



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA  
ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS CHRYSLER DE VENEZUELA LLC.

JOHAN MONTESINOS  
RONY MARIANO

BARBULA, DICIEMBRE 2010

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA  
ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS CHRYSLER DE VENEZUELA LLC.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**JOHAN MONTESINOS  
RONY MARIANO**

**BARBULA, DICIEMBRE 2010**

**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS CHRYSLER DE VENEZUELA LLC.”, realizado por los bachilleres: JOHAN MONTESINOS y RONY MARIANO, cédulas de identidad: **18.179.030** y **17.800.584** respectivamente, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

**Firma**  
MILAGROS PEÑA  
Tutor

**Firma**  
EVA MONAGAS  
Jurado

**Firma**  
VERNER HORNEBO  
Jurado

**BARBULA, DICIEMBRE 2010**

---

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios primero que nada por ser nuestro Guía, agradecemos a nuestra tutora la Profesora Milagros Peña por su paciencia y dedicación durante todo este tiempo, además de su dirección y apoyo para la culminación de este Trabajo de Grado.

También quisiéramos hacer evidente nuestro agradecimiento a la empresa Chrysler de Venezuela LLC y a sus empleados, quienes nos abrieron las puertas con humildad y nos permitieron realizar allí los estudios necesarios para el desarrollo de esta investigación.

A el Ing. Hugo Mora, Ing. Miguel Sánchez, Sr Wilfredo Leal y al Sr. José Escobar, quienes nos proporcionaron todas las facilidades necesarias para realizar este Proyecto.

Además agradecemos a todos nuestros amigos y compañeros de clase de la Ilustre Universidad de Carabobo con quienes compartimos y aprendimos tantas cosas juntos.

Finalmente queremos agradecer el gran apoyo que nos brindaron y otorgaron nuestros familiares, nuestras madres y hermanas que siempre estuvieron ahí para inspirarnos.

A todos nuestro mayor reconocimiento y gratitud.

*Johan Montesinos y Rony Mariano*

---

# ÍNDICE GENERAL

|   | pág      |
|---|----------|
| ÍNDICE DE FIGURAS                                       | XVII     |
| RESUMEN   | XIX      |
| INTRODUCCIÓN  | XXI      |
| <b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA</b>                          | <b>1</b> |
| 1.1. Planteamiento del Problema . . . . .               | 1        |
| 1.2. Formulación del Problema . . . . .                 | 3        |
| 1.3. Objetivos de la Investigación . . . . .            | 3        |
| 1.3.1. Objetivo General . . . . .                       | 3        |
| 1.3.2. Objetivos Específicos . . . . .                  | 3        |
| 1.4. Justificación . . . . .                            | 4        |
| 1.5. Alcances y Limitaciones . . . . .                  | 6        |
| 1.6. Recursos . . . . .                                 | 7        |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>                       | <b>9</b> |
| 2.1. Antecedentes . . . . .                             | 9        |
| 2.2. Conceptos Básicos . . . . .                        | 11       |
| 2.2.1. Potencia Eléctrica . . . . .                     | 12       |
| 2.2.2. Potencia Activa . . . . .                        | 12       |
| 2.2.3. Potencia Reactiva . . . . .                      | 13       |
| 2.2.4. Potencia Aparente . . . . .                      | 14       |
| 2.2.5. Factor de Potencia . . . . .                     | 14       |
| 2.3. Análisis de Carga y Demanda . . . . .              | 15       |
| 2.3.1. Demanda . . . . .                                | 15       |
| 2.3.2. Carga Instalada . . . . .                        | 15       |
| 2.3.3. Capacidad Instalada . . . . .                    | 16       |
| 2.3.4. Demanda Máxima . . . . .                         | 16       |
| 2.3.5. Número de Horas de Cargas Equivalentes . . . . . | 16       |
| 2.3.6. Balances de Energía . . . . .                    | 18       |
| 2.3.7. Tarifa de Electricidad . . . . .                 | 19       |
| 2.4. Variables de Medición. . . . .                     | 20       |
| 2.4.1. Voltaje de Línea. . . . .                        | 21       |



---

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.2. Corriente. . . . .   | 21        |
| 2.4.3. Potencia Aparente. . . . .   | 21        |
| 2.5. La Industria Automotriz . . . . .  | 21        |
| 2.5.1. Procesos para la Fabricación de Vehículos . . . . .                              | 22        |
| 2.6. Tipos de Cargas en la Industria Automotriz . . . . .                               | 24        |
| 2.6.1. Sistemas de Iluminación . . . . .  | 24        |
| 2.6.2. Sistemas de Climatización . . . . .  | 31        |
| 2.6.3. Motores . . . . .  | 33        |
| 2.7. Mantenimiento . . . . .  | 36        |
| 2.7.1. Gestión de Mantenimiento . . . . .   | 36        |
| 2.8. Eficiencia Energética . . . . .  | 37        |
| 2.9. Evaluación Técnica Económica . . . . .   | 39        |
| 2.9.1. Factibilidad Técnica . . . . .   | 39        |
| 2.9.2. Factibilidad Económica . . . . .   | 40        |
| 2.10. Diagramas de Pareto . . . . .   | 43        |
| 2.11. Metodología De Auditorías Energéticas . . . . .                                   | 44        |
| 2.11.1. Etapas de una Auditoría Energética . . . . .                                    | 44        |
| 2.11.2. Primera Etapa: Recogida de Datos y Planificación de la Auditoría . . . . .      | 45        |
| 2.11.3. Segunda Etapa: Medidas Experimentales . . . . .                                 | 47        |
| 2.11.4. Tercera Etapa: Diagnóstico de la Situación del Edificio . . . . .               | 47        |
| 2.11.5. Cuarta Etapa: Análisis para la Mejora del Comportamiento del Edificio . . . . . | 48        |
| 2.11.6. Quinta etapa: resultados finales . . . . .                                      | 48        |
| 2.12. Herramientas para análisis de Eficiencia Energética . . . . .                     | 49        |
| 2.12.1. Diagrama de Dispersión y Correlación . . . . .                                  | 49        |
| 2.12.2. Gráficos de Control . . . . .   | 50        |
| 2.12.3. Gráfico de Consumo - Producción (E Vs. P) . . . . .                             | 51        |
| 2.13. Criterio para el Análisis . . . . .   | 52        |
| 2.13.1. Tipos de Cálculos . . . . .   | 53        |
| <b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO . . . . .</b>                                       | <b>55</b> |
| 3.1. Tipo de Investigación . . . . .  | 55        |
| 3.2. Diseño de la Investigación . . . . .   | 56        |
| 3.3. Población . . . . .  | 56        |
| 3.4. Muestra . . . . .  | 57        |
| 3.5. Técnicas de Recolección de Datos . . . . .   | 57        |
| 3.5.1. Observación Directa . . . . .  | 58        |
| 3.5.2. Entrevistas Informales no Estructuradas . . . . .                                | 58        |
| 3.5.3. Análisis Documental y de Contenido . . . . .                                     | 58        |
| 3.6. Desarrollo de la Investigación . . . . .   | 59        |
| 3.6.1. Diagnóstico de la Situación Actual . . . . .                                     | 61        |
| 3.6.2. Elaboración de Balances de Energía . . . . .                                     | 61        |

---



---

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 3.6.3.  | Determinación del Consumo de Energía de Cada Equipo o Grupo de Artículos . . . . .          | 61        |
| 3.6.4.  | Determinación de los Indicadores del Consumo de Energía . . . . .                           | 62        |
| 3.6.5.  | Evaluación Técnica y Operativa de la Eficiencia Energética . . . . .                        | 62        |
| 3.6.6.  | Identificar las Medidas Apropriadas Para Ahorro de Energía . . . . .                        | 62        |
| 3.6.7.  | Evaluación Económica de las Propuestas de Eficiencia Energética . .                         | 63        |
| 3.6.8.  | Fase Informativa . . . . .  | 63        |
| <b>CAPÍTULO IV. DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> |   | <b>65</b> |
| 4.1.  | Diagnóstico de la Situación Actual . . . . .  | 65        |
| 4.1.1.  | Identificación de las Fuentes de Energía . . . . .  | 66        |
| 4.1.2.  | Historial del Suministrador de Energía . . . . .  | 67        |
| 4.1.3.  | Identificación del Proceso Productivo . . . . .   | 70        |
| 4.1.4.  | Identificación de los Consumidores de Energía . . . . .                                     | 71        |
| 4.1.5.  | Capacidad Instalada de los Consumidores de Energía . . . . .                                | 81        |
| 4.2.  | Elaboración de los Balances de Energía . . . . .  | 82        |
| 4.2.1.  | Incidencia de los Consumidores de Energía . . . . .   | 84        |
| 4.3.  | Determinación del Consumo de Energía de Cada Equipo o Grupo de Equipos                      | 95        |
| 4.4.  | Determinación de los Indicadores de Consumo de Energía . . . . .                            | 97        |
| 4.4.1.  | Diagrama de Control . . . . .   | 97        |
| 4.4.2.  | Comportamiento entre Producción y Consumo de Energía . . . . .                              | 99        |
| 4.4.3.  | Diagrama Energía Vs. Producción . . . . .   | 106       |
| 4.5.  | Evaluación Técnica y Operativa de la Eficiencia Energética . . . . .                        | 113       |
| 4.5.1.  | Evaluación del Sistema de Iluminación . . . . .   | 113       |
| 4.5.2.  | Evaluación del Sistema de Climatización . . . . .   | 114       |
| 4.5.3.  | Evaluación para los Motores . . . . .   | 117       |
| 4.5.4.  | Evaluación de los Equipos de Misceláneos . . . . .  | 122       |
| 4.5.5.  | Evaluación de los Equipos de Refrigeración . . . . .  | 123       |
| 4.6.  | Identificación de las Medidas Apropriadas para Ahorro de Energía . . . . .                  | 124       |
| 4.6.1.  | Sistema de Iluminación . . . . .  | 125       |
| 4.6.2.  | Sistema de Climatización . . . . .  | 126       |
| 4.6.3.  | Motores . . . . .   | 127       |
| 4.6.4.  | Sistema de Aire Comprimido . . . . .  | 128       |
| 4.6.5.  | Equipos Oficinas . . . . .  | 129       |
| 4.6.6.  | Evaluación del Consumo Eléctrico en Iluminación para las Alternativas de Ahorro . . . . .   | 130       |
| 4.6.7.  | Evaluación del Consumo Eléctrico en Climatización para las Alternativas de Ahorro . . . . . | 136       |
| 4.6.8.  | Evaluación del Consumo Eléctrico en Motores para las Alternativas de Ahorro . . . . .       | 139       |

---



---

|  |            |
|--|------------|
| 4.6.9. Evaluación del Consumo Eléctrico en Misceláneos para las Alternativas de Ahorro . . . . .                   | 146        |
| 4.7. Evaluación Económica de las Propuestas de Eficiencia Energética . . . . .                                     | 147        |
| 4.7.1. Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Iluminación .   | 148        |
| 4.7.2. Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Climatización   | 152        |
| 4.7.3. Evaluación Económica de las Propuestas de los Equipos Misceláneos .   | 153        |
| 4.7.4. Evaluación Económica de las Propuestas en Motores para las Alternativas de Ahorro . . . . .                 | 154        |
| <b>CAPÍTULO V. RESUMEN PARA ALTERNATIVAS EVALUADAS</b>   | <b>159</b> |
| <b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>   | <b>161</b> |
| 6.1. Conclusiones . . . . .  | 161        |
| 6.2. Recomendaciones . . . . .   | 163        |
| <b>APÉNDICE A. DIAGRAMAS UNIFILARES</b>  | <b>165</b> |
| <b>APÉNDICE B. PLANO FÍSICO DE LA EMPRESA</b>  | <b>183</b> |
| <b>APÉNDICE C. HERRAMIENTAS EMPLEADAS</b>  | <b>187</b> |
| C.1. Herramientas de Recolección de Datos . . . . .  | 187        |
| C.1.1. Formulario para determinar los energéticos utilizados en Chrysler de Venezuela LLC . . . . .                | 187        |
| C.1.2. Gestión energética en Chrysler de Venezuela LLC . . . . .   | 188        |
| C.1.3. Formulario para determinar el consumo de electricidad de los motores en Chrysler de Venezuela LLC . . . . . | 188        |
| C.1.4. Auditorías de planes energético en Chrysler de Venezuela LLC . . . . .                                      | 189        |
| <b>APÉNDICE D. SOFTWARE UTILIZADOS</b>   | <b>191</b> |
| D.1. Latex . . . . .   | 191        |
| D.2. Gnuplot . . . . .   | 191        |
| D.3. MotorMater+ . . . . .   | 192        |
| D.3.1. Software de Eficiencia Energética en Motores Eléctricos . . . . .   | 192        |
| <b>APÉNDICE E. CALIFICACIÓN DE LA ENERGY STAR</b>  | <b>193</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>   | <b>195</b> |

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| 2.1. Triángulo de Potencia . . . . .  | 15  |
| 2.2. Curvas Típica de Carga Diaria . . . . .  | 17  |
| 2.3. Curva de Duración de Carga Diaria . . . . .  | 18  |
| 2.4. Curvas de Carga Anual . . . . .  | 19  |
| 2.5. Diagrama de Perdidas Motor . . . . .   | 35  |
| 2.6. Gráfico de Distribución Normal . . . . .   | 51  |
| 3.1. Diagrama de Desarrollo de la Investigación . . . . .   | 60  |
| 4.1. Historial de Consumo Mensual . . . . .   | 69  |
| 4.2. Diagrama del proceso productivo en Chrysler de Venezuela LLC. . . . .  | 70  |
| 4.3. Curvas Diarias del Consumo de Energía . . . . .  | 82  |
| 4.4. Diagrama de Pareto para el consumo de energía en las diferentes áreas de Chrysler de Venezuela LLC . . . . .                               | 84  |
| 4.5. Pareto de la demanda de energía para el área de Biw, las pistolas de electropunto son las que mayor inciden en esta área. . . . .          | 92  |
| 4.6. Pareto de la demanda de energía para el área de Pintura, los motores son los de mayor inciden en esta área. . . . .                        | 92  |
| 4.7. Pareto de la demanda de energía para el área de TCF, la iluminación es la de mayor inciden en esta área. . . . .                           | 93  |
| 4.8. Pareto de la demanda de energía para las Oficinas, el sistema de climatización es el de mayor inciden en esta área. . . . .                | 93  |
| 4.9. Pareto de Total de la demanda de energía en Chrysler de Venezuela . . . . .  | 94  |
| 4.10. Pareto del consumo de energía en toda la planta Chrysler de Venezuela LLC, La Iluminación es la principal consumidora de energía. . . . . | 96  |
| 4.11. Gráfico de Control para el consumo de energía mensual. . . . .  | 98  |
| 4.12. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para Chrysler de Venezuela LLC . . . . .  | 99  |
| 4.13. Índice de Energía-Producción . . . . .  | 101 |
| 4.14. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía BIW . . . . .   | 102 |
| 4.15. Intensidad de Energía Física BIW . . . . .  | 103 |
| 4.16. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para Pintura . . . . .  | 104 |
| 4.17. Intensidad de Energía Física Pintura . . . . .  | 105 |
| 4.18. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para TCF . . . . .  | 106 |
| 4.19. Intensidad de Energía Física TCF . . . . .  | 107 |



---

|   |     |
|---|-----|
| 4.20. Gráfico de Regresión Lineal E vs P para la empresa Chrysler de Venezuela LLC, obtenido mediante el algoritmo Marquardt-Levenberg de mínimos cuadrados no lineales . . . . . | 108 |
| 4.21. Curva de Regresión Lineal BIW . . . . .   | 109 |
| 4.22. Curva de Regresión Lineal Pintura . . . . .   | 110 |
| 4.23. Curva de Regresión Lineal TCF . . . . .   | 111 |
| 4.24. Pareto de Potencia para los motores existentes en Chrysler de Venezuela. . .  | 117 |
| 4.25. Evaluación de los diferentes motores según su tipo y potencia nominal, comparados con la eficiencia nominal de la especificación internacional NEMA Premium . . . . .       | 120 |
|   |     |
| A.1. Diagrama Unifilar Simplificado de Chrysler de Venezuela LLC . . . . .  | 165 |
| A.2. Diagrama Unifilar de Chrysler de Venezuela . . . . .   | 166 |
| A.3. Diagrama Unifilar Subestación de E-COAT Transformador T01 . . . . .  | 167 |
| A.4. Diagrama Unifilar Subestación de E-COAT Transformador T02 . . . . .  | 168 |
| A.5. Diagrama Unifilar Subestación de Electropunto Transformador T14 . . . . .  | 169 |
| A.6. Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T03 . . . . .   | 170 |
| A.7. Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T04 . . . . .   | 171 |
| A.8. Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T05 . . . . .   | 172 |
| A.9. Diagrama Unifilar Subestación de Pintura Transformador T06 . . . . .   | 173 |
| A.10. Diagrama Unifilar Subestación de Pintura Transformador T07 . . . . .  | 174 |
| A.11. Diagrama Unifilar Subestación de Reparación Pesada Transformador T08 . .  | 175 |
| A.12. Diagrama Unifilar Subestación de Reparación Pesada Transformador T09 . .  | 176 |
| A.13. Diagrama Unifilar Subestación de TCF Transformador T10 . . . . .  | 177 |
| A.14. Diagrama Unifilar Subestación de TCF Transformador T11 . . . . .  | 178 |
| A.15. Diagrama Unifilar Subestación de Finanzas Transformador T12 . . . . .   | 179 |
| A.16. Diagrama Unifilar Subestación de Finanzas Transformador T13 . . . . .   | 180 |
|   |     |
| B.1. Diagrama Físico de Planta Chrysler de Venezuela . . . . .  | 184 |

---

## RESUMEN

El cambio climático ocasionado por la emisión de gases de efectos invernaderos y la problemática existente en el sistema eléctrico venezolano, han originado que el sector automotriz se encuentren en la búsqueda de alternativas que garanticen la seguridad de abastecimiento energético y la optimización de la eficiencia energética. En este sentido, la presente investigación se realizó con el objetivo de estudiar la eficiencia energética en la empresa ensambladora de vehículos Chrysler de Venezuela LLC. El diseño del presente trabajo esta enmarcado bajo la modalidad de investigación de campo tipo descriptiva. Los datos se recogen de manera directa de la realidad en su ambiente natural con la aplicación de instrumentos de recolección de información. La población estuvo constituida por las áreas de producción (Electropunto, Pintura, Tapicería-Chasis-Línea Final) y las oficinas de administrativas. La muestra estuvo conformada por los sistemas de iluminación, sistemas de climatización, motores, equipos misceláneos, sistemas de aire comprimido, sistemas de refrigeración. El estudio se realizó en 8 fases, los análisis dieron como resultado al área de Pintura como la mayor consumidora de energía en la empresa, además se pudo constatar que las pistolas de electropunto generan la mayor demanda entre todos los sistemas, pero que sin embargo el 23 % del consumo de energía anual se debe a los sistemas de iluminación. Finalmente, se propusieron y evaluaron económicamente alternativas que ayudan a disminuir el consumo de energía y las emisiones de  $CO_2$  en más de un 20 % respecto al consumo actual.



---

## INTRODUCCIÓN

Como resultado de los cambios en el mercado de la energía, el papel de los estudios de eficiencia energética se ha ampliado en gran medida. Hay una necesidad cada vez mayor en los negocios y la industria para gestionar eficazmente el uso de energía. La reducción de costos de servicios públicos sigue siendo una de las estrategias más eficaces y viables para reducir los gastos de funcionamiento.

Hoy en día, muchos grandes consumidores de energía están contratando a proveedores de servicios en energías, para implementar proyectos que apunten al ahorro y uso eficiente de la energía. Estos contratos requieren el establecimiento de los fundamentos en el uso de la energía, así como la cuantificación de los ahorros resultantes una vez ejecutado el proyecto. Lo preciso y completo que resultan las auditorías energéticas, las hace esencial como medio para evaluar y verificar el éxito de un proyecto en el cumplimiento de los objetivos contratados. Este trabajo fue realizado para proporcionar los conocimientos fundamentales que necesita la empresa ensambladora de vehículos Chrysler de Venezuela LLC, para evaluar, cómo la energía se utiliza en sus instalaciones, establecer información de referencia exacta, e identificar donde el consumo de energía puede ser reducido.

El trabajo se estructura como sigue: en el primer Capítulo “El Problema” se plantea la hipótesis, los objetivos y alcances de la investigación. En el Capítulo 2 “Marco Teórico” se desarrollan conceptos de interés para el trabajo. El Capítulo 3 “Marco Metodológico” describe de forma general los procedimientos empleados en los siguientes capítulos.



---

Luego, sigue el Capítulo 4, en el cual se plasman los resultados de aplicar los pasos para la realización de una auditoria energética. Posteriormente en el Capítulo 5, se presenta un resumen de las alternativas planteadas para aumentar la eficiencia energética y los ahorros que se obtienen por su implementación.

Por último, en el Capítulo 6 “Conclusiones y Recomendaciones” se incluyen las conclusiones generales a los resultados obtenidos del Capítulo 4 y 5. Para luego proponer una serie de trabajos futuros o recomendaciones para la empresa.



---

## CAPÍTULO VI

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

En este trabajo se realizó un estudio de eficiencia energética en la planta ensambladora de vehículos Chrysler de Venezuela LLC, la metodología que se utilizó fue la de una auditoría energética, se logró realizar un diagnóstico de la situación actual de la planta, donde se establecieron los principales equipos consumidores de energía, además se determinó la estructura de la empresa a través de las áreas que la conforman y con la ayuda de los historiales de consumo de energía de cada área, se identificó al área de Pintura como principal consumidora de energía en el conjunto, con un 45 % del consumo total de la planta. Así mismo, para cada una de las áreas se determinó la incidencia de cada grupo de equipos, lo que arrojó como resultado a las pistolas de Electropunto con la mayor demanda del sistema; pero como se demostró más adelante, el consumo de energía estuvo encabezado por el sistema de Iluminación con un 23 % de incidencia en el consumo total.

Otros de los aspectos importantes que se desarrollaron en esta investigación fue la utilización de métodos y análisis estadísticos para determinar el comportamiento del consumo de energía en cada una de las áreas, permitiendo el establecimiento de los valores analíticos del consumo de energía linealizando sus parámetros a través del algoritmo Marquardt-Levenberg de mínimos cuadrados no lineales implementado con el software interactivo GnuPlot. Esto sirvió para validar el estudio teórico con los consumos reales obtenidos mediante las mediciones realizadas en la empresa.

Las evaluaciones técnicas y operativas de cada uno de los grupos de equipos permitieron cuantificar los valores de eficiencia y al compararlos con las diferentes normas y especi-

---



caciones internacionales. Se pudo constatar el incumplimiento de esos requerimiento en la mayoría de los equipos existentes en planta. Como consecuencia de la evaluación se elaboraron de propuestas que apuntan a mejorar los sistemas evaluados, y por ende, lograr que sean eficientes.

Luego de haber establecido las propuestas de ahorro, se analizaron y se agruparon en: alternativas que no requieren inversión y alternativas que requieren inversión, a estas últimas se les realizó un estudio de viabilidad económica y para cada sistema se llegó a los siguientes resultados:

- ⚡ En los sistemas de Iluminación, la alternativa A.10SI, disminuye las emisiones de  $CO_2$  en un 56,00 %, lo que hace que esta propuesta sea la de mayor viabilidad económica del conjunto, ya que se estima un retorno de la inversión en aproximadamente 4 años.
- ⚡ Para el Sistema de Climatización, se comprobó que la alternativa sin inversión A.3SC3. Resulta ser la más atractiva del conjunto logrando un ahorro de 22,9 % en el consumo energético.
- ⚡ Con los Motores, se verificó que la mejor propuesta para disminuir el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética es la alternativa A.4M, la cual trae grandes porcentajes de ahorro y tiempos de recuperación de la inversión relativamente cortos en comparación con la alternativa A.3M.
- ⚡ Por último se tiene para los equipos misceláneos, la alternativa A.5EO es la más viable, ya que, se logra obtener una disminución de 37,27 % en el consumo de energía.

Para finalizar se evaluaron todas las alternativas rentables y se determinó que de lograr implementarse, se reduce el consumo de energía en más de un 20 % al año y la inversión se recupera en un período menor a 2 años.

---



## 6.2. Recomendaciones

Se recomienda a la Empresa:

- ⚡ Realizar campañas periódicamente que apunten a usar eficientemente todos los equipos y sistemas que los empleados utilizan en sus labores diarias.
  - ⚡ Hacer reuniones periódicas con el Comité de Ahorro y Uso Eficiente de la Energía a fin de gestionar y verificar el estatus de las propuestas de eficiencia energética.
  - ⚡ Analizar las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos de nueva adquisición a fin de regular el cumplimiento de las diferentes normas y especificaciones de eficiencia energética existentes.
  - ⚡ Evaluar periódicamente el cumplimiento de los planes de ahorro y uso eficiente de energía en cada una de las áreas.
  - ⚡ Limpiar periódicamente las luminarias, porque la suciedad disminuye el nivel de iluminación de una lámpara hasta en un 20 %.
  - ⚡ Independizar y sectorizar los circuitos de iluminación, esto ayudará a iluminar sólo los lugares necesarios.
  - ⚡ Seleccionar las lámparas que suministren los niveles de iluminación requeridos en las normas de acuerdo al tipo de actividad que desarrollen.
  - ⚡ Hacer un estudio de los niveles de iluminación requeridos por área en la empresa.
  - ⚡ Limpie y revise periódicamente su sistema de aire acondicionado (cada 2 ó 3 meses) podría suponer un ahorro de entre un 3 % y un 10 % del consumo de energía utilizado para la climatización.
  - ⚡ Asegurar el control de la temperatura, regulando el termostato conveniente en las oficinas y lugares donde exista los aires acondicionados.
-



- ⚡ Realizar un estudio de carga a todos los motores evaluados en esta investigación con un analizador de redes que permita almacenar los parámetros eléctricos y elaborar un perfil de trabajo a fin de dimensionar adecuadamente el motor.
  - ⚡ Adquirir equipos para diagnóstico de las condiciones operativas de los motores con la finalidad de realizar análisis predictivos.
  - ⚡ Efectuar rutinariamente la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños, que impidan su óptimo funcionamiento. La regularidad con que ésta se realice dependerá de las condiciones en las que el motor este trabajando, pero es recomendable desmontarlo al menos una vez al año para realizar la limpieza completa de todos sus componentes.
  - ⚡ Realizar la inspección periódica del motor, incluyendo lecturas de corriente, potencia (kW), velocidad (Rpm), resistencia de aislamiento, etc., con objeto de verificar si se mantienen en condiciones apropiadas de funcionamiento y eficiencia, y poder tomar acciones correctivas, cuando se requieran.
  - ⚡ No se recomienda rebobinar los motores más de 2 veces, porque puede variar las características de diseño del motor, lo cual incrementaría las pérdidas de energía.
  - ⚡ Evaluar la colocación de variadores de velocidad en los motores de alto consumo de energía. A fin de ajustar el consumo eléctrico a los estados de cargas presentes en dichos motores.
  - ⚡ Apagar el computador y la pantalla cuando no se estén utilizando.
-



---

## REFERENCIAS

- [1] I. E. Agency, *Energy Efficiency Initiative – Volume 1: Energy Policy Analysis*. International Energy Agency, 1998.
  - [2] U. E. I. Administration, “International energy statistics.” Sitio Web, Citado en Abril de 2010. <http://www.eia.doe.gov/>.
  - [3] W. E. Council, *Eficiencia Energética: Estudio Mundial Indicadores, Políticas, Evaluación*. World Energy Council, 2004.
  - [4] C. E. para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Base de datos y publicaciones estadísticas.” Sitio Web, Citado Abril de 2010. <http://www.eclac.org/estadisticas/>.
  - [5] S. de Miera G, “La eficiencia energética: análisis empírico y regulatorio (dt),” tech. rep., Real Instituto Elcano, 2009.
  - [6] C. Galitsky and E. Worrell, “Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the vehicle assembly industry,” tech. rep., ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, 2008.
  - [7] L. G. G. A, “Estudio sobre auditoría técnica integral del sistema eléctrico del servicio de diagnóstico por imagen en una institución hospitalaria, realizado en el hospital clínica caracas, san bernardino - caracas,” 2006.
  - [8] J. Martínez and G. J., “Estudio de la eficiencia energética en la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad de carabobo,” 2002.
-



- 
- [9] V. J. Michael, “Auditoría de campo del sistema eléctrico de la compañía venezolana empacadora c.a,” 1996.
- [10] R. Fowler, *Electricidad principios y aplicaciones*. Barcelona Illustrated, 1994.
- [11] E. Harper, *Instalaciones eléctricas residenciales e industriales*. SADF Limusa, 1996.
- [12] S. Ramirez, *Redes de distribución de energía*. Manizales, 2004.
- [13] Corpoelec, “Tarifas y servicios.” Sitio Web, Citado en Abril de 2010. [http://www.cadafe.com.ve/tarifas\\_servicios.php](http://www.cadafe.com.ve/tarifas_servicios.php).
- [14] G. A. Fulton and D. R. Schmidt, *Contribution of the Automotive Industry to the US Economy*. University of Michigan, 2001.
- [15] C. H. Fine, *Meeting the Challenge: U.S. faces the 21st Century*. Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [16] O. correspondents survey, *WORLD MOTOR VEHICLE PRODUCTION BY COUNTRY AND TYPE 2008–2009*. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, 2010.
- [17] B. Leven and C. Weber, *Energy Efficiency in Innovative Industries*. Council for an Energy..Efficient Economy, 2001.
- [18] F. Sencamer, “Iluminancias en tareas y áreas de trabajo.” Sitio Web, Citado Julio de 2010. <http://www.sencamer.gob.ve>.
- [19] Philip, “Guía de aplicaciones n° 3 de alumbrado: Alumbrado para oficinas,” tech. rep., Philip, 1992.
-



- 
- [20] M. Luís, *Nueva enciclopedia de la climatización, Aire acondicionado*. Ediciones CEAC, 2000.
- [21] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press Inc. NewYork, 2001.
- [22] Fondonorma, *COVENIN 3049-93: Gestión del Mantenimiento*. Fondonorma, 2001.
- [23] O. de Operación de Sistemas Interconectados (OP SIS), “Boletines e informes estadísticos del sistema eléctrico nacional.” Sitio Web, Citado 22 Mayo de 2010. <http://opsis.org.ve>.
- [24] S. Nassir and S. Reinaldo, *Fundamentos de preparación y evaluación de proyectos*. Ed. McGraw Hill.México, 2003.
- [25] L. R, *Manual para determinar la factibilidad económica de proyectos*. Proarca, 1999.
- [26] B. U. G, *Evaluación de Proyectos 4ta Edición*. Mc Graw Hill. México, 2001.
- [27] B. Zvi and M. Robert, *Finanzas*. Prentice Hall-Earson Education. USA, 2003.
- [28] I. C. Rovira, “Diagrama de pareto. herramienta básica para la mejora de la calidad.” Sitio Web, Citado Junio de 2010. [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/diagramadepareto/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/diagramadepareto/).
- [29] F. Martínez and E. Gómez., *Metodología De Auditorías Energéticas*. Ediciones Paraninfo, SA, Madrid 2006.
- [30] I. E. Agency, “International co2 emission factor.” Sitio Web, Citado Octubre de 2010. <http://iea.org/index.asp>.
- [31] H. Jacqueline, *Metodología de la Investigación Holística*. Fundación CYPAL, 2000.
-



- 
- [32] S. Carlos, *Como hacer una tesis*. Editorial Panapo de Venezuela, tercera edición ed., 1992.
- [33] Upel, “Manual de trabajo de grado de especialización, maestría y tesis doctorales,” tech. rep., Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 1998.
- [34] T. y Tamayo Mario, *El proceso de la investigación científica: Fundamentos de investigación*. Limusa, primera edición ed., 1985.
- [35] T. y Tamayo Mario, *El proceso de la investigación científica*. Limusa, tercera edición ed., 1997.
- [36] F. G. Arias, *Introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme, primera edición ed., 2006.
- [37] C. B. Hernández S, Roberto Fernández, *Metodología de la investigación*. MacGraw-Hill, segunda edición ed., 1998.
- [38] F. G. Arias, *El proyecto de Investigación*. Editorial Episteme, tercera edición ed., 1999.
- [39] C. Amado and P. Alcino, *Metodología Científica*. MacGraw-Hill, 1980.
- [40] S. Taylor and R. Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós, 1986.
- [41] U. del Atlántico, *Guía para la implementación de Sistemas de Gestión Integral de la Energía*. Colciencias. Colombia, Noviembre de 2008.
- [42] R. Castillo, “Evaluación técnica económica de la eficiencia energética de los sistemas de iluminación y climatización en el complejo petroquímico morón,” 2010.
- [43] J. y. o. Selltiz, *Propósito del análisis*. Editorial Limusa. México, 1996.
-



- 
- [44] T. Williams and C. Kelley, *An Interactive Plotting Program*. Thomas Williams Colin Kelley, 05 Mar 2010.
- [45] M. I. A. Lourakis, “A brief description of the levenberg-marquardt algorithm implemented,” tech. rep., Institute of Computer Science Foundation for Research and Technology–Hellas, Febrero 2005.
- [46] M. B. S, “Uso del programa gnuplot en el laboratorio de física,” tech. rep., Universidad de Las Américas, 23 Jan 2007.
- [47] J. Palou and A. S. Salvá, “Experimentación en química física,” tech. rep., Universitat Illes Balears Departament de Química, May 2005.
- [48] M. de Minas y Energía, “Ntc 4366 ntc 4295 ntc 5104 ntc 5115: Normas de eficiencia energética y ensayo de equipos,” 2004.
- [49] U. de Planeación Minero Energético, “Gestión integral de la energía: Herramientas virtuales.” Sitio Web, Citado Octubre de 2010. <http://www.si3ea.gov.co/>.
- [50] N. E. M. Association, “Nema premium.” Sitio Web, Citado Octubre de 2010. <http://www.nema.org/gov/energy/efficiency/premium/>.
- [51] E. Star, “Look for energy star to identify the most energy-efficient products,” tech. rep., Natural Resources Canada Office of Energy Efficiency, May 2008.
- [52] U. S. A. D. of Energy, “Resources: Software tools.” Sitio Web, Citado Septiembre de 2010. <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>.
-



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA  
ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS CHRYSLER DE VENEZUELA LLC.

JOHAN MONTESINOS  
RONY MARIANO

BARBULA, DICIEMBRE 2010



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA  
ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS CHRYSLER DE VENEZUELA LLC.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**JOHAN MONTESINOS  
RONY MARIANO**

**BARBULA, DICIEMBRE 2010**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado “ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS CHRYSLER DE VENEZUELA LLC.”, realizado por los bachilleres: JOHAN MONTESINOS y RONY MARIANO, cédulas de identidad: **18.179.030** y **17.800.584** respectivamente, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

**Firma**

MILAGROS PEÑA

Tutor

**Firma**

EVA MONAGAS

Jurado

**Firma**

VERNER HORNEBO

Jurado

**BARBULA, DICIEMBRE 2010**



*A nuestras familias y amigos...*



---

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios primero que nada por ser nuestro Guía, agradecemos a nuestra tutora la Profesora Milagros Peña por su paciencia y dedicación durante todo este tiempo, además de su dirección y apoyo para la culminación de este Trabajo de Grado.

También quisiéramos hacer evidente nuestro agradecimiento a la empresa Chrysler de Venezuela LLC y a sus empleados, quienes nos abrieron las puertas con humildad y nos permitieron realizar allí los estudios necesarios para el desarrollo de esta investigación.

A el Ing. Hugo Mora, Ing. Miguel Sánchez, Sr Wilfredo Leal y al Sr. José Escobar, quienes nos proporcionaron todas las facilidades necesarias para realizar este Proyecto.

Además agradecemos a todos nuestros amigos y compañeros de clase de la Ilustre Universidad de Carabobo con quienes compartimos y aprendimos tantas cosas juntos.

Finalmente queremos agradecer el gran apoyo que nos brindaron y otorgaron nuestros familiares, nuestras madres y hermanas que siempre estuvieron ahí para inspirarnos.

A todos nuestro mayor reconocimiento y gratitud.

