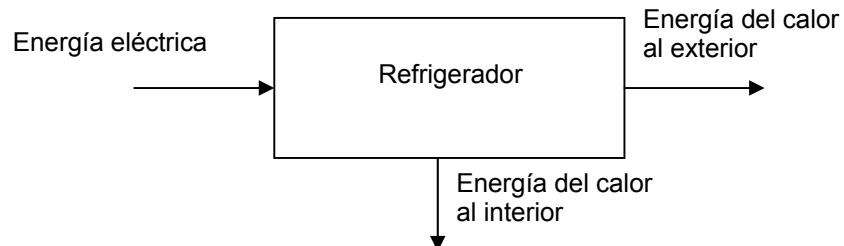


Figura A13.11. Balance energético de la nevera..

A13.5.3 Balance exergético

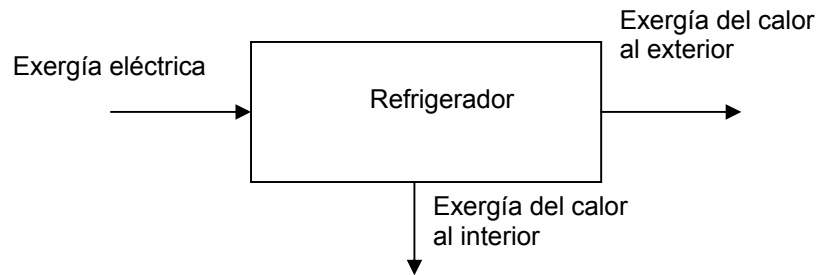


Figura A13.12. Balance exergético de la nevera.

A13.5.4 Nivel de desagregación

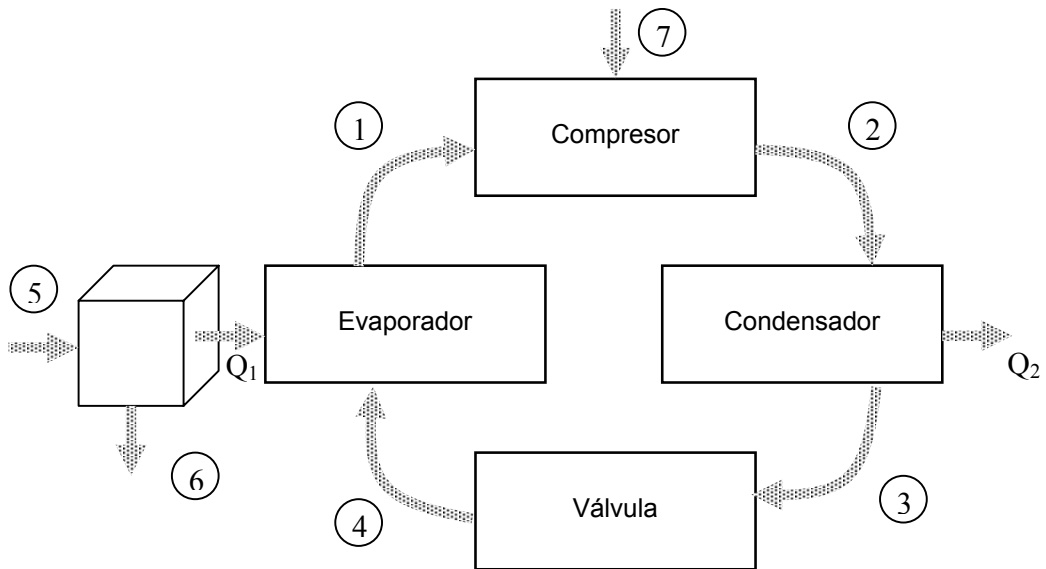


Figura A13.13. Nivel de desagregación de la nevera.

Flujo 1: Fluido Refrigerante en estado gaseoso

Flujo 2: Fluido Refrigerante en estado gaseoso

Flujo 3: Fluido Refrigerante en estado liquido

Flujo 4: Fluido Refrigerante en estado liquido

Flujo 5: Masa de entrada

Flujo 6: Masa de salida

Flujo 7: Energía Eléctrica

Flujo Q₁: Calor absorbido por el evaporador

Flujo Q₂: Calor liberado por el condensador

Flujo	Masa	Energía	Exergía
1	m _g	E ₁ =V ₁ *P ₁ +U ₁	B ₁ =(H ₁ -H ₀) - T ₀ (S ₁ -S ₀)
2	m _g	E ₂ =V ₂ *P ₂ +U ₂	B ₂ =(H ₂ -H ₀) - T ₀ (S ₂ -S ₀)
3	m _g	E ₃ =V ₃ *P ₃ +U ₃	B ₃ =(H ₃ -H ₀) - T ₀ (S ₃ -S ₀)
4	m _g	E ₄ =V ₄ *P ₄ +U ₄	B ₄ =(H ₄ -H ₀) - T ₀ (S ₄ -S ₀)
5	M _i	E ₅ =M _i *c _i *T _i	B ₅ =M _i *((h ₅ -h ₀)-T ₀ (s ₅ -s ₀))
6	M _o	E ₆ =M _o *c _o *T _o	B ₆ =M _o *((h ₆ -h ₀)-T ₀ (s ₆ -s ₀))
7	****	E ₇ =S ₇	B ₇ =S ₇

Tabla A13.4. Flujos de energía y exergía de la nevera.

Donde $M_i = \sum_{j=1}^n m_{ij}$ y $M_o = \sum_{j=1}^n m_{oj}$

A13.5.4.1 Compresor

Este es un proceso de intercambio de trabajo y de flujo permanente.

La ecuación A13.20 expresa la primera ley (conservación de energía).

$$\int V \times Idt + U_1 + P_1 V_1 = U_2 + P_2 V \quad (A13.20)$$

El aumento de disponibilidad del gas, es decir el trabajo reversible que éste efectúa se encuentra determinado por la ecuación A13.21.

$$W_{rev} = \psi_2 - \psi_1 = (H_2 - H_1) - T_0(S_2 - S_1) \quad (\text{A13.21})$$

El trabajo útil realizado por la máquina está dado por la ecuación A13.22:

$$W_{util} = \int V' \times I = U_2 + P_2 V_2 - U_1 - P_1 V_1 \quad (\text{A4.22})$$

Sabiendo que $H = U + PV$, se tiene la expresión A13.23:

$$W_{util} = H_2 - H_1 \quad (\text{A13.23})$$

La irreversibilidad o la entropía generada es igual a la ecuación A13.24:

$$I = W_{rev} - W_{util} = T_0 S_{gen} \quad (\text{A13.24})$$

Reemplazando las ecuaciones A13.23 y A13.21 en A13.24, se obtiene la expresión 14.25.

$$I = T_0(S_2 - S_1) \quad (\text{A13.25})$$

El rendimiento energético se obtiene a partir de las ecuaciones A13.26 y A13.27:

$$\eta_E = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (\text{A13.26})$$

$$\eta_E = \frac{U_2 + P_2 V_2}{\int V' \times I dt + U_1 + P_1 V_1} \quad (\text{A13.27})$$

Rendimiento exergetico se determina en base a la ecuación A13.28:

$$\eta_B = \frac{W_{util}}{W_{rev}} \quad (\text{A4.28})$$

Remplazando las ecuaciones A13.23 y A13.21 en la ecuación A13.28 se obtiene la expresión A13.29,

$$\eta_B = \frac{\psi_2 - \psi_1}{H_2 - H_1} = \frac{(H_2 - H_1) - T_0(S_2 - S_1)}{H_2 - H_1} \quad (\text{A13.29})$$

A13.5.4.2 Válvula de expansión

Este tipo de válvulas son de estrangulamiento, las cuales ocasionan un descenso significativo en la presión del fluido. A diferencia de las turbinas producen una disminución de presión sin implicar ningún trabajo. A menudo la reducción de presión de un fluido se acompaña con un gran descenso en la temperatura, por esta razón estos dispositivos son usados en aplicaciones de refrigeración.

Las válvulas de estrangulamiento son dispositivos pequeños y puede suponerse que el flujo a través de ellos será adiabático puesto que ni hay tiempo suficiente ni área lo bastante grande para que ocurra alguna transferencia de calor significativa. Además, no se efectúa trabajo y el cambio en la energía potencial, si es que ocurre, es muy pequeño. Aun cuando la velocidad de salida es a menudo considerablemente más alta que la velocidad de entrada, en casos como éste, el aumento se considera igual a cero.

Para este caso, la ecuación de la conservación de la energía para este dispositivo de un solo flujo y flujo permanente, se reduce a que $H_3 = H_4$.

Sabiendo que $H = U + PV$ (ecuación 2.5) entonces:

$$U_3 + P_3V_3 = U_4 + P_4V_4 \quad (\text{A13.30})$$

De esta manera el efecto final en este proceso (válvula de expansión) depende de si la energía interna o la energía de flujo aumenta, por que si una ellas lo hace es a expensas de la otra, ya que la suma es constante.

De lo anterior se concluye que ni calor ni trabajo intervienen en este proceso, por tanto el trabajo útil (W_{util}) es cero.

El trabajo reversible se encuentra dado por la ecuación

$$W_{rev} = \psi_4 - \psi_3 = T_0(S_4 - S_3) \quad (A13.31)$$

La irreversibilidad para cualquier proceso es la parte del trabajo reversible que no es útil. Como el trabajo útil para una válvula de expansión es cero, la entropía generada es igual al trabajo reversible [CENGEL & BONES, 2004] [WALL, 1998]..

De esta manera queda comprobado que $I = T_0 S_{gen}$, que en este caso se encuentra dada por la ecuación A13.32:

$$I = T_0(S_4 - S_3) \quad (A13.32)$$

Al calcular el rendimiento energético, ecuación A13.33, y exergético, ecuación A13.34, se tiene:

$$\eta_E = \frac{E_{out}}{E_{in}} = 1 \quad (A13.33)$$

$$\eta_B = \frac{W_{util}}{W_{rev}} = 0 \quad (A13.34)$$

A13.5.4.3 Condensador

De acuerdo con la primera ley y teniendo en cuenta que el trabajo se define como el acto de cambiar la energía de una masa, se obtiene la ecuación A13.35 [LINDERBURG, 2000].

$$W = U_3 + P_3V_3 - U_2 + P_2V_2 \quad (\text{A13.35})$$

Sabiendo que la entalpía es la energía total útil de una sustancia, y es definida así porque idealmente toda puede ser usada en el desarrollo de tareas útiles [LINDERBURG, 2000].

$$W = H_3 - H_2$$

A partir de las ecuaciones anteriores se deduce que el trabajo útil se obtiene por medio de la ecuación A13.36:

$$W_{util} = U_3 + P_3V_3 - U_2 - P_2V_2 \quad (\text{A13.36})$$

El cambio en la disponibilidad del sistema está dado por la ecuación A13.37:

$$W_{rev} = \psi_3 - \psi_2 = H_3 - H_2 - T_0(S_3 - S_2) \quad (\text{A13.37})$$

La oportunidad perdida para realizar trabajo se halla con la ecuación A13.38:

$$I = W_{rev} - W_{util} \quad (\text{A13.38})$$

Remplazando la ecuación A13.36 y A13.37 en la ecuación A13.38, se obtiene:

$$I = H_3 - H_2 - T_0(S_3 - S_2) - (U_3 + P_3V_3 - U_2 - P_2V_2) \quad (\text{A13.39})$$