*Johan Montesinos y Rony Mariano*



---

# ÍNDICE GENERAL

|   | pág      |
|---|----------|
| ÍNDICE DE FIGURAS                                       | XVII     |
| RESUMEN   | XIX      |
| INTRODUCCIÓN  | XXI      |
| <b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA</b>                          | <b>1</b> |
| 1.1. Planteamiento del Problema . . . . .               | 1        |
| 1.2. Formulación del Problema . . . . .                 | 3        |
| 1.3. Objetivos de la Investigación . . . . .            | 3        |
| 1.3.1. Objetivo General . . . . .                       | 3        |
| 1.3.2. Objetivos Específicos . . . . .                  | 3        |
| 1.4. Justificación . . . . .                            | 4        |
| 1.5. Alcances y Limitaciones . . . . .                  | 6        |
| 1.6. Recursos . . . . .                                 | 7        |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>                       | <b>9</b> |
| 2.1. Antecedentes . . . . .                             | 9        |
| 2.2. Conceptos Básicos . . . . .                        | 11       |
| 2.2.1. Potencia Eléctrica . . . . .                     | 12       |
| 2.2.2. Potencia Activa . . . . .                        | 12       |
| 2.2.3. Potencia Reactiva . . . . .                      | 13       |
| 2.2.4. Potencia Aparente . . . . .                      | 14       |
| 2.2.5. Factor de Potencia . . . . .                     | 14       |
| 2.3. Análisis de Carga y Demanda . . . . .              | 15       |
| 2.3.1. Demanda . . . . .                                | 15       |
| 2.3.2. Carga Instalada . . . . .                        | 15       |
| 2.3.3. Capacidad Instalada . . . . .                    | 16       |
| 2.3.4. Demanda Máxima . . . . .                         | 16       |
| 2.3.5. Número de Horas de Cargas Equivalentes . . . . . | 16       |
| 2.3.6. Balances de Energía . . . . .                    | 18       |
| 2.3.7. Tarifa de Electricidad . . . . .                 | 19       |
| 2.4. Variables de Medición. . . . .                     | 20       |
| 2.4.1. Voltaje de Línea. . . . .                        | 21       |



---

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.2. Corriente. . . . .   | 21        |
| 2.4.3. Potencia Aparente. . . . .   | 21        |
| 2.5. La Industria Automotriz . . . . .  | 21        |
| 2.5.1. Procesos para la Fabricación de Vehículos . . . . .                              | 22        |
| 2.6. Tipos de Cargas en la Industria Automotriz . . . . .                               | 24        |
| 2.6.1. Sistemas de Iluminación . . . . .  | 24        |
| 2.6.2. Sistemas de Climatización . . . . .  | 31        |
| 2.6.3. Motores . . . . .  | 33        |
| 2.7. Mantenimiento . . . . .  | 36        |
| 2.7.1. Gestión de Mantenimiento . . . . .   | 36        |
| 2.8. Eficiencia Energética . . . . .  | 37        |
| 2.9. Evaluación Técnica Económica . . . . .   | 39        |
| 2.9.1. Factibilidad Técnica . . . . .   | 39        |
| 2.9.2. Factibilidad Económica . . . . .   | 40        |
| 2.10. Diagramas de Pareto . . . . .   | 43        |
| 2.11. Metodología De Auditorías Energéticas . . . . .                                   | 44        |
| 2.11.1. Etapas de una Auditoría Energética . . . . .                                    | 44        |
| 2.11.2. Primera Etapa: Recogida de Datos y Planificación de la Auditoría . . . . .      | 45        |
| 2.11.3. Segunda Etapa: Medidas Experimentales . . . . .                                 | 47        |
| 2.11.4. Tercera Etapa: Diagnóstico de la Situación del Edificio . . . . .               | 47        |
| 2.11.5. Cuarta Etapa: Análisis para la Mejora del Comportamiento del Edificio . . . . . | 48        |
| 2.11.6. Quinta etapa: resultados finales . . . . .                                      | 48        |
| 2.12. Herramientas para análisis de Eficiencia Energética . . . . .                     | 49        |
| 2.12.1. Diagrama de Dispersión y Correlación . . . . .                                  | 49        |
| 2.12.2. Gráficos de Control . . . . .   | 50        |
| 2.12.3. Gráfico de Consumo - Producción (E Vs. P) . . . . .                             | 51        |
| 2.13. Criterio para el Análisis . . . . .   | 52        |
| 2.13.1. Tipos de Cálculos . . . . .   | 53        |
| <b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO</b>   | <b>55</b> |
| 3.1. Tipo de Investigación . . . . .  | 55        |
| 3.2. Diseño de la Investigación . . . . .   | 56        |
| 3.3. Población . . . . .  | 56        |
| 3.4. Muestra . . . . .  | 57        |
| 3.5. Técnicas de Recolección de Datos . . . . .   | 57        |
| 3.5.1. Observación Directa . . . . .  | 58        |
| 3.5.2. Entrevistas Informales no Estructuradas . . . . .                                | 58        |
| 3.5.3. Análisis Documental y de Contenido . . . . .                                     | 58        |
| 3.6. Desarrollo de la Investigación . . . . .   | 59        |
| 3.6.1. Diagnóstico de la Situación Actual . . . . .                                     | 61        |
| 3.6.2. Elaboración de Balances de Energía . . . . .                                     | 61        |

---



---

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 3.6.3.  | Determinación del Consumo de Energía de Cada Equipo o Grupo de Artículos . . . . .          | 61        |
| 3.6.4.  | Determinación de los Indicadores del Consumo de Energía . . . . .                           | 62        |
| 3.6.5.  | Evaluación Técnica y Operativa de la Eficiencia Energética . . . . .                        | 62        |
| 3.6.6.  | Identificar las Medidas Apropriadas Para Ahorro de Energía . . . . .                        | 62        |
| 3.6.7.  | Evaluación Económica de las Propuestas de Eficiencia Energética . .                         | 63        |
| 3.6.8.  | Fase Informativa . . . . .  | 63        |
| <br><b>CAPÍTULO IV. DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> |   | <b>65</b> |
| 4.1.  | Diagnóstico de la Situación Actual . . . . .  | 65        |
| 4.1.1.  | Identificación de las Fuentes de Energía . . . . .  | 66        |
| 4.1.2.  | Historial del Suministrador de Energía . . . . .  | 67        |
| 4.1.3.  | Identificación del Proceso Productivo . . . . .   | 70        |
| 4.1.4.  | Identificación de los Consumidores de Energía . . . . .                                     | 71        |
| 4.1.5.  | Capacidad Instalada de los Consumidores de Energía . . . . .                                | 81        |
| 4.2.  | Elaboración de los Balances de Energía . . . . .  | 82        |
| 4.2.1.  | Incidencia de los Consumidores de Energía . . . . .   | 84        |
| 4.3.  | Determinación del Consumo de Energía de Cada Equipo o Grupo de Equipos                      | 95        |
| 4.4.  | Determinación de los Indicadores de Consumo de Energía . . . . .                            | 97        |
| 4.4.1.  | Diagrama de Control . . . . .   | 97        |
| 4.4.2.  | Comportamiento entre Producción y Consumo de Energía . . . . .                              | 99        |
| 4.4.3.  | Diagrama Energía Vs. Producción . . . . .   | 106       |
| 4.5.  | Evaluación Técnica y Operativa de la Eficiencia Energética . . . . .                        | 113       |
| 4.5.1.  | Evaluación del Sistema de Iluminación . . . . .   | 113       |
| 4.5.2.  | Evaluación del Sistema de Climatización . . . . .   | 114       |
| 4.5.3.  | Evaluación para los Motores . . . . .   | 117       |
| 4.5.4.  | Evaluación de los Equipos de Misceláneos . . . . .  | 122       |
| 4.5.5.  | Evaluación de los Equipos de Refrigeración . . . . .  | 123       |
| 4.6.  | Identificación de las Medidas Apropriadas para Ahorro de Energía . . . . .                  | 124       |
| 4.6.1.  | Sistema de Iluminación . . . . .  | 125       |
| 4.6.2.  | Sistema de Climatización . . . . .  | 126       |
| 4.6.3.  | Motores . . . . .   | 127       |
| 4.6.4.  | Sistema de Aire Comprimido . . . . .  | 128       |
| 4.6.5.  | Equipos Oficinas . . . . .  | 129       |
| 4.6.6.  | Evaluación del Consumo Eléctrico en Iluminación para las Alternativas de Ahorro . . . . .   | 130       |
| 4.6.7.  | Evaluación del Consumo Eléctrico en Climatización para las Alternativas de Ahorro . . . . . | 136       |
| 4.6.8.  | Evaluación del Consumo Eléctrico en Motores para las Alternativas de Ahorro . . . . .       | 139       |

---



---

|  |            |
|--|------------|
| 4.6.9. Evaluación del Consumo Eléctrico en Misceláneos para las Alternativas de Ahorro . . . . .                   | 146        |
| 4.7. Evaluación Económica de las Propuestas de Eficiencia Energética . . . . .                                     | 147        |
| 4.7.1. Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Iluminación .   | 148        |
| 4.7.2. Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Climatización   | 152        |
| 4.7.3. Evaluación Económica de las Propuestas de los Equipos Misceláneos .   | 153        |
| 4.7.4. Evaluación Económica de las Propuestas en Motores para las Alternativas de Ahorro . . . . .                 | 154        |
| <b>CAPÍTULO V. RESUMEN PARA ALTERNATIVAS EVALUADAS</b>   | <b>159</b> |
| <b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>   | <b>161</b> |
| 6.1. Conclusiones . . . . .  | 161        |
| 6.2. Recomendaciones . . . . .   | 163        |
| <b>APÉNDICE A. DIAGRAMAS UNIFILARES</b>  | <b>165</b> |
| <b>APÉNDICE B. PLANO FÍSICO DE LA EMPRESA</b>  | <b>183</b> |
| <b>APÉNDICE C. HERRAMIENTAS EMPLEADAS</b>  | <b>187</b> |
| C.1. Herramientas de Recolección de Datos . . . . .  | 187        |
| C.1.1. Formulario para determinar los energéticos utilizados en Chrysler de Venezuela LLC . . . . .                | 187        |
| C.1.2. Gestión energética en Chrysler de Venezuela LLC . . . . .   | 188        |
| C.1.3. Formulario para determinar el consumo de electricidad de los motores en Chrysler de Venezuela LLC . . . . . | 188        |
| C.1.4. Auditorías de planes energético en Chrysler de Venezuela LLC . . . . .                                      | 189        |
| <b>APÉNDICE D. SOFTWARE UTILIZADOS</b>   | <b>191</b> |
| D.1. Latex . . . . .   | 191        |
| D.2. Gnuplot . . . . .   | 191        |
| D.3. MotorMater+ . . . . .   | 192        |
| D.3.1. Software de Eficiencia Energética en Motores Eléctricos . . . . .   | 192        |
| <b>APÉNDICE E. CALIFICACIÓN DE LA ENERGY STAR</b>  | <b>193</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>   | <b>195</b> |

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| 2.1. Triángulo de Potencia . . . . .  | 15  |
| 2.2. Curvas Típica de Carga Diaria . . . . .  | 17  |
| 2.3. Curva de Duración de Carga Diaria . . . . .  | 18  |
| 2.4. Curvas de Carga Anual . . . . .  | 19  |
| 2.5. Diagrama de Perdidas Motor . . . . .   | 35  |
| 2.6. Gráfico de Distribución Normal . . . . .   | 51  |
| 3.1. Diagrama de Desarrollo de la Investigación . . . . .   | 60  |
| 4.1. Historial de Consumo Mensual . . . . .   | 69  |
| 4.2. Diagrama del proceso productivo en Chrysler de Venezuela LLC. . . . .  | 70  |
| 4.3. Curvas Diarias del Consumo de Energía . . . . .  | 82  |
| 4.4. Diagrama de Pareto para el consumo de energía en las diferentes áreas de Chrysler de Venezuela LLC . . . . .                               | 84  |
| 4.5. Pareto de la demanda de energía para el área de Biw, las pistolas de electropunto son las que mayor inciden en esta área. . . . .          | 92  |
| 4.6. Pareto de la demanda de energía para el área de Pintura, los motores son los de mayor inciden en esta área. . . . .                        | 92  |
| 4.7. Pareto de la demanda de energía para el área de TCF, la iluminación es la de mayor inciden en esta área. . . . .                           | 93  |
| 4.8. Pareto de la demanda de energía para las Oficinas, el sistema de climatización es el de mayor inciden en esta área. . . . .                | 93  |
| 4.9. Pareto de Total de la demanda de energía en Chrysler de Venezuela . . . . .  | 94  |
| 4.10. Pareto del consumo de energía en toda la planta Chrysler de Venezuela LLC, La Iluminación es la principal consumidora de energía. . . . . | 96  |
| 4.11. Gráfico de Control para el consumo de energía mensual. . . . .  | 98  |
| 4.12. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para Chrysler de Venezuela LLC . . . . .  | 99  |
| 4.13. Índice de Energía-Producción . . . . .  | 101 |
| 4.14. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía BIW . . . . .   | 102 |
| 4.15. Intensidad de Energía Física BIW . . . . .  | 103 |
| 4.16. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para Pintura . . . . .  | 104 |
| 4.17. Intensidad de Energía Física Pintura . . . . .  | 105 |
| 4.18. Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para TCF . . . . .  | 106 |
| 4.19. Intensidad de Energía Física TCF . . . . .  | 107 |



---

|   |     |
|---|-----|
| 4.20. Gráfico de Regresión Lineal E vs P para la empresa Chrysler de Venezuela LLC, obtenido mediante el algoritmo Marquardt-Levenberg de mínimos cuadrados no lineales . . . . . | 108 |
| 4.21. Curva de Regresión Lineal BIW . . . . .   | 109 |
| 4.22. Curva de Regresión Lineal Pintura . . . . .   | 110 |
| 4.23. Curva de Regresión Lineal TCF . . . . .   | 111 |
| 4.24. Pareto de Potencia para los motores existentes en Chrysler de Venezuela. . .  | 117 |
| 4.25. Evaluación de los diferentes motores según su tipo y potencia nominal, comparados con la eficiencia nominal de la especificación internacional NEMA Premium . . . . .       | 120 |
|   |     |
| A.1. Diagrama Unifilar Simplificado de Chrysler de Venezuela LLC . . . . .  | 165 |
| A.2. Diagrama Unifilar de Chrysler de Venezuela . . . . .   | 166 |
| A.3. Diagrama Unifilar Subestación de E-COAT Transformador T01 . . . . .  | 167 |
| A.4. Diagrama Unifilar Subestación de E-COAT Transformador T02 . . . . .  | 168 |
| A.5. Diagrama Unifilar Subestación de Electropunto Transformador T14 . . . . .  | 169 |
| A.6. Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T03 . . . . .   | 170 |
| A.7. Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T04 . . . . .   | 171 |
| A.8. Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T05 . . . . .   | 172 |
| A.9. Diagrama Unifilar Subestación de Pintura Transformador T06 . . . . .   | 173 |
| A.10. Diagrama Unifilar Subestación de Pintura Transformador T07 . . . . .  | 174 |
| A.11. Diagrama Unifilar Subestación de Reparación Pesada Transformador T08 . .  | 175 |
| A.12. Diagrama Unifilar Subestación de Reparación Pesada Transformador T09 . .  | 176 |
| A.13. Diagrama Unifilar Subestación de TCF Transformador T10 . . . . .  | 177 |
| A.14. Diagrama Unifilar Subestación de TCF Transformador T11 . . . . .  | 178 |
| A.15. Diagrama Unifilar Subestación de Finanzas Transformador T12 . . . . .   | 179 |
| A.16. Diagrama Unifilar Subestación de Finanzas Transformador T13 . . . . .   | 180 |
|   |     |
| B.1. Diagrama Fisico de Planta Chrysler de Venezuela . . . . .  | 184 |

---

## RESUMEN

El cambio climático ocasionado por la emisión de gases de efectos invernaderos y la problemática existente en el sistema eléctrico venezolano, han originado que el sector automotriz se encuentren en la búsqueda de alternativas que garanticen la seguridad de abastecimiento energético y la optimización de la eficiencia energética. En este sentido, la presente investigación se realizó con el objetivo de estudiar la eficiencia energética en la empresa ensambladora de vehículos Chrysler de Venezuela LLC. El diseño del presente trabajo esta enmarcado bajo la modalidad de investigación de campo tipo descriptiva. Los datos se recogen de manera directa de la realidad en su ambiente natural con la aplicación de instrumentos de recolección de información. La población estuvo constituida por las áreas de producción (Electropunto, Pintura, Tapicería-Chasis-Línea Final) y las oficinas de administrativas. La muestra estuvo conformada por los sistemas de iluminación, sistemas de climatización, motores, equipos misceláneos, sistemas de aire comprimido, sistemas de refrigeración. El estudio se realizó en 8 fases, los análisis dieron como resultado al área de Pintura como la mayor consumidora de energía en la empresa, además se pudo constatar que las pistolas de electropunto generan la mayor demanda entre todos los sistemas, pero que sin embargo el 23% del consumo de energía anual se debe a los sistemas de iluminación. Finalmente, se propusieron y evaluaron económicamente alternativas que ayudan a disminuir el consumo de energía y las emisiones de  $CO_2$  en más de un 20% respecto al consumo actual.



---

## INTRODUCCIÓN

Como resultado de los cambios en el mercado de la energía, el papel de los estudios de eficiencia energética se ha ampliado en gran medida. Hay una necesidad cada vez mayor en los negocios y la industria para gestionar eficazmente el uso de energía. La reducción de costos de servicios públicos sigue siendo una de las estrategias más eficaces y viables para reducir los gastos de funcionamiento.

Hoy en día, muchos grandes consumidores de energía están contratando a proveedores de servicios en energías, para implementar proyectos que apunten al ahorro y uso eficiente de la energía. Estos contratos requieren el establecimiento de los fundamentos en el uso de la energía, así como la cuantificación de los ahorros resultantes una vez ejecutado el proyecto. Lo preciso y completo que resultan las auditorías energéticas, las hace esencial como medio para evaluar y verificar el éxito de un proyecto en el cumplimiento de los objetivos contratados. Este trabajo fue realizado para proporcionar los conocimientos fundamentales que necesita la empresa ensambladora de vehículos Chrysler de Venezuela LLC, para evaluar, cómo la energía se utiliza en sus instalaciones, establecer información de referencia exacta, e identificar donde el consumo de energía puede ser reducido.

El trabajo se estructura como sigue: en el primer Capítulo “El Problema” se plantea la hipótesis, los objetivos y alcances de la investigación. En el Capítulo 2 “Marco Teórico” se desarrollan conceptos de interés para el trabajo. El Capítulo 3 “Marco Metodológico” describe de forma general los procedimientos empleados en los siguientes capítulos.



---

Luego, sigue el Capítulo 4, en el cual se plasman los resultados de aplicar los pasos para la realización de una auditoria energética. Posteriormente en el Capítulo 5, se presenta un resumen de las alternativas planteadas para aumentar la eficiencia energética y los ahorros que se obtienen por su implementación.

Por último, en el Capítulo 6 “Conclusiones y Recomendaciones” se incluyen las conclusiones generales a los resultados obtenidos del Capítulo 4 y 5. Para luego proponer una serie de trabajos futuros o recomendaciones para la empresa.



---

## CAPÍTULO I

# EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del Problema

La energía es esencial como medio de producción y por su contribución a la calidad de vida. La necesidad real no es por la energía en si misma, sino por los servicios que a través de ella se presta; calefacción/aire acondicionado, luz, energía motriz y transporte. Es por esto, que algunos de los retos más importantes que enfrenta la humanidad en pleno siglo *XXI* están directamente vinculados a la producción, transporte, almacenamiento e utilización de la energía. Los efectos ambientales asociados al uso de la energía abarcan una amplia gama de contaminantes, peligros y degradación de los ecosistema con consecuencias locales, regionales y mundiales [1].

Uno de los problemas más emblemáticos y de mayor dificultad es el cambio climático ocasionado por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera<sup>1</sup>, producto de la quema de combustibles fósiles; que para el año 2008 alcanzaron más de 30 mil millones de Toneladas Métricas en emisiones de  $CO_2$  a nivel mundial [2]. En consecuencia surge la necesidad de plantear un cambio de modelo energético a uno de bajas emisiones de  $CO_2$ .

En los últimos años, se han perfilado una serie de propuestas para enfrentar el incremento en el consumo de energía; potenciándose como principales alternativas de generación la utilización de las energías renovable que contribuyen a disminuir el uso de los combustibles fósiles y por ende reducir las emisiones de  $CO_2$ . Además del uso de energías renovables, una de las principales herramientas para los gobiernos del mundo, es la implementación de programas orientados al uso eficiente de la energía. La Eficiencia Energética se puede definir como la re-

---

<sup>1</sup>Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), Metano ( $CH_4$ ), Hexafloruro de Azufre  $SF_6$  y Ozono troposférico  $O_3$

---



ducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso [3].

Venezuela como país en vía de desarrollo no escapa a los efectos generados por el incremento pronunciado en la demanda de energía. Según los indicadores de la Comisión Económica para la América Latina y el Caribe (CEPAL) en el período 2002-2006 se revela que Venezuela es el segundo país que utiliza más energía eléctrica por habitante (mayor a  $2400[kwh]$ ) que otros países de América Latina (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México) [4]. Además de esto, Venezuela tiene un sistema eléctrico nacional vulnerable, que afecta gravemente la continuidad, confiabilidad y seguridad del suministro de energía eléctrica a la nación. En respuesta a ésta situación, el gobierno nacional anunció en Gaceta Oficial N° 39.332 de fecha 21 de Diciembre de 2009, el establecimiento de planes ahorro energético y uso eficiente de energía que contemplen una reducción del consumo de energía de al menos 20 % mensual respecto al consumo del año anterior, también se declaró y prorrogó el estado de emergencia del servicio eléctrico nacional, por lo que ahora más que nunca es necesario implementar estrategias y mecanismo que apunten a la disminución y uso eficiente de la energía eléctrica.

Chrysler de Venezuela LLC es una empresa automotriz ubicada en la zona industrial de Valencia en el estado Carabobo, la constituyen varios departamentos administrativos y tres áreas producción donde se ensamblan los vehículos: Jeep Cherokee y Jeep Grand Cherokee de la marca Jeep<sup>®</sup>, y Dodge Caliber de la marca Dodge<sup>®</sup>. En Chrysler el consumo de energía eléctrica, está determinado por: pistolas para soldar (Electropuntos), motores, hornos de cocción, iluminación localizada, compresores de aire, sistemas de refrigeración, bombas de agua, computadoras, sistemas de climatización, sistemas de comunicación, sistemas de iluminación, entre otros; los cuales permiten el normal desarrollo de los procesos productivos para la fabricación de los automóviles y todas las actividades administrativas que aseguran el funcionamiento de la empresa.

---



En materia ambiental las políticas de Chrysler son:

- La preservación del medio ambiente y la prevención de la contaminación.
- El compromiso de cumplir con la legislación ambiental del país, los principios y las directrices ambientales corporativas aplicables a Venezuela.
- El compromiso de fomentar y mantener el mejoramiento continuo.

Por esta razón y debido a la situación actual del sistema eléctrico nacional, es necesario realizar en Chrysler de Venezuela LLC, un estudio técnico de la eficiencia energética en sus instalaciones, con el fin de proponer y evaluar económicamente alternativas potenciales para la reducción del consumo y aumento de la eficiencia energética.

## **1.2. Formulación del Problema**

En este contexto se plantea la siguiente interrogante: ¿Es posible aumentar la eficiencia energética para reducir el consumo de energía eléctrica en Chrysler de Venezuela LLC?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar la eficiencia energética en Chrysler de Venezuela LLC para establecer propuestas y mecanismos que garanticen el uso eficiente de la energía eléctrica con la finalidad de reducir su consumo, sin afectar sus niveles de producción.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- ⚡ Diagnosticar la situación actual del sistema de energía eléctrica para determinar los parámetros actuales de consumo y uso de la energía eléctrica.
-



- ⚡ Elaborar balances de energía, con el objeto de conocer la distribución de energía en las diferentes fases del proceso productivo y/o áreas, es decir la caracterización de carga.
- ⚡ Determinar la incidencia del consumo de energía de cada equipo o grupo de equipos en el consumo de energía total y por lo tanto en el costo total para obtener índices de consumo de energía los cuales pueden ser usados para determinar la eficiencia energética de las operaciones, y consecuentemente, el potencial de ahorro de energía.
- ⚡ Determinar los potenciales de ahorro de energía por equipos, áreas o centros de costos mediante una evaluación técnica detallada en los diferentes departamentos e identificar las medidas apropiadas de ahorro de energía, para conseguir un uso eficaz de energía.
- ⚡ Evaluar los ahorros de energía en términos de costos, para realizar un análisis en función de los desembolsos requeridos para poner en práctica las recomendaciones del estudio.

## 1.4. Justificación

Una empresa comprometida con la calidad, debe plantearse la optimización de la eficiencia energética como un aspecto crucial en su dinámica competitiva. La eficiencia energética es un factor clave, en la relación coste-beneficio, para aumentar la seguridad de abastecimiento energético, reducir las emisiones de dióxido de carbono, fomentar la competitividad y estimular el desarrollo de un mercado avanzado de tecnologías y productos para mejorar la eficiencia energética.

El Estado como agente regulador del consumo de energía estableció en la Gaceta Oficial N° 39.332 publicada el 21 de Diciembre de 2009, la contemplación de planes de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, en este sentido, Chrysler de Venezuela LLC se ve sensibilizada en crear un Comité de Ahorro y uso Eficiente de Energía Eléctrica, con la política de modificar los patrones de consumo de energía, consolidando una cultura de ahorro, usando todos los mecanismos y medios disponibles.

---



Con el estudio se pretende conocer el suministro y consumo de energía eléctrica, siendo este el primer paso para evaluar las posibilidades de ahorro y la cuantificación de las mismas, implementando acciones orientadas a incrementar la eficiencia global de la empresa.

Este proyecto no sólo será un aporte para seguir cumpliendo con las leyes venezolanas y políticas de la empresa, sino también contribuirá a crear un nuevo sistema, cuya metodología estará enfocada en la conciencia sobre el uso racional y eficiente de la energía; al mismo tiempo permitirá mantener informado al recurso humano de Chrysler sobre las nuevas tendencias tecnológicas en materia de eficiencia energética y proyectos orientados al uso eficiente de la energía, asimismo contribuye con la reducción de los efectos medioambientales ocasionados por ciclo energético, en correspondencia a la importancia de la eficiencia energética juega un papel crucial en la transición hacia un sistema energético sostenible.

El presente estudio aportará como beneficios adicionales a Chrysler de Venezuela la mejora de la calidad de energía, la auto-gestión y fiabilidad del sistema eléctrico al crear un sistema que controle y regule la utilización de la energía eléctrica.

Para la Universidad de Carabobo se pretende incentivar a los estudiantes en la participación de los programas de eficiencia energética propuestos por el gobierno nacional, como política de Estado; promoviendo así, la producción de investigaciones en esta área; acción que contribuye a la formación de talento humano especializado en el marco de los avances científicos, técnicos, sociales y humanísticos en el uso eficiente de la energía.

Este proyecto de investigación está enmarcado en el desarrollo y contribución de la línea de investigación: “Calidad de la Energía y Eficiencia Energética”, del Departamento de Potencia de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo.

---



## 1.5. Alcances y Limitaciones

### De espacio (geográfico)

El presente proyecto se limita a hacer un estudio de cargas para el análisis de eficiencia energética y de esa forma, determinar el estado del sistema. La empresa automotriz Chrysler de Venezuela LLC, está ubicada en la zona industrial de Valencia en el estado Carabobo, conformada por una serie de departamentos administrativos y áreas producción.

### De tiempo

La recopilación de la información se llevó a cabo desde febrero de 2010 hasta abril de 2010. Los datos de sumario de equipamiento y demás elementos necesarios para la actualización de diagramas unifilares se hizo entre los meses de abril y primeras dos semanas de julio del mismo año. Los datos para el estudio de eficiencia energética y balances energéticos fueron tomados con los equipos de registro durante todo el período de estudio.

### De contenido

Este proyecto se llevó a cabo en la empresa automotriz Chrysler de Venezuela LLC, donde se evaluó la factibilidad técnica - económica de alternativas de mejora de la eficiencia energética de los sistemas de iluminación, climatización, equipos de oficina o misceláneos y energías motrices, a fin de identificar las alternativas de mayor rendimiento que favorezcan la reducción del consumo de energía, ahorro de costos y minimización del impacto ambiental de los gases que contribuyen al efecto invernadero. En los sistemas de aire comprimido, sistemas de refrigeración y pistolas de electropunto se desarrolló la situación actual, descripciones operativas y la incidencia en los consumos de energía; en cuanto a las propuestas de mejora se plantearon las alternativas para la reducción del consumo de energía sin hacer su evaluación.

---



## 1.6. Recursos

En la estimación de los recursos necesarios y disponibles para la realización de esta investigación se tienen:

### Recursos materiales

Para el logro de los objetivos planteados se necesitarán cierta cantidad de herramientas tanto de investigación académica como de materiales y equipos eléctricos incluyendo los utilizados para la toma de los datos o analizadores de redes, en este proyecto se hará uso de los equipos POWER LOGIC PM 200, PM 710 todos ellos suministrados por la empresa.

### Recursos técnicos

Las normas y estándares que se van a utilizar son de la IEEE y de las normas venezolanas COVENIN, tanto como para el levantamiento de equipamiento como para el estudio de carga se utilizarán los manuales técnicos de los equipos para especificaciones eléctricas de interés.

### Recursos humanos

Se contará con la asesoría técnica del Ing. Hugo Mora Supervisor de Mantenimiento de TCF, el Ing. Miguel Sánchez Supervisor de Pintura, el técnico electricista Outsourcing de Chrysler Wilfredo Leal y la Ing. Milagros Peña como tutor académico. Además se tendrá el apoyo de ingenieros con experiencia en el área, personal empleado por la empresa, además de la asesoría académica de otros profesores de la Universidad de Carabobo.

---





---

## CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la fundamentación teórica, resultante de una selección de aspectos, conceptuales y categorías, que orientan el sentido y las líneas de acción de la investigación, cuya estructura lógica y consistencia interna, permite vincular la teoría, con el análisis que se desarrolla en todo el proceso investigativo.

### 2.1. Antecedentes

Los trabajos de investigación que se citan a continuación contemplan métodos y teorías que tienen afinidad con el tema planteado y su consulta servirá de apoyo para la elaboración de la presente investigación, los siguientes son:

1. Sáenz de Miera G. (2009) [5]. En el documento La eficiencia energética: análisis empírico y regulatorio (DT). Concluye que a pesar de las ventajas medioambientales y económicas de la eficiencia energética, la experiencia muestra que las actuaciones en eficiencia energética se sitúan por debajo de lo requerido para afrontar los retos del modelo energético mundial. Este documento se vincula con la presente investigación en lo referente a la evaluación de la factibilidad económica de las alternativas de optimización.
  2. En el proyecto titulado Energy-Efficiency Project de Ford Motor Company (2009) [6]. Se sustituyeron más de 50.000 artefactos de iluminación, que incluyeron la adición de sistemas de iluminación con luz natural y supervisión de los controles de atenuación para una máxima eficiencia. Ford ha mejorado su eficiencia energética global en sus instalaciones de EE.UU. en un 4,6 por ciento en 2009, otorgando 15 millones de dólares en
-



ahorros. Este estudio se relaciona con la presente investigación en los aspectos relativos a la formulación de alternativas de optimización.

3. En el mismo contexto, Lara G. Gabriel A (2006) [7], en su investigación Estudio sobre auditoría técnica integral del sistema eléctrico del servicio de diagnóstico por imagen en una institución hospitalaria, realizado en el Hospital Clínica Caracas, San Bernardino - Caracas, busca garantizar continuidad del Servicio Eléctrico de esta organización dada la naturaleza de su aplicación, aunando las razones operativas de los equipos de diagnóstico de alta tecnología, en consecuencia garantiza la correcta operatividad del Sistema Eléctrico. Acciones como la inspección, evaluación y análisis conducen a definir las características actuales del sistema las cuales, en conjunto de aportes cuya finalidad es optimizar las condiciones de funcionamiento de la instalación auditada.
  
  4. Martínez, J. y Gimón J. (2002) [8], en el trabajo especial de grado Estudio de la eficiencia energética en la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo. Estudio de campo realizado en tres pasos, con el fin de racionalizar los gastos del servicio eléctrico, enfocado en el uso eficiente de energía eléctrica de los equipos de iluminación y de acondicionamiento de ambiente en la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo, utilizando para recolección de datos la revisión de fuentes bibliográficas y antecedentes nacionales e internacionales, inventario general de instalaciones y auditoría energética. Al igual que esta investigación, el presente trabajo busca plantear soluciones que permitan optimizar este servicio, teniendo como norte fundamental la seguridad y confiabilidad. Uno de los resultados para disminuir el consumo de energía es necesario reemplazar las luminarias fluorescentes T12 por T8 y los balastos magnéticos por electrónicos, al término de su vida útil, al igual que los equipos de acondicionamiento de ambientes. En relación a la tasa de retorno, el tiempo se hace muy prolongado.
-



5. DTE Energy Company (2001) [6], Energy Partnerships. Se trasladaron algunos ingenieros a las plantas de fabricación de automóviles para identificar, implementar y mantener proyectos para aumentar la eficiencia energética. En la fase piloto, se ahorraron en cada una de las instalaciones desde 5 hasta 7 millones de kWh al año. Además del ahorro de energía, este programa reduce las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Éstas recomendaciones de reducción energética son pilar fundamental de esta investigación.
  
6. Veira J. Michael (1996) [9], en su investigación Auditoría de campo del Sistema Eléctrico de la Compañía Venezolana Empacadora C.A presentado como trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Electricista, USB; realizó la auditoría de campo del sistema eléctrico del edificio sede de Venezuela Empacadora C.A, para establecer si las instalaciones eléctricas de la industria son las adecuadas para prestar servicio con la confiabilidad, seguridad y condiciones de operación requeridas para este tipo de edificaciones. Como resultado se actualizaron los planos del sistema eléctrico, se obtuvieron las características y estado de las instalaciones eléctricas de la planta, además de dar recomendaciones para mejorar la operación del sistema, lo cual guarda similitud con esta investigación.

En las siguientes secciones se exponen los conceptos básicos por los cuales se rige el desarrollo del Trabajo de Investigación, con el propósito de informar al lector los puntos claves de la investigación y de esta manera obtener información esencial del contenido.

## 2.2. Conceptos Básicos

Existen algunos términos comúnmente utilizados en los textos de ingeniería eléctrica, los cuales permitirán puntualizar las características así como los efectos que las cargas pueden tener sobre el sistema.

---



Dichos términos conocidos como factores son muy usados por los ingenieros electricistas y su inclusión aquí, obedece al deseo de querer evitar cualquier confusión o duda acerca de los mismos.

### 2.2.1. Potencia Eléctrica

“La potencia se refiere a cuán rápidamente se utiliza o transforma la energía. La energía es la capacidad de producir trabajo, la potencia está relacionada con la rapidez de producir trabajo” [10]. Es el cociente entre la unidad de trabajo y tiempo.

### 2.2.2. Potencia Activa

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos.

Se designa con la letra  $P$  y se mide en vatios ( $W$ ). De acuerdo con la ley de Ohm y el triángulo de impedancias, se puede expresar en forma monofásica como se muestra en la ecuación:

$$P = V_L \cdot I_L \cdot \cos \theta = I_L^2 \cdot R [Watt] \quad (2.1)$$

Donde;

$P$ : Potencia Activa.

$V_L$ : Voltaje de Línea.

$I_L$ : Corriente de Línea.

$\theta$ : Ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente.

---



$R$ : Resistencia del circuito.

### 2.2.3. Potencia Reactiva

Esta potencia no tiene el carácter de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos y se refiere a la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía.

La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil. Por ello se dice que es una potencia que no produce vatios, se mide en volti-amperios reactivos ( $VAR$ ) y se designa con la letra  $Q$ . Se puede observar su expresión matemática en forma monofásica en la ecuación:

$$Q = V.I. \sin \theta = I^2 \cdot X = I^2 \cdot (X_L - X_C) \quad [VAR] \quad (2.2)$$

Donde;

$Q$ : Potencia Reactiva.

$V$ : Voltaje.

$I$ : Corriente.

$\theta$ : Ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente.

$X$ : Reactancia del Circuito.

$X_L$ : Reactancia Inductiva.

$X_C$ : Reactancia Capacitiva.

$[VAR]$ : Volt –Ampere Reactivos.

---



### 2.2.4. Potencia Aparente

La potencia aparente (también llamada compleja) de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma (vectorial) de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía.

Esta potencia no es la realmente consumida ó “útil”, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ( $\cos \theta = 1$ ), y señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a “almacenar” bobinas y condensadores. Se la designa con la letra  $S$  y se mide en volt-amperios ( $VA$ ). Su expresión matemática en forma monofásica se observa en la ecuación :

$$S = V \cdot I \quad (2.3)$$

Donde;

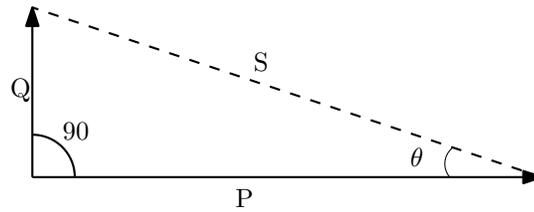
$S$ : Potencia aparente monofásica

$V$ : Voltaje de fase

$I$ : Corriente de fase

### 2.2.5. Factor de Potencia

Se define factor de potencia, fp., de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa,  $P$ , y la potencia aparente,  $S$ , o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como  $\cos \theta$ , siendo  $\theta$  el valor de dicho ángulo. De acuerdo con el triángulo de potencias de la Figura (2.1):



**Figura 2.1:** Triángulo de Potencia

## 2.3. Análisis de Carga y Demanda

### 2.3.1. Demanda

“Es la potencia consumida por la carga, medida por lo general en intervalos de tiempo (por ejemplo, intervalos de 1 hora, 15 minutos, etc.), expresada en KW o KVA, a un factor de potencia determinado” [11].

### 2.3.2. Carga Instalada

Es la suma de todas las potencias nominales continuas de los aparatos de consumo conectados a un sistema o a parte de él, se expresa generalmente en kVA, MVA, kW o MW [11]. Matemáticamente se indica como:

$$S_T = \sum_{i=2}^n S_{N_i} \quad (2.4)$$

Donde;

$S_T$ : Carga total instalada.

$S_{N_i}$ : Cargas nominales que estén servidas al mismo tiempo.



### 2.3.3. Capacidad Instalada

Corresponde a la suma de las potencias nominales de los equipos (transformadores, generadores), instalados a líneas que suministran la potencia eléctrica a las cargas o servicios conectados. Es llamada también capacidad nominal del sistema [11].

### 2.3.4. Demanda Máxima

Es la carga mayor que se presenta en un sistema en un período de trabajo previamente establecido. En la demanda máxima es donde se presenta la máxima caída de tensión del sistema y por lo tanto se presentan las mayores pérdidas de energía y potencia. Para establecer la demanda máxima se debe especificar el intervalo de demanda para medirla [11].