De acuerdo con la ecuación 2.5 y remplazando en la ecuación A13.39 se encuentra la ecuación A13.40, que corresponde a la entropía generada en un proceso de intercambio de calor.

$$I = T_0(S_2 - S_3) \quad (\text{A13.40})$$

Analizando el proceso que se lleva a cabo en el condensador, se puede notar que el cambio de fase de gas a líquido de la sustancia refrigerante es posible gracias a la transferencia de calor Q . Sin embargo este calor es liberado al ambiente sin ser utilizado en una tarea útil, por consiguiente se convierte en una irreversibilidad del proceso, como queda demostrado a continuación.

$$I = T_0 \Delta S \quad (\text{A13.41})$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T_0} \quad (\text{A13.42})$$

$$I = Q \quad (\text{A13.43})$$

Dadas las características del proceso de refrigeración, en el condensador se tiene un proceso isobárico, con lo cual se tiene la ecuación A13.44 y se puede determinar el valor de Q .

$$Q = m_g c_g (T_3 - T_2) \quad (\text{A13.44})$$

El rendimiento según la segunda ley está determinado por la ecuación A13.45.

$$\eta_B = \frac{W_{util}}{W_{rev}} = \frac{(H_3 - H_2)}{H_3 - H_2 - T_0(S_3 - S_2)} \quad (\text{A13.45})$$

Rendimiento energético para el condensador está dado por las ecuaciones A13.46 y A13.47

$$\eta_E = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{Q + U_3 + P_3V_3}{U_2 + P_2V_2} \quad (\text{A13.46})$$

$$\eta_E = \frac{m_g c_g (T_3 - T_2) + U_3 + P_3V_3}{U_2 + P_2V_2} \quad (\text{A13.47})$$

A13.5.4.4 Evaporador

Teniendo en cuenta que

$$M_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad \text{y} \quad M_o = \sum_{j=1}^n m_{oj} \quad (\text{A13.48})$$

Se hace el balance energético utilizando la primera ley de la termodinámica como se muestra a continuación.

$$M_i h_5 + m_g h_4 = M_o h_6 + m_g h_1 \quad (\text{A13.49})$$

$$M_i h_5 - M_o h_6 = m_g h_1 - m_g h_4 \quad (\text{A13.50})$$

$$M_i h_5 - M_o h_6 = m_g (h_1 - h_4) \quad (\text{A13.51})$$

El conteo de masa o la relación de las masas entrantes con las salientes se hace de la siguiente forma en un intervalo de tiempo t.

$$M_o = kM_i \quad (\text{A13.52})$$

Reemplazando la ecuación 14.56 en la ecuación 14.55, se tiene,

$$M_i h_5 - kM_i h_6 = m_g (h_1 - h_4) \quad (\text{A13.53})$$

$$M_i (h_5 - kh_6) = m_g (h_1 - h_4) \quad (\text{A13.54})$$

La ecuación 14.59 establece la relación entre las masas de entrada y la masa del gas utilizado para la refrigeración.

$$\frac{M_i}{m_g} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_5 - kh_6)} \quad (\text{A13.55})$$

El aumento de la disponibilidad del gas se encuentra por medio de la ecuación A13.56.

$$\psi_{14} = \psi_1 - \psi_4 = m_g [(h_1 - h_4) - T_0(s_1 - s_4)] \quad (\text{A13.56})$$

La disminución de la disponibilidad en la masa de entrada M_i por unidad de masa del gas refrigerante se encuentra dada por la ecuación A13.57.

$$\frac{M_i}{m_g} \psi_{65} = \frac{M_i}{m_g} (\psi_6 - \psi_5) \quad (\text{A13.57})$$

$$\frac{M_i}{m_g} (\psi_6 - \psi_5) = \frac{M_i}{m_g} [(h_6 - h_5) - T_0(s_6 - s_5)] \quad (\text{A13.58})$$

La ecuación A13.58 es válida siempre y cuando los productos que se introducen a la nevera se encuentren a una misma temperatura, y todos se saquen a una misma temperatura.

Cuando se transfiere energía desde una corriente de fluido a una temperatura elevada hasta otra corriente de fluido a baja temperatura, como es este caso, la eficiencia exergética puede ser expresada según la ecuación A13.59.

$$\eta = \frac{\psi_1 - \psi_4}{\frac{M_i}{m_g} (\psi_6 - \psi_5)} \quad (\text{A13.59})$$

Reemplazando los flujos de Exergía finalmente se obtiene la expresión 14.60.

$$\eta = \frac{m_g [(h_1 - h_4) - T_0 (s_1 - s_4)]}{\frac{M_i}{m_g} [(h_6 - h_5) - T_0 (s_6 - s_5)]} \quad (\text{A13.60})$$

La irreversibilidad en el proceso de transferencia de calor por kg de gas es

$$\frac{I}{m_g} = \frac{M_i \psi_{entrada}}{m_g} - \frac{M_o \psi_{salida}}{m_g} \quad (\text{A13.61})$$

$$\frac{I}{m_g} = (\psi_4 - \psi_1) + \frac{M_i (\psi_1 - \psi_2)}{m_g} \quad (\text{A13.62})$$

También es de interés determinar el cambio de entropía en el gas al absorber el calor, este se puede determinar por medio de la expresión A13.63.

$$\Delta S_{14} = S_1 - S_4 \quad (\text{14.63})$$

Dado que las entropías de los flujos son desconocidas, estos pueden ser obtenidos a partir de la ecuación A13.64 y A13.65.

$$s_6 - s_5 = c \ln \left(\frac{T_6}{T_5} \right) \quad (\text{A13.64})$$

$$s_1 - s_4 = c \ln \left(\frac{T_1}{T_4} \right) \quad (\text{A13.65})$$

A13.6 Aire Acondicionado

A13.6.1 Balance de masa

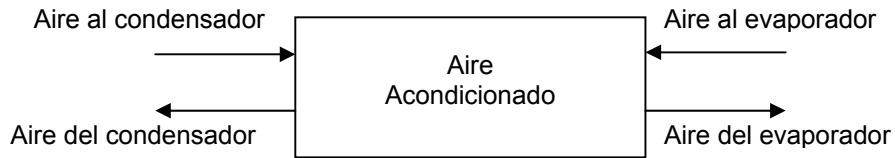


Figura A13.14. Balance másico del aire acondicionado.

A13.6.2 Balance de energía

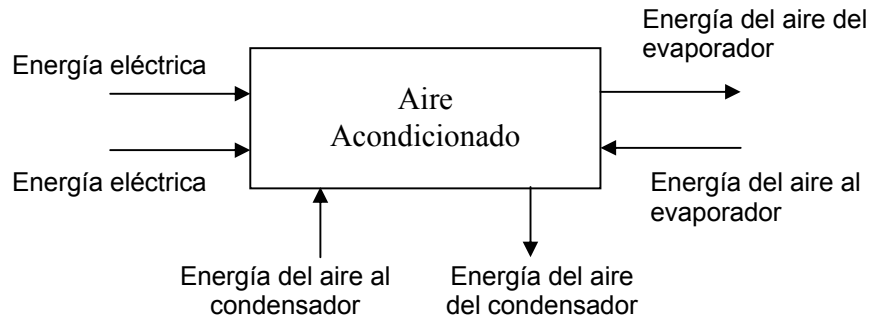


Figura A13.15. Balance energético del aire acondicionado.

A13.6.3 Balance de exergía

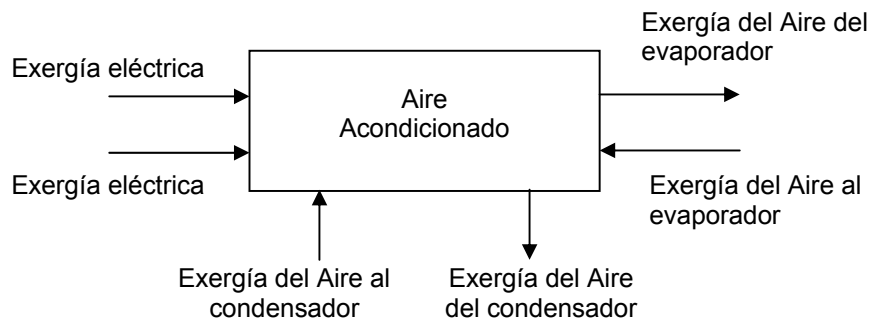


Figura A13.16. Balance exergético del aire acondicionado.

A13.6.4 Nivel de desagregación

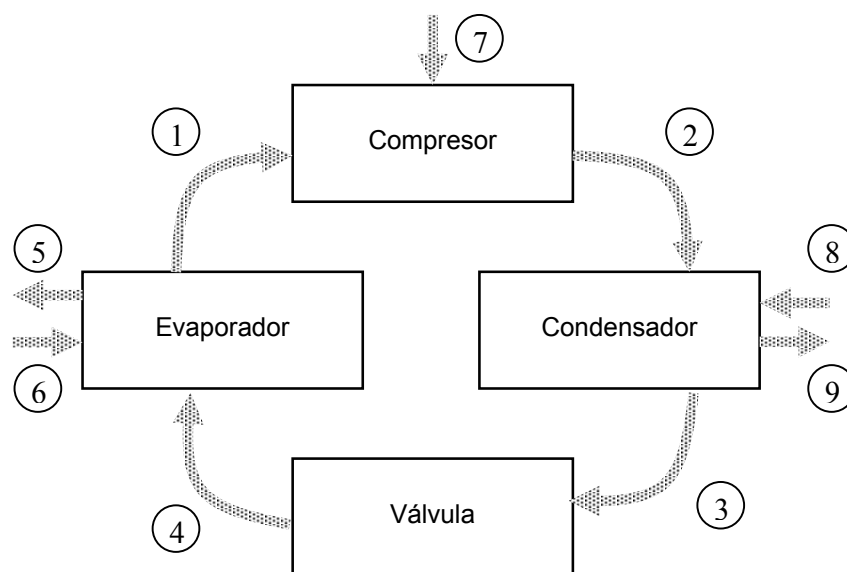


Figura A13.17. Nivel de desagregación del aire acondicionado.