### 2.3.5. Número de Horas de Cargas Equivalentes

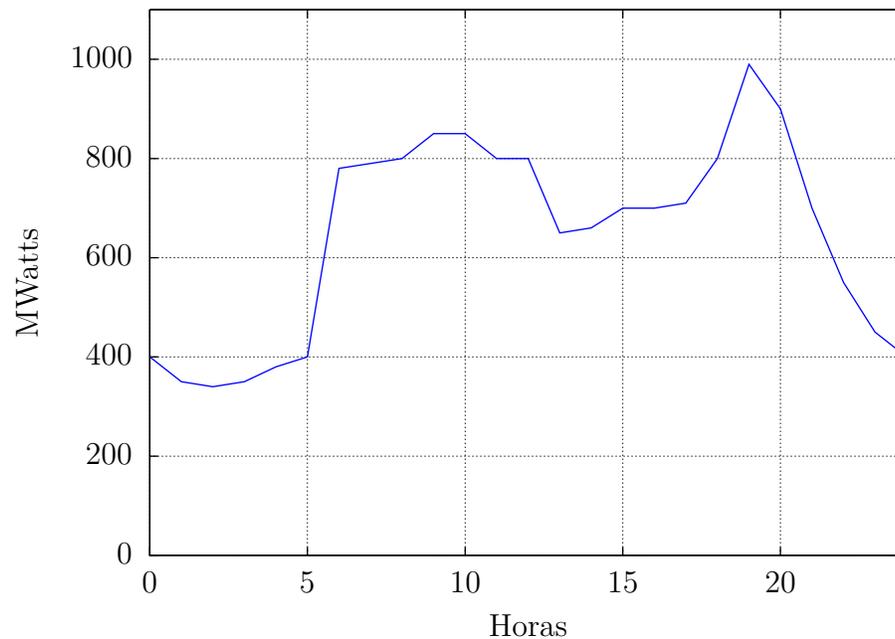
Es el número de horas que requeriría la carga máxima para que se consuma la misma cantidad de energía que la consumida por la curva de carga real sobre el período de tiempo especificado. Esta dada por:

#### Curvas de Carga Diaria

Estas curvas se dibujan para el día pico de cada año del período estadístico seleccionado. Las curvas de carga diaria están formadas por los picos obtenidos en intervalos de una hora para cada hora del día. Las curvas de carga diaria dan una indicación de las características de la carga en el sistema, sean éstas predominantemente residenciales, comerciales o industriales y de la forma en que se combinan para producir el pico. Su análisis debe conducir a conclusiones similares a las curvas de carga anual, pero proporcionan mayores detalles sobre la forma en que han venido variando durante el período histórico y constituye una base para determinar las tendencias predominantes de las cargas del sistema, permite seleccionar en forma adecuada los equipos de transformación en lo que se refiere a la capacidad límite de

---

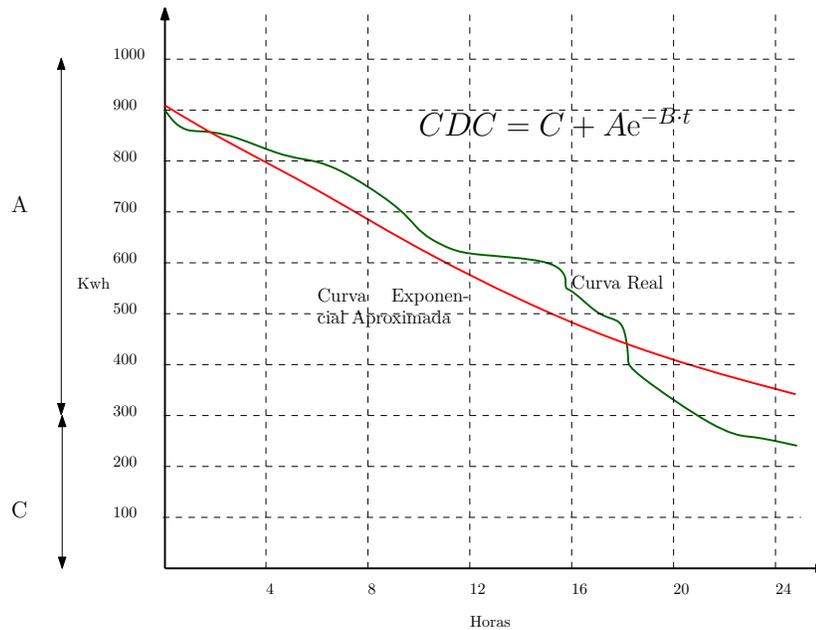
sobrecarga, tipo de enfriamiento para transformadores de subestaciones y límites de sobrecarga para transformadores de distribución. En la figura (2.2) se muestra un ejemplo de una curva típica de carga obtenida en las subestaciones receptoras primarias para una Empresa X [12].



**Figura 2.2:** Curvas Típica de Carga Diaria

### Curvas de Duración de Carga Diaria

La curva indica la duración de cada una de las demandas presentadas durante el período de tiempo especificado. Estas curvas se derivan de las anteriores y se muestra un ejemplo de ellas en la Figura (2.3). Su análisis debe conducir a conclusiones idénticas a las obtenidas del análisis de las curvas de carga diaria. La curva indica la duración de cada una de las demandas presentadas durante el período de tiempo especificado. Las curvas de duración de carga diaria se pueden ajustar de tal manera que se aproxime a una curva exponencial decreciente de la forma (Ver Figura 2.3) [12]:



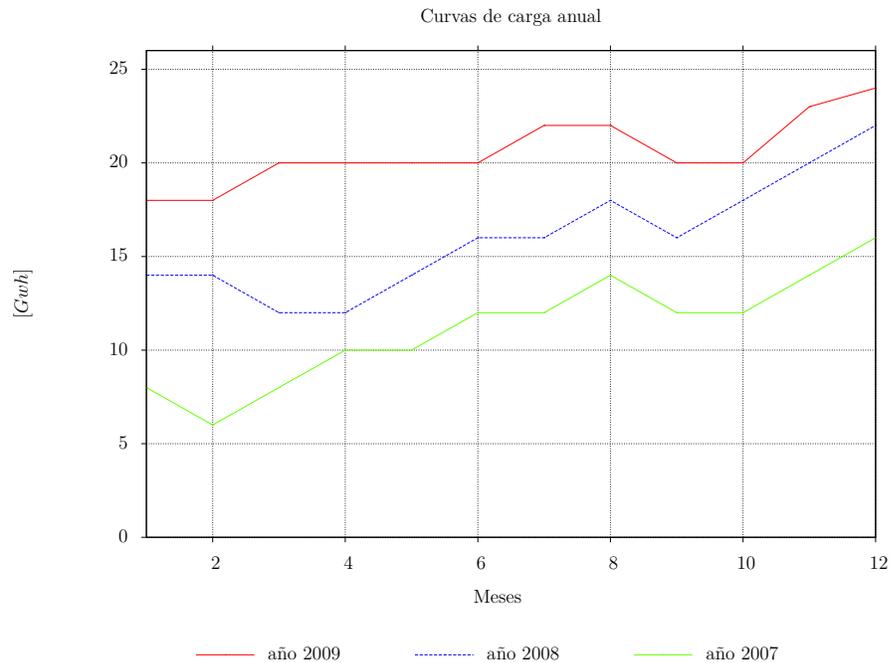
**Figura 2.3:** Curva de Duración de Carga Diaria

## Curvas de Carga Anual

Estas curvas se deben dibujar en lo posible para los años del período estadístico como se muestra en la Figura (2.4) y muestran la forma como se está incrementando la carga durante dicho período y ayuda en la deducción de la tasa de crecimiento de la demanda. Las curvas de carga anual están formadas por los valores de la demanda a la hora pico en cada mes, permiten una visualización de los crecimientos y variaciones de los picos mensuales y anuales. El análisis de las causas de estas variaciones debe conducir a conclusiones prácticas sobre el comportamiento del sistema y los factores que lo afectan [12].

### 2.3.6. Balances de Energía

El balance de energía eléctrica es la identificación y cuantificación de los consumos de cada área de la empresa. A partir del balance se analiza como se esta utilizando la energía y se elaboran medidas de ahorro con el objetivo de incrementar la eficiencia del uso de la energía de la empresa.



**Figura 2.4:** Curvas de Carga Anual

### 2.3.7. Tarifa de Electricidad

La Tarifa es una estructura de precios que sirve de base para el cobro del servicio de electricidad. Las tarifas del sector eléctrico son reguladas por el Estado, a través del Ministerio de Energía y Petróleo (MEP). Las tarifas vigentes están publicadas en la Gaceta Oficial Nro. 37.415 del 03 de Abril de 2002 y en el caso de los Estados Monagas y Delta Amacuro en la Gaceta Oficial Nro. 36.629 del 26 de Enero de 1999. Las tarifas se calculan sobre la base de 30 días; aún cuando el período facturado sea mayor o menor, el cálculo igualmente se hace sobre esa cantidad de días.

Ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Real} &= 1,225kWh \text{ en un período de 35 días} \\ \text{Consumo Equivalente a 30 días} &= \frac{1,225}{35} \cdot 30 = 1,050kWh \end{aligned} \quad (2.5)$$



Además de las tarifas, en la actualidad hay dos factores que se ajustan periódicamente previa autorización del MENPET que son: FAP (Factor de Ajuste de Precios) y CACE (Cargo por Ajuste de Combustible y Energía). Los montos están expresados en Bolívares antiguos ya que por reconversión monetaria el redondeo se aplica sólo a los totales en cada caso.

- ⚡ Factor de Ajuste de Precios (FAP): Considera los cambios de las variables macroeconómicas que inciden en el costo del servicio eléctrico. Es provisto por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo.
- ⚡ Cargo por Ajuste en los Precios de los Combustibles y de La Energía Comprada (CACE): Considera las variaciones en el precio de los combustibles utilizados para la generación de las compras de energía y es provisto por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo [13].

## 2.4. Variables de Medición.

La medición de todas las variables (intensidad de corriente, potencia real, tensión, potencia reactiva, uso de energía, factor de potencia, frecuencia) en cuestión debe realizarse con equipos de alta fidelidad y confiabilidad. Estos equipos de deben cumplir con varias tareas específicas:

- ⚡ Niveles de Monitoreo de distorsión armónica en voltaje y corriente.
  - ⚡ Alta resolución.
  - ⚡ Cálculos de potencia y potencia armónica, Voltaje y corriente (RMS), distorsión armónica en voltaje (THD).
  - ⚡ Tiempo real o análisis de tiempo diferido.
  - ⚡ Medición de Impedancia armónica de la red.
-



Se debe monitorear de forma continua el sistema trifásico, las opciones de estos equipos permite mostrar cualquier intensidad o tensión y calcular en contenido de armónicos. Además se puede determinar la redistribución de carga del sistema.

Una de las más útiles herramientas es capturar oscilografías y espectros de frecuencias para el posterior diagnóstico de problemas.

Es importante por último conocer los conceptos asociados a cada una de las variables a registrar por los equipos de medición, las cuales serán:

### **2.4.1. Voltaje de Línea.**

En un sistema trifásico los tres voltajes presentes entre cada una de las líneas y el neutro se llaman voltajes de fase, en estos voltajes se pueden tener distintas secuencias de fase, el voltaje que existe entre una fase y otra se conoce como voltaje de línea.

### **2.4.2. Corriente.**

La corriente o intensidad eléctrica es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe a un movimiento de los electrones en el interior del material.

### **2.4.3. Potencia Aparente.**

La potencia aparente (también llamada compleja) de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma (vectorial) de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía.

## **2.5. La Industria Automotriz**

La industria automovilística se encarga del diseño, desarrollo, fabricación, ensamblaje, comercialización y venta de automóviles. La industria automotriz es la industria de may-

---



or tamaño a nivel mundial, produciendo grandes ganancias (en dolares) que cualquier otra industria [14]. Según las estadísticas de “International Organization of Motor Vehicle Manufacturers,” a nivel mundial los tres grandes países productores de vehículos en el año 2009 fueron China, Japón y Estados Unidos con una producción de 13, 7 y 5 millones de unidades respectivamente [15]. Actualmente las tendencias del mercado automotriz están dirigidas al sector de los vehículos ligeros (camiones, minivans y todo terreno) las preferencias de los consumidores apuntan hacia la seguridad y comodidades, tales como bolsas de aire y reproductores de Video y Audio. En la última década, los precios medios de los vehículos aumentaron más rápidamente que los ingresos medios de las personas. Esto puede cambiar los hábitos de compra de los consumidores, más hacia los coches usados o de mantenimiento los coches por un largo periodo de tiempo, evitando la compra de coches nuevos [16].

### **2.5.1. Procesos para la Fabricación de Vehículos**

En Chrysler de Venezuela LLC, la fabricación de automóviles, básicamente, consiste en cuatro pasos: producción de motores, producción del cuerpo del vehículo, producción de chasis y el ensamblado.

#### **Producción de Motores y Piezas**

Los motores son de aluminio o de hierro fundido, se compran a través de proveedores. Las partes del motor deben ser ensambladas para producir el motor terminado. Otras piezas principales de fundición son los ejes y las transmisiones. Esta área no es necesaria si este tipo de componentes se producen en otras fábricas.

#### **Producción del Cuerpo del Vehículo**

El cuerpo del vehículo es formado generalmente de acero, aunque hay una tendencia hacia el plástico y piezas de aluminio en las carrocerías. Las diferentes aleaciones de acero son utilizadas debido a su disponibilidad general, bajo costo y una buen manejo. Para ciertas

---



aplicaciones, existen otros materiales, como aluminio, fibra de vidrio y plástico reforzado que se utilizan por sus propiedades especiales. Por ejemplo, Jeep<sup>®</sup> Cherokee utiliza plástico en las puertas, parachoques y otras partes del cuerpo del vehículo. Los componentes plásticos requieren menos tiempo para desarrollarse que el de los componentes de acero, por lo que es un material atractivo para los fabricantes de vehículos. Otro factor que incide su elección es el bajo peso de los componentes plásticos ya que contribuye a la mayor eficiencia de combustible en los automóviles.

### **Chasis**

El chasis es la estructura principal del vehículo. En la mayoría de los diseños, se forma un esqueleto de acero prensado en el que se montan el motor, ruedas, ejes, la transmisión, la dirección, frenos, y la suspensión. En los diseños modernos, ha habido una tendencia hacia la combinación de la estructura del chasis y el cuerpo del vehículo en un elemento estructural único. En este arreglo, la carrocería de acero se refuerza con los apoyos que la hacen lo suficientemente rígido para resistir las fuerzas que se aplican en ella. Las estructuras separadas (láminas de acero) se utilizan en otros automóviles para lograr mejores características de aislamiento del ruido.

### **Pintura**

Para proteger el cuerpo del vehículo de la corrosión, se utilizan procesos especiales de preparación y pintura. Primeramente, el cuerpo se somete a una limpieza con ácidos para quitar grasas y otras sustancias. Posteriormente pasan a través de una serie de ciclos de pintura, que ayudan a mantener la calidad visual de la pintura y darle la dureza necesaria. El esmalte y la laca de acrílico son de uso común. Este último es a base de agua y reduce la producción de gases y compuestos orgánicos volátiles (COV). Los expertos discrepan sobre si las pinturas a base de agua causan mayor o igual consumo de energía en el proceso de secado [17].

---



La pintura electrostática, es un proceso en el que se aplica una carga electrostática (50 - 80 kV) a la pintura en aerosol, la cual es atraída a la superficie del vehículo, que se encuentra al potencial de tierra, lo que ayuda a asegurar que se aplica una capa uniforme por toda la carrocería. El vehículo es transportado por conveyors hacia los hornos para ser secado. Tecnologías alternativas utilizan rayos infrarrojos de curado para ahorrar energía y tiempo de producción para disminuir el tamaño de los hornos. Por último, la carrocería del vehículo pasa por el área de retoque que es un proceso de revisión y reparación de errores en la capa de pintura si es necesario.

## **Ensamblado**

El proceso de montaje de automóviles en sí tiene un patrón uniforme entre las diferentes plantas. En general, hay dos líneas de montaje principales: carrocería y el chasis. En la línea de montaje de la carrocería, la estructura del vehículo se unen a través de soldadura o inserción por presión, una vez armado el esqueleto se pinta para luego ensamblar piezas (parachoques, faros delanteros, asientos, puertas, cableado) para así acelerar la línea principal de montaje. En la línea de montaje de chasis se montan el motor, ruedas, ejes, la transmisión, la dirección, frenos, y la suspensión. Las dos líneas se combinan en el punto donde se atornilla al cuerpo del chasis, esta unión es denominada “boda”.

## **2.6. Tipos de Cargas en la Industria Automotriz**

### **2.6.1. Sistemas de Iluminación**

Es la metodología de iluminación artificial y natural que tienen como finalidad de realzar la realización de una tarea o la estética de un área determinada. Está conformado por una pluralidad de parámetros de diseño y de elementos emisores de luz, configurados para permitir el control individual o conjunto de la emisión de luz de manera eficaz y eficiente.

---



## Sistema de Alumbrado

En cuanto a la disposición y ubicación de las luminarias, existen tres opciones básicas para el alumbrado de oficinas:

- ⚡ Alumbrado general: proporcionado por una distribución regular de luminarias.
- ⚡ Alumbrado general localizado: proporcionado por una distribución irregular de las luminarias en relación a las zonas de trabajo.
- ⚡ Alumbrado general más alumbrado local: en el que se complementa un nivel de alumbrado general con luminarias en los puestos de trabajo [18].

En todos los sistemas el alumbrado general podrá ser directo, indirecto o una combinación de ambos

## Tipos de Lámparas

Los tipos de lámparas para la iluminación son:

1. Fluorescentes tubulares lineales (T12) de 38 mm. De diámetro.
  2. Fluorescentes tubulares lineales (T8) de 26 mm. De diámetro.
  3. Fluorescentes tubulares lineales (T5) de 16 mm. De diámetro.
  4. Fluorescentes compactas con equipo incorporado (denominadas lámparas de bajo consumo).
  5. Fluorescentes compactos (TC).
  6. Fluorescentes compactos de tubo largo (TC-L).
  7. Fluorescente circular.
  8. Incandescente halógena.
-



9. Lámparas de descarga de halogenuros metálicos (HM ó CDM).
10. Lámpara de inducción [19].

Seleccionar la más apropiada depende de muchos factores como son la eficacia de la lámpara, las cualidades cromáticas, el flujo luminoso, la vida media, el equipo necesario, y aspectos medio ambientales, entre otros [19].

En la tabla 2.1, se muestran las características de las lámparas más idóneas para iluminación general, localizada y decorativa. Los pasos a seguir para seleccionar la lámpara más adecuada para cada dependencia serán:

- 1º- Seleccionar aquella lámpara que cumplan los parámetros, tono de luz o temperatura de color (K) e índice de reproducción cromática (Ra), recomendados para el local.
  - 2º- De aquellos tipos de lámparas que cumplan la condición anterior, seleccionar la de mayor eficacia, es decir, la que tenga un valor mayor del parámetro lúmenes por vatio.
  - 3º- Seleccionar la lámpara con mayor vida media, medida en horas.
-

**Tabla 2.1:** Tipos de Lámparas Según la Aplicación

| <b>Tipos de Lámparas</b>      | <b>Rango de Potencia</b> | <b>Tono de Luz</b>   | <b>Ra</b>   | <b>Lm/W</b> | <b>Vida Media (horas)</b> | <b>Aplicación</b>               |
|-------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-------------|---------------------------|---------------------------------|
| Incandescentes                | 5 - 300                  | Cálido               | 100         | 10 - 25     | 1000 -5000                | Localizada                      |
| Flourescencia Lineal de 26 mm | 18 - 58                  | Cálido, Neutro, Frío | 60 - 98     | 65 - 96     | 8000 - 16000              | General                         |
| Flourescencia Lineal de 16 mm | 40 - 80                  | Cálido, Neutro, Frío | 85          | 80 -105     | 12000 - 16000             | General                         |
| Flourescencia Compacta        | 5 - 55                   | Cálido, Neutro, Frío | 85 - 98     | 60 - 85     | 8000 - 12000              | General, Localizada, Decorativa |
| Sodio Blanco                  | 50 - 100                 | Cálido               | 85          | 50          | 12000                     | Decorativa                      |
| Vapor de Mercurio             | 50 - 1000                | Cálido, Neutro       | 50 - 60-    | 30 - 60     | 12000 - 16000             | General                         |
| Halogenuros Metálicos         | 35 - 3500                | Cálido, Neutro, Frío | 65 - 85 -96 | 70 - 93     | 6000 - 10000              | General, Localizada             |
| Inducción                     | 55 - 85 - 160            | Cálido, Neutro       | 82          | 64 - 71     | 60000                     | General                         |

Fin de la Tabla



## Tipos de Equipos Auxiliares

Son los equipos eléctricos asociados a la lámpara y por tanto, diferentes para cada tipo y lámpara, no obstante, con carácter general los equipos auxiliares más comunes son los balastos, arrancadores y condensadores (Ver Tabla 2.2).

Las características de los equipos auxiliares son función de las características de la red y del tipo y potencia de la lámpara [19].

**Tabla 2.2:** Tipo de equipos auxiliares según tipo de lámpara.

| Tipo de Lámpara                     | Tipo de Equipo                |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tubular Fluorescente T12, (d= 38mm) | Electromagnético              |
| Tubular Fluorescente T8, (d= 26mm)  | Electromagnético, Electrónico |
| Tubular Fluorescente T05, (d= 38mm) | Electrónico                   |
| Fluorescente Compacta               | Electromagnético, Electrónico |
| Vapor de Sodio                      | Electromagnético              |
| Halogenuros metálicos               | Electromagnético, Electrónico |
| Incandescencia halógenas            | Electromagnético, Electrónico |
| Inducción electromagnética          | Electrónico                   |

Fin de la Tabla

**Balasto: Los balastos (o reactancias)** son dispositivos empleados para limitar y estabilizar la corriente de arco de las lámparas de descarga. En ocasiones se utilizan también para generar las tensiones necesarias para el encendido de las lámparas, ya sean solos o en combinación con arrancadores o condensadores.

Los balastos son en sí mismos impedancias, por lo que teóricamente podría haber de varios tipos: inductivas, resistencias o combinación entre ellas. No obstante, en la práctica se utilizan casi en exclusividad los balastos de tipo inductivo y en algunos casos los inductivo-capacitivos. Los balastos resistivos no se utilizan debido a las elevadas pérdidas en forma de



calor que ocasionarían y los capacitivos por deformar grandemente la forma de onda de la corriente de lámpara y dar por ello baja potencia en la misma. En la tabla 2.3 se muestra el rango de pérdidas según el tipo de balasto .

Como complemento a estos tipos enumerados están los balastos electrónicos, que combinan en sí mismos el sistema de encendido, compensación y regulación de corriente en la lámpara consiguiéndose consumos menores de potencia [19].

*Balasto electromagnético:* fue el primer tipo de inductancia que se utilizó en las lámparas fluorescentes. Consta de un transformador de corriente o reactancia inductiva, compuesto por un enrollado único de alambre de cobre.

*Balastos electrónicos:* Tienen un principio de funcionamiento, en cuanto a su labor de limitación de corriente, idéntico a los electromagnéticos. Constan de un circuito que convierte la tensión de red en una señal de alta frecuencia (alrededor de 40 kHz) que se aplica a un balasto electromagnético muy pequeño. Además incorporan circuitos para la compensación de potencia y para el encendido de las lámparas. En función del tipo de encendido existen dos tipos de balastos electrónicos:

- ⚡ Con precaldeo: Los filamentos que hay en los extremos de los tubos reciben una tensión de bajo voltaje durante un breve espacio de tiempo. Una vez caliente, se aplica un impulso de cebado de unos 500 voltios, los electrodos sufren menos en el arranque tras este calentamiento, ya que el pico del arranque es menor que en el encendido en frío. Este tipo de balasto electrónico es recomendable para locales con un número frecuente de encendidos, ya que se estima que la vida del tubo aumenta en un 50 %.
  - ⚡ Sin precaldeo: Este balasto aplica directamente a los electrodos un pico de tensión de 1000 voltios, consiguiendo un encendido inmediato (0,1 seg.). Este tipo de balasto es recomendable en aquellos locales donde el número de encendidos y apagados diarios no sea superior a tres [19].
-



**Tabla 2.3:** Rango de Pérdidas Según Tipo de Balasto.

| Tipo de Lámpara        | Tipo de Equipo     |                          |             |
|------------------------|--------------------|--------------------------|-------------|
| Tipo de Lámpara        | Magnético Estándar | Magnético Bajas Pérdidas | Electrónico |
| Florescencia           | 20-25 %            | 14-16 %                  | 8-11 %      |
| Descarga               | 14-20 %            | 8-12 %                   | 6-8 %       |
| Halógenas Baja Tensión | 15-20 %            | 10-12 %                  | 5-7 %       |

Fin de la Tabla

**Arrancadores:** Es el componente que proporciona en el momento del encendido, bien por sí mismo o en combinación con el balasto, la tensión requerida para el cebado de la lámpara. El arrancador puede ser eléctrico, electrónico o electromecánico.

**Condensadores:** Es el componente que corrige el factor de potencia ( $\cos \phi$ ) a los valores definidos en normas y reglamentos en vigor. En alumbrado su utilización es fundamental con balastos electromagnéticos, ya que la corriente que circula por ellos se halla en oposición de fase con respecto a la corriente reactiva de tipo inductivo de la carga, produciendo su superposición y una disminución de la corriente (y potencia) reactiva total de la instalación [19].

Vale recalcar que tanto el condensador como el arrancador, únicamente se utilizan con balastos electromagnéticos y no con los electrónicos, ya que éstos llevan incorporado unos componentes electrónicos que desempeñan las funciones de ambos equipos.

Todo balasto debe tener marcado, además de las características eléctricas, el  $t_w$  (temperatura máxima de funcionamiento),  $\Delta t$  (incremento de temperatura),  $t_a$  (temperatura máxima de ambiente) y  $\lambda$  (factor de potencia). Además pueden llevar impresas las marcas de conformidad de diferentes organismos de homologación [19].

## Índice de Eficiencia de los Sistemas de Iluminación

Los criterios energéticos que se deben estudiar en los sistemas de iluminación son:



- ⚡ Eficacia de las lámparas.
- ⚡ Eficacia de los equipos necesarios para el funcionamiento de las lámparas.
- ⚡ El rendimiento de las luminarias instaladas en el proyecto [19].

### Índice de Eficacia de Lámparas Recomendado

Se deben utilizar lámparas con una eficacia mayoa a 60 [*lúmenes/Watio*]. Este rendimiento se debe cumplir independientemente a la calidad cromática requerida por la instalación. Se admitirán excepcionalmente lámparas con una eficacia inferior al establecido, en iluminaciones puntuales de zonas singulares que así lo demandan[19].

### 2.6.2. Sistemas de Climatización

Consiste en el método a través del cual, se establecen las condiciones de temperatura, humedad y calidad del aire interior, dando origen a la sensación de confort térmico dentro de los espacios habitados y el mejoramiento de los diferentes procesos industriales [20].

Estos sistemas controlan las moléculas del aire para subir o bajar la temperatura del mismo y así generar ambientes cálidos o frescos, dependiendo de las necesidades.

Como mínimo, las instalaciones de climatización deben efectuar los siguientes procesos básicos:

- ⚡ Control de temperatura y humedad
- ⚡ Ventilación y calidad del aire interior
- ⚡ Filtrado
- ⚡ Circulación

Estos procesos deben realizarse:

---



- ⚡ Automáticamente
- ⚡ Sin ruidos molestos
- ⚡ Con el menor consumo energético
- ⚡ Sin producir contaminación al medio ambiente

### Generalidades de los Sistemas de Climatización

El propósito de los sistemas de confort térmico es crear condiciones atmosféricas que conduzcan al bienestar, como el caso de viviendas, oficinas, comercios, restaurantes, salas de fiestas, hospitales, teatros, etc., mientras que en los industriales es el de controlar las condiciones atmosféricas para satisfacer los requisitos particulares de los procesos. Para lograr esos objetivos se detallan las funciones básicas a realizar:

**Enfriamiento y deshumectación:** Para lograr el confort en los locales, es necesario enfriar y además, deshumidificar el aire, porque el porcentaje de humedad relativa aumentaría en forma considerable, provocando una sensación de molestia y pesadez. Esta función se efectúa en un proceso único y simultáneo por medio de un serpentín o batería de enfriamiento en las cuales se absorbe el calor sensible y también el calor latente del aire, por efecto de la condensación sobre su superficie del vapor de agua que contiene, debido a que se lo enfría por debajo de su punto de rocío.

**Ventilación:** Consiste en la entrada de aire exterior, para renovar permanentemente el aire de recirculación del sistema en las proporciones necesarias a fin de lograr un adecuado nivel de pureza, dado que como resultado del proceso respiratorio, se consume oxígeno y se exhala anhídrido carbónico, por lo que debe suministrarse siempre aire nuevo a los locales para evitar que se produzcan viciamientos y olores.

**Filtrado:** Es la limpieza del aire y se cumple en la batería de filtros, quitándole al aire circulante el polvo, impurezas y partículas en suspensión y el grado de limpieza a lograr depende del tipo de instalación de acondicionamiento a efectuar. El filtro es el primer elemento

---



a instalar en la circulación del aire porque no solo protege a los locales acondicionados sino también al mismo equipo de acondicionamiento.

**Circulación del aire:** Siempre debe haber un cierto movimiento de aire en la zona de permanencia con el fin de evitar su estancamiento, sin que se produzcan corrientes energéticas que son perjudiciales, el proceso de su circulación y distribución, se efectúa mediante ventiladores del tipo centrifugo, capaces de hacer circular los caudales de aire necesarios, venciendo las resistencias de frotamiento ocasionadas por los conductos de distribución, rejillas, y los propios elementos de la unidad de tratamiento de aire como persianas, serpentines, filtros, etc., con bajo nivel de ruidos.

En los ambientes, la inyección del aire se realiza generalmente por medio de rejillas sobre paredes o difusores sobre los cielorrasos y el retorno se efectúa por rejillas colocadas adecuadamente en los locales, con el objetivo de conseguir un mínimo movimiento de aire en la zona de vida del local en cuestión, que se encuentra en un plano ubicado a 1,50 m sobre el nivel del piso [20].

### 2.6.3. Motores

El motor es el elemento esencial de toda industria, pues origina movimiento, fuerza y velocidad y son los motores eléctricos los que transforman energía eléctrica en mecánica. Dentro de estos hay una gran división: los de corriente continua y de corriente alterna. Los primeros, son sumamente útiles, aún cuando su uso es escaso, mientras que los segundos constituyen la corriente de mayor empleo en la sociedad moderna.

#### Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento del motor asíncrono se basa en la creación de una corriente inducida en un conductor cuando éste corta las líneas de fuerza de un campo magnético, de ahí el nombre de «motor de inducción». La acción combinada de la corriente en el inducido y el campo magnético crea una fuerza motriz en el rotor del motor.

---



## Tipos y Aplicaciones

Los motores asíncronos (MA) son máquinas eléctricas, las cuales han tenido mayor aplicación en la industria. Estas máquinas son los principales convertidores de energía eléctrica en mecánica (actualmente los MA consumen casi la mitad de la energía eléctrica generada). Su uso es, principalmente, en calidad de mando eléctrico en la mayoría de los mecanismos, ello se justifica por la sencillez de su fabricación, su alta confiabilidad y un alto valor de eficiencia. Hay 2 tipos de MA; los de rotor de jaula de ardilla y los de rotor de anillos rozantes.

## Diagrama Energético del Motor Eléctrico

Cuando el motor está en funcionamiento, el estator se alimenta de la red y absorbe una potencia:

$$P_1 = m_1 \cdot V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \Phi_1 \quad (2.6)$$

Parte de la  $P_1$  se consume (disipa) en la resistencia  $R$  del devanado del estator ocasionando una pérdida eléctrica  $\Delta P_{el}$ , así como una pérdida magnética en el campo del estator  $\Delta P_{mag}$ , deduciendo dichas componentes, al rotor se le aplica una potencia electromagnética, que se expresa mediante la siguiente ecuación de balance energético:

$$P_{elmag} = P_1 - \Delta P_{el1} - \Delta P_{mag} \quad (2.7)$$

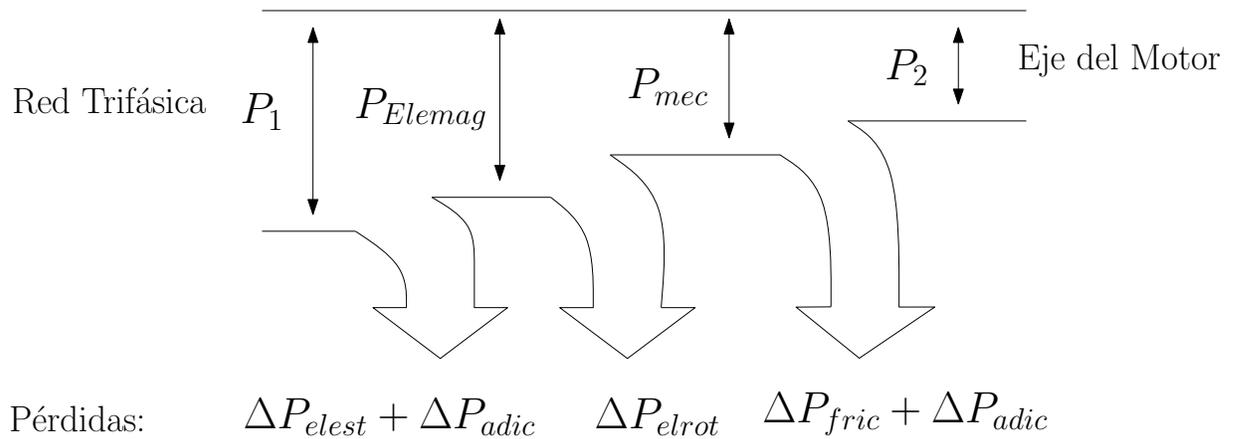
Parte de esta potencia se disipa en cubrir las pérdidas eléctricas del rotor  $\Delta P_{el2}$  en su devanado, la potencia resultante es aquella que va a ser convertida en potencia mecánica, expresado por:

$$P_{mec} = P_{elmag} - \Delta P_{el2} \quad (2.8)$$

En las máquinas de anillos rozantes, además se tienen pérdidas en las escobillas de contacto, las cuales se añades a la pérdida  $\Delta P_{el2}$ . La potencia mecánica obtenida en el árbol del

eje del rotor, se obtiene luego de vencer su inercia y otras pérdidas adicionales, obteniéndose una potencia  $P_2$  (Ver Figura 2.5 :

$$P_2 = P_{mec} - \Delta P_{fric} - \Delta P_{adic} \quad (2.9)$$



**Figura 2.5:** Diagrama de Perdas Motor

### Relación Entre Eficiencia ( $\eta$ ) y Deslizamiento ( $S$ ) en Motores

Para definir la relación entre la Eficiencia ( $\eta$ ) y el Deslizamiento ( $S$ ) en los motores, se analiza la eficiencia mediante la relación:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{P_{elmag}}{P_1}\right) \cdot \left(\frac{P_2}{P_{elmag}}\right) = \eta_1 \eta_2 \quad (2.10)$$

donde  $\eta_1$  y  $\eta_2$  son eficiencias del estator y del rotor Teniendo en cuenta:

$$\eta_2 = \frac{P_2}{P_{elmag}} = \frac{P_{elmag} - \Delta P_{el2} - \Delta P_{fric} - \Delta P_{adic}}{P_{elmag}} \quad (2.11)$$

entonces es válida la siguiente relación:

$$\eta_2 \leq \frac{P_{elmag} - \Delta P_{el2}}{P_{elmag}} \leq \frac{P_1 - \Delta P_{el2}}{P_{elmag}} \leq (1 - S) \quad (2.12)$$



Por lo tanto:

$$\eta \leq \eta_2 \leq (1 - \mathcal{S}) \quad (2.13)$$

Del análisis realizado se puede concluir lo siguiente: Para que un motor funcione en su régimen nominal con una alta eficiencia, es necesario que en este régimen se tenga un deslizamiento  $s$  de pequeña magnitud. Por lo general  $\mathcal{S}_{nom} = 0,01 - 0,06$ , para ello el devanado del rotor lo diseñan de tal forma que tenga una resistencia óhmica pequeña.

## 2.7. Mantenimiento

Para Moubray, J (1997), “el mantenimiento significaba Acciones dirigidas a asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas” [21].

Tomando en cuenta lo señalado por la Norma COVENIN 3049-93 (2001), mantenimiento: “Es el conjunto de acciones que permiten conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico, para que pueda cumplir con un servicio determinado” [22].

A partir de los criterios formulados por los autores citados, en relación al concepto de mantenimiento, se puede definir como el conjunto de actividades que se realizan a un sistema, equipo o componente para asegurar que continúe desempeñando las funciones deseadas dentro de un contexto operacional determinado. Su objetivo primordial es preservar la función, las buenas condiciones de operatividad, mejorar el rendimiento y aumentar el periodo de vida útil de los activos, preocupando una inversión óptima de los recursos.

### 2.7.1. Gestión de Mantenimiento

La gestión de mantenimiento está centrada en el manejo de las variables relacionadas con todo lo que es el control y operación de los elementos que constituyen un sistema productivo, una gestión adecuada de mantenimiento, proporciona los siguientes beneficios para la industria.

---



- ⚡ Confiabilidad en el cumplimiento de las metas de producción.
- ⚡ Estandarización de la calidad de los productos.
- ⚡ Reducción de los costos ocasionados por fallas.
- ⚡ Optimización del costo total de mantenimiento.
- ⚡ Disminución del producto no conforme.
- ⚡ Mejor uso de los recursos disponibles.
- ⚡ Disminución de condiciones de riesgo y accidentes.
- ⚡ Prolongación de la vida útil de equipos y máquinas.
- ⚡ Optimización de los tiempos de producción.
- ⚡ Aumento de la productividad de la planta.