Flujo 1: Fluido Refrigerante en estado gaseoso

Flujo 2: Fluido Refrigerante en estado gaseoso

Flujo 3: Fluido Refrigerante en estado liquido

Flujo 4: Fluido Refrigerante en estado liquido

Flujo 5: Aire al local

Flujo 6: Aire del local

Flujo 7: Energía Eléctrica

Flujo 8: Aire del exterior

Flujo 9: Aire al exterior

Flujo	Masa	Energía	Exergía
1	m_1	$E_1=V_1*P_1+U_1$	$B_1=(H_1-H_0) - T_0(S_1-S_0)$
2	m_2	$E_2=V_2*P_2+U_2$	$B_2=(H_2-H_0) - T_0(S_2-S_0)$
3	m_3	$E_3=V_3*P_3+U_3$	$B_3=(H_3-H_0) - T_0(S_3-S_0)$
4	m_4	$E_4=V_4*P_4+U_4$	$B_4=(H_4-H_0) - T_0(S_4-S_0)$
5	m_5	$E_5=V_5*P_5+U_5$	$B_5=(H_5-H_0) - T_0(S_5-S_0)$
6	m_6	$E_6=V_6*P_6+U_6$	$B_6=(H_6-H_0) - T_0(S_6-S_0)$
7	m_7	$E_7=S_7$	$B_7=S_7$
8	m_8	$E_8=V_8*P_8+U_8$	0
9	m_9	$E_9=V_9*P_9+U_9$	$B_9=(H_9-H_0) - T_0(S_9-S_0)$

Tabla A4. Flujos de energía y exergía del aire acondicionado.

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m \quad (A13.66)$$

$$m_5 = m_6 = m_8 = m_9 = m_{aire} \quad (A13.67)$$

A13.6.4.1 Compresor y válvula de expansión

El funcionamiento del compresor y la válvula de expansión en el aire acondicionado es igual al de la nevera, por tanto las ecuaciones y principios utilizados en este caso son iguales a los utilizados en la nevera.

A13.6.4.2 Evaporador

$$m_4 = m_1 \quad (A13.68)$$

$$m_5 = m_6 \quad (A13.69)$$

$$h = u + pv \quad (A13.70)$$

$$m_4 h_4 + m_6 h_6 = m_1 h_1 + m_5 h_5 \quad (A13.71)$$

A partir de las ecuaciones A13.68, A13.69 y A13.70, se encuentra la relación entre el flujo másico del aire y el flujo másico del gas, ecuación A13.72

$$m_1(h_4 - h_1) = m_5(h_5 - h_6) \quad (\text{A13.72})$$

$$\frac{m_1}{m_5} = \frac{h_5 - h_6}{h_4 - h_1} \quad (\text{A13.73})$$

El cambio en la disponibilidad del gas por kilogramo de gas esta dado por la expresión A13.74

$$\psi_1 - \psi_4 = (h_1 - h_4) - T_0(S_1 - S_4) \quad (\text{A13.74})$$

El cambio de la disponibilidad del aire por kilogramo de gas esta dado por la ecuación A13.75.

$$\frac{m_5}{m_1}(h_5 - h_6) = \frac{m_5}{m_1}[(h_5 - h_6) - T_0(S_5 - S_6)] \quad (\text{A13.75})$$

El rendimiento de la segunda ley se encuentra a través de la ecuación A13.76.

$$\eta = \frac{(h_1 - h_4) - T_0(S_1 - S_4)}{\frac{m_5}{m_1}[(h_5 - h_6) - T_0(S_5 - S_6)]} \quad (\text{A13.76})$$

La irreversibilidad del proceso por kilogramo de gas se obtiene a partir de la ecuación A13.77.

$$\frac{I}{m_1} = \psi_4 - \psi_1 + \frac{m_5}{m_1}(\psi_5 - \psi_6) \quad (\text{A13.77})$$

La ecuación A13.78 representa el cambio en la entropía del gas por kilogramo de gas.

$$\Delta S_{14} = S_1 - S_4 \quad (\text{A13.78})$$

El cambio en la entropía del aire por kilogramo de agua

$$\Delta S_{56} = \frac{m_5}{m_1} (S_5 - S_6) \quad (\text{A13.79})$$

A13.6.4.3 Condensador

De acuerdo con la primera ley, tenemos un balance de masa, expresado mediante la ecuación A13.98 y A13.99.

$$m_2 = m_3 \quad (\text{A13.80})$$

$$m_8 = m_9 \quad (\text{A13.81})$$

Teniendo en cuenta la primera ley de la termodinámica, tenemos un balance energético expresado por la ecuación A13.82.

$$m_2 h_2 + m_8 h_8 = m_3 h_3 + m_9 h_9 \quad (\text{A13.82})$$

Simplificando la ecuación A13.82 reemplazando las ecuaciones A13.80 y A13.81, se obtiene la ecuación 14.83.

$$m_2(h_2 - h_3) = m_8(h_9 - h_8) \quad (\text{A13.83})$$

La ecuación A13.84, expresa la relación entre el flujo masa de producto (gas) y el flujo de masa del refrigerante (aire).

$$\frac{m_8}{m_2} = \frac{h_2 - h_3}{h_9 - h_8} \quad (\text{A13.84})$$

El aumento de disponibilidad del aire utilizado para refrigerar el gas por kg de aire esta dado por la ecuación A13.85.

$$\psi_9 - \psi_8 = (h_9 - h_8) - T_0(S_9 - S_8) \quad (\text{A13.85})$$

La disminución de la disponibilidad del gas por kg de gas, se expresa por la ecuación A13.86.

$$\frac{m_8}{m_2}(h_2 - h_3) = \frac{m_8}{m_2} [(h_2 - h_3) - T_0(S_2 - S_3)] \quad (\text{A13.86})$$

El rendimiento exergético se obtiene a partir de la ecuación A13.87.

$$\eta = \frac{m_8(h_8 - h_9) - T_0(S_8 - S_9)}{m_2[(h_3 - h_2) - T_0(S_3 - S_2)]} \quad (\text{A13.87})$$

La irreversibilidad del proceso por kilogramo de aire esta dada por la ecuación 14.88.

$$\frac{I}{m_8} = \psi_8 - \psi_9 + \frac{m_2}{m_8}(\psi_2 - \psi_3) \quad (\text{A13.88})$$

Anexo 14
Programas en Matlab

%Análisis Termoeconómico circuito T8

%Flujos exergeticos

```
B1(1,1)=input('Exergía potencia de entrada al sistema: ');
B1(2,1)=input('Exergía potencia de salida del trafo: ');
B1(3,1)=input('Exergía potencia de salida de los conductores a TG2: ');
B1(4,1)=input ('Exergía potencia de entrada a los otros equipos: ');
B1(6,1)=input ('Exergía potencia de entrada a los otros equipos: ');
B1(8,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 1: ');
B1(10,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 1: ');
B1(12,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 2: ');
B1(14,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 2: ');
B1(16,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la nevera 1: ');
B1(5,1)=input ('Exergía salida de los otros equipos: ');
B1(7,1)=input ('Exergía salida de la cámara de bioseguridad 1: ');
B1(9,1)=input ('Exergía salida de la cámara de bioseguridad 2: ');
B1(11,1)=input ('Exergía salida de la nevera 1: ');
B1(13,1)=input ('Exergía salida de la nevera 2: ');
B1(15,1)=input ('Exergía salida de la iluminación: ');
B1(17,1)=input ('Exergía salida del aire acondicionado 1: ');
```

%Matriz de incidencia

```
A1=zeros(10,17);
A1(1,1)=1;A1(1,2)=-1;
A1(2,2)=1;A1(2,3)=-1;
A1(3,3)=1;A1(3,4)=-1;A1(3,6)=-1;A1(3,8)=-1;A1(3,10)=-1;A1(3,12)=-1;A1(3,14)=-1;A1(3,16)=-1;
A1(4,4)=1;A1(4,5)=-1;
A1(5,6)=1;A1(5,7)=-1;
A1(6,8)=1;A1(6,9)=-1;
A1(7,10)=1;A1(7,11)=-1;
A1(8,12)=1;A1(8,13)=-1;
A1(9,14)=1;A1(9,15)=-1;
```

```

A1(10,16)=1;A1(10,17)=-1;

%Matriz de bifurcaciones
Aw=zeros(6,17);
Aw(1,6)=1/B1(6,1);Aw(1,3)=-1/B1(3,1);
Aw(2,8)=1/B1(8,1);Aw(2,3)=-1/B1(3,1);
Aw(3,10)=1/B1(10,1);Aw(3,3)=-1/B1(3,1);
Aw(4,12)=1/B1(12,1);Aw(4,3)=-1/B1(3,1);
Aw(5,14)=1/B1(14,1);Aw(5,3)=-1/B1(3,1);
Aw(6,16)=1/B1(16,1);Aw(6,3)=-1/B1(3,1);

%Matriz de entradas
Ae=zeros(1,17);
Ae(1,1)=1;

%Matriz de producción
Ap=[A1;Ae;Aw];

%Irreversibilidades
I=A1*B1;

% %Porcentaje de la entrada en irreversibilidades
lp=zeros(10,1);
for k=1:10
    lp(k,1)=abs(I(k,1))*100/B1(1,1);
end

lp(1,1)=I(1,1)*100/B1(1,1);lp(2,1)=I(2,1)*100/B1(2,1);lp(3,1)=I(3,1)*100/B1(3,1);lp(4,1)=I(4,1)*100/B1(4,1);
lp(5,1)=I(5,1)*100/B1(6,1);lp(6,1)=I(6,1)*100/B1(8,1);lp(7,1)=I(7,1)*100/B1(10,1);lp(8,1)=I(8,1)*100/B1(12,1);
lp(9,1)=I(9,1)*100/B1(14,1);lp(10,1)=I(10,1)*100/B1(16,1);

Apin=inv(Ap);
Ay=zeros(17,1);
Ay(11,1)=B(1,1)+B(2,1);
%Ay(12,1)=B(2,1);
Costos=Apin*Ay;
diary ('Costos')
diary off
openvar ('Costos')

%Costos Exergoeconómicos
Ay(11,1)=input ('Valor de kWh: ');
CostosExer=Apin*Ay;

```

```

diary ('CostosExer')
diary off
openvar ('CostosExer')

%Costos exergéticos unitarios
for g=1:17
    k(g,1)=Costos(g,1)/B1(g,1);
end

```

%Análisis Termoeconómico circuito T9

```

clc;clear all;

B1(1,1)=B(1,1)+B(2,1);input ('Exergía potencia activa de entrada al sistema: ');
B1(2,1)=B(3,1)+B(4,1);input ('Exergía potencia activa de salida del trafo: ');
B1(3,1)=B(5,1)+B(6,1);input ('Exergía potencia activa de salida de los conductores
a TG2: ');
B1(4,1)=input ('Exergía potencia de entrada a los otros equipos: ');
B1(6,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la cámara de bioseguridad 3: ');
B1(8,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la nevera 3: ');
B1(10,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la nevera 4: ');
B1(12,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la nevera 5: ');
B1(14,1)=input ('Exergía potencia de entrada a la nevera 6: ');
B1(16,1)=input ('Exergía potencia de entrada de la iluminación: ');
B1(18,1)=input ('Exergía potencia de entrada al aire acondicionado 2: ');
B1(20,1)=input ('Exergía potencia de entrada al aire acondicionado 3: ');
B1(5,1)=input ('Exergía salida de los otros equipos: ');
B1(7,1)=input ('Exergía salida de la cámara de bioseguridad 3: ');
B1(9,1)=input ('Exergía salida de la nevera 3: ');
B1(11,1)=input ('Exergía salida de la nevera 4: ');
B1(13,1)=input ('Exergía salida de la nevera 5: ');
B1(15,1)=input ('Exergía salida de la nevera 6: ');
B1(17,1)=input ('Exergía salida de la iluminación: ');
B1(19,1)=input ('Exergía salida del aire acondicionado 2: ');
B1(21,1)=input ('Exergía salida del aire acondicionado 3: ');

%MAtriz de incidencia
A1=zeros(12,21);
A1(1,1)=1;A1(1,2)=-1;
A1(2,2)=1;A1(2,3)=-1;
A1(3,3)=1;A1(3,4)=-1;A1(3,6)=-1;A1(3,8)=-1;A1(3,10)=-1;A1(3,12)=-1;A1(3,14)=-
1;A1(3,16)=-1;A1(3,18)=-1;A1(3,20)=-1;
A1(4,4)=1;A1(4,5)=-1;
A1(5,6)=1;A1(5,7)=-1;
A1(6,8)=1;A1(6,9)=-1;