## 2.8. Eficiencia Energética

En líneas generales, la eficiencia energética puede definirse como la reducción del consumo de energía de los sistemas, manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir los estándares de calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento, fomentando la sensibilización y comportamientos de uso racional.

La reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, sin afectar el volumen de actividad. Uno de los parámetros que determinan la correlación entre consumo de energía y crecimiento económico es la evolución de la intensidad energética, indicador general que señala la relación entre consumo de energía y Producto Interior Bruto (PIB) [23].

La energía se obtiene a partir de las fuentes de energía y las cantidades disponibles de dichas fuentes es lo que se denominan recursos energéticos. El carácter limitado o ilimitado de

---



dichas fuentes nos permite diferenciarlas y valorarlas en términos de sostenibilidad, partiendo de la evidencia de que la atmósfera está alcanzando su límite medioambiental y de que el consumo energético sigue creciendo, con zonas del planeta en pleno desarrollo demandando su equiparación energética con el mundo desarrollado.

Entre las causas del alto consumo de energía se puede apreciar aumento del nivel de vida y de confort, gran dependencia energética, incremento de la población mundial. La emisión constante a la atmósfera de los denominados gases de efecto invernadero contribuyendo al tan anunciado cambio climático donde el incremento de las temperaturas y su influencia en otros factores del clima traen como consecuencia efectos graves para los habitantes del planeta y la conservación de los actuales ecosistemas.

En el sector industrial la eficiencia energética tiene por objeto reducir costos de producción, contribuir al cumplimiento de las exigencias ambientales, disminuir la dependencia energética y mejorar la competitividad global, incorporando una gestión eficiente de la energía.

Un uso eficiente de la energía es una tarea prioritaria, porque la amenaza del cambio climático global y otros problemas ambientales son serios. La eficiencia energética no es sólo cuestión de poseer las últimas tecnologías, sino de saber emplear y administrar los recursos energéticos disponibles de un modo hábil y eficaz, lo que se requiere desarrollar procesos de gestión de energía.

En Venezuela, las normas regulatorias que rigen expresadas en la Constitución de la República Bolivariana, inicia el compromiso de actuación en materia de eficiencia energética en el artículo 106, que establece que “El Estado atenderá a la defensa y conservación de los recursos naturales de su territorio, y la explotación de los mismos estará dirigida primordialmente al beneficio colectivo de los venezolanos”. La disposición constitucional precedente, obliga a la preservación de los recursos naturales que son patrimonio de la colectividad y la colectividad en su conjunto está interesada en sus derechos innominados, en que la producción y el uso de la energía sea sustentable en beneficio de la conservación del ambiente.

---



En el campo específico del servicio público nacional de electricidad, se encuentran vigentes las “Normas para la Regulación del Sector Eléctrico”, contenidas en el Decreto N° 1.558, de fecha 30 de octubre de 1996, publicado en la Gaceta Oficial N° 36.085 de fecha 13 de noviembre de 1996, varias de cuyas disposiciones aluden en alguna forma al concepto de uso eficiente de la energía, como se muestra en el artículo 4. Parágrafo f) Eficiencia: la correcta asignación y utilización de los recursos, que garantice la prestación del servicio al menor costo posible. Y en el artículo 22. Parágrafo h) El ahorro y la eficiencia energética, tanto en la oferta como en la demanda” [23]. De igual forma, la política energética considera la relación existente entre protección ambiental, aprovechamiento racional de los recursos energéticos, defensa de los derechos e intereses de los consumidores y uso eficiente de la energía.

## **2.9. Evaluación Técnica Económica**

La evaluación se considera como el medio a través del cual, se provee información relevante para discernir sobre la toma de decisiones. Describe la factibilidad, conveniencia y confiabilidad de realizar un proyecto, estimando el beneficio de acuerdo a algunos criterios, planteando las correspondientes recomendaciones. En palabras de Sapag y Sapag (2003) [24], “Se entiende como el instrumento o herramienta que provee información a quien debe tomar decisiones”(p. 4). En base a los criterios establecidos, se distinguen los siguientes tipos de evaluaciones: Técnica, institucional, financiera, económica y social. En el caso de estudio, se describe la factibilidad planteada a través de los tipos de evaluación técnica y económica.

### **2.9.1. Factibilidad Técnica**

Comprende los aspectos relacionados con las características técnicas, funcionamiento y operatividad de los sistemas, en el marco de los objetivos propuestos, cumplimiento de normas y regulaciones. Analizando las distintas alternativas, condiciones tecnológicas actuales y propuestas de mejoras, compatibles con la disponibilidad de recursos e insumos del área de

---



incidencia, al menor costo posible. Según Sapag y Sapag (2003) [24] “ determina la función óptima para la utilización eficiente y eficaz de los recursos disponibles para la producción del bien o servicio deseado” (p. 6).

### **2.9.2. Factibilidad Económica**

Comprende los aspectos relacionados con la medida de la eficacia de los costos asociados a un proyecto, idea, solución o alternativa, comparando los beneficios proyectados asociados a una decisión de inversión. Analizando objetiva y cuantitativamente la posibilidad de que los costos puedan ser cubiertos oportunamente, dilucidando la conveniencia de inversión y midiendo la rentabilidad, a través de los métodos del Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). En palabras de Luna, R. (1999) [25] “los recursos siempre son limitados, es necesario tomar una decisión; sobre la base de evidencias y cálculos correctos, de manera que se tenga mucha seguridad de que el negocio se desempeñará correctamente y que producirá ganancias”. En la presente investigación la factibilidad económica se determinará a través del cálculo del valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y la relación costo-beneficio de las alternativas de optimización técnicamente factibles.

#### **Método del Valor Actual Neto (VAN)**

Se define como la determinación del valor actual de los flujos de caja que se esperan en el transcurso de la inversión, tanto de los flujos positivos como de las salidas de capital, incluyendo la inversión inicial, representadas con signo negativo, mediante su descuento a una tasa o costo de capital adecuado al valor temporal del dinero y al riesgo de la inversión. Según este criterio, es recomendable realizar aquellas inversiones cuyo valor actual neto sea positivo. El (VAN) es calculado a través del flujo de caja actual, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Baca, U. G. (2001) [26], lo define como “el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados de la inversión inicial”. A fin de descontar los flujos de caja proyectados para determinar si la inversión en las alternativas proyectadas rinde mayores

---



beneficios, a una tasa de interés predeterminada, durante el tiempo estimado. El flujo de caja, presupuesto de caja o flujo de fondos, consiste en un esquema que presenta sistemáticamente los ingresos y egresos de efectivo registrados durante un período determinado; permitiendo el análisis financiero correspondiente, que sirve para conocer la capacidad de pago de la empresa. Matemáticamente el (VAN) se expresa de la forma siguiente:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{B_n}{(1+i)^n} - C \quad (2.14)$$

Donde;

$B_n$ : Es el beneficio neto total actualizado.

$C$ : Es el costo del proyecto, es decir, la inversión.

$i$ : Es la tasa de interés predeterminada (costo de capital).

$n$ : Es el número de años de vida del proyecto.

### Método de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como la tasa de interés, con la cual, el valor actual neto (VAN) es igual a cero. En otras palabras, es la tasa de interés por medio de la cual se recupera la inversión. Para que un proyecto se considere rentable, la (TIR) debe ser superior al costo del capital empleado. Para Bodie y Merton (2003) [27] “La (TIR) o rendimiento al vencimiento, es la tasa de descuento que hace que el valor presente de las entradas futuras de efectivo sea igual al desembolso requerido”. Matemáticamente la (TIR) se expresa de la forma siguiente:

$$\sum_1^n \frac{B_n}{(1+i)^n} - C = 0 \quad (2.15)$$

Donde;

$B_n$ : Es el beneficio neto total actualizado.

$C$ : Es el costo del proyecto, es decir, la inversión.

---



$i$ : Es la tasa de interés predeterminada (costo de capital).

$n$ : Es el número de años de vida del proyecto.

## Relación Costo-Beneficio

Este coeficiente puede definirse como el cociente entre el valor actualizado del flujo de beneficios y el valor actualizado del flujo de costos. Al aplicar la relación *Beneficio/Costo*, es importante determinar las cantidades que constituyen los ingresos llamados o beneficios y las cantidades que constituyen los egresos o costos. La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada bolívar invertido. Los ingresos y los egresos deben ser calculados utilizando el (VAP).

Igualmente Bodie y Merton (2003) [27] refieren que “El costo-beneficio es un razonamiento basado en el principio de obtener los mayores resultados al menor esfuerzo invertido, tanto por eficiencia técnica como por motivación humana”. Matemáticamente se expresa de la forma siguiente:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_1^N \frac{I_n}{(1+i)^n}}{\sum_1^N \frac{E_n}{(1+i)^n}} \quad (2.16)$$

Donde;

$I_n$ : Es el ingreso neto anual.

$E_n$ : Es el egreso neto anual.

$i$ : Es la tasa de actualización

$n$ : Es el número de años de vida del proyecto.



## Período De Recuperación De La Inversión (PRI)

Es un indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como también el riesgo relativo pues permite anticipar los eventos en el corto plazo. Este instrumento permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

Las principales desventajas que presenta este indicador son las siguientes: Ignora los flujos netos de efectivo más allá del período de recuperación; los proyectos a largo plazo pueden ser más rentables que los proyectos a corto plazo; ignora el valor del dinero en el tiempo cuando no se aplica una tasa de descuento o costo de capital.

## 2.10. Diagramas de Pareto

Es una herramienta que se utiliza para priorizar los problemas o las causas que los generan.

Se recomienda el uso del diagrama de Pareto:

- ⚡ Para identificar oportunidades para mejorar
  - ⚡ Para identificar un producto o servicio para el análisis de mejora de la calidad.
  - ⚡ Cuando existe la necesidad de llamar la atención a los problemas o causas de una forma sistemática.
  - ⚡ Para analizar las diferentes agrupaciones de datos.
  - ⚡ Al buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones
  - ⚡ Para evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso comparando sucesivos diagramas obtenidos en momentos diferentes, (antes y después)
  - ⚡ Cuando los datos puedan clasificarse en categorías
-



- ⚡ Cuando el rango de cada categoría es importante
- ⚡ Para comunicar fácilmente a otros miembros de la organización las conclusiones sobre causas, efectos y costes de los errores.

Los propósitos generales del diagrama de Pareto:

- ⚡ Analizar las causas
- ⚡ Estudiar los resultados
- ⚡ Planear una mejora continua

La Gráfica de Pareto es una herramienta sencilla pero poderosa al permitir identificar visualmente en una sola revisión las minorías de características vitales a las que es importante prestar atención y de esta manera utilizar todos los recursos necesarios para llevar a cabo una acción de mejora sin malgastar esfuerzos ya que con el análisis descartamos las mayorías triviales. Éstos diagramas son muy importantes para el desarrollo de la investigación [28].

## 2.11. Metodología De Auditorías Energéticas

### 2.11.1. Etapas de una Auditoría Energética

La auditoría de edificios es una herramienta de diagnóstico y gestión que trata, precisamente, de cuantificar los parámetros que nos permiten optimizar los costes económicos y conseguir un buen funcionamiento de las instalaciones.

En esta sección vamos a tratar de establecer un proceso sistemático, riguroso y a la vez sencillo del análisis de un edificio una vez éste ha sido ocupado. La realización periódica de una auditoría es también una oportunidad de desarrollo organizativo, es decir, que no es solamente un ejercicio técnico para la evaluación de las instalaciones, sino que también es una herramienta de gestión que permite una sistematización y conocimiento continuo del

---



funcionamiento del edificio, y así poder llegar a evaluar el progreso del edificio hacia los objetivos marcados por la organización.

Debido a la gran importancia de estas acciones para los edificios vamos a crear una metodología sencilla y general para todo tipo de edificios. Esta metodología posee cinco etapas, cada una de ellas con distintas subdivisiones[29].

### **2.11.2. Primera Etapa: Recogida de Datos y Planificación de la Auditoría**

En esta primera etapa reuniremos toda la información posible sobre el edificio, tanto de los aspectos constructivos como de los sistemas energéticos que posee. También realizaremos en esta primera parte una planificación de todas las acciones a llevar a cabo durante esta auditoría[29]. A continuación presentaremos las diferentes subfases de las que consta esta primera parte:

#### **Entrevista con los Responsables del Edificio y Recogida de Informaciones Relacionadas con el Edificio.**

Esta fase es sólo un primer encuentro con los responsables del edificio, pero que podrá repetirse si surge alguna duda por parte de los auditores o si así los desean los responsables del edificio para conocer la situación de la auditoría. Conviene en este aspecto hacérselo notar a los auditores y fijar, si es posible entre todos, el día de la siguiente cita o, por el contrario, ya la fecha, aproximada, de entrega del informe preliminar de la auditoría. También conviene fechar la visita al edificio por parte de los auditores, porque la inspección visual de todo el inmueble es también una parte muy importante de la auditoría. Esta reunión tratará de recoger la mayor parte de las informaciones relacionadas con el edificio, así como cualquier otra información que se considere interesante relacionada con la auditoría energética que vamos a realizar[29].

---



## **Planificación de la Auditoría.**

Con la información obtenida en la reunión preliminar, ya podemos tener una visión bastante aproximada de las dimensiones del edificio, de los sistemas que posee y de sus características. Por lo tanto, esta fase consiste en realizar un plan de trabajo lo más completo posible incluyendo los alcances reales del estudio, cronogramas con las tareas a realizar y el tiempo aproximado que nos va a llevar, etc. Es muy útil, también, prever la instrumentación que nos podría hacer falta a lo largo de la auditoría y comprobar que la tenemos al alcance, así como que esté en buenas condiciones de utilización. Si no la tenemos a nuestra disposición o no está en condiciones de utilización, buscaremos la forma de conseguirla. En esta planificación conviene tener en cuenta todos los imprevistos que pudieran surgir durante el proceso de ejecución, así como los distintos caminos que seguiríamos en función de los resultados que se vayan obteniendo[29].

## **Inspección Visual.**

Para llevar a cabo esta etapa tenemos que visitar el edificio en cuestión e inspeccionar todos los aspectos relacionados con el estudio que vamos a realizar. Se trata, al fin y al cabo, de apreciar el estado de los edificios y de sus instalaciones. Este paso suele ser muy útil, ya que nos puede dar una idea general de la situación que puede tener el edificio[29].

## **Simulación.**

Esta subetapa sólo la podremos realizar si poseemos un software adecuado para la simulación. No es una fase obligatoria, pero sí que es muy recomendable y útil[29].

## **Cuestionario a los Usuarios u Ocupantes del Edificio y/o al Personal de Mantenimiento.**

El cuestionario a los usuarios del edificio nos da una valiosa información sobre los aspectos estudiados y también sobre el confort térmico y calidad ambiental del edificio. Para realizar

---



el cuestionario al personal de mantenimiento se actuará de forma similar al realizado a los usuarios. Obtendremos una información complementaria de los sistemas y del edificio en general[29].

### **Informe preliminar.**

En esta fase se analizarán todas las informaciones obtenidas de las etapas anteriores y se elaborará un informe con las conclusiones e informaciones más relevantes conseguidas hasta este momento. Esta documentación se enviará a los responsables del edificio junto con las siguientes acciones que se realizarán y que serán consecuencia de los datos recogidos[29].

### **2.11.3. Segunda Etapa: Medidas Experimentales**

En esta fase realizaremos las medidas que hayamos considerado convenientes en función de los resultados obtenidos en la fase anterior de recogida de información. También realizaremos otras medidas para obtener una certificación o para seguir las recomendaciones de diversas directivas o decretos legales aprobados[29].

### **2.11.4. Tercera Etapa: Diagnóstico de la Situación del Edificio**

#### **Diagnóstico del Edificio.**

En esta etapa de nuestro modelo de auditoría se realizarán los cálculos necesarios, con los valores obtenidos en la etapa anterior y las informaciones recogidas en la primera etapa, para obtener los valores finales que nos interesa y/o para comprobar si estamos o no dentro de la normativa que concierne a esos parámetros. Debe, por lo tanto, tener en cuenta toda la normativa, Directivas y Reales Decretos aparecidos hasta esa fecha relacionados con el tema de la auditoría antes de dar su diagnóstico[29].

---



### **2.11.5. Cuarta Etapa: Análisis para la Mejora del Comportamiento del Edificio**

En esta etapa los auditores proporcionarán una serie de medidas para solucionar los comportamientos inadecuados del edificio o de sus componentes. Lo acompañarán de un estudio completo sobre su viabilidad económica y medioambiental en el supuesto caso de que se vea afectado[29]. Esta fase se puede dividir en:

#### **Análisis para la Mejora del Comportamiento del Edificio**

Ésta es la subetapa en la que el auditor debe dar solución a los problemas o comportamientos incorrectos que haya podido observar en el edificio o en sus instalaciones en base a los resultados obtenidos a lo largo de todo el proceso. Estas mejoras deberán ir acompañadas de las propuestas sobre mejoras de optimización energética. También debe realizarse un estudio sobre el impacto ambiental que produciría cada una de esas mejoras[29].

#### **Viabilidad de las Mejoras.**

Se realizará, en este apartado, un estudio completo de cada una de las medidas propuestas por el auditor. Consistirá en el coste económico y un estudio de rentabilidad económica (VAN, TIR, etc.). Como nota, decir que a la hora de presentar todas estas medidas correctivas a la empresa auditada (próxima etapa), conviene presentarlas de mayor a menor coste e indicar las mejoras conseguidas con cada una de ellas[29].

### **2.11.6. Quinta etapa: resultados finales**

#### **Edición del Informe de la Auditoría.**

estudio. Este informe constará, primero, de las condiciones generales de la auditoría energética, de una introducción teórica sobre el tema auditado acompañado de las diversas normativas o directivas relacionadas. A continuación se puede describir el estado actual del

---



edificio y de sus componentes junto con fotografías tomadas del mismo para constatar su situación. Después se expondrá la situación del edificio documentada con todas las informaciones recogidas tanto en la fase de recogida de información, como en la obtenida con las medidas experimentales y los cálculos realizados a partir de ellas. Se incluirán las medidas preventivas y correctoras sugeridas por el auditor junto con un estudio completo sobre ellas y su viabilidad económica, conviene presentarlas de mayor a menor coste. Como documentos finales añadiremos el decálogo de confidencialidad seguido en la auditoría y los diversos anexos considerados importantes para los auditores para explicar conceptos que no hayan quedado claros en el informe, como pueden ser definiciones. Una vez editado el informe se entregará a los responsables del edificio que formularán las dudas que les surjan, y con ello finalizaremos nuestra auditoría energética[29].

## **2.12. Herramientas para análisis de Eficiencia Energética**

Para poder caracterizar energéticamente una empresa, se utilizan las siguientes herramientas:

### **2.12.1. Diagrama de Dispersión y Correlación**

Es un gráfico que muestra la relación entre 2 tipos de datos. Su objetivo es mostrar la correlación, positiva o negativa existente entre 2 variables en un gráfico  $(x, y)$ .

#### **Utilidad del Diagrama de Dispersión**

Muestra con claridad si los componentes de un indicador de control están correlacionados entre sí y, por tanto, si el indicador es válido o no. Permite establecer nuevos indicadores de control de consumos o costos energéticos. Permite determinar la influencia de factores

---



cuantitativos productivos de la empresa sobre los consumos energéticos y establecer variables de control.

### 2.12.2. Gráficos de Control

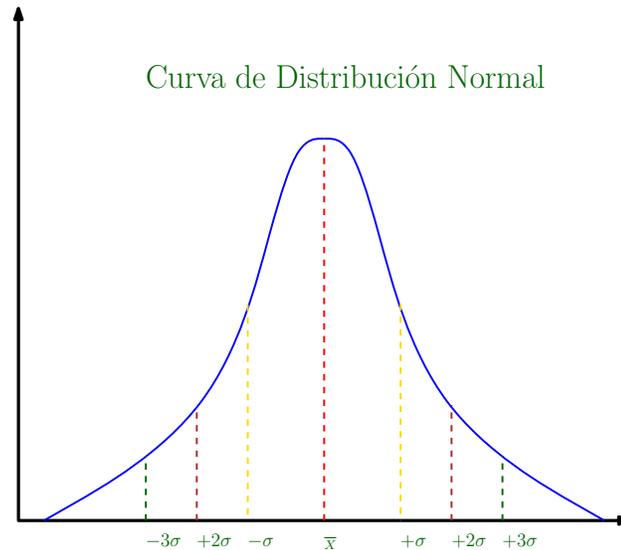
Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles como complemento a los diagramas causa y efecto, para detectar en cuales fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio  $\bar{x}$  del parámetro de salida muy probable de obtener, y a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar ( $3 \cdot \sigma$ ) del valor medio (Ver figura 2.6). Este comportamiento (que debe probarse en caso que no exista seguridad que ocurra) permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influyan en desviaciones del parámetro de salida controlado.

El gráfico consta de la línea central y las línea límites de control. Los datos de la variable cuya estabilidad queremos evaluar se sitúan sobre el gráfico. Si los puntos situados se encuentran dentro de los límites de control superior e inferior, entonces las variaciones proceden de causas aleatorias y su comportamiento es estable. Los puntos fuera de los límites tienen una pauta de distribución anormal y significa que la variable tuvo un comportamiento inestable. Investigando la causa que provocó la anomalía y eliminándola se hace estable el proceso.

#### Utilidad de los Gráficos de Control

- ⚡ Conocer si las variables evaluadas están bajo control o no.
  - ⚡ Conocer los límites en que podemos considerar la variable bajo control.
-



**Figura 2.6:** Gráfico de Distribución Normal

- ⚡ Identificar los comportamientos que requieren explicación e identificar las causas no aleatorias que influyen en el comportamiento de los consumos.
  
- ⚡ Conocer la influencia de las acciones correctivas sobre los consumos o costos energéticos.

### 2.12.3. Gráfico de Consumo - Producción (E Vs. P)

Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo. El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse al nivel de empresa, área o equipos.

Para las plantas típicas, realizar un gráfico de la energía usado por mes u otro período de tiempo con respecto a la producción realizada en ese mismo período revela importante información sobre la eficiencia del proceso.

El gráfico se realiza por tipo de portador energético y para la producción asociada al gasto del portador.



## Utilidad del Gráfico de Consumo - Producción (E VS P)

- ⚡ Determinar en que medida la variación de los consumos energéticos se debe a variaciones de la producción.
- ⚡ Mostrar si los componentes de un indicador de consumo de energía están correlacionados entre sí, y por tanto, si el indicador es válido o no
- ⚡ Determinar cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción.
- ⚡ Identificar el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.
- ⚡ Establecer nuevos indicadores de consumos o costos energéticos.

## 2.13. Criterio para el Análisis

Los criterios son empleados para el calculo energético en Chrysler de Venezuela LLC. En la tabla 2.4 se muestra un resumen.

**Tabla 2.4:** Criterios de Análisis

| Descripción                                   | Formula                              | Valor | Unidad            |
|---|--------------------------------------|-------|-------------------|
| Horas laborales al día                        | -                                    | 10    | [Hrs]             |
| Días laborales al año                         | $DLA = [dias/mes] \cdot [meses/ano]$ | 205   | [días]            |
| Horas laborales al año                        | $HLA = [dias/ano] \cdot [horas/dia]$ | 2050  | [Hrs]             |
| Horas laborales al mes                        | -                                    | 170   | [Hrs-Prome]       |
| Costo de Energía                              | -                                    | 0,59  | [Bs/kWh]          |
| Costo por Demanda                             | -                                    | 16,64 | [Bs/KVA]          |
| Factor de Potencia                            | -                                    | 0,8   | -                 |
| Emisión en <i>kg</i> de $CO_2$ por <i>kWh</i> | -                                    | 0,209 | [Kg- $CO_2$ /kWh] |



### 2.13.1. Tipos de Cálculos

Consumo eléctrico de los equipos y componentes del sistema de iluminación:

$$Energia_{Consumida} = Capacidad_{instalada}(kW) \cdot tiempo_{deuso}(horas) \quad (2.17)$$

Consumo eléctrico de los equipos refrigerantes del sistema de climatización:

$$Energia_{Climatizacion} = \sqrt{3} \cdot Voltaje(V) \cdot Ampere(A) \cdot fp \cdot tiempo_{deuso}(horas) \quad (2.18)$$

Consumo eléctrico de los equipos de maquinas rotóricas:

$$Energia_{Motores} = \sqrt{3} \cdot Voltaje(V) \cdot Ampere(A) \cdot fp \cdot tiempo_{deuso}(horas) \quad (2.19)$$

Consumo eléctrico de los equipos del sistema de aire comprimido:

$$Energia_{A/Comprimido} = \sqrt{3} \cdot Voltaje(V) \cdot Ampere(A) \cdot fp \cdot tiempo_{deuso}(horas) \quad (2.20)$$

Consumo eléctrico de los equipos de oficinas:

$$Energia_{EquiposOficina} = Capacidad_{instalada}[kW] \cdot tiempo_{deuso}[horas] \quad (2.21)$$

Estimación de Kg de CO<sub>2</sub> por kWh/año [30]:

$$Emision_{CO_2} = Consumo[kWh/año] \cdot 0,209[Kg/kWh] \quad (2.22)$$

---





---

## CAPÍTULO III

# MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo Proyectiva, tomando como referencia los señalamientos de Hurtado, J. (2000):

...consiste en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, institución, o región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras, es decir, con base en los resultados de un proceso investigativo [31].

Asimismo se determinó la factibilidad técnico-económica de la implementación del programa de eficiencia energética en el sistema eléctrico de Chrysler de Venezuela LLC, seguidamente se identificó las alternativas para la reducción del consumo de energía, ahorro de costos y minimización del impacto ambiental asociado a los gases generados por la empresa que contribuyen al efecto invernadero. En esta Investigación, los eventos de estudio están planteados como:

- ⚡ **Evento a modificar:** Implementación de un programa de Eficiencia energética del sistema eléctrico de Chrysler de Venezuela LLC, mediante la evaluación de la factibilidad técnico-económica.
  
  - ⚡ **Proceso causal o proceso generador:** Las variables que inciden sobre el consumo de energía eléctrica, los costos de operación y de mantenimiento, precisando las causas que dan origen a las condiciones técnicas y operativas.
-



## 3.2. Diseño de la Investigación

Este proyecto fue apoyado en una investigación de campo tipo descriptiva, debido a que se parte de una observación previa para la detección del problema y de su posible solución. Igualmente se basó en un diseño documental, porque se utilizaron referencias bibliográficas y trabajos especiales de grado, que sirvieron para respaldar aspectos afines a la investigación, con la intención de ampliar los conocimientos sobre el problema planteado, en la aplicación de bases teóricas y en lineamientos metodológicos. Éstas estrategias conducen a proponer soluciones a la problemática planteada.

Para sustentar lo antes expuesto, Sabino (1992) define la investigación de campo como “los métodos a emplear cuando los datos de interés se recogen en forma directa de la realidad, mediante el trabajo concreto del investigador y su equipo” [32].

Según el Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestría y Tesis Doctorales (1998) la investigación de campo está sustentada en el análisis sistemático de problemas de la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de la investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad, en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios [33].

Por su parte, Tamayo y Tamayo (1985), “la investigación descriptiva consiste en la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o naturaleza de fenómenos” [34].

## 3.3. Población

La Población está referida al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan. Al respecto, Tamayo y Tamayo (1997) define la población como “la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades poseen una característica común, la cual se

---



estudia y da origen a los datos de la investigación” [35]. Para Arias, F (2006). “...población es un conjunto finito o infinito de los elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” [36]. En la presente investigación, la población objeto de estudio es de tipo finita, debido a que se conoce el número de elementos que la conforma, la población estará conformada por las áreas de producción (Electropunto, Pintura y Tapicería-Chasis-Línea Final)y las oficinas administrativas de la Empresa de Chrysler de Venezuela LLC.

### **3.4. Muestra**

Hernández y otros (1997), exponen que la muestra es “.. un subgrupo de elementos que pertenecen a ese grupo definido en sus características al que se llama población” [37], de otra forma, la muestra es una pequeña porción de una población, la cual será objeto de una serie de estudios que serán útiles para el desarrollo de la investigación que se realizó. La muestra en estudio para el desarrollo de la presente investigación estuvo conformada por los sistemas de iluminación, sistemas de climatización, motores, equipos de oficinas (computadores), sistemas de aire comprimido, sistemas de refrigeración en la planta ensambladora Chrysler de Venezuela LLC.

### **3.5. Técnicas de Recolección de Datos**

Las técnicas para recolectar datos son las distintas formas de obtener o recabar la información necesaria para elaborar este proyecto. Arias, F (1999) afirma que “.. las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información” [38]. Las técnicas que se utilizaron para la recopilación de datos fueron las siguientes:

---



### 3.5.1. Observación Directa

Según Tamayo y Tamayo (1997), observación directa es la más común de las técnicas de investigación, la observación sugiere y motiva los problemas, conduce a las necesidades de sustentación de datos. La palabra observación hará referencias especialmente a la percepción visual y se emplea para indicar toda la forma utilizada para el registro de las respuestas tal como se presentan en nuestros sentidos [35].

Esta técnica, permite al investigador obtener de una manera precisa y veraz los datos que se necesitan para dar a conocer, entender y comprender alguna situación en un momento y lugar determinado, el valor principal de la información recabada mediante observaciones propias es que provienen directamente de la fuente, la percepción visual permitirá percibir la realidad de los hechos en el sitio.

### 3.5.2. Entrevistas Informales no Estructuradas

Las entrevistas informales no estructuradas se aplicarán a los empleados de la Empresa. Haciendo referencia a la entrevista informal, Cerro y Bervian (1980) plantean que “.. no es una simple conversación informal, es una conversación orientada hacia un objeto definido: recoger a través de preguntas al informante, datos para la investigación” [39].

El formato de entrevista se ubica en el Apéndice C.

### 3.5.3. Análisis Documental y de Contenido

Esta técnica permitirá al investigador despejar dudas y responder las posibles interrogantes que se presentaron durante la investigación.

Evidentemente existen medios materiales que se emplean para recolectar y almacenar la información, estos son conocidos como instrumentos, Arias, F (1999), los define como “medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información” [38], de los cuales serán utilizados en esta investigación los siguientes:



## Notas de Campo

Consisten en anotar sin la presencia del informante las situaciones, hechos, experiencias relevantes al objeto de estudio. Según Taylor y Bodgan (1986), las notas de campo “proporcionan los datos que se utilizan como materia prima de la observación participante, las cuales hay que esforzarse por redactarlas más precisas, completas y detalladas” [40].

Los instrumentos utilizados para las notas de campo se aprecian en el Apéndice C.

## Registros Estadísticos

Permiten organizar y resumir la presentación, además de analizar los datos o hechos presentes en una evaluación numérica.

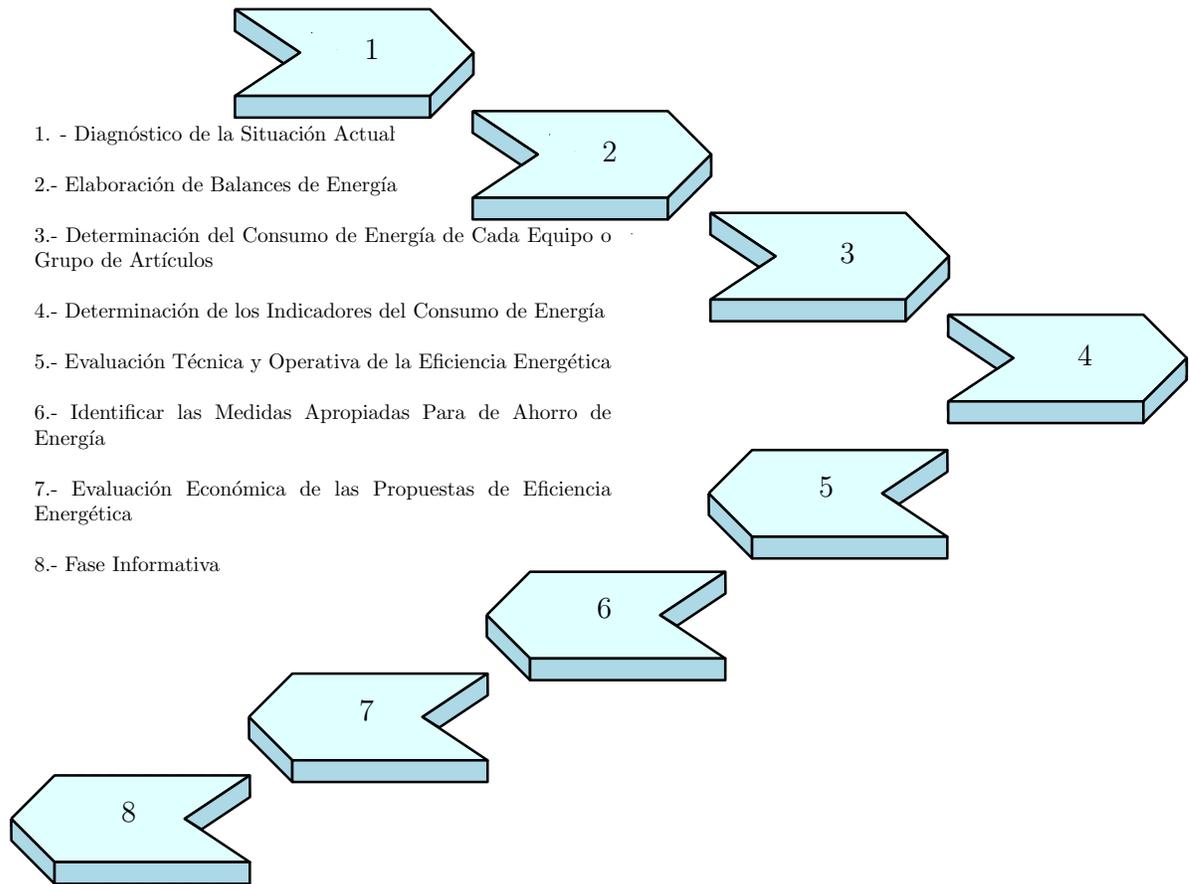
## Diagramas de Pareto

Permiten identificar de forma visual al elemento importante, para priorizar los problemas o las causas que los generan las pérdidas de energía en diferentes procesos.

## 3.6. Desarrollo de la Investigación

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en una serie de pasos que se basan en el modelo de auditoría energética, la cual es una herramienta de diagnóstico y gestión que trata, precisamente, de cuantificar los parámetros que permiten optimizar los costes económicos y conseguir un buen funcionamiento de las instalaciones. En la figura 3.1 se muestran los pasos de la metodología usada en esta investigación la cual fue adaptada mediante un proceso de selección de varios trabajos realizados [41, 29, 42, 8] en el estudio de la eficiencia energética.

---



**Figura 3.1:** Diagrama de Desarrollo de la Investigación



### **3.6.1. Diagnóstico de la Situación Actual**

El Diagnóstico de la situación actual se desarrolló mediante la observación directa, con el objetivo de recabar la información básica sobre las fuente de energía, los procesos productivos, áreas principales, horas de operación y el historial de las facturas. Estas acciones se ejecutaron con el objeto de realizar un informe de las variables que inciden sobre el consumo de energía eléctrica, y así precisar las causas que dan origen a las condiciones técnicas y operativas que permitirán aplicar una estrategia y dar soluciones a la problemática existente.

Esta etapa se ajusta con la Primera Etapa de la Metodología De Auditorías Energéticas en Edificios, expuesta en el Capítulo II.

### **3.6.2. Elaboración de Balances de Energía**

Se elaboraron balances de energía con el objeto de conocer la distribución de la energía eléctrica en las diferentes áreas del proceso, es decir, obtener información referida a la incidencia de cada grupo de equipo en el consumo de la energía eléctrica de la empresa Chrysler de Venezuela LLC. Este procedimiento consiste en la toma de datos de los equipos y la recolección de los registros y mediciones puntuales de cada uno de ellos.

La Segunda Etapa de la Metodología De Auditorías Energéticas en Edificios, del Capítulo II, se adapta con ésta etapa.

### **3.6.3. Determinación del Consumo de Energía de Cada Equipo o Grupo de Artículos**

Se determinó el consumo de energía de diferentes equipos eléctricos en torno al consumo total de energía en Chrysler de Venezuela, y se clasificaron en los siguientes grupos: Sistemas de Iluminación, Sistemas de Climatización, Sistemas de Aire Comprimido, Motores, Misceláneos o Equipos de Oficinas (computadores) y Sistemas de Enfriamiento.

---



### **3.6.4. Determinación de los Indicadores del Consumo de Energía**

En esta etapa se busca determinar posibles anomalías en el comportamiento de los consumos a través del tiempo comparando producciones y consumos pasados con los actuales o los más recientes, identificando mejoras o desaciertos en las políticas productivas y energéticas tomadas en el pasado.

### **3.6.5. Evaluación Técnica y Operativa de la Eficiencia Energética**

En esta etapa se realizaron los cálculos necesarios, con los valores obtenidos y las informaciones recogidas en las etapas anteriores, para obtener los valores finales que nos interesa y/o para comprobar si se cumple con la normativa que concierne a esos parámetros [29].

Esta etapa corresponde a la Tercera Etapa de Metodología De Auditorías Energéticas en Edificios, expuesta en el Capítulo II.

### **3.6.6. Identificar las Medidas Apropriadas Para Ahorro de Energía**

Este procedimiento se realiza para saber cuáles pueden ser los programas a seguir a la hora de realizar el ahorro de energía eléctrica en cada sector en el sistema en su totalidad. En esta fase se dan las posibles medidas aplicables para disminuir el consumo energético. También se realiza un estudio sobre el impacto ambiental que produce cada una de esas mejoras.

Esta etapa corresponde a la sección del Capítulo II, la Cuarta Etapa (Análisis para Mejorar el Comportamiento Energético del Edificio.) de la Metodología De Auditorías Energéticas en Edificios.

---



### **3.6.7. Evaluación Económica de las Propuestas de Eficiencia Energética**

Para finalizar con el estudio en esta fase se llevó a cabo una evaluación económica que permita realizar un análisis en función de los desembolsos requeridos para poner en práctica las recomendaciones del estudio de la eficiencia energética.

La Cuarta Etapa (Viabilidad de las Mejoras) de la Metodología De Auditorías Energéticas en Edificios, se adapta a dicha medida en estudio.

### **3.6.8. Fase Informativa**

Teniendo como base las conclusiones y recomendaciones de la auditoría energética, se elabora y difunde el informe final. Efectuado un programa de acciones con las cuales se pondrá en práctica dichas conclusiones y recomendaciones. Los resultados de la auditoría energética deben ser conocidos por el personal de la Empresa Chrysler de Venezuela LLC para que se cree un ambiente de motivación y educación.

Esta etapa se ajusta con la Última Etapa de la de Metodología De Auditorías Energéticas en Edificios.

---





---

## CAPÍTULO IV

# DISEÑO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo hace referencia precisamente a todos y cada uno de los resultados obtenidos a través de la aplicación de las técnicas e instrumentos de recolección de datos necesarios para el cumplimiento de los objetivos, además de lo obtenido una vez desarrollada cada una de las fases descritas en el capítulo III.

Para que los datos recolectados tengan significado dentro de la presente investigación, es necesario organizarlos y analizarlos para dar respuestas a los objetivos planteados en el estudio, posteriormente se manifiestan los principales hallazgos, enlazándolos de forma directa con las bases teóricas que apoyan la misma.

El análisis involucra el establecimiento de categorías, la jerarquización y manipulación de datos; para resumirlos y poder obtener resultados en función de las interrogantes de la investigación. Por consiguiente, este proceso tiene como último fin, reducir los datos de una manera comprensible, para poder interpretarlos, y poner a prueba algunas relaciones de los problemas estudiados. Tal como lo refieren Selltiz, Jahoda y otros (1996), “El propósito del análisis es resumir las observaciones llevadas a cabo de forma tal que proporcionen respuestas a las interrogantes de investigación”(p.430) [43].

### 4.1. Diagnóstico de la Situación Actual

La estructura de Chrysler de Venezuela LLC es la siguiente:

⚡ Al Norte están ubicadas las oficinas de finanzas, presidencia, sindicato, caja de ahorro y almacén de materiales.

---



- ⚡ Hacia el Sur se localiza el banco Provincial, pista de prueba, vigilancia y taller general de Ingeniería de manufactura.
- ⚡ Al Oeste se encuentra el proceso de Electropunto, Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), Matricería y las oficinas del Departamento de Protección Ambiental.
- ⚡ Hacia el Este está ubicado el almacén de chatarra, comedor y el estacionamiento de producto terminado.
- ⚡ En el Centro están los procesos productivos de Pintura, Tapicería, Chasis y Línea final (TCF).

El plano de la Empresa con la identificación de cada una de sus áreas se muestra en el Apéndice B.

#### **4.1.1. Identificación de las Fuentes de Energía**

*Corpoelec*, a través de la Compañía Anónima Electricidad de Valencia (Elevel) es la empresa encargada de suministrar el servicio eléctrico a Chrysler de Venezuela LLC, ésta le distribuye la energía eléctrica en un nivel de tensión de 13,8 KV mediante redes distribución aéreas y subterráneas (Ver Apéndice A), las tensiones son acopladas a los niveles deseados por medio de 6 subestaciones de transformación (ver tabla 4.1 ), con una capacidad instalada total de 11,5125MVA.

**Tabla 4.1:** Transformadores por subestación

| Subestación       | Transf | Capacidad           | Tipo          | Relación de Transformación | Configuración |
|-------------------|--------|---------------------|---------------|----------------------------|---------------|
| E-coat            | T01    | 1100KVA             | Aceite        | 13.8KV/480V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T02    | 2500KVA             | Seco          | 13.8KV/480V                | $\Delta - Y$  |
| Pintura           | T06    | 1500KVA             | Seco          | 13.8KV/480V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T07    | 500KVA              | Seco          | 13.8KV/266V                | $\Delta - Y$  |
| Reparación Pesada | T08    | 160KVA              | Aceite        | 13.8KV/220V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T09    | $3 \times 100KVA$   | Banco $1\phi$ | 13.8KV/240V                | $\Delta - Y$  |
| Electropunto      | T03    | 1500KVA             | Seco          | 13.8KV/480V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T04    | 500KVA              | Seco          | 13.8KV/220V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T05    | 500KVA              | Seco          | 13.8KV/472V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T14    | 1500KVA             | Seco          | 13.8KV/480V                | $\Delta - Y$  |
| TCF               | T10    | $3 \times 100KVA$   | Banco $1\phi$ | 14.1KV/208V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T11    | 500KVA              | Pad Mounted   | 13.8KV/462V                | $\Delta - Y$  |
| Finanzas          | T12    | $3 \times 50KVA$    | Banco $1\phi$ | 14.4KV/208V                | $\Delta - Y$  |
|                   | T13    | $3 \times 167,5KVA$ | Banco $1\phi$ | 14.4KV/208V                | $\Delta - Y$  |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| <b>Capacidad Total Instalada:</b> | 11,5125MVA |
|-----------------------------------|------------|

#### 4.1.2. Historial del Suministrador de Energía

*Elevel* realiza la medición a 13,8kV en la entrada principal del alimentador que abastece la planta (ver apéndice A) mediante un medidor polifásico ELSTER Tipo A3RALNQ, éste tiene la capacidad de comunicación remota a través de un puerto RS232. Las mediciones para facturación son efectuadas por un personal técnico de la compañía eléctrica directamente en el sitio donde se encuentra instalado el medidor en períodos de tiempo de aproximadamente 30 días continuos y con ello proceden a expedir los cobros por consumos de energía y demanda de potencia, este procedimiento es verificado por un personal de Chrysler a fin de evitar errores en las lecturas que son facturadas.

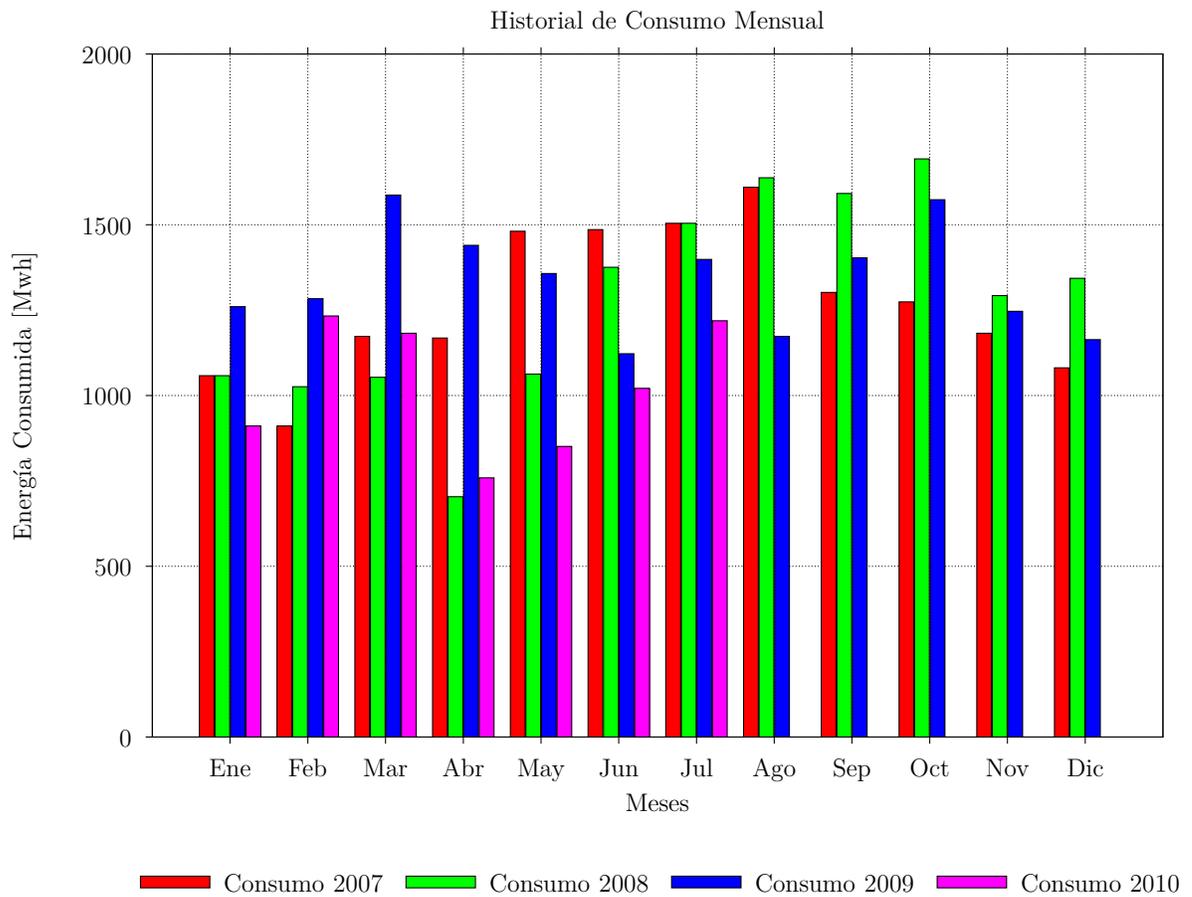


El historial de consumo de energía eléctrica se obtiene de las facturaciones que realiza *Eleval*. Para conseguir una muestra significativa en el historial de consumo, se analizó la facturación desde enero de 2007 hasta julio de 2010 (ver tabla 4.2).

**Tabla 4.2:** Historial de Consumo Energético del 2007–2010

| Mes | Energía 2007<br>[kwh] | Energía 2008<br>[kwh] | Energía 2009<br>[kwh] | Energía 2010<br>[kwh] |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ene | 1058000               | 1058000               | 1260400               | 910800                |
| Feb | 910800                | 1025800               | 1283400               | 1232800               |
| Mar | 1173000               | 1053400               | 1587000               | 1182200               |
| Abr | 1168400               | 703800                | 1439800               | 759000                |
| May | 1481200               | 1062600               | 1357000               | 851000                |
| Jun | 1485800               | 1375400               | 1122400               | 1021200               |
| Jul | 1504200               | 1504200               | 1398400               | 1219000               |
| Ago | 1610000               | 1637600               | 1173000               |                       |
| Sep | 1301800               | 1591600               | 1403000               |                       |
| Oct | 1274200               | 1692800               | 1573200               |                       |
| Nov | 1182200               | 1292600               | 1246600               |                       |
| Dic | 1081000               | 1343200               | 1163800               |                       |

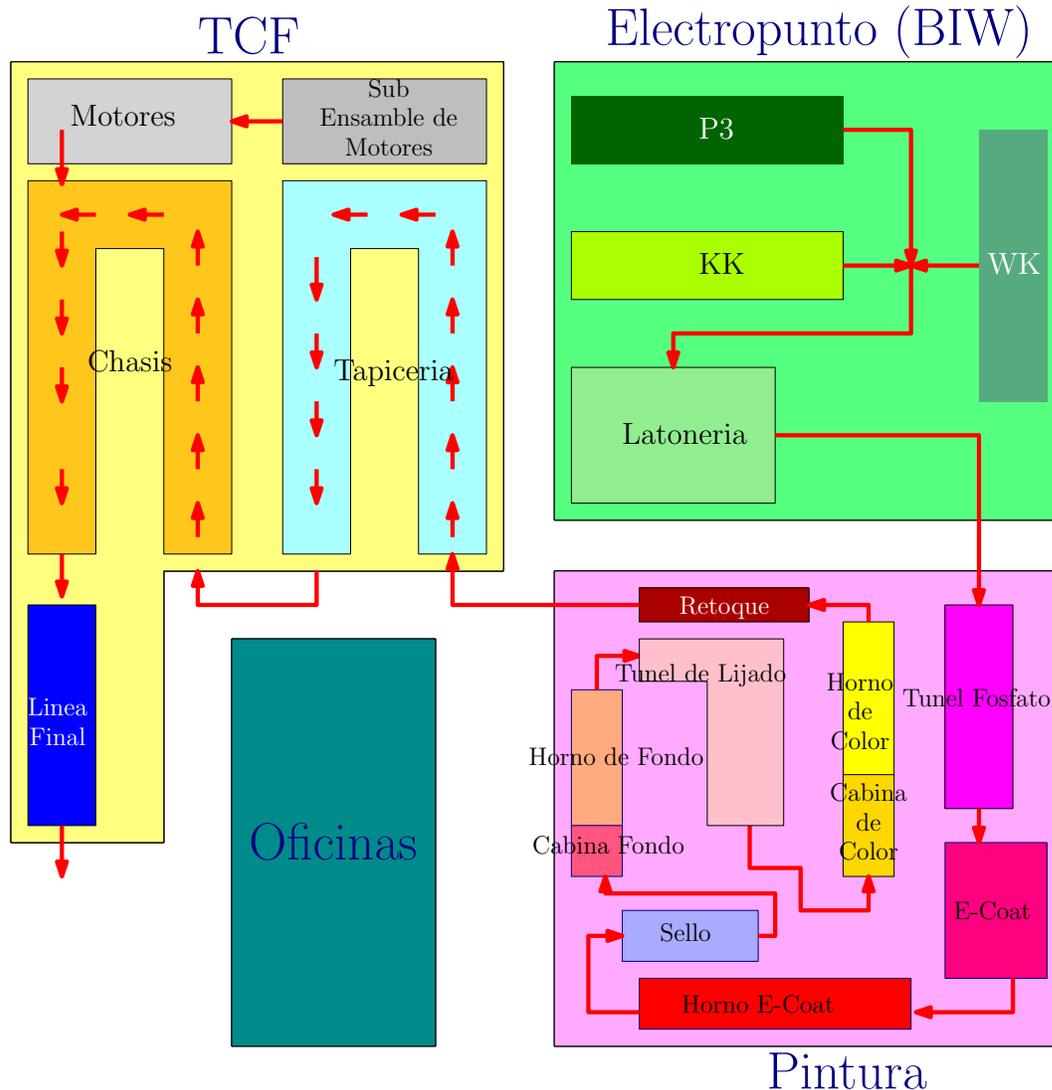
La figura 4.1 muestra el comportamiento mensual de los consumos de Energía.



**Figura 4.1:** Historial de Consumo Mensual

### 4.1.3. Identificación del Proceso Productivo

El proceso productivo de Chrysler de Venezuela LLC se muestra en la figura 4.2



**Figura 4.2:** Diagrama del proceso productivo en Chrysler de Venezuela LLC.

Todas las actividades son desarrolladas en un único horario de 7:00 am a 5:00 pm de lunes a viernes, con una hora de descanso comprendida de 10:30 am a 11:30 am para los operadores de las líneas de producción y de 12:00 pm a 1:00 pm para los empleados de las oficinas, mientras que los mantenimientos preventivos se realizan todos los días desde 5:00



pm hasta la 1:00 am por el personal de mantenimiento, los arranques de planta comienzan a las 4:30 am hasta las las 7:00 am.

#### **4.1.4. Identificación de los Consumidores de Energía**

Como se mencionó en el Capítulo I Chrysler posee una gran variedad de equipos y dispositivos que consumen energía eléctrica. A continuación se clasifican, describen las especificaciones técnicas y las condiciones operativas de cada sistema.

La clasificación de los distintos consumidores de energía se realizó de la siguiente manera:

- ⚡ Sistema de Iluminación
  - ⚡ Sistema de Climatización
  - ⚡ Motores
  - ⚡ Sistema de Refrigeración
  - ⚡ Sistema de Aire Comprimido
  - ⚡ Equipos Misceláneos
  - ⚡ Pistolas de Electropunto
-

## Descripción del Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación en cada una de las áreas se aprecia en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3:** Especificaciones técnicas de las luminarias

| Áreas             | Especificaciones de las luminarias   |
|-------------------|--|
| Oficinas          | Luminarias fluorescentes embutida, las cuales poseen un marco de dimensiones $60 \times 120 \times 8 \text{ cm}$ con difusor parabólico de aluminio de alta pureza, Tipo M2, brillante compuesto con dos reflectores longitudinales facetados por cada tubo y láminas transversales para el apantallamiento de los mismos. Utilizan tubos fluorescentes T8 de 32W con arreglo de 3 tubos de 32W y 2 balastos electrónicos que consumen 2W, lo que hace un total de 110W con sócate de seguridad tipo rotor medio bi-pin. |
| Áreas Productivas | Focalizada: Luminarias fluorescentes superficial con cuerpo fabricado en lámina de acero acabado al horno. Utilizan tubos fluorescentes T12 de 40W con arreglo de 4 tubos de 40W y 2 balastos electromagnéticos que consumen 16W cada uno, lo que hace un total de 192W con socate de seguridad tipo rotor medio bi-pin. General: Luminaria de techo construida en hierro esmaltado al horno con reflector parabólico acrílico. Utilizan lámpara de vapor de mercurio de 250W y luz mixta de 500W                        |

Continúa en la Siguiete página

**Tabla 4.3:** Especificaciones técnicas de las luminarias (Continuación)

| Áreas                     | Especificaciones de las luminarias   |
|---------------------------|--|
| Baños                     | Focalizada: Luminarias fluorescentes superficial con cuerpo fabricado en lámina de acero acabado al horno. Utilizan tubos fluorescentes T12 de 40W con arreglo de 4 tubos de 40W y 2 balastos electromagnéticos que consumen 16W cada uno, lo que hace un total de 192W con socate de seguridad tipo rotor medio bi-pin. |
| Talleres de mantenimiento | Focalizada: Luminarias fluorescentes superficial con cuerpo fabricado en lámina de acero acabado al horno. Utilizan tubos fluorescentes T12 de 40W con arreglo de 4 tubos de 40W y 2 balastos electromagnéticos que consumen 16W cada uno, lo que hace un total de 192W con socate de seguridad tipo rotor medio bi-pin  |

Fin de la Tabla



## Condiciones Técnicas del Sistema de Iluminación

Las condiciones técnicas para este sistema se describe en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4:** Especificaciones de las lámparas de las luminarias

| Ubicación         | Especificaciones de las lámparas  |
|-------------------|---|
| Oficinas          | Lámpara fluorescente lineal, tipo T8, 48", 32", diámetro 1,5", largo 1,2mts, 20V, con casquillo G13, luz de día 4100°K, la cual tiene 20,000 horas de vida útil, 2800 lúmenes y $IRC = 78$ .<br>General Electric    |
| Áreas Productivas | Lámpara fluorescente lineal, tipo T12, 48, 40W, diámetro 1,5", largo 1,20mts, 120V, con casquillo G13, luz de día 6250°K, la cual tiene 12,000 horas de vida útil, 2250 lúmenes y $IRC = 78$ .<br>General Electric  |
| Áreas Productivas | Lámpara de vapor de mercurio, 400W, diámetro 5,2", largo 0,29Mts, 220V, con casquillo E40, 3000°K la cual tiene 5000 horas de vida, 10000 lúmenes y $IRC = 40$ . Sylvania   |
| Áreas Productivas | Lámpara de vapor de mercurio, 250W, diámetro 5,2", largo 0,29mts, 220V, con casquillo E40 3000°K la cual tiene 10000 horas de vida, 14000 lúmenes y $IRC = 52$  |
| Baños             | Lámpara fluorescente lineal, tipo T12, 48", 40W, diámetro 1,5", largo 1,20mts, 120V, con casquillo G13, luz de día 6250°K, la cual tiene 12,000 horas de vida útil, 2250 lúmenes y $IRC = 78$ .<br>General Electric |

Continúa en la Siguiete página

**Tabla 4.4:** Especificaciones de las lámparas de las luminarias (Continuación)

| Ubicación                 | Especificaciones de las lámparas  |
|---------------------------|---|
| Talleres de mantenimiento | Lámpara fluorescente lineal, tipo T12, 48", 40W, diámetro 1,5", largo 1,20mts, 120V, con casquillo G13, luz de día 6250°K, la cual tiene 12,000 horas de vida útil, 2250 lúmenes y $IRC = 78$ .<br>General Electric |

Fin de la Tabla

### Condiciones Operativas del Sistema de Iluminación

En el recorrido de inspección de las áreas de Chrysler de Venezuela LLC, se observó que las luminarias permanecieron encendidas, dentro y fuera del horario de trabajo. El régimen de trabajo del sistema de iluminación general es de 24 horas todos los días. Por otro lado, existen algunas luminarias que sus lámparas y/o difusores requieren ser reemplazados debido al mal estado o falta de funcionamiento de los mismos.

### Descripción del Sistema de Climatización

El sistema de climatización en cada infraestructura es independiente, se compone principalmente por aires acondicionados de tipo central (compacto), unidades tipo split (pared) y tipo doméstico (ventana). En las áreas de producción se reconoce que la mayor proporción la poseen los ventiladores tipo industrial, sin embargo existen otros tipos de refrigeración como son los inyectores de aire fresco, breezeair y los inyectores tipo hongo.

En la tabla 4.5 se presenta el inventario por área del sistema de climatización.



**Tabla 4.5:** Especificaciones del sistema de climatización

| Área              | Tipo                  | Capacidad de BTU | Capacidad de HP |
|-------------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| Oficinas          | Ventana               | 9000-36000       |                 |
|                   | Split                 | 12000 – 60000    |                 |
|                   | Compacto              | 12000 – 120000   |                 |
| Áreas Productivas | Ventana               | 9000 – 24000     |                 |
|                   | Compacto              | 36000 – 120000   |                 |
|                   | Ventilador Industrial |                  | 2               |
|                   | Aire Fresco Techo     |                  | 5               |
|                   | Iny Tipo Hongo        |                  | 5               |
|                   | Brezair               |                  | 2               |
| Talleres          | Ventana               | 18000 – 24000    |                 |
|                   | Compacto              | 60000 – 120000   |                 |

Fin de la Tabla

### Condiciones Operativas del Sistema de Climatización

El régimen de trabajo del sistema de climatización en las oficinas está comprendido de 10 a 24 horas, debido a la ineficiencia subconsciente que muestran los trabajadores en el uso de estos equipos. En las áreas de producción al igual que en las oficinas los ventiladores industriales e inyectores tipo hongo permanecen encendidos el mismo intervalo de tiempo.

### Descripción de los Motores

Durante el recorrido se apreció que existe una gran variedad de motores cuyas potencias están en el rango de 0,33HP hasta los 100HP. Más del 80 % está ubicado en el área de Pintura. El rango de voltaje se ubica en los 230-460V, y el amperaje está alrededor de 57.9A. Algunos de los usos para los motores son: Sistemas de bombeo agua, fuerzas motrices para movimiento de cadenas de producción (conveyors), extracción e inyección de aire, sistemas de agitación.



Además se percató que algunos motores no poseen identificación, y que el 90 % la data es de más de a 15 años de antigüedad.

### **Condiciones Operativas de los Motores**

Uno de los aspectos más importantes en cuanto a las condiciones operativas, es que el 80 % de los motores han sido rebobinados. El encendido de los motores es secuencial, sin embargo se observó que más del 90 % no posee un mecanismo que regule la intensidad de corriente al arranque. En los procesos de pintura, la mayor parte de los motores se encuentran en ambiente cerrado, por el contrario aquellos que son utilizados para ventilación forzada se encuentran en la intemperie. El tiempo de trabajo es de 12 horas, sin embargo por descuido de los operadores, en los motores este horario se transforma a 24 horas de operación, aunque hay procesos donde implica el uso de motores en las 24 horas.

### **Descripción del Sistema de Aire Comprimido**

En la planta existen 3 áreas de compresores, estas salas están ubicadas en cada área productiva. La data de los equipos es de más de 15 años. En la tabla 4.6 se muestra los compresores según su ubicación y característica.

---



**Tabla 4.6:** Especificaciones del sistema de aire comprimido

| Área    | Marca       | Modelo   | Tipo                      | Potencia<br>[HP] | Capacidad<br>[CFM] |
|---------|-------------|----------|---------------------------|------------------|--------------------|
| BIW     | Quincy      | QNW 740B | Tornillos<br>lubricad     | 125              | 577                |
| TCF     | Atlas Copco | GA 200   | Tornillo<br>lubricado     | 250              | 1100               |
| Pintura | Atlas Copco | ZT 90    | Tornillos no<br>lubricado | 120              | 498                |
|         | Atlas Copco | ZT 90    | Tornillos no<br>lubricado | 120              | 498                |
|         | Atlas Copco | ZT 275   | Tornillos no<br>lubricado | 350              | 1309               |

Fin de la Tabla

### Condiciones Operativas del Sistema de Aire Comprimido

El sistema de aire comprimido se encarga de alimentar todas las herramientas neumáticas y dispositivos que utilizan aire comprimido para su funcionamiento, es por ello que todos los compresores descritos en la tabla 4.6 son encendidos antes de comenzar cualquier actividad productiva, en promedio su encendido comienza a las 5:00 am y culmina a las 5:00 pm y el ZT 275 permanece encendido las 24 horas ya que en el área de pintura existe el proceso de mezcla que permanece agitación todo el día. Este compresor se encuentra funcionando en un ambiente encerrado sin ventilación, lo que ocasiona la elevación de los niveles de temperaturas en esa sala; por el contrario los demás compresores funcionan en ambientes ventilados pero protegidos de las condiciones climatológicas a través de estructuras techadas.

Toda la red de distribución de aire comprimido se encuentra interconectada con tuberías de hierro galvanizado lo que facilita la alimentación de aire a toda la planta. En caso de



que algún compresor tenga problemas para suministrar aire a su línea productiva, esa línea tendrá garantizado el suministro de aire, al abrir válvulas que permiten el flujo de aire de otros compresores.

### **Descripción del Sistema de Refrigeración**

En Chrysler existen tres torres de enfriamiento de tiro mecánico con inyección de aire por tiro forzada. El sistema de bombeo de agua de estas torres se realiza con bombas de agua que utilizan motores de 30 Hp, cada torre posee dos de estos motores y un ventilador en la parte superior con un motor de 40 Hp. Además de las torres de enfriamiento, existe una unidad Chiller con una capacidad de 120,7 *TR* y 158 [*kw*] esta unidad posee un flujo agua helada de 289 *GPM*.

### **Condiciones Operativas del Sistema de Refrigeración**

Las torres de enfriamiento se encuentran ubicadas al aire libre en el área de Electropunto, sus condiciones operativas son por espacio de 12 horas al día, en las tres torres se aprecia un avanzado deterioro en los motores que son utilizados para la inyección de aire debido a la corrosión ocasionada por el agua ventilada. Por otra parte la unidad Chiller se encuentra funcionando las 24 horas todos los días del año, ya que este es el encargado de mantener los bajos niveles de temperatura necesarios para el proceso en la estación E-Coat del área de Pintura, esta unidad posee una vida de más de 10 años en funcionamiento continuo.

### **Equipos Misceláneos**

Los equipos misceláneos son aquellos destinados a los usos en las oficinas y otras áreas que no tienen relación directa con el proceso productivo, sin embargo, garantizan el normal desarrollo de todas las actividades administrativas de la empresa. En la tabla 4.7 se muestran los diferentes equipos y cantidades totales existentes de ellos en la empresa.

---



**Tabla 4.7:** Cantidad Equipos Misceláneos

| <b>Cargas</b>    | <b>Cantidad</b> |
|------------------|-----------------|
| Filtro de Agua   | 20              |
| Cortinas de Aire | 5               |
| Cava             | 4               |
| Rebanadora       | 1               |
| Cafetera         | 35              |
| Nevera           | 15              |
| Televisores      | 10              |
| Microondas       | 21              |
| Computadora      | 327             |
| Impresora        | 57              |
| Fax              | 13              |
| Escaner          | 8               |
| Fotocopiadoras   | 13              |

Fin de la Tabla

### **Condiciones Operativas de los Equipos Misceláneos**

El régimen de operación de los equipos de oficina es de 10 horas. Sin embargo existen equipos entre ellos las computadoras, filtros de agua, fotocopiadoras y transformadores AC/DC los cuales permanecen encendidos (stand-by) las 24 horas todos los días, debido al descuido del personal.

### **Descripción de las Pistolas de Electropunto**

Estas son herramientas electro-neumáticas, capaz de realizar la unión entre las placas de metal necesarias para el ensamblaje de todas las piezas cuerpo del vehículo, la unión se obtiene debido a las altas temperaturas y presiones generadas por las corrientes y fuerzas neumáticas



existentes en los terminales de cada pistola. Cada pistola es diseñada para trabajar en un modelo específico de vehículo, éstas se distribuyen en todas las etapas que existen en las tres líneas de ensamblaje en Chrysler de Venezuela.

### Condiciones Operativas de las Pistolas de Electropunto

La operación de estas pistolas depende de los modelos de vehículos que se van a ensamblar en el día, generalmente trabajan dos líneas de producción simultáneamente por día, dependiendo de la etapa de ensamblaje el operador aplica una cantidad específica de puntos al esqueleto del vehículo. El régimen de trabajo de las pistolas es es promedio de 7 horas.

#### 4.1.5. Capacidad Instalada de los Consumidores de Energía

En la tabla 4.8 se muestra la capacidad total instalada por cada uno de los grupos de equipos en Chrysler de Venezuela.

**Tabla 4.8:** Capacidad Instalada por Equipo

| Equipo                   | Capacidad Instalada [kW] |
|--------------------------|--------------------------|
| Iluminación              | 700,961                  |
| Climatización            | 1974,79                  |
| Motores                  | 1582,53                  |
| Compresores              | 1293,50                  |
| Pistolas de Electropunto | 1279,2                   |
| Refrigeración            | 205,15                   |
| Misceláneos              | 246,238                  |

|                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| <b>Capacidad Total Instalada [kW]</b> | <b>7282,369</b> |
|---------------------------------------|-----------------|

Fin de la Tabla

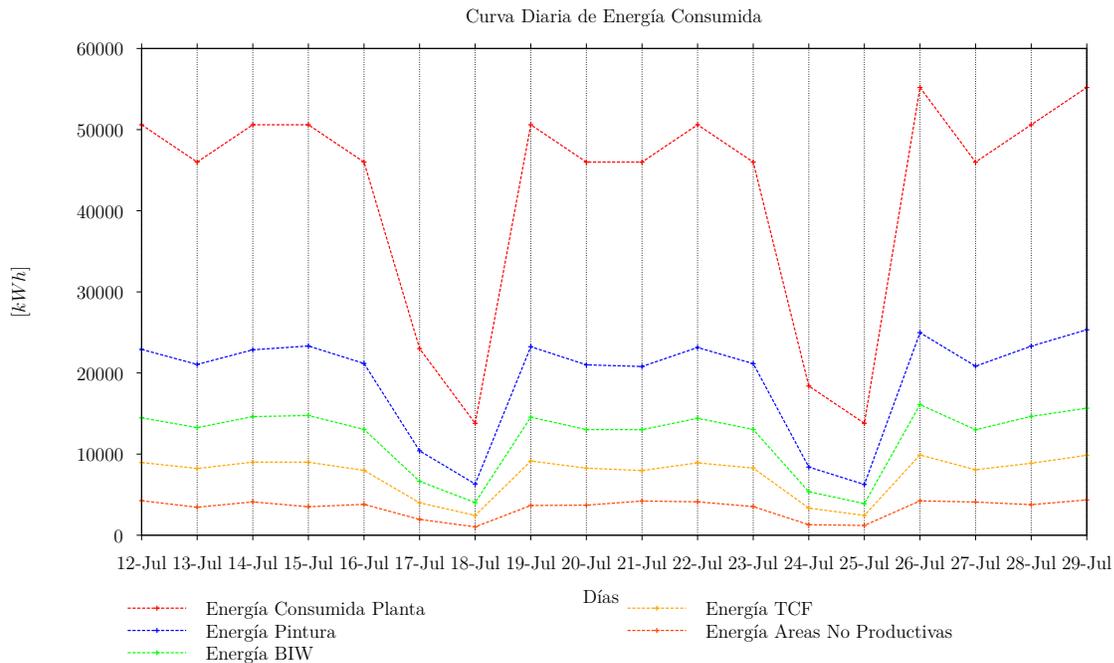


## 4.2. Elaboración de los Balances de Energía

El balance de energía, permite apreciar el consumo de energía en cada área o proceso para el objeto de estudio (ver figura 4.2). Esos valores permiten conocer la incidencia en el consumo de energía de cada una de las áreas en Chrysler de Venezuela LLC.

Para determinar el consumo de energía se utilizaron contadores de energía PowerLogic PM710 en cada una de las áreas de Chrysler, los contadores fueron instalados en los transformadores que posee cada subestación de la planta (ver tabla 4.1). La recolección de datos fue llevada a cabo en el intervalo Junio-Julio 2010.

La Figura 4.3 refleja el consumo de Energía diario en cada una de las áreas productivas así como el total en la planta.



**Figura 4.3:** Curvas Diarias del Consumo de Energía

El porcentaje promedio de incidencia en el consumo de energía total de cada área, se puede observar en tabla 4.9.

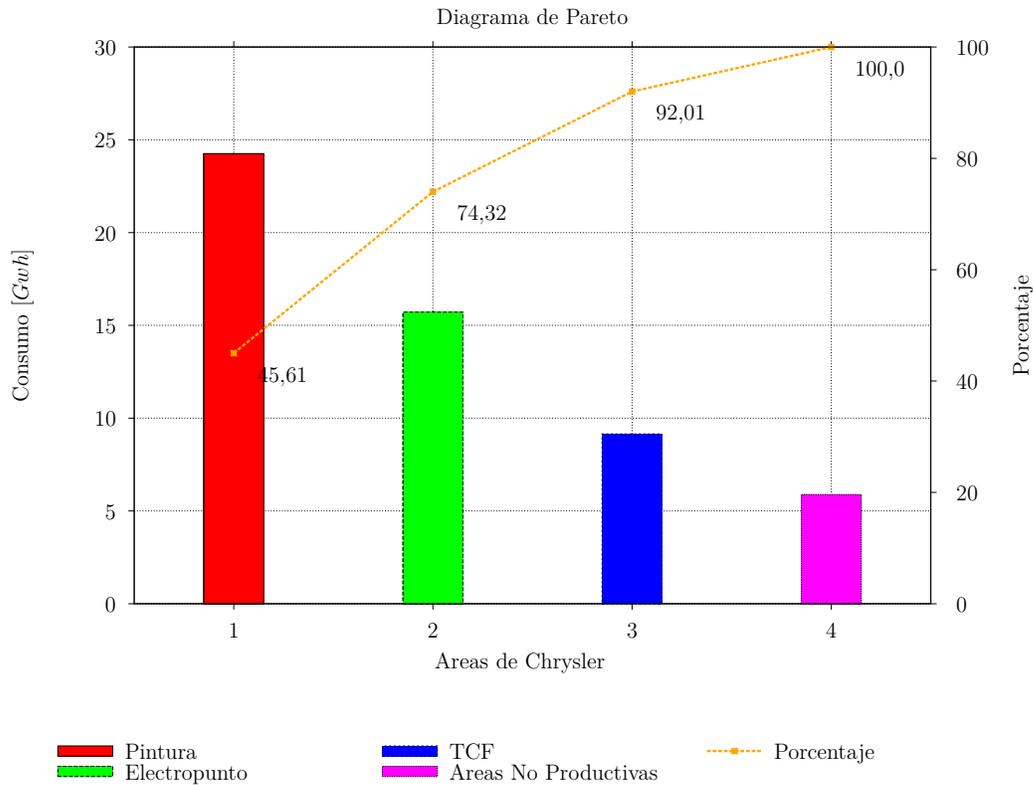


**Tabla 4.9:** Porcentaje Promedio por área en el Consumo de Energía para Chrysler de Venezuela

|                                   | <b>Electropunto</b> | <b>Pintura</b> | <b>TCF</b> | <b>Areas No Productivas</b> | <b>Total Planta</b> |
|-----------------------------------|---------------------|----------------|------------|-----------------------------|---------------------|
| <b>Consumo Promedio [kwh/día]</b> | 13408,19            | 21309,77       | 8247,63    | 3724,42                     | 46690,00            |
| <b>Porcentaje Promedio [%]</b>    | 28,72               | 45,64          | 17,66      | 7,98                        | 100                 |

Este porcentaje de incidencia, fue determinado a partir del consumo de energía diario de cada área en la planta (ver tabla 4.3).

Debido a que no se posee un registro del consumo de energía de cada área antes de realizar esta investigación, con los porcentajes de incidencia determinados se obtiene un aproximado de la energía total para el período de facturación 2007-2010 y se representa a través de un diagrama de pareto, que se muestra en la figura 4.4.



**Figura 4.4:** Diagrama de Pareto para el consumo de energía en las diferentes áreas de Chrysler de Venezuela LLC

En la figura anterior se observa que el área con mayor incidencia energética es Pintura con un 45,61 % del consumo de energía total.

#### 4.2.1. Incidencia de los Consumidores de Energía

Se procedió a determinar la distribución de la energía eléctrica en las diferentes áreas del proceso, es decir, se desea conocer la incidencia de cada grupo de equipo en el consumo de la energía eléctrica de Chrysler de Venezuela. Este procedimiento consiste en la toma de datos de los equipos, recolección de registros y mediciones puntuales en cada uno de ellos. Las mediciones se realizaron desde el 25 marzo hasta el 7 mayo del presente año.



En la tabla 4.10 se detalla incidencia en la demanda de energía por el sistema de iluminación en cada una de las áreas de estudio.