```

```

A1(7,10)=1;A1(7,11)=-1;
A1(8,12)=1;A1(8,13)=-1;
A1(9,14)=1;A1(9,15)=-1;
A1(10,16)=1;A1(10,17)=-1;
A1(11,18)=1;A1(11,19)=-1;
A1(12,20)=1;A1(12,21)=-1;

```

```

%Matriz de bifurcaciones

```

```

Aw=zeros(6,21);
Aw(1,6)=1/B1(6,1);Aw(1,3)=-1/B1(3,1);
Aw(2,8)=1/B1(8,1);Aw(2,3)=-1/B1(3,1);
Aw(3,10)=1/B1(10,1);Aw(3,3)=-1/B1(3,1);
Aw(4,12)=1/B1(12,1);Aw(4,3)=-1/B1(3,1);
Aw(5,14)=1/B1(14,1);Aw(5,3)=-1/B1(3,1);
Aw(6,16)=1/B1(16,1);Aw(6,3)=-1/B1(3,1);
Aw(7,18)=1/B1(18,1);Aw(7,3)=-1/B1(3,1);
Aw(8,20)=1/B1(20,1);Aw(8,3)=-1/B1(3,1);

```

```

%Matriz de entradas

```

```

Ae=zeros(1,21);
Ae(1,1)=1;

```

```

%Matriz de producción

```

```

Ap=[A1;Ae;Aw];
diary ('Ap')
diary off
openvar ('Ap')

```

```

%Irreversibilidades

```

```

I=A1*B1;
diary ('I')
diary off
openvar ('I')

```

```

%Porcentaje de la entrada en irreversibilidades

```

```

lp(1,1)=I(1,1)*100/B1(1,1);lp(2,1)=I(2,1)*100/B1(2,1);lp(3,1)=I(3,1)*100/B1(3,1);
lp(4,1)=I(4,1)*100/B1(4,1);
lp(5,1)=I(5,1)*100/B1(6,1);lp(6,1)=I(6,1)*100/B1(8,1);lp(7,1)=I(7,1)*100/B1(10,1);lp(
8,1)=I(8,1)*100/B1(12,1);
lp(9,1)=I(9,1)*100/B1(14,1);lp(10,1)=I(10,1)*100/B1(16,1)
;lp(11,1)=I(11,1)*100/B1(18,1);lp(12,1)=I(12,1)*100/B1(20,1);
diary ('lp')
diary off
openvar ('lp')