**Tabla 4.10:** Demanda del sistema de iluminación

| Área     | Cant. de Luminarias | Descripción                            | Cant. de Lámparas | Potencia [kW] | Total [kW] | %     |
|----------|---------------------|--|-------------------|---------------|------------|-------|
| Oficinas | 694                 | Tubo Fluorescente T8 32W 6500 °K       | 2089              | 68,236        | 73,26      | 10,45 |
|          | 27                  | Tubo Fluorescente 40W x 48"T-12        | 104               | 5,025         |            |       |
| Pintura  | 85                  | Tubo Fluorescente T8 32W 6500 °K       | 342               | 13,664        | 195,34     | 27,86 |
|          | 553                 | Tubo Fluorescente 40W x 48"T-12        | 2212              | 106,18        |            |       |
|          | 50                  | Bombillo vapor de mercurio 250 W, E-40 | 50                | 14            |            |       |
|          | 123                 | Bombillo luz mixta 500W 240V           | 123               | 61,5          |            |       |
|          | 63                  | Tubo Fluorescente T8 32W 6500 °K       | 252               | 10,08         |            |       |

Continúa en la Siguiete página



**Tabla 4.10:** Demanda del sistema de iluminación (Continuación)

| Área | Cant. de Luminarias | Descripción                            | Cant. de Lámparas | Potencia [kW] | Total [kW] | %     |
|------|---------------------|--|-------------------|---------------|------------|-------|
| TCF  | 363                 | Tubo Fluorescente 40W x 48"T-12        | 1451              | 69,66         | 262,976    | 37,51 |
|      | 333                 | Bombillo vapor de mercurio 250 W, E-40 | 333               | 93,24         |            |       |
|      | 180                 | Bombillo luz mixta 500W 240V PHILIPS   | 180               | 90            |            |       |
| BIW  | 317                 | Tubo Fluorescente T8 32W 6500 °K       | 1270              | 41,91         | 169,378    | 24,16 |
|      | 131                 | Tubo Fluorescente 40W x 48"T-12        | 526               | 25,24         |            |       |
|      | 149                 | Bombillo vapor de mercurio 250 W, E-40 | 149               | 41,72         |            |       |
|      | 121                 | Bombillo luz mixta 500W 240V PHILIPS   | 121               | 60,5          |            |       |

|                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| <b>Potencia Total en kW</b> | <b>700,961</b> |
|-----------------------------|----------------|

Fin de la Tabla

En la tabla anterior se observó que el mayor porcentaje en iluminación se encuentra en el área de TCF, su incidencia en este grupo es de 37,51%. La demanda total por el sistema de iluminación en la empresa es de 700,961 [kW]

En la tabla 4.11 se muestra la demanda de energía eléctrica del sistema de climatización.

**Tabla 4.11:** Demanda del sistema de climatización

| Área     | Tipo                  | Cant.  | Capacidad<br>[BTU] | Potencia<br>[kW] | Total<br>[kW] | %     |
|----------|-----------------------|--------|--------------------|------------------|---------------|-------|
| Oficinas | Ventana               | 1      | 9000               | 1,015            | 1,015         | 39,89 |
|          |                       | 10     | 12000              | 1,337            | 13,378        |       |
|          |                       | 13     | 18000              | 1,995            | 25,942        |       |
|          | Split                 | 12     | 12000              | 1,318            | 15,824        |       |
|          |                       | 3      | 18000              | 1,967            | 5,901         |       |
|          |                       | 8      | 24000              | 2,60             | 20,84         |       |
|          |                       | 12     | 36000              | 3,773            | 46,652        |       |
|          | Compacto              | 1      | 18000              | 1,90             | 1,90          |       |
|          |                       | 1      | 36000              | 3,773            | 3,773         |       |
|          |                       | 2      | 48000              | 5,015            | 10,031        |       |
| 20       |                       | 60000  | 6,134              | 122,7            |               |       |
| 10       |                       | 120000 | 12,170             | 121,7            |               |       |
| Talleres | Ventana               | 1      | 18000              | 1,995            | 1,995         | 4,66  |
|          |                       | 2      | 24000              | 2,654            | 5,309         |       |
|          | Compacto              | 4      | 60000              | 6,134            | 24,54         |       |
|          |                       | 1      | 120000             | 13,533           | 13,533        |       |
| BIW      | Ventilador Industrial | 94     |                    | 1,2              | 112,8         | 11,59 |
| TCF      | Ventilador            | 68     |                    | 1,2              | 81,6          | 8,65  |
|          | Split                 | 1      | 24000              | 2,605            | 2,605         |       |

Continua en la Siguiete página



**Tabla 4.11:** Demanda del sistema de climatización (Continuación)

| Área    | Tipo                     | Cant. | Capacidad<br>[BTU] | Potencia<br>[kW] | Total<br>[kW] | %     |
|---------|--------------------------|-------|--------------------|------------------|---------------|-------|
| Pintura | Ventana                  | 6     | 9000               | 1,015            | 6,09          | 35,19 |
|         | Compacto                 | 2     | 120000             | 12,170           | 24,341        |       |
|         | Aire Fresco              | 18    |                    | 6,71             | 120,78        |       |
|         | Inyectores<br>Tipo Hongo | 12    |                    | 4,1              | 49,2          |       |
|         | Breezair                 | 15    |                    | 0,9              | 13,5          |       |
|         | Ventilador<br>Industrial | 36    |                    | 1,2              | 43,2          |       |

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| <b>Potencia Total kW</b> | <b>887,809</b> |
|--------------------------|----------------|

Fin de la Tabla

En la tabla 4.11 la mayor demanda por área en el sistema de climatización se ubica en las oficinas con un porcentaje de 45,479% para todos los equipos de este tipo, la demanda en la empresa por el sistema de climatización es de 887,809 [kW].

Para los motores, la tabla 4.12 refleja la demanda de energía en cada área.

**Tabla 4.12:** Demanda de los Motores

| Área                          | Cantidad | Potencia<br>[kW] | %        |
|-------------------------------|----------|------------------|----------|
| Pintura                       | 126      | 898,094          | 89,79    |
| BIW                           | 10       | 26,8             | 1,74     |
| TCF                           | 15       | 27,19            | 2,71     |
| Planta de<br>Tratamien-<br>to | 10       | 57,464           | 5,74     |
| <b>Potencia Total</b>         |          |                  | 1000,198 |

Fin de la Tabla

La tabla 4.12 determina que el área de Pintura es la de mayor demanda en este tipo de equipo (898,094 [kW]) y su porcentaje es de 89,79 %. La demanda total en la planta para los motores es de 1000,198 [kW]

La demanda para los compresores se muestra en la tabla 4.13.

**Tabla 4.13:** Demanda de energía eléctrica del sistema de aire comprimido

| Área    | Marca       | Modelo    | Potencia [kW] | %      |
|---------|-------------|-----------|---------------|--------|
| BIW     | Quincy      | QNW 740-B | 108,75        | 19,132 |
| TCF     | Atlas Copco | GA 200    | 210,6         | 37,05  |
| Pintura | Atlas Copco | ZT 275    | 249,03        | 43,81  |
|         | Atlas Copco | ZT 90     | Backup        |        |
|         | Atlas Copco | ZT 90     | Backup        |        |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| <b>Potencia Total kW</b> | 568,39 |
|--------------------------|--------|

Fin de la Tabla



En la tabla anterior se observó que el compresor ZT 275 del área de Pintura, posee una demanda de energía eléctrica de 43,81 % para este grupo de equipos. La incidencia en la demanda total para este grupo es de 568,39 [kW].

Por su parte los sistemas de refrigeración se pueden detallar en la tabla 4.14

**Tabla 4.14:** Demanda de energía eléctrica del sistema de refrigeración

| Área    | Tipo de Equipo        | Capacidad [kW] | Potencia [kW] | %      |
|---------|-----------------------|----------------|---------------|--------|
| Pintura | Chiller               | 159            | 85,3          | 32,124 |
| BIW     | Torre de enfriamiento | 205,15         | 180,23        | 67,87  |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| <b>Potencia Total kW</b> | 265,53 |
|--------------------------|--------|

Fin de la Tabla

Se determina que el equipo con mayor demanda son las torres de enfriamiento con un valor de 180,23 [kW] y el total demandado por estos equipos en la empresa es de 265,63 [kW]

Las pistolas de electropunto demandan un consumo de energía que se analiza en la tabla 4.15

**Tabla 4.15:** Demanda de energía eléctrica de Pistolas de Electropunto

| Tipo de Equipo | Potencia [kW] | %     |
|----------------|---------------|-------|
| KK             | 486,043       | 45,58 |
| P3             | 339,78        | 31,87 |
| WK             | 240,43        | 22,54 |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| <b>Potencia Total kW</b> | 1066,25 |
|--------------------------|---------|

Fin de la Tabla

Su incidencia en el consumo total es de 1066,25 [kW]

Por último la incidencia de los equipos misceláneos, se presentan en la tabla 4.16.

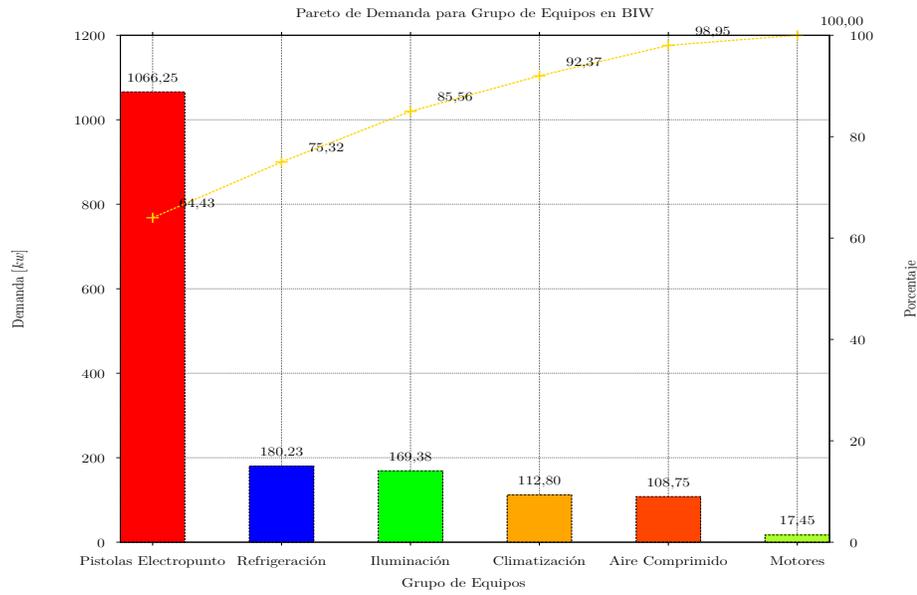
**Tabla 4.16:** Demanda de los Equipos Misceláneos

| Equipo           | Cant | Watts  | Potencia [kW] | Total [kW] | %      |
|------------------|------|--------|---------------|------------|--------|
| Filtro de Agua   | 20   | 600    | 0,6           | 12         | 7,812  |
| Cortinas de Aire | 5    | 550    | 0,55          | 2,75       | 1,790  |
| Cava             | 4    | 393,3  | 0,3933        | 1,5732     | 1,024  |
| Cafetera         | 35   | 546.3  | 0,083         | 2,90       | 1,889  |
| Nevera           | 15   | 393.3  | 0,276         | 4,137      | 2,693  |
| Televisores      | 10   | 307.8  | 0,064         | 0,64       | 0,418  |
| Microondas       | 21   | 1425   | 0,025         | 0,525      | 0,342  |
| Computadora      | 327  | 362    | 0,362         | 118,374    | 77,059 |
| Impresora        | 57   | 547    | 0,114         | 6,5075     | 4,236  |
| Fax              | 13   | 182    | 0,037         | 0,492      | 0,321  |
| Escaner          | 8    | 17     | 0,005         | 0,042      | 0,028  |
| Fotocopiadoras   | 13   | 1311   | 0,273         | 3,55       | 2,313  |
| Licuada          | 6    | 393,3  | 0,004         | 0,025      | 0,016  |
| Plotter a color  | 2    | 217    | 0,045         | 0,09       | 0,059  |
| Total            | 536  | 4572,6 | 2,83          | 153,614    | 100    |

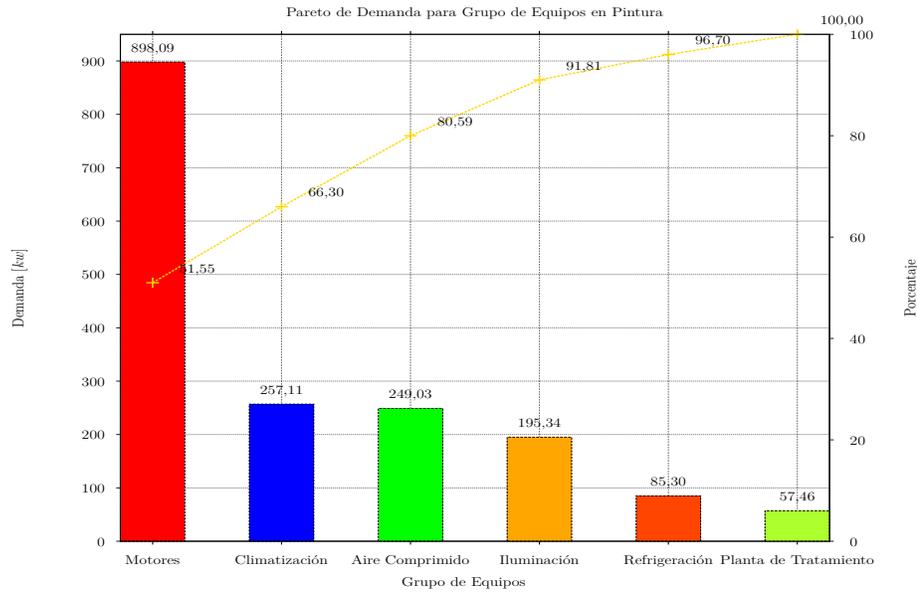
Fin de la Tabla

El total para estos equipos es de  $[153,61 kW]$ , se demuestra que las computadoras son los equipos con mayor de demanda  $118,374 [kW]$  en esta categoría.

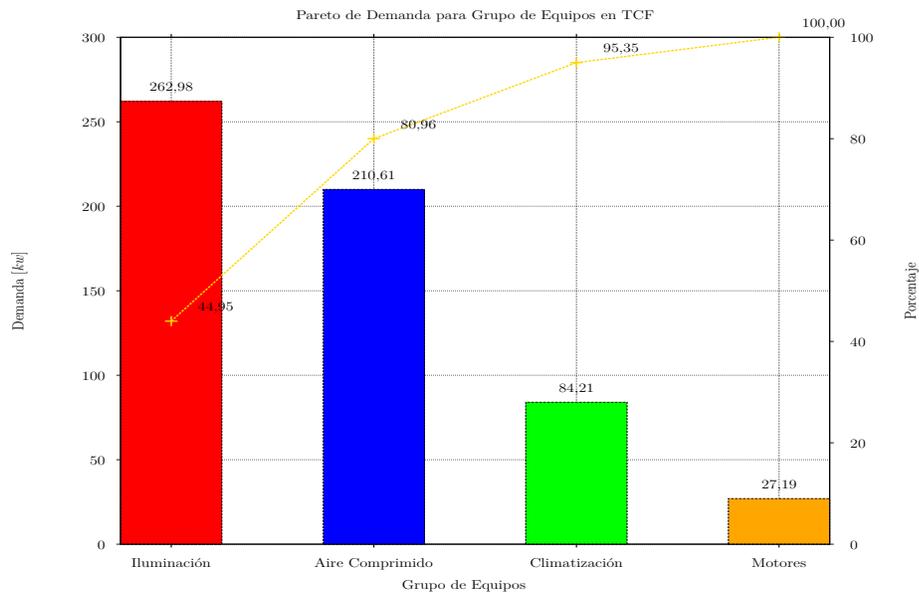
Para visualizar mejor los resultados antes expuestos se realizaron diagramas de paretos los cuales se muestran de la figura 4.5 a la 4.8.



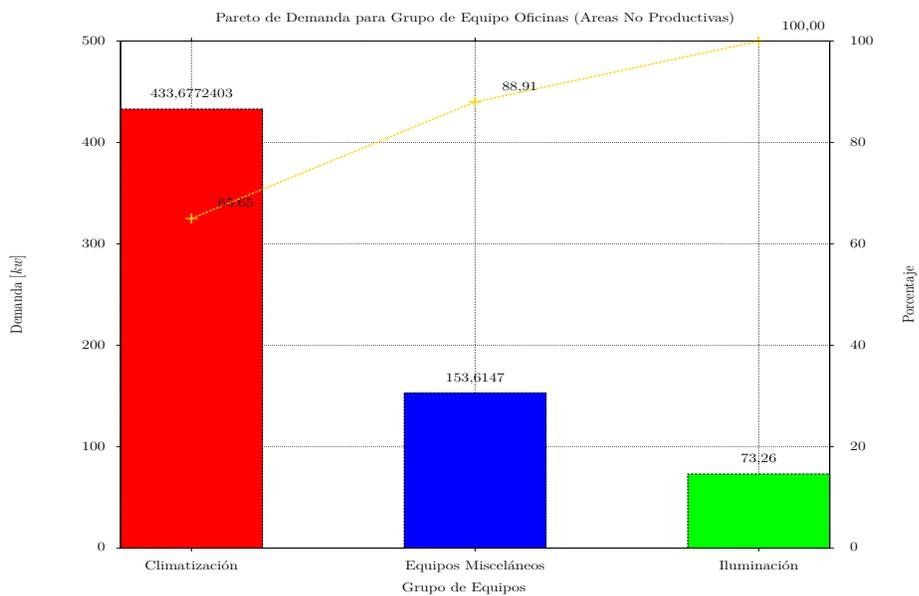
**Figura 4.5:** Pareto de la demanda de energía para el área de Biw, las pistolas de electropunto son las que mayor inciden en esta área.



**Figura 4.6:** Pareto de la demanda de energía para el área de Pintura, los motores son los de mayor inciden en esta área.

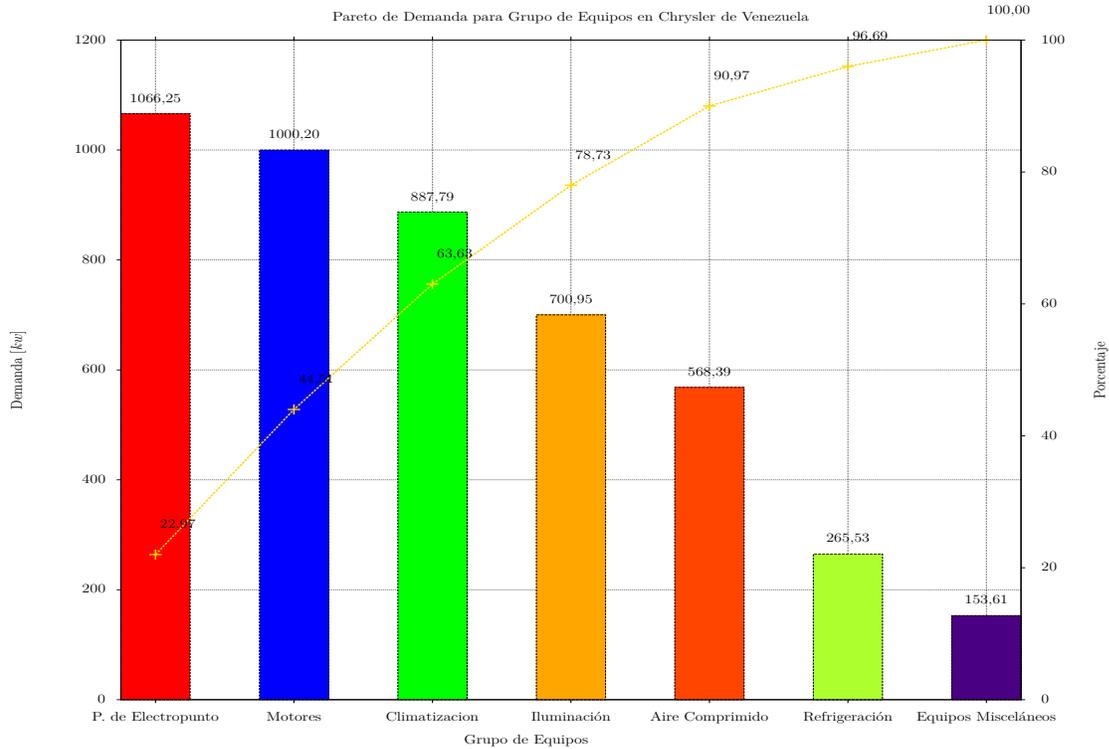


**Figura 4.7:** Pareto de la demanda de energía para el área de TCF, la iluminación es la de mayor inciden en esta área.



**Figura 4.8:** Pareto de la demanda de energía para las Oficinas, el sistema de climatización es el de mayor inciden en esta área.

La figura 4.9 muestra la incidencia total por cada grupo de equipos en la empresa.



**Figura 4.9:** Pareto de Total de la demanda de energía en Chrysler de Venezuela

De acuerdo a los datos antes expuestos y con el diagrama de pareto de la figura 4.9, se concluye que las pistolas de electropunto son las que generan la mayor demanda, sin embargo éstas no aportan el mayor consumo energético en la planta, siendo necesario determinar el tiempo que permanece la carga conectada, de esta manera estimar qué equipos tienen el mayor impacto en el consumo de energía, al comparar los valores que aparecen en la figura 4.4, el área de Pintura es la de mayor consumo (45,61%), encontrándose allí los equipos con mayor incidencia en el consumo de energía.



### 4.3. Determinación del Consumo de Energía de Cada Equipo o Grupo de Equipos

Una vez fijados los intervalos de operación para cada equipo se determinó el consumo promedio de energía eléctrica, con la finalidad de comparar los valores teóricos con los obtenidos del historiales de consumo que se muestran en la gráfica 4.1, para así fijar un estándar para el consumo de energía de acuerdo a la capacidad instalada y los horarios de trabajo.

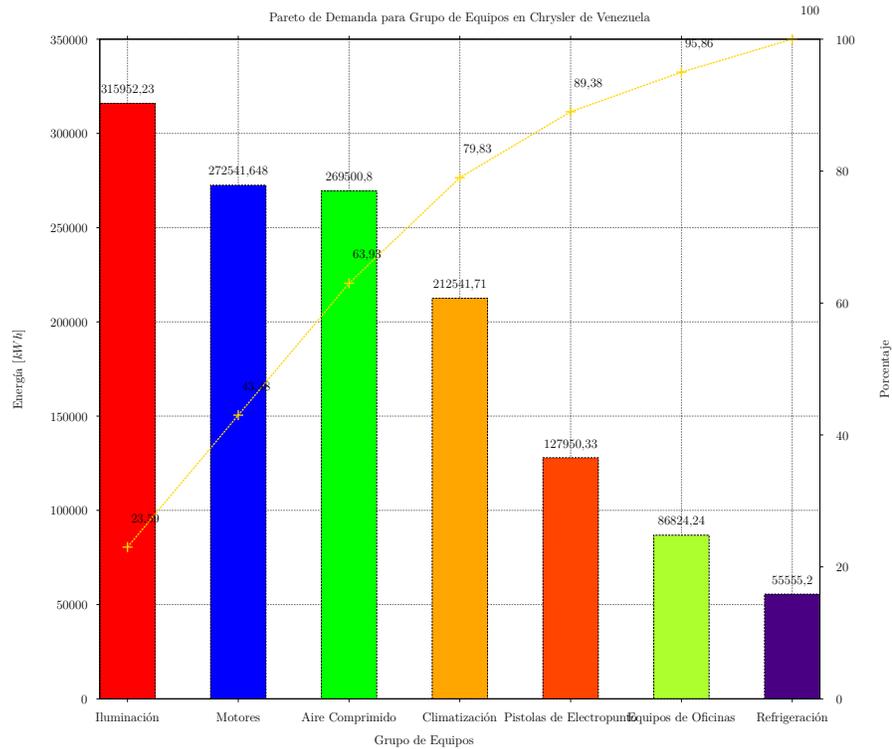
**Tabla 4.17:** Consumo de energía eléctrica de Chrysler de Venezuela LLC

| Área                  | kWh      | kWh/día   | kWh/mes    | kWh/año     | % (Anual) |
|-----------------------|----------|-----------|------------|-------------|-----------|
| Iluminación           | 700,961  | 11028,142 | 315952,234 | 3791426,81  | 23,59     |
| Climatización         | 887,81   | 10121,034 | 212541,714 | 2550500,568 | 15,87     |
| Motores               | 1000,198 | 13562,732 | 271254,648 | 3255055,776 | 20,25     |
| Compresores           | 568,39   | 11075,04  | 269500,8   | 3234009,6   | 20,12     |
| Pistolas Electropunto | 1066,252 | 6397,516  | 127950,327 | 1535403,929 | 9,55      |
| Equipos de Oficinas   | 153,614  | 2894,141  | 86824,242  | 1041890,904 | 6,48      |
| Refrigeración         | 265,53   | 2573,04   | 55555,2    | 666662,4    | 4,15      |
| Total                 | 4642,756 | 57651,65  | 1339579,17 | 16074949,99 | 100,00    |

Fin de la Tabla

En la tabla anterior se presenta la distribución de la energía eléctrica, donde el consumo anual es en promedio de 16074950,71kWh para el uso actual de los equipos, modificar estos patrones permitirá optimizar el consumo energético y aumentar la eficiencia de la empresa.

La figura 4.10 muestra el diagrama de Pareto para el consumo de energía de cada grupo de equipos.



**Figura 4.10:** Pareto del consumo de energía en toda la planta Chrysler de Venezuela LLC, La Iluminación es la principal consumidora de energía.

De la figura 4.10, se observa que los equipos que ocasionan el mayor consumo de energía son los sistemas de iluminación con un porcentaje de incidencia del 23,59 % del consumo total.



## 4.4. Determinación de los Indicadores de Consumo de Energía

Con la finalidad de establecer variables e índices que permitan tener un control en el uso eficiente de la energía, es necesario hacer el estudio del comportamiento entre los vehículos producidos en Chrysler y su relación con el consumo de energía, por tal motivo a continuación se presentan una serie de herramientas para determinar estas relaciones.

### 4.4.1. Diagrama de Control

Es importante definir el comportamiento óptimo en el consumo de energía, por lo que se elaboró el gráfico de control (Ver Capítulo II) el cual ayuda a definir los valores máximos, mínimos y promedios de los consumos de energía mensual. La figura 4.11 muestra el resultado ese análisis.

Los valores máximos, mínimos y promedio fueron obtenidos a través de un análisis estadístico de los consumos de energía que se muestran en la tabla 4.2, el criterio utilizado fue el siguiente:

$$E_{Max} = E_{AVG} + \sigma_E \quad (4.1)$$

$$E_{Min} = E_{AVG} - \sigma_E \quad (4.2)$$

Donde:

$\sigma_E$  : Es la desviación Estándar.

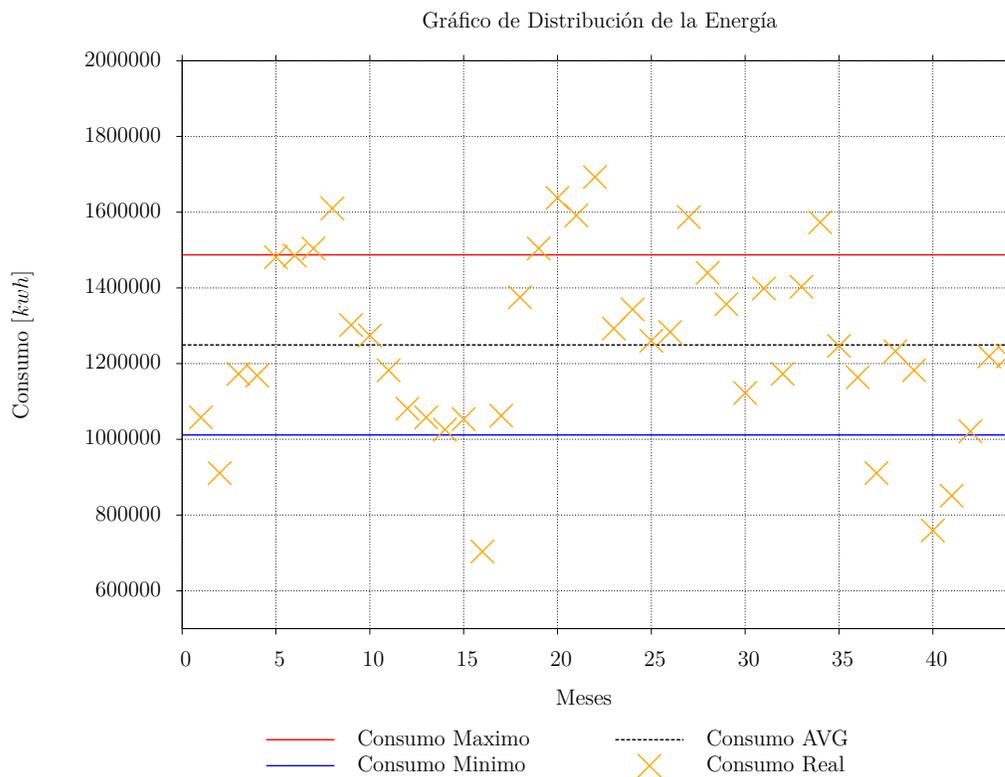
$E_{AVG}$  : Es el valor promedio de los consumos de Energía

$E_{Max}$  : Es la energía máxima

$E_{Min}$  : Es la energía mínima

---

Los objetivos de la política de calidad de la empresa (WCM), son rigurosos y estrictos en cuanto a las variables que intervienen en la producción de la empresa, por lo que exigen, que los parámetros de control estén ajustados un valor estándar y sin desviaciones (Cero Desperdicios, Cero Fallas, Cero Defectos, Cero Stock). Sin embargo para facilitar el estudio, se determinó que el margen de control para el consumo promedio de energía, debe ser el valor  $\sigma_E$ , ya que con el se asegura un margen de error menor al 30% y se logra establecer cuando ocurre una anomalía en el consumo de energía mensual para el proceso productivo.



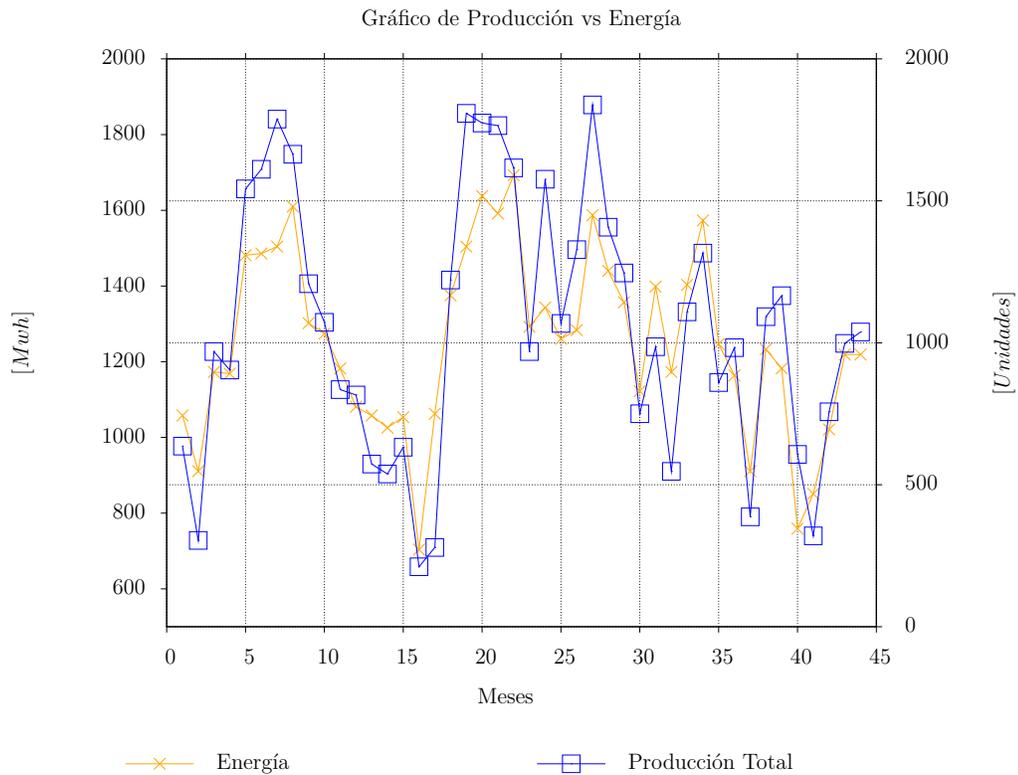
**Figura 4.11:** Gráfico de Control para el consumo de energía mensual.

De la figura 4.11, se puede determinar el comportamiento del consumo de energía mensual es disperso en torno al valor medio ( $1249[MWh/mes]$ ), estadísticamente los consumos de energía mensuales deben ajustarse a éste valor, para la presente investigación la muestra de estudio fue de 44 valores. Los datos fueron tomados del historial de consumo suministrado

por *Elevel*, por tal motivo una referencia válida para el consumo de energía en condiciones normales de operación es el valor  $1249[MWh/mes]$ , si un punto sobrepasa el valor máximo ( $1725216[MWh/mes]$ ) o el mínimo ( $773629[MWh/mes]$ ), es decir se aleja de la desviación estándar (ver figura 4.11), ese punto se considera una anomalías en el consumo de energía para ese mes.

#### 4.4.2. Comportamiento entre Producción y Consumo de Energía

El comportamiento entre la producción y el consumo de energía en Chrysler de Venezuela se muestra en la figura 4.12.



**Figura 4.12:** Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para Chrysler de Venezuela LLC



Analizando el comportamiento entre las gráficas de producción y consumo de energía que se muestran en la figura 4.12, se observa que poseen el mismo comportamiento, es decir, cuando existen aumentos en la producción también aumenta el consumo de energía; lo mismo se aplica al recíproco, para disminuciones en la producción existen disminuciones en el consumo de energía. Sin embargo, cabe acotar, que en algunos puntos, como por ejemplo para el mes 7, el consumo de energía fue superior a los  $1800\text{MWh}$  y la producción de vehículos fue de aproximadamente 1500 unidades y que para el mes 8, aunque la producción fue mayor (cerca a 1600 unidades), el consumo de energía estuvo por debajo de los  $1800\text{MWh}$ , que a ciencia cierta no resulta lógico, pero que puede ser el resultado de factores externos que intervienen en la normalidad del proceso productivo (anomalías), los cuales requieren un análisis más exhaustivo el cual no es un objetivo del presente estudio.

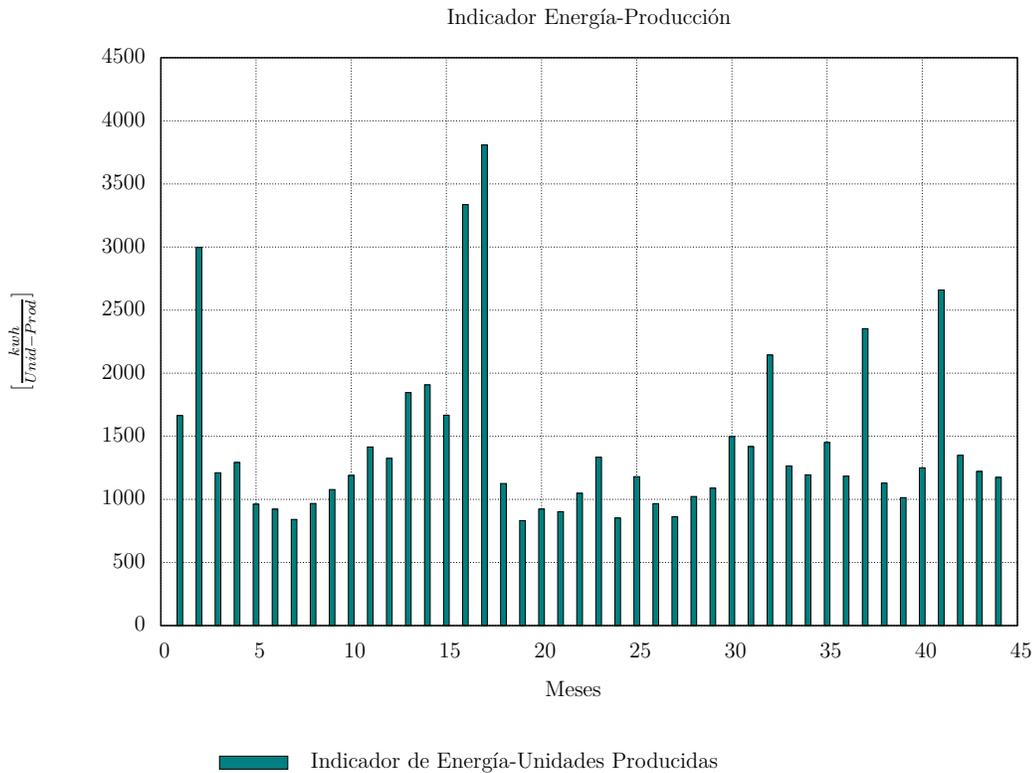
Con los valores de la gráfica 4.12, se establece el indicador de energía por unidades producidas cada mes, el cual se observa en la figura 4.13.

La utilidad del indicador surge de la necesidad de fijar metas de  $[\text{kwh}/\text{unidades}]$  cada mes, esto a nivel empresarial es conocido como “*Benchmarking*” y es el proceso sistemático y continuo de comparación de los productos, servicios y procedimientos de trabajo de las empresas que se reconocen con las mejores prácticas; su propósito es mejorar la organización. Implica el establecimiento de compromisos y sociedades [41].

De la figura 4.13 se observa que el menor valor de  $[\text{kwh}/\text{unidades}]$  se obtuvo en el mes 19 y fue de 832  $[\text{kwh}/\text{unidades}]$ ; según la definición del párrafo anterior, este valor debería ser el “*Benchmarking*” mensual que relacione el consumo de energía y los vehículos producidos.

El análisis que permite obtener las relaciones entre el consumo de energías y los vehículos ensamblados fue aplicado de la misma manera para las diferentes áreas productivas de la empresa. El estudio en estas áreas fue diario, y estuvo comprendido entre los meses de Junio y Julio debido a que anteriormente no se contaba con equipos de medición de energía en esas áreas. Los resultados se presentan a continuación.