```

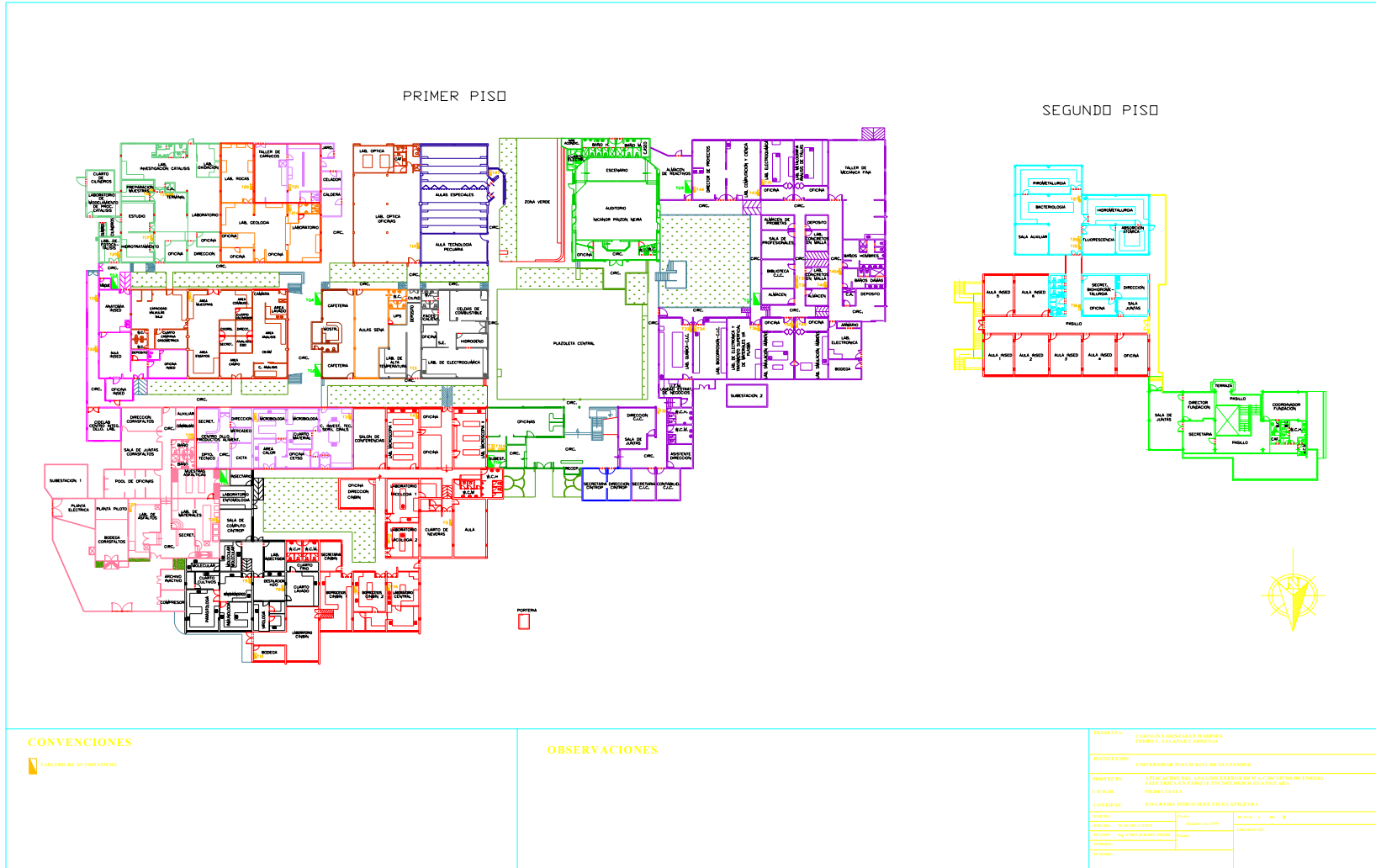
```

Apin=Ap^-1;
Ay=zeros(21,1);
Ay(13,1)=B1(1,1);
Costos=Apin*Ay;
diary ('Costos')
diary off
openvar ('Costos')

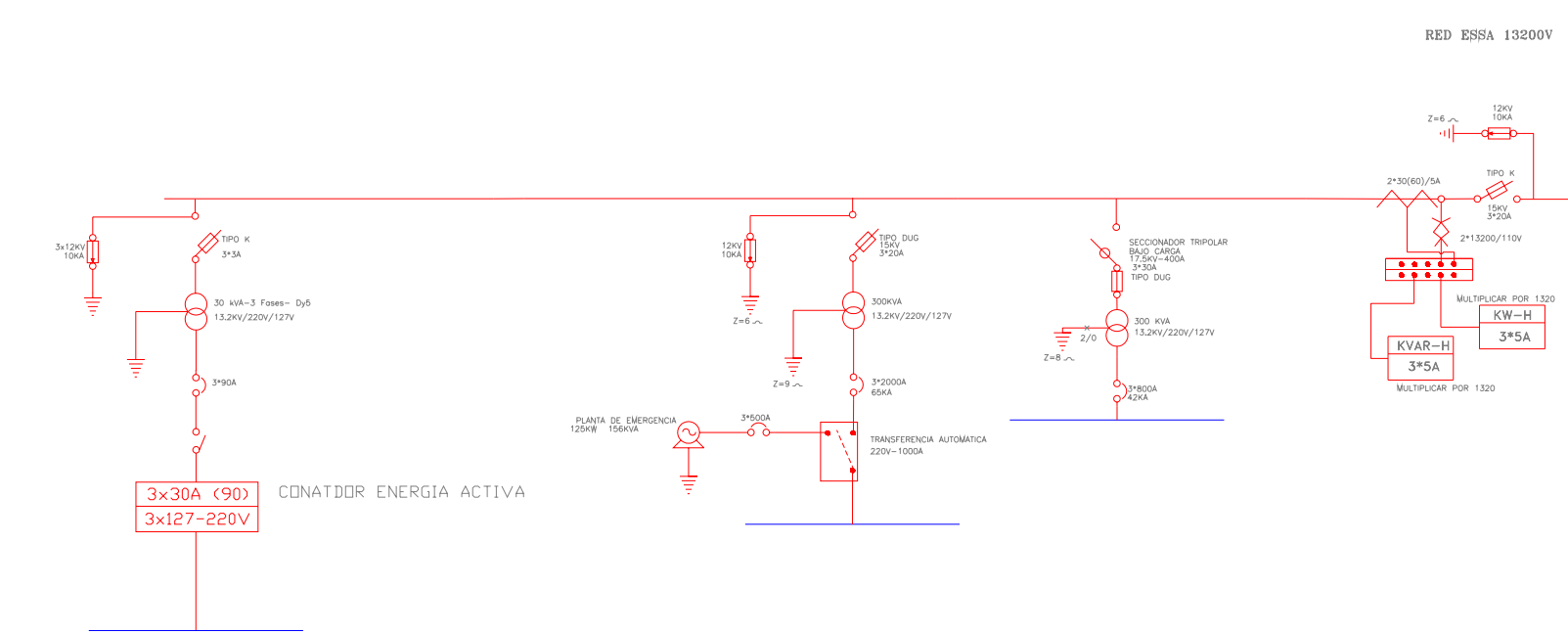
%Costos Exergoeconómicos
Ay(13,1)=input ('Valor de kWh: ');
CostosExer=Apin*Ay;
diary ('CostosExer')
diary off
openvar ('CostosExer')

%Costos exergéticos unitarios
for g=1:21
    k(g,1)=Costos(g,1)/B1(g,1);
end

```



Plano 1.



Plano 2.