---

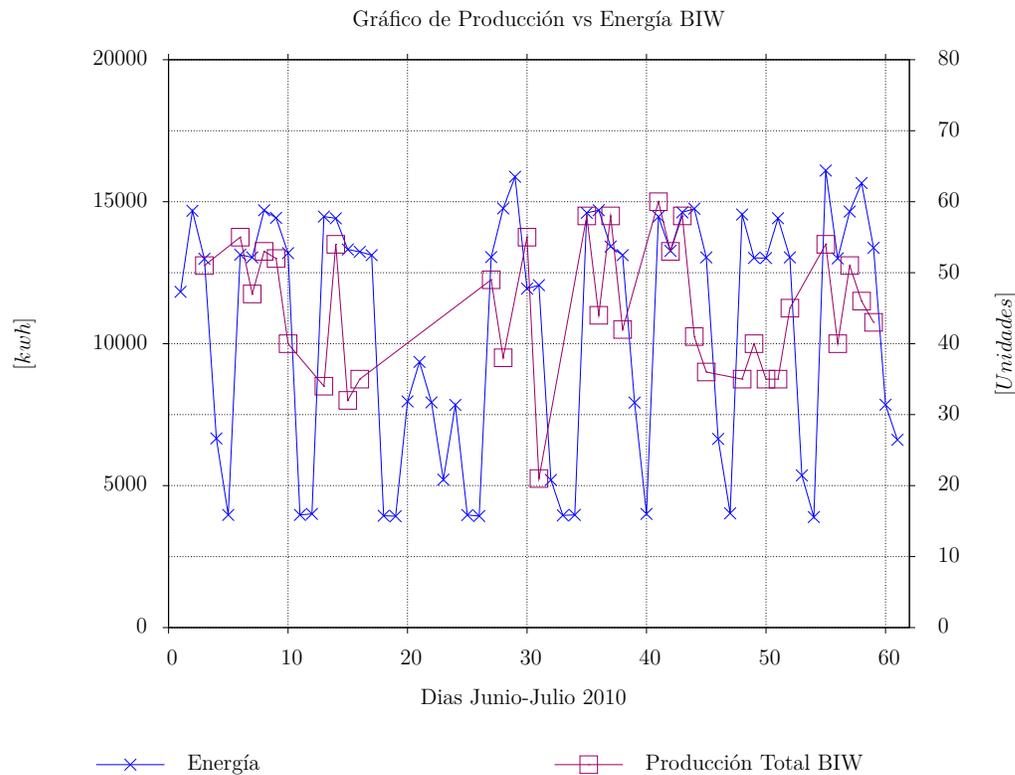


**Figura 4.13:** Índice de Energía-Producción

## Comportamiento Energía-Producción BIW

La figura 4.14 muestra el comportamiento entre la energía y la producción para el área de Electropunto (BIW, Body In White).

En esta gráfica se puede observar un comportamiento anómalo en la relación del consumo de energía y las unidades ensambladas, ya que esa relación, en el mejor de los casos, debe ser proporcional. Las anomalías más notables, pueden apreciarse para los días del 18 al 27 de Junio en los cuales no hubo producción, sin embargo existe una energía asociada para esos días. También se observa que en algunos puntos no existe relación alguna entre aumentos de producción y aumentos del consumo de energía; ni en disminución de la producción y disminución del consumo.



**Figura 4.14:** Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía BIW

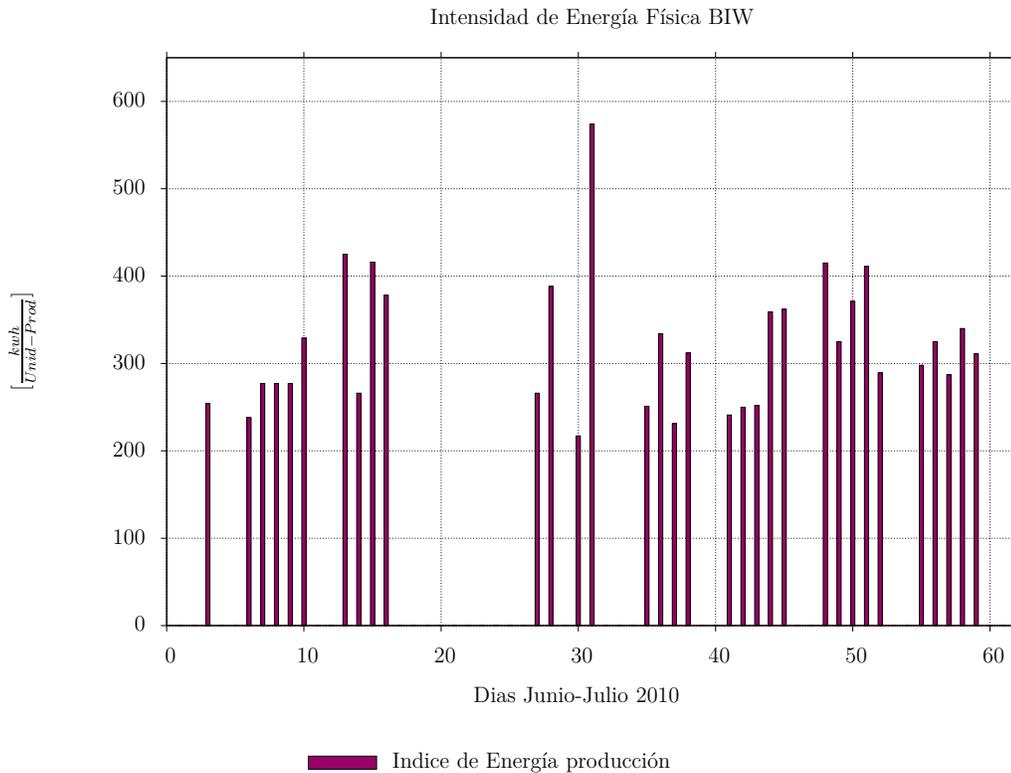
En la figura (4.15) se observa el indicador que relaciona el consumo de energía entre las unidades producidas para el área.

De la figura 4.15, se observa que el valor 217,09 [ $kwh/unidades$ ], es el más bajo de todos los valores mostrados. Éste, es un buen valor para fijar como meta en esa área; sin embargo se recomienda realizar este análisis en un periodo de tiempo mas largo, para obtener una mejor apreciación de los datos a fin de establecer una meta mas óptima.

### Comportamiento Energía-Producción Pintura

Esta relación se muestra en la figura 4.16

La figura 4.16, muestra varios puntos anómalos y en los que no existen proporción entre el consumo de energía y las unidades producidas, como ejemplo de ello tenemos los días 15 y

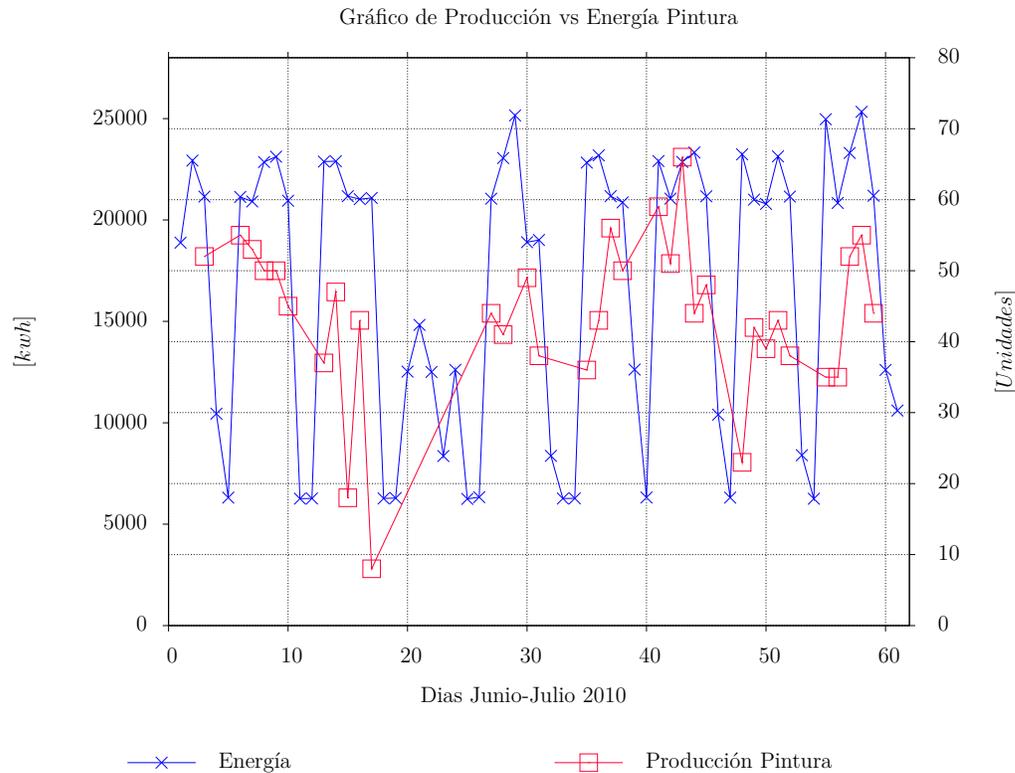


**Figura 4.15:** Intensidad de Energía Física BIW

17, en los cuales hubo una producción de 18 y 8 [unidades/día] respectivamente, sin embargo el consumo de energía se mantuvo en  $13Mwh$  igual que en un día de producción normal (51 [unidades/día]). Estos son hechos que no deben pasarse por alto en un sistema que gestione de manera eficiente su consumo de energía.

En la figura (4.17) se muestra el indicador resultante entre el consumo de energía y las unidades producidas.

Al observar la figura 4.17, se determina que el valor  $346,35 [kwh/unidades]$  del día 43 es el más óptimo para ser tomado como indicador meta en esa área, ya que es el menor de todos los que se muestran (*Benchmarking*). Por otro lado los indicadores de los días 15 y 17 ayudan a visualizar las anomalías de esos días e identificar las causas que ocasionaron esas pérdidas, en consecuencia, se pueden tomar medidas que eviten nuevamente su ocurrencia.



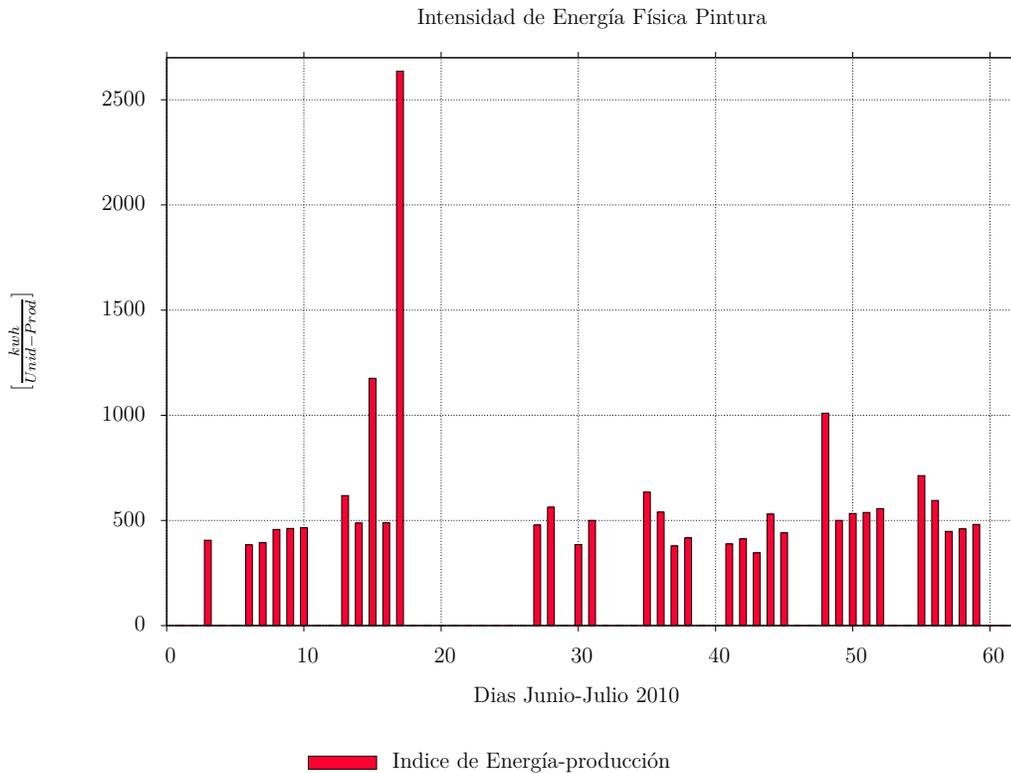
**Figura 4.16:** Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para Pintura

### Comportamiento Energía-Producción TCF

El comportamiento entre el consumo de energía y la producción para el proceso de TCF (Tapicería-Chasis-Línea Final) se muestra en la figura 4.18

Al igual que en las gráficas 4.14 y 4.16, la figura 4.18 no muestra claramente una relación entre los consumos de energía y los vehículos procesados para el área de TCF. Por otro lado se observa que los días entre el 17 y el 26, aunque no hubo producción, existe un consumo de energía asociado.

La figura (4.19) muestra el indicador resultante entre el consumo de energía y la unidades producidas para el área de TCF.

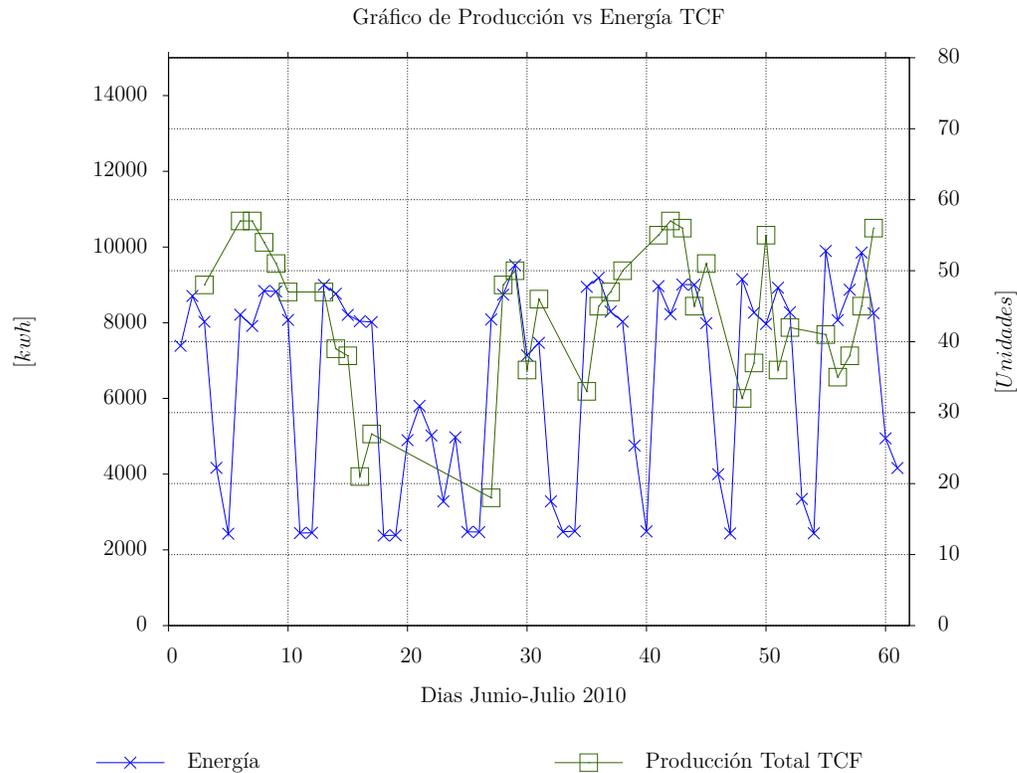


**Figura 4.17:** Intensidad de Energía Física Pintura

La figura 4.19, muestra como indicador óptimo el valor de 138,89  $[kwh/unidades]$  ya que es el menor entre todos los valores mostrados. También se observa que los días 16 y 27 se obtuvieron los mayores valores para este indicador.

Con las figuras antes expuestas, se observa que en algunos de los casos, al existir un aumento en la producción para cualquier área estudiada se aprecia de igual manera un aumento del consumo de energía y de la misma forma al decaer los niveles de producción existe también una disminución del consumo de energía.

Sin embargo existen casos especiales, como los ocurridos en los días del 15 al 27 de Junio, donde los niveles de producción fueron nulos y en algunos casos menores al 40% que los de un día con producción normal (en promedio 50 unidades al día), teniendo un consumo de energía igual al 60% de un día normal. Este tipo de situación necesita ser revisada para evitar

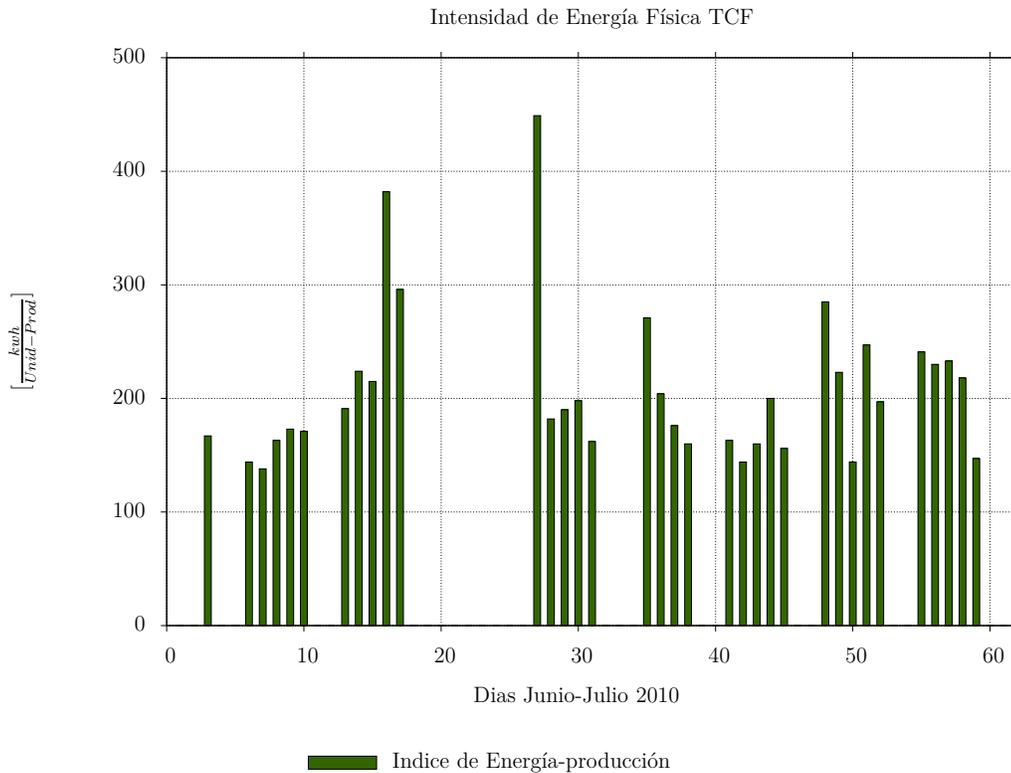


**Figura 4.18:** Comportamiento entre Producción vs Consumo de Energía para TCF

anomalías en un futuro y de esta manera lograr un aumento en la eficiencia de los procesos productivos sin realizar ningún tipo de inversión, solo se necesita la coordinación entre los entes encargados del proceso productivo.

#### 4.4.3. Diagrama Energía Vs. Producción

Se debe conocer en qué medida la variación de los consumos, se debe a oscilaciones en la producción. Es decir, si hay correlación entre los parámetros de consumo y de producción. Para establecer lo anterior, se procede a la elaboración de un diagrama de Energía Vs. Producción; una de las utilidades de este diagrama es determinar la energía asociada a una producción nula.



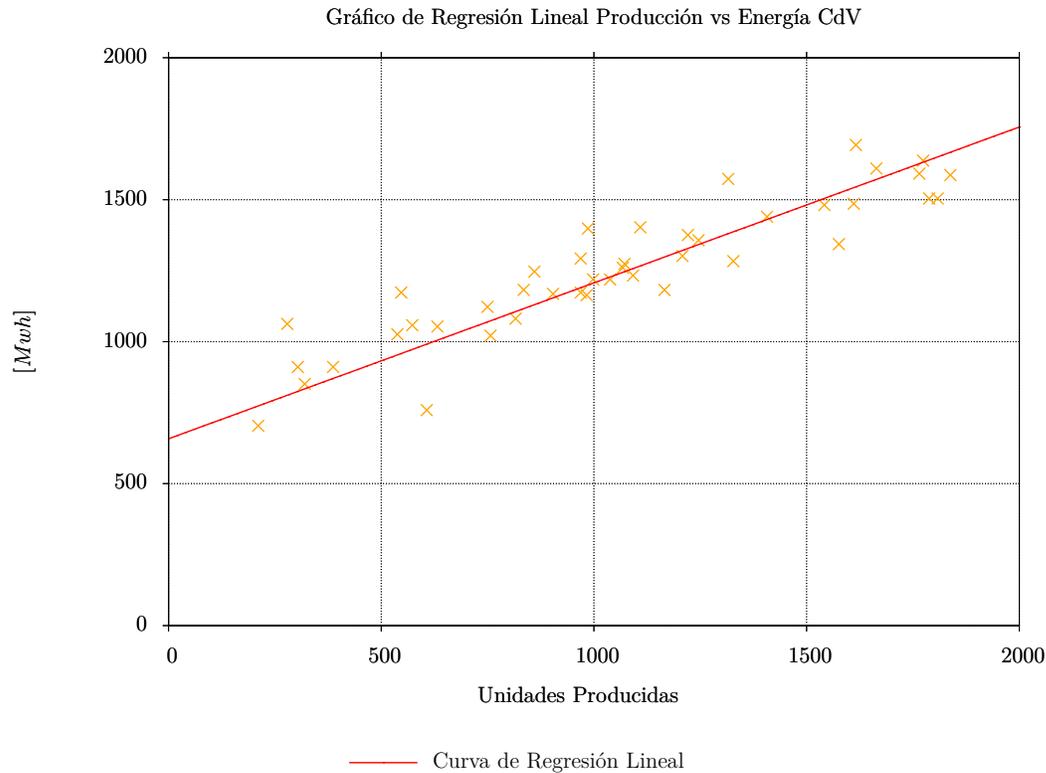
**Figura 4.19:** Intensidad de Energía Física TCF

La relación lineal entre el consumo de energía y la producción mensual para Chrysler se muestra en la figura 4.20, para obtener este gráfico se utilizó el software interactivo **GnuPlot** [44]. Este software usa una implementación del algoritmo Marquardt-Levenberg de mínimos cuadrados no lineales [45, 44, 46, 47]. En este tipo de análisis el verdadero problema surge cuando no hay una regresión lineal explícita entre las variables, lo que hace necesario rectificar las curvas representativas de los datos. El programa **GnuPlot**, es capaz de desplegar y ajustar las constantes de alguna relación lineal o no lineal, sin que sea necesario rectificar [46].

La solución de la ecuación lineal  $f(x) = m \cdot x + b$ , para el gráfico anterior es la siguiente:

$$f(x) = 0,549036 \cdot x + 657,89 \quad (4.3)$$

los errores relativos son 8,362 % y 7,949 % para las variables  $m$  y  $b$  respectivamente.



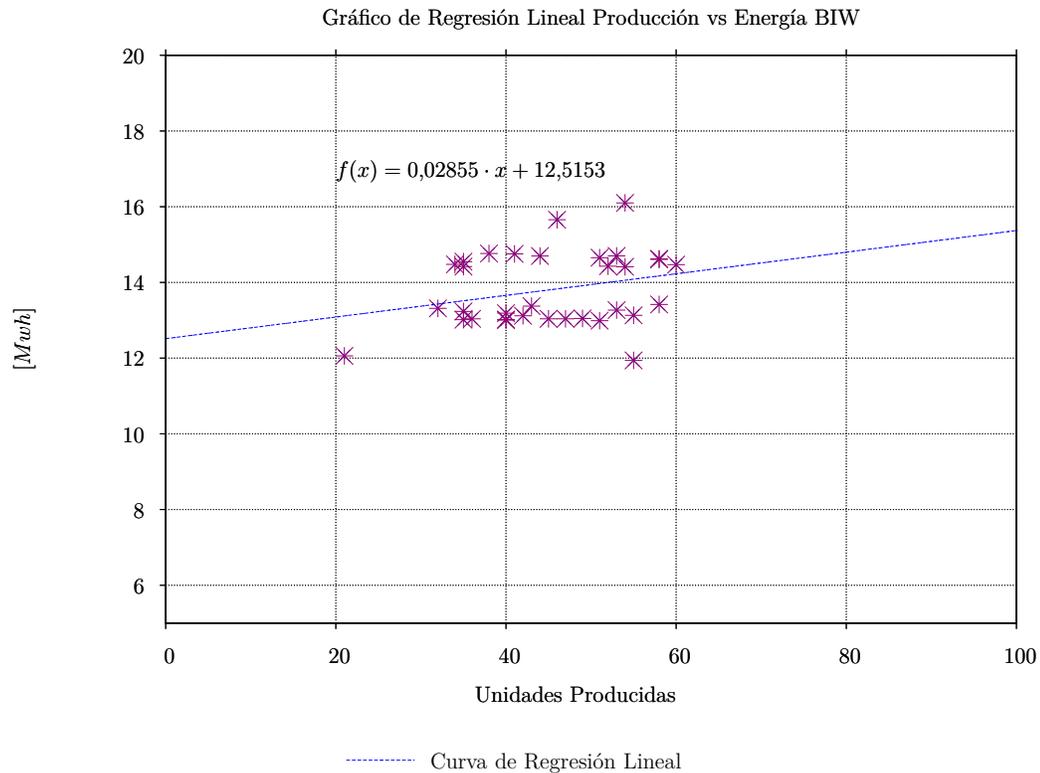
**Figura 4.20:** Gráfico de Regresión Lineal E vs P para la empresa Chrysler de Venezuela LLC, obtenido mediante el algoritmo Marquardt-Levenberg de mínimos cuadrados no lineales

De la ecuación 4.3 se obtiene que la energía asociada a una producción nula, el cual es  $657,899 [MWh]$  al mes, además la relación entre el consumo de energía y las unidades producidas mensualmente es de  $549 [kWh/unidad]$ , al compararlo con el obtenido de la figura 4.13 se aprecia que es menor, lo que teóricamente resulta ser un buen valor meta para ese indicador.

El mismo análisis se realizó para las demás áreas con el fin de conocer la relación específica entre consumo y energía para cada uno de los procesos. A continuación se muestran los resultados.

## Diagrama E vs P de BIW

En la figura (4.21) se observa el resultado de la linealización para los datos de consumo y producción en el área de BIW.



**Figura 4.21:** Curva de Regresión Lineal BIW

La solución a la función base  $f(x) = m \cdot x + b$  es  $m = 0,0285546$  y  $b = 12,5153$ ; por lo que la ecuación de la línea de tendencia que relaciona las producciones (x) con los consumos (y) es:

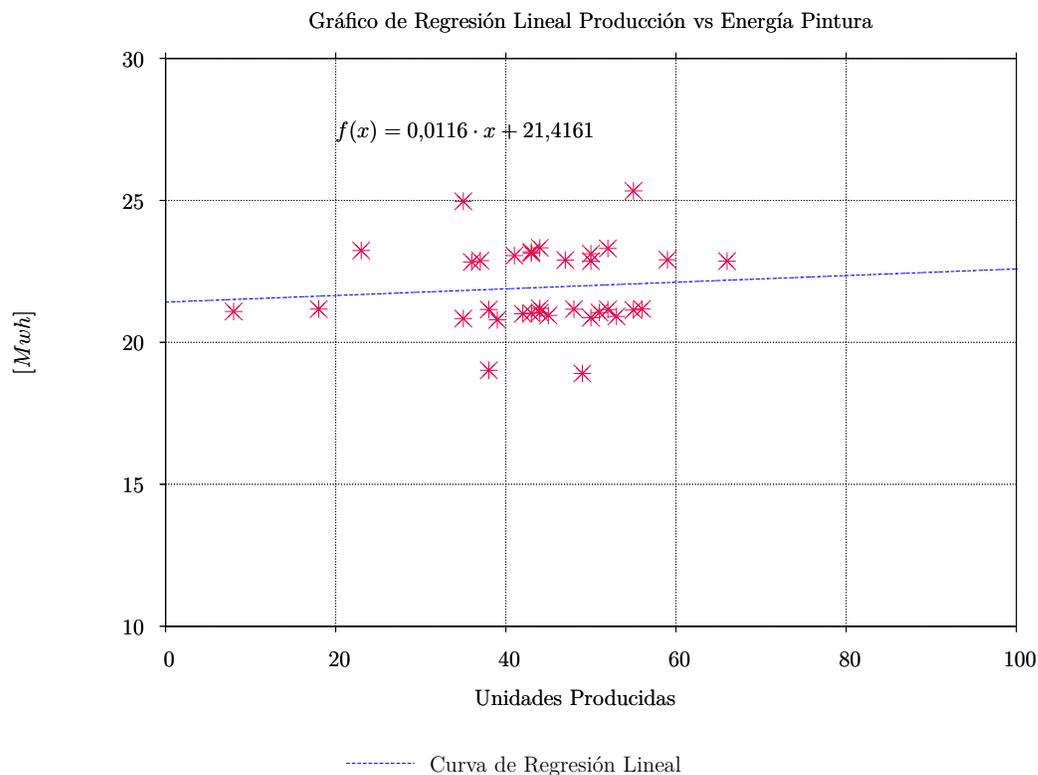
$$f(x) = 0,02855 \cdot x + 12,5153 \quad (4.4)$$

La ecuación 4.4 ayuda a predecir teóricamente y de forma aproximada cual debe ser el consumo de energía para una producción determinada en el área de BIW. También determina

la energía asociada a una producción nula el cual es 12,52 [MWh]. Se observa que la pendiente es de 28,55[kWh/unidad] lo que representa una variación muy pequeña (2.8%) por unidades producidas.

### Diagrama E vs P de Pintura

En la figura 4.22 determina la regresión lineal para Pintura



**Figura 4.22:** Curva de Regresión Lineal Pintura

La función lineal que se obtiene es:

$$f(x) = 0,00116891 \cdot x + 21,4161 \quad (4.5)$$

De la ecuación 4.5 el valor de energía asociada a una producción nula es 21,42 [MWh], lo que significa que el consumo de energía es prácticamente una constante y varía muy





El mismo análisis resulta para la ecuación 4.6, el valor de energía para producción cero es 8,31 [ $kWh$ ] y al igual que para las demás áreas la variación de energía por vehículos procesados es muy pequeña apenas 4,67 [ $kWh/unidad$ ].

En resumen, se determinó para las tres áreas de producción la ecuación lineal que permite predecir teóricamente el consumo de energía diario por unidades producidas. En todas las áreas las variaciones para esa relación es menor al 2% y que la energía asociada a una producción nula es superior al 80% del consumo que se obtiene para una producción normal (50 Unidades al día).



## 4.5. Evaluación Técnica y Operativa de la Eficiencia Energética

En esta sección se procede a determinar la eficiencia energética en cada equipo o grupo de equipos a través de la evaluación técnica de sus características y condiciones operativas.

### 4.5.1. Evaluación del Sistema de Iluminación

La evaluación del sistema de iluminación es la siguiente:

#### Evaluación Técnica

Se estableció la eficiencia energética para cada tipo de lámpara instalada, dividiendo el flujo luminoso entre su potencia nominal, en la tabla 4.18 muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 4.18:** Eficiencia energética de las lámparas

| Tipo de lámpara   | Potencia (W) | Lúmenes (Lum) | Eficiencia (Lum/W) | Vida útil (horas) |
|-------------------|--------------|---------------|--------------------|-------------------|
| T08               | 32           | 2800          | 87,5               | 20000             |
| T12               | 40           | 2250          | 56,25              | 12000             |
| Vapor de mercurio | 250          | 12700         | 50                 | 24000             |
| Luz Mixta         | 500          | 14000         | 28                 | 5000              |

Fin de la Tabla

En la tabla 4.18 la lámpara que cumple con el valor recomendado de eficiencia (Ver Capítulo II) es la T08, ya que se requiere de menos energía para obtener la misma cantidad de lúmenes de la lámpara en comparación con el modelo T12, por otro lado las lámparas utilizadas para iluminación general (Luz Mixta y Vapor de Mercurio) tampoco cumplen con esta condición.



## Evaluación de las Condiciones Operativas

Para el sistema de iluminación se observa que las causas más importantes que dan origen al consumo actual son las siguientes:

- ⚡ Ausencia de programas de ahorro energético por parte de la empresa.
- ⚡ Jornadas de trabajo de los equipos de iluminación 24 horas todos los días.
- ⚡ Utilización de balastos electromagnéticos, los cuales tienen un consumo de 16W en comparación a los 2W que consumen los balastos electrónicos.
- ⚡ Utilización de lámparas T12 las cuales tienen una demanda de 40W cada una en comparación de las lámparas T8 que tienen una demanda de 32W cada una, manteniendo los parámetros de diseño y mejorando la eficiencia de las mismas.
- ⚡ Carencia de estándares para la adquisición de equipos.
- ⚡ Utilización de lámparas de 500 [W] con una vida útil de 5000 horas, generando elevados costos en mantenimiento y consumo energético.
- ⚡ Falta de mantenimientos programados en las luminarias.
- ⚡ Ausencia de dispositivos electrónicos que controlen el encendido y apagado de la iluminación.
- ⚡ Carencia de estudios para determinar los niveles adecuados de iluminación.
- ⚡ Infraestructura antigua que no incorpora la utilización de la luz natural como fuente de iluminación.

### 4.5.2. Evaluación del Sistema de Climatización

Las evaluaciones técnicas y operativas para el sistema de Climatización son las siguientes:

---



## Evaluación Técnica

Las nuevas normas sobre eficiencia energética de equipos definen la relación de eficiencia energética como la relación entre la capacidad de enfriamiento o  $BTU$  y la potencia demandada  $W$ . Este es un número adimensional o simplemente vatios térmicos producidos sobre vatios eléctricos requeridos ( $Wt/W_e$ ) [48].

$$EER = BTU/W$$

Se calculó el índice de Eficiencia Energética de Refrigeración (EER) para cada una de las capacidades existentes en la empresa, el resultado se muestra en el cuadro 4.19:

**Tabla 4.19:** Índice de Eficiencia energética del sistema de climatización

| Tipo     | Cant. | Capacidad (BTU) | Potencia (kWh) | EER( $BTU/Wh$ ) |
|----------|-------|-----------------|----------------|-----------------|
| Ventana  | 1     | 9000            | 1,015          | 8,867           |
|          | 10    | 12000           | 1,337          | 8,97            |
|          | 13    | 18000           | 1,995          | 9,02            |
|          | 2     | 24000           | 2,654          | 9,04            |
| Split    | 12    | 12000           | 1,318          | 9,1             |
|          | 3     | 18000           | 1,967          | 9,15            |
|          | 8     | 24000           | 2,606          | 9,21            |
|          | 12    | 36000           | 3,887          | 9,26            |
| Compacto | 1     | 18000           | 1,908          | 9,43            |
|          | 1     | 36000           | 3,773          | 9,54            |
|          | 2     | 48000           | 5,015          | 9,57            |
|          | 20    | 60000           | 6,134          | 9,78            |
|          | 10    | 120000          | 12,170         | 9,86            |

Fin de la Tabla



El índice de eficiencia energética de refrigeración establece la cantidad de energía utilizada unidades de refrigeración, mientras mayor sea este valor más eficiente es el equipo [48], en la tabla se aprecia que el menor EER lo posee el aire acondicionado ventana con 9000 [BTU], no cumpliendo con la calificación de la *ENERGY STAR* ver apéndice E. El 60 % de estos equipos poseen una data con más de 6 años de antigüedad.

### **Evaluación de las Condiciones Operativas**

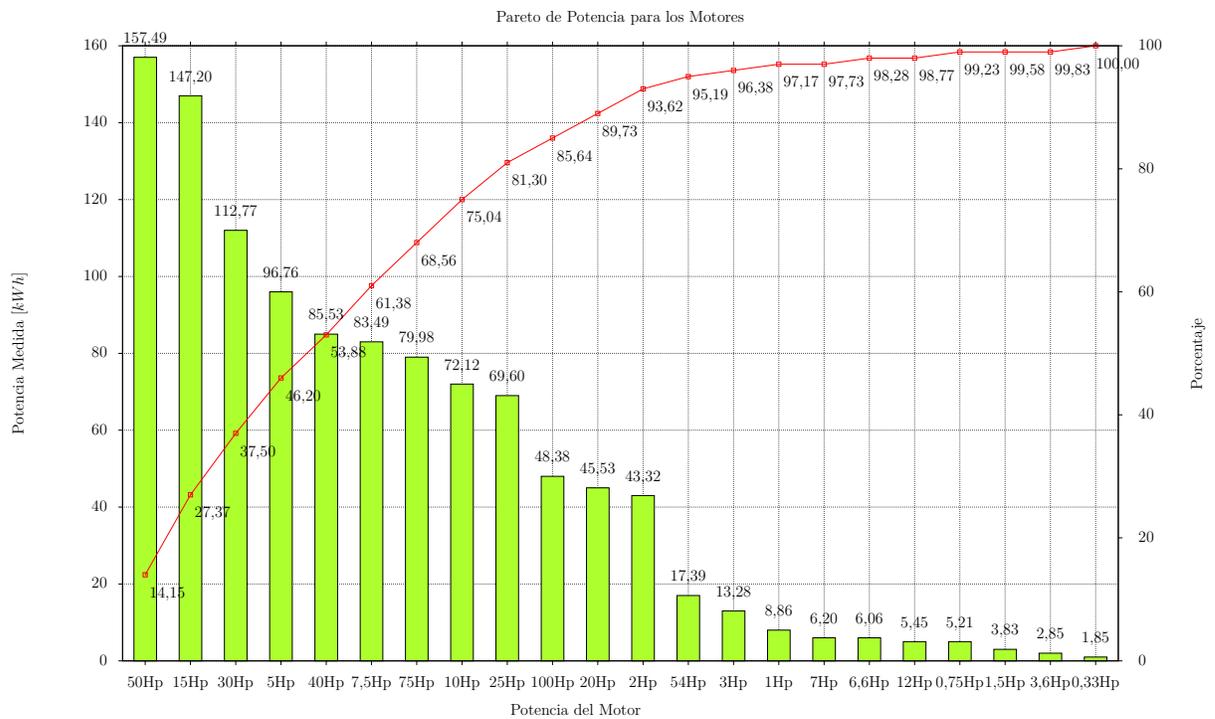
Entre las causas más importantes que dan origen al consumo de energía en el sistema de climatización se observan:

- ⚡ Ausencia de programas de ahorro energético por parte de la empresa.
  - ⚡ Jornadas de trabajo de los equipos de climatización de 24 horas todos los días.
  - ⚡ Carencia de estándares para la adquisición de equipos.
  - ⚡ Ausencia de regímenes de operaciones prefijados a los aires acondicionados según horario laboral.
  - ⚡ Modificaciones de las áreas de oficinas sin estudio previo de las condiciones de temperatura .
  - ⚡ Ausencia de reguladores de temperaturas y caudal de aire.
  - ⚡ Uso de equipos con tecnología obsoleta o de vieja adquisición.
  - ⚡ Balance ineficiente de la distribución del aire por zonas
  - ⚡ Uso de ventiladores industriales de baja eficiencia.
  - ⚡ Falta de dispositivos electrónicos que regulen el encendido y apagado automático de los equipos.
-

### 4.5.3. Evaluación para los Motores

#### Evaluación Técnica

Primero se determinó el grupo de motores que ocasionan la mayor demanda de energía en la planta con la ayuda del diagrama de Pareto (ver figura 4.24). El resultado del diagrama, determinó que el 80 % del consumo de energía es generado por los motores de: 5, 7,5 , 10, 15, 25, 30, 40, 50 y 75 HP.



**Figura 4.24:** Pareto de Potencia para los motores existentes en Chrysler de Venezuela.

Posteriormente se evaluó la eficiencia con ayuda del Software de Eficiencia Energética en Motores Eléctricos (EEME) de [49], el cual permite evaluar la potencia del motor en el sitio de operación y también seleccionar la mejor opción económica de compra. Los valores de eficiencia máximos mínimos y promedios obtenidos con el software (EEME) para cada grupo de motores, se presenta la tabla 4.20.



**Tabla 4.20:** Resultados de la Evaluación de la Eficiencia en los Motores

| Potencia HP | Evaluados | Rango de Valores para las Eficiencias |                   |                |
|-------------|-----------|---------------------------------------|-------------------|----------------|
|             |           | Eficiencia Mín.                       | Eficiencia Prome. | Eficiencia Max |
| 5           | 33        | 81,60                                 | 87,65             | 91,39          |
| 7,5         | 14        | 86,27                                 | 86,24             | 90,28          |
| 10          | 13        | 85,89                                 | 88,09             | 89,60          |
| 15          | 19        | 84,16                                 | 85,38             | 87,05          |
| 25          | 6         | 79,72                                 | 82,16             | 84,12          |
| 30          | 7         | 70,14                                 | 75,73             | 79,14          |
| 40          | 5         | 70,15                                 | 73,72             | 76,12          |
| 50          | 7         | 50,18                                 | 60,64             | 67,78          |
| 75          | 2         | 81,91                                 | 83,13             | 84,35          |

Fin de la Tabla

Luego se realizó la comparación de las eficiencias obtenidas por el software con los valores establecidos por la especificación internacional NEMA Premium [50], ésta establece los valores de eficiencia nominales y mínimos que deben poseer los motores eficientes, el resultado de la evaluación realizada a los motores de 5, 7,5 , 10, 15, 25, 30, 40, 50 y 75 HP; que en total fueron 106 motores, se muestra en la tabla 4.21.



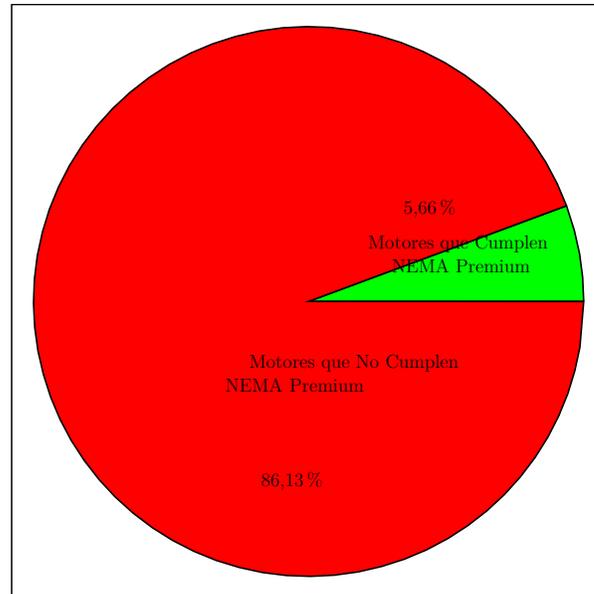
**Tabla 4.21:** Comparación de la Eficiencia Nominal según NEMA Premium para los Motores Evaluados

| Potencia HP | Especificación NEMA Premium |           |         |
|-------------|-----------------------------|-----------|---------|
|             | Eficiencia                  | Evaluados | Cumplen |
| 5           | 89,5                        | 33        | 6       |
| 7,5         | 91,7                        | 14        | 0       |
| 10          | 91,7                        | 13        | 0       |
| 15          | 92,4                        | 19        | 0       |
| 25          | 93,6                        | 6         | 0       |
| 30          | 93,7                        | 7         | 0       |
| 40          | 94,3                        | 5         | 0       |
| 50          | 94,7                        | 7         | 0       |
| 75          | 95,4                        | 2         | 0       |
| Total       |                             | 106       | 6       |

Fin de la Tabla

Se observa que 6 motores cumplen con los requerimientos de eficiencia según la especificación NEMA Premium. Es decir, el 5,66 % de los motores evaluados cumple con las requerimientos nominales de eficiencia para cada tipo y potencia del motor según las especificaciones NEMA Premium. En la figura 4.25 se observa gráficamente el porcentaje de la evaluación.

Evaluación de Eficiencia para Motores Según Diagrama de Pareto



**Figura 4.25:** Evaluación de los diferentes motores según su tipo y potencia nominal, comparados con la eficiencia nominal de la especificación internacional NEMA Premium

Por otro lado el Software EEME, determina la potencia del motor que mejor se ajusta a la carga conectada, esto es de gran ayuda ya que se elimina la utilización de motores sobredimensionados y a su vez se logra disminuir de manera significativa el consumo energético por ello. En la Tabla 4.22 se observa los resultados para re-dimensionar los motores evaluados.

**Tabla 4.22:** Motores Evaluados que Necesitan Cambio de Potencia

| Potencia Actual [HP] | Potencia Optima [HP] |   |    |   |     |    |    |    |    |    | Cambiar |
|----------------------|----------------------|---|----|---|-----|----|----|----|----|----|---------|
|                      | 1.5                  | 2 | 3  | 5 | 7.5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 |         |
| 5                    | 1                    | 1 | 17 | 9 | 5   |    |    |    |    |    | 19      |
| 7.5                  |                      |   |    | 3 | 9   |    | 2  |    |    |    | 3       |
| 10                   |                      |   |    | 2 | 9   | 2  |    |    |    |    | 11      |
| 15                   |                      |   |    | 3 | 2   | 6  | 8  |    |    |    | 11      |
| 25                   |                      |   |    |   |     | 1  | 4  | 1  |    |    | 6       |
| 30                   |                      |   |    |   |     |    | 4  | 2  | 1  |    | 7       |
| 40                   |                      |   |    |   |     |    | 3  | 1  | 1  |    | 5       |
| 50                   |                      |   |    |   |     |    | 1  | 4  | 2  |    | 7       |
| 75                   |                      |   |    |   |     |    |    |    |    | 2  | 2       |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| Motores a Redimensionar | 71 |
|-------------------------|----|

Fin de la Tabla

Analizando los resultados de la tabla 4.22, se observa que se debe cambiar la potencia nominal de 71 motores, lo que significa que el 66,98% del total de motores evaluados (106) necesitan ser redimensionados. Realizando el cambio de potencia del motor y sustituyéndolo por uno eficiente según la especificación NEMA Premium, se puede lograr disminuir el consumo de energía por cada cada motor en más de un 50%.

### Evaluación de las Condiciones Operativas

En los motores se encontraron las siguientes causas del consumo:

- ⚡ Ausencia de programas de ahorro energético por parte de la empresa.
- ⚡ Presencia de motores sobredimensionados
- ⚡ Uso de equipos con tecnología obsoleta o de vieja adquisición. (15 años)



- ⚡ Ausencia de variadores de velocidad para motores.
- ⚡ Variaciones de las características del motor (más de dos rebobinado)
- ⚡ Ausencia de diagnóstico de fallas en los motores
- ⚡ Planes de mantenimiento deficientes.

#### 4.5.4. Evaluación de los Equipos de Misceláneos

##### Evaluación Técnica

No se realizó la evaluación técnica de los equipos misceláneos, debido a que son de bajo consumo y marcas reconocidas que cumplen con los requerimientos mínimos de eficiencia energética según [51]. Sin embargo se procedió a determinar la evaluación de las condiciones operativas que se presenta en el siguiente apartado.

##### Evaluación de las Condiciones Operativas

Los equipos de oficinas presentan una serie de consecuencias para constar con su consumo energético, este sera descrito a continuación:

- ⚡ Ausencia de programas de ahorro energético por parte de la empresa.
  - ⚡ Jornadas de trabajo de los equipos de oficinas de 24 horas.
  - ⚡ Ausencia de equipos con Stand-By.
  - ⚡ El personal deja los equipos encendidos inconscientemente.
-



#### 4.5.5. Evaluación de los Equipos de Refrigeración

##### Evaluación Técnica

Para los equipos de refrigeración se realizó la evaluación según las especificaciones de eficiencia para motores y climatización debido a que los equipos de este tipo poseen una combinación de ambos. La tabla 4.23, muestra la evaluación de los equipos de refrigeración.

**Tabla 4.23:** Evaluación de la Eficiencia en el Sistema Refrigeración

| Tipo de Carga | Potencia HP | Potencia TR | Potencia kW | Eficiencia | EER (BTU/W) |
|---------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Motor         | 30          |             | 18,4        | 81,79      |             |
| Motor         | 30          |             | 21,3        | 69,03      |             |
| Motor         | 30          |             | 18,72       | 77,78      |             |
| Motor         | 30          |             | 22,84       | 66,63      |             |
| Motor         | 30          |             | 19,91       | 74,07      |             |
| Motor         | 30          |             | 21,16       | 74,4       |             |
| Motor         | 30          |             | 22,18       | 60,55      |             |
| Motor         | 30          |             | 18,53       | 75,72      |             |
| Motor         | 30          |             | 17,19       | 79,01      |             |
| Chiller       | 90          | 120,7       | 85,3        |            | 16,98       |

Fin de la Tabla

La tabla 4.23, refleja que los motores no cumplen con la especificación de NEMA Premium siendo el valor mínimo para un motor de 30 [HP] de 92,4.

##### Evaluación de las Condiciones Operativas

Entre las causas más importantes que dan origen al consumo de energía en el sistema de refrigeración se observan:



- ⚡ Ausencia de programas de ahorro energético por parte de la empresa.
- ⚡ Jornadas de trabajo de los equipos de oficinas de 24 horas.
- ⚡ Ausencia de variadores de velocidad para motores y bombas del sistema.
- ⚡ Uso de equipos con tecnología obsoleta o de vieja adquisición.

## 4.6. Identificación de las Medidas Apropriadas para Ahorro de Energía

En el presente estudio cuyo enfoque es la prevención del medio ambiente, eficiencia y la adecuada administración de los recursos energéticos, se establecieron los siguientes criterios para la selección de las alternativas de mejoras de los sistemas de energía eléctrica, las cuales son:

- ⚡ Técnicamente Viable (de posible aplicación y cuantificación de su efecto)
- ⚡ Económicamente factibles
- ⚡ Bajo impacto en el desempeño regular de las actividades del personal que labora dentro de la Empresa

En este sentido se realiza el análisis de la factibilidad técnica, lo que comprende la evaluación de las alternativas en cuanto a la mejora del sistema actual y la disponibilidad de tecnología que satisfaga las necesidades.

Luego, se validan las alternativas de mejora que cumplan con los requerimientos antes expuestos, y para ello, se ha de determinar el consumo de energía eléctrica, emisiones de CO<sub>2</sub> y considerar si los equipos afectados por dichas alternativas prolongan su vida útil, de ser aplicables estas premisas, a su vez, se ha de tener en cuenta que la metodología y/o tecnología empleada satisfaga las necesidades de diseño y operatividad del sistema para cada una de

---



las alternativas de forma independiente, mostrando los resultados en una tabla resumen comparándolos con los parámetros actuales del sistema.

Para la simplificación de las alternativas, éstas serán llamadas:

- ⚡ La primera letra (A) corresponde a la alternativa
- ⚡ Lo siguiente indica qué número corresponde la alternativa.
- ⚡ La tercera letra corresponde que equipo o sistema es el evaluado.

#### **4.6.1. Sistema de Iluminación**

Se considera para realizar las propuestas de alternativas del sistema de iluminación el cambio de componentes o partes del sistema de alumbrado tales como: el reemplazo de tubos fluorescentes, balastos magnéticos por electrónicos y cambios de luminarias, así como también ajustes de los tiempos de operación, independización de circuitos de alumbrados, dispositivos electrónicos para el control de encendido y apagado, y la utilización de fuentes naturales de iluminación.

En el sistema de iluminación se plantean las siguientes alternativas de mejoras:

A.1SI Realizar por parte de la empresa, campañas de concientización al personal que allí labora sobre la importancia que tiene el ahorro de la energía eléctrica al apagar las luminarias cuando no se está laborando.

A.2SI Apagar las luminarias una vez concluya la jornada laboral.

A.3SI Apagar las luminarias focalizadas una hora dentro de la jornada laboral.

A.4SI Implementar políticas de ahorro energético dentro de la empresa, que garantice el uso racional de la energía eléctrica dentro de la Empresa.

A.5SI Modificar la distribución de las luminarias en las oficinas (de ser posible) a fin de colocar las mesas de trabajo debajo de las luminarias, para así aprovechar al máximo la capacidad lumínica de las lámparas instaladas.

---



A.6SI Independizar circuitos de distribución en las luminarias de las áreas productivas para realizar el centralizado de encendidos y apagados parciales después de la jornada laboral.

A.7SI Utilización de colores claros en las paredes techos y pisos de las áreas productivas, para aprovechar mejor la reflexión que estas pinturas ofrecen cuando existe la incidencia de luz.

A.8SI Cambiar las lámparas fluorescentes T12 de 40W por lámparas fluorescentes T8 de 32W, sustituyendo además los balastos magnéticos para dos lámparas de 40W los cuales tienen un consumo de 16W por cada uno de ellos, con un balasto electrónico para lámparas de 32W que consume 2W.

A.9SI Cambiar las lámparas de luz mixta de 500W por lámparas de metal halide de 250W, con un índice de eficiencia mayor a 60 [ $Lum/W$ ].

A.10SI Cambiar las lámparas fluorescentes T12 de 40W por lámparas fluorescentes T8 de 32W, sustituyendo además los balastos termomagnéticos, por un balasto electrónico para lámparas de 32W y cambiar las lámparas de luz mixta de 500W por lámparas de metal halide de 250W.

A.11SI Aplicar régimen de mantenimiento (limpieza de lámparas, cambios de bombillos, entre otras) con mayor frecuencia para aprovechar eficientemente la reflexión de la luz artificial.

#### 4.6.2. Sistema de Climatización

Se considera para realizar las propuestas de alternativas del sistema de climatización, ajuste de los parámetros de operación de acuerdo a la cantidad de personas presentes en la estructura durante la jornada laboral, desenergización de equipos del sistema y realizar mantenimiento con mayor frecuencia.

Para el sistema de climatización se plantean las siguientes alternativas de mejoras:

---



A.1SC Realizar por parte de la empresa, campañas de concientización al personal que labora en las oficinas, sobre la necesidad de mantener las puertas, ventanas y persianas cerradas, para el mantenimiento del confort respecto a la temperatura ambiental.

A.2SC Apagar el sistema de climatización una vez concluya la jornada laboral.

A.3SC Apagar el sistema de climatización las oficinas una hora dentro de la jornada laboral. (de 7:00 am a 8:00 am) y en las áreas productivas (hora de descanso)

A.4SC Independizar circuitos de distribución en el sistema de refrigeración de las áreas productivas para realizar el centralizado de encendidos y apagados.

A.5SC Implementar políticas de ahorro energético dentro de la empresa, que garantice el uso racional de la energía eléctrica dentro de la Empresa. (Establecer indicadores de energía por unidades producidas)

A.6SC Aplicar regímenes de mantenimiento (revisión, cambio, limpieza) con mayor frecuencia en los puntos de salida de aire, unidades de manejo de aire, filtros, serpentines y los aislantes de los conductos, para mantener en óptimas condiciones las capacidades de salida de flujo de aire climatizado

A.7SC Eliminar filtraciones en las uniones de los conductos y mangueras flexibles.

A.8SC Colocar salidas de aire acondicionado en las oficinas con su debido control de flujo, independiente del sistema de iluminación para así brindar a los usuarios un mayor confort y mejor aprovechamiento del recurso.

A.9SC Unificar un complejo de oficinas donde se emplee un único sistema de refrigeración, esto eliminaría la variedad y cantidad de aires acondicionados existentes en la Empresa.

### **4.6.3. Motores**

Se considera para realizar las propuestas de alternativas de las maquinas rotóricas, desenergización de los equipos y realizar mantenimiento con mayor frecuencia.

A.1M Realizar por parte de la empresa, campañas de concientización al personal que labora en las oáreas de producción, sobre la necesidad de cumplir con el ahorro de energía

---



en los motores, no permitiendo que los motores trabajen en vacío, además finalizando la producción con la desenergización del equipo.

A.2M Programar el encendido y apagado de los motores según los requerimientos exigidos durante el proceso productivo (Elaboración de Check List).

A.3M Reemplazar el motor existente por uno de la misma potencia y según la eficiencia establecida en la especificación NEMA Premium.

A.4M Reemplazar los motores existentes por equipos de menor potencia según el redimensionamiento de la sección 4.5.5 que cumplan con la eficiencia establecida en la especificación NEMA Premium.

A.5M Realizar la inspección periódica del motor, incluyendo lecturas de corriente, potencia(kW), velocidad (rpm), resistencia de aislamiento, etc., con objeto de verificar si se mantienen en condiciones apropiadas de funcionamiento y eficiencia, y poder tomar acciones correctivas, cuando se requieran.

A.6M Efectuar rutinariamente (frecuencia de 3 meses) la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños, que impidan su óptimo funcionamiento. La regularidad con que ésta se realice dependerá de las condiciones en las que el motor este trabajando, pero es recomendable desmontarlo al menos una vez al año para realizar la limpieza completa de todos sus componentes.

A.7M Mantener actualizados los manuales de operación de los motores, incorporando en éstos las modificaciones que tengan lugar.

A.8M Colocar carteles con instrucciones concretas para los operarios, con la finalidad de que los motores operen con la mayor seguridad y eficiencia.

#### **4.6.4. Sistema de Aire Comprimido**

Por otro lado, en el sistema de aire comprimido se consideran como propuestas evaluar el área de refrigeración del compresor ZT 275, realización de planes de mantenimiento preventivo, detección de fugas y reparar las mismas.

---



En el sistema de aire comprimido se plantean las siguientes alternativas de mejoras:

A.1SAC Revisión periódica (frecuencia 2 meses) para detectar y reparar fugas existentes, ya que por estudios realizados en otras empresas se puede atribuir a las fugas La mayor proporción de pérdidas del aire.

A.2SAC Aprovechar que las líneas de aire (tuberías) están interconectadas entre las diferentes plantas y centralizar una sola sala de compresores

A.3SAC Definir y evaluar la calidad del aire necesitada en toda la planta, para poder considerar tener únicamente aire libre de aceite.

A.4SAC Redimensionar secadores, y sustituirlos por equipos de cargas variables, para que puedan amortiguar también las demandas fluctuantes de las exigencias en planta, todo esto con la finalidad de ahorro energético.

A.5SAC Revisar y chequear el sistema de refrigeración del compresor ZT 275 y la ventilación de la sala de compresores, para así poder colocar las tapas insonorizantes a este equipo y atenuar el ruido de altos decibeles producidos actualmente.

A.6SAC La activación del ZT 90 después de la jornada laboral, para suministrar aire comprimido a la sala de mezcla.

A.7SAC Crear una sala para los compresores y acondicionarla con un clima adecuado, atenuar el ruido de altos decibeles producidos actualmente.

#### **4.6.5. Equipos Oficinas**

En el mismo orden de ideas, los equipos de oficinas se plantean las siguientes alternativas:

A.1EO Concienciar al personal de las bondades del ahorro energético y del uso racional de los recursos mediante reuniones, charlas, folletos, etc.

A.2EO Configuración del monitor de las computadora para que adopte automáticamente el estado de ahorro de energía cuando se deje de usar. Apagar el monitor en las pausas largas (ir al baño); ahí se concentra el mayor consumo energético del equipo.

---



A.3EO Configurar el termostato de las neveras y cavas ya que la temperatura interna debe ser compatible a la cantidad de alimentos.

A.4EO Apagar los equipos de oficina una vez concluya la jornada laboral.

A.5EO Apagar los equipos de oficina una hora dentro de la jornada laboral (hora de descanso).

#### 4.6.6. Evaluación del Consumo Eléctrico en Iluminación para las Alternativas de Ahorro

##### A.2SI

Apagar las luminarias de las oficinas y las luminarias focalizadas en las áreas productivas una vez termine su jornada laboral.

##### Descripción de la actividad

Energizar las luminarias de las oficinas y las luminarias focalizadas en las áreas productivas 10 horas diarias (7:00 am 5:00 pm) de lunes a viernes, todas las semanas. (20 días al mes), manteniendo como mínimo un 30 % de las luminarias generales encendidas en la noche, como medida de seguridad en la Empresa (ver tabla 4.24).

**Tabla 4.24:** Evaluación de la alternativa A.2SI

| Carga       | kWh     | kWh/día    | kWh/mes     | kWh/año    | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------------|---------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| Iluminación | 700,961 | 11028,1426 | 315952,2342 | 3791426,81 | 792408,20                 |
| A.2SI       |         | 8525,642   | 196501,96   | 2358023,52 | 492826,92                 |
| Ahorro (%)  |         | 22,69      | 37,80       | 37,80      | 37,80                     |

Fin de la Tabla

En la tabla 4.24 se puede observar que con la implementación de ésta alternativa se obtiene disminución del consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación en un 22,69 % de



kWh por día y de 37,80 % de kWh por mes/año; a su vez se consigue disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 37,80 %.

Las evidencias precedentes, hacen factible técnicamente la aplicabilidad de la alternativa propuesta, al apagar las luminarias una vez terminada la jornada laboral, con la reducción de los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> en más del 30 %, mientras que la vida útil de las lámparas aumenta en un 37 %

### A.3SI

Apagar las luminarias focalizadas una hora dentro de la jornada laboral (hora de descanso).

#### Descripción de la actividad

Energizar las luminarias focalizadas de las oficinas y áreas productivas 9 horas diarias, debido al ahorro programado en la hora de descanso en las oficinas, esta desenergización comprende de (12 pm a 1pm) y en las áreas productivas de (10:30am a 11:30am) de lunes a viernes, todas las semanas. (20 días al mes), manteniendo como mínimo un 30 % de las luminarias generales encendidas en la noche, como medida de seguridad en la Empresa (ver tabla 4.25).

**Tabla 4.25:** Evaluación de la alternativa A.3SI

| Carga       | kWh     | kWh/día    | kWh/mes     | kWh/año    | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------------|---------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| Iluminación | 700,961 | 11028,1426 | 315952,2342 | 3791426,81 | 792408,20                 |
| A.3SI       | 340,001 | 8185,641   | 189701,94   | 2276423,28 | 475772,47                 |
| Ahorro (%)  | 48,50   | 25,77      | 39,95       | 39,95      | 39,95                     |

Fin de la Tabla

En la tabla 4.25 se puede inferir que con la aplicación se obtiene una descenso por kWh/día de 25,77 % y de 39,95 % kWh/mes/año, a la par se logra una disminución de los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> en más del 35 %.



Los datos antes expuestos permite inferir la reproductividad de dicha propuesta, al apagar las luminarias al final en la jornada laboral y adicionando una hora por la hora descanso, demuestra la disminución del 39,95 % en CO<sub>2</sub>.

## A.8SI

Cambiar las lámparas fluorescentes T12 de 40W por lámparas fluorescentes T8 de 32W, sustituyendo además dos balastos electromagnéticos, por un balasto electrónico para las lámparas de 32W.

### **Descripción de la actividad**

Se propone el reemplazo de 4293 lámparas fluorescentes T12 de 40W de la especificación anteriormente descritas (ver tabla 2.1), por lámparas fluorescentes T8 de 32W, 48", con sócate G13, 6500K, 2800 lúmenes, 20.000 horas de vida útil, IRC= 78 y los balastos magnéticos de dos lámparas que consumen 16W, por un balasto electrónico que consume 2W en las luminarias ubicadas en las oficinas y áreas productivas de la Empresa.

Las lámparas T8 tienen una eficiencia energética de 84,38 [*Lum/W*] con un rendimiento del 150 % mayor al de las lámparas T12. Bajo esta condición de reemplazo se analizan las siguientes alternativas, dichas alternativas se han aplicado anteriormente en la alternativas A.2SI y A.3SI.

## A.8SI1

Apagar las luminarias focalizadas y generales una vez termine su jornada laboral.

**Descripción de la actividad** Energizar las luminarias de las oficinas y áreas productivas 10 horas diarias (7:00 am 5:00 pm) de lunes a viernes, todas las semanas. (20 días al mes), manteniendo como mínimo un 30 % de las luminarias generales encendidas en la noche, como medida de seguridad en la Empresa (ver tabla 4.26).



**Tabla 4.26:** Evaluación de la alternativa A.8SI1

| Carga       | kWh     | kWh/día    | kWh/mes     | kWh/año    | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------------|---------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| Iluminación | 700,961 | 11028,1426 | 315952,2342 | 3791426,81 | 792408,20                 |
| A.8SI1      | 628,955 | 7805,582   | 182100,76   | 2185209,12 | 456708,71                 |
| Ahorro (%)  | 10,27   | 29,22      | 42,36       | 42,36      | 42,36                     |

Fin de la Tabla

En la tabla 4.26 se aprecia que el reemplazo de las luminarias genera una disminución de 42,36 % al mes y en el año, para el consumo de energía de este grupo de equipos, siendo ésta alternativa factible técnicamente.

Los datos previos demuestran que la sustitución de las lámparas T12 por lámparas T8 y los balastos magnéticos por balastos electrónicos de las oficinas y áreas productivas es factible técnicamente, ya que reduce significativamente los consumos energéticos 40 % y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, disminuye los costos de mantenimiento ya que la lámpara posee 8000 horas más de vida útil, traduciéndose en beneficios para la empresa.

## A.8SI2

Apagar las luminarias focalizadas una hora dentro de la jornada laboral (hora de descanso).

**Descripción de la actividad** Energizar las luminarias focalizadas de las oficinas y áreas productivas 9 horas diarias, debido al ahorro programado en la hora de descanso en las oficinas, ésta desenergización comprende de (12 pm a 1pm) y en las áreas productivas de (10:30am a 11:30am) de lunes a viernes, todas las semanas. (20 días al mes), manteniendo como mínimo un 30 % de las luminarias generales encendidas en la noche, como medida de seguridad en la Empresa (ver tabla 4.27).



**Tabla 4.27:** Evaluación de la alternativa A.8SI2

| Carga       | kWh     | kWh/día    | kWh/mes     | kWh/año    | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------------|---------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| Iluminación | 700,961 | 11028,1426 | 315952,2342 | 3791426,81 | 792408,20                 |
| A.8SI2      | 267,995 | 7537,587   | 176740,86   | 2120890,32 | 443266,08                 |
| Ahorro (%)  | 38,23   | 31,65      | 44,06       | 44,06      | 44,06                     |

Fin de la Tabla

Los valores antes expuestos 4.27 determinan que con la aplicación de ésta alternativa se obtiene una reducción del 31,65 % en kWh/día y un 44,06 % para kWh/mes/año. Éstos valores permite demostrar lo viable de ésta alternativa, ya que la rata desciende en un 44,06 % para el CO<sub>2</sub>.

### A.9SI

Cambiar las lámparas de luz mixta de 500W por lámparas de metal halide de 250W

#### Descripción de la actividad

Se propone el reemplazo de lámparas luz mixta de 500W de la especificación anteriormente descritas (ver tabla), por metal halide de 250W de 21000 lúmenes y de 10000 horas de vida útil en las luminarias ubicadas en áreas productivas de la Empresa, energizando las luminarias durante la jornada laboral y manteniendo como mínimo un 30 % de las luminarias generales encendidas en la noche, como medida de seguridad en la Empresa (ver tabla 4.28).

**Tabla 4.28:** Evaluación de la alternativa A.9SI

| Carga       | kWh     | kWh/día    | kWh/mes     | kWh/año    | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------------|---------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| Iluminación | 700,961 | 11028,1426 | 315952,2342 | 3791426,81 | 792408,20                 |
| A.9SI       | 254,96  | 8080,442   | 179965,96   | 2159591,52 | 451354,63                 |
| Ahorro (%)  | 36,37   | 26,73      | 43,04       | 43,04      | 43,04                     |

Fin de la Tabla



En la tabla 4.28 se reduce un consumo de 43,04 % en kWh y CO<sub>2</sub>. Se demuestra que la propuesta anteriormente expuesta es factible.

### A.10SI

Cambiar las lámparas fluorescentes T12 de 40W por lámparas fluorescentes T8 de 32W, sustituyendo además los balastos termomagnéticos, por un balasto electrónico para lámparas de 32W y cambiar las lámparas de luz mixta de 500W por lámparas de metal halide de 250W.

#### Descripción de la actividad

Se propone reemplazar las luminarias de 40W a 32W, los balastos termomagnéticos por balastos electrónicos y cambiar las lámparas de luz mixta de 500W por lámparas de metal halide de 250W, energizando las luminarias focalizadas 9 horas dentro de la jornada laboral y manteniendo un 30 % de las luminarias generales encendidas por motivos de seguridad (ver tabla 4.29).

**Tabla 4.29:** Evaluación de la alternativa A.10SI

| Carga       | kWh     | kWh/día    | kWh/mes     | kWh/año    | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------------|---------|------------|-------------|------------|---------------------------|
| Iluminación | 700,961 | 11028,1426 | 315952,2342 | 3791426,81 | 792408,20                 |
| A.10SI      | 522,955 | 6032,387   | 139004,86   | 1668058,32 | 348624,19                 |
| Ahorro (%)  | 25,39   | 45,30      | 56,00       | 56,00      | 56,00                     |

Fin de la Tabla

Los datos antes expuestos reflejan una reducción del más del 50 % para el consumo de kWh/mes/año. y CO<sub>2</sub>, se demuestra que la sustitución de estos equipos hace factible técnicamente la propuesta, ya que reduce significativamente los consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub>, por otro lado se aumenta la vida útil en ambos.



#### 4.6.7. Evaluación del Consumo Eléctrico en Climatización para las Alternativas de Ahorro

##### A.2SC

Apagar el sistema de climatización una vez concluya la jornada laboral

##### Descripción de la actividad

La alternativa A.2SC propone el apagar todo el sistema de climatización luego de culminar la jornada laboral(ver tabla 4.30).

**Tabla 4.30:** Evaluación de la alternativa A.2SC

| Carga         | kWh    | kWh/día   | kWh/mes    | kWh/año     | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|---------------|--------|-----------|------------|-------------|---------------------------|
| Climatización | 887,81 | 10121,034 | 212541,714 | 2550500,568 | 533054,62                 |
| A.2SC         |        | 8878,1    | 177562     | 2130744     | 445325,50                 |
| Ahorro (%)    |        | 12,28     | 16,46      | 16,46       | 16,46                     |

Fin de la Tabla

Los datos de la tabla 4.30 manifiestan la factibilidad de la propuesta debido a la disminución del kWh/mes/año. y CO<sub>2</sub> en 16,46 %.

##### A.3SC

Apagar el sistema de climatización una hora dentro de la jornada laboral.

##### Descripción de la actividad

Se pretende la energización de 9 horas del sistema de climatización pero esta actividad desglosa dos alternativas, debido a que en las oficinas comprende los aires acondicionados y en las áreas productivas los equipos involucrados son: Ventiladores industriales, Breezair. Los otros equipos no cumplirán con este ahorro ya que el área de pintura presenta un nivel elevado de temperatura.



### A.3SC1

Apagar los aires acondicionados de las oficinas una hora dentro de la jornada laboral.

**Descripción de la actividad** Se establece un horario de energización del sistema de climatización en las oficinas, este horario está comprendido desde las (8:00 am a 5:00pm) 9 horas en total, cumpliendo una hora de ahorro (ver tabla 4.31).

**Tabla 4.31:** Evaluación de la alternativa A.3SC1

| Carga         | kWh    | kWh/día   | kWh/mes    | kWh/año     | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|---------------|--------|-----------|------------|-------------|---------------------------|
| Climatización | 887,81 | 10121,034 | 212541,714 | 2550500,568 | 533054,62                 |
| A.3SC1        | 433,69 | 8444,41   | 168888,2   | 2026658,4   | 423571,61                 |
| Ahorro (%)    | 48,85  | 16,57     | 20,54      | 20,54       | 20,54                     |

Fin de la Tabla

En la tabla 4.31 se observa que con la aplicación de la alternativa A.3SC1, se obtiene una disminución del consumo de energía eléctrica y de emisiones de CO<sub>2</sub> de 20,54 %. La alternativa anterior es factible por presentar una rata de más de 20 %.

### A.3SC2

Apagar los ventiladores industriales y breezair una hora dentro de la jornada laboral.

**Descripción de la actividad** Se propone la energización del sistema de climatización de las áreas productivas alrededor de 9 horas dentro de la jornada laboral, la desenergización se lleva a cabo en el horario de descanso (10:30am a 11:30am) por motivo de que los trabajadores se encuentran en el área del comedor y espacios recreacionales ver tabla 4.32).

**Tabla 4.32:** Evaluación de la alternativa A.3SC2

| Carga         | kWh    | kWh/día   | kWh/mes    | kWh/año     | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|---------------|--------|-----------|------------|-------------|---------------------------|
| Climatización | 887,81 | 10121,034 | 212541,714 | 2550500,568 | 533054,62                 |

Continua en la Siguiete página



**Tabla 4.32:** Evaluación de la Alternativa A.3SC2 (Continuación)

| Carga      | kWh   | kWh/día | kWh/mes | kWh/año | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|------------|-------|---------|---------|---------|---------------------------|
| A.3SC2     | 251,1 | 8627    | 172540  | 2070480 | 432730,32                 |
| Ahorro (%) | 28,28 | 14,76   | 18,82   | 18,82   | 18,82                     |

Fin de la Tabla

En la tabla 4.32 se determina la reducción en un 18,82 % kWh/mes/año y CO<sub>2</sub> , esta alternativa presenta ahorros del más del 15 % siendo una propuesta técnicamente factible, por disminuir el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### A.3SC3

Apagar el sistema de climatización una hora dentro de la jornada laboral.

**Descripción de la actividad** Las unión de las alternativas A.3SC1 y A.3SC2 determina esta propuesta (Ver Tabla 4.33).

**Tabla 4.33:** Evaluación de la alternativa A.3SC3

| Carga         | kWh    | kWh/día   | kWh/mes    | kWh/año     | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|---------------|--------|-----------|------------|-------------|---------------------------|
| Climatización | 887,81 | 10121,034 | 212541,714 | 2550500,568 | 533054,62                 |
| A.3SC3        | 684,79 | 8193,31   | 163866,2   | 1966394,4   | 410976,43                 |
| Ahorro (%)    | 22,87  | 19,05     | 22,90      | 22,90       | 22,90                     |

Fin de la Tabla

Energizando el sistema de climatización una hora menos en la jornada laboral disminuye considerablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo energético en un 22,90 %, siendo una propuesta factible para la Empresa.

#### 4.6.8. Evaluación del Consumo Eléctrico en Motores para las Alternativas de Ahorro

Las alternativas que producen reducción en el consumo de energía eléctrica son las A.2M, A.3M y A.4M, las demás ayudan a mantener las condiciones originales de los motores y además garantizan su correcto funcionamiento por lo que no serán evaluadas en términos de reducción del consumo de energía.

##### A.2M

Programar el encendido y apagado de los motores según los requerimientos exigidos durante el proceso productivo (Elaboración de Check List).

##### Descripción de la actividad

La programación del encendido y apagado de los motores se realizará de acuerdo a los procesos en los que ellos se ven involucrado, es decir, se tomará en cuenta aquellos motores cuyo consumo de energía se desarrolla única y exclusivamente dentro del horario laboral y que debido a la naturaleza de su uso, el apagado, no afecta la calidad del producto, ni ocasiona deterioro del proceso en el que se involucra. Teniendo en cuenta esta consideración, tanto



en Pintura como en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se quedarán encendidos aquellos motores que garantizan el funcionamiento mínimo de esos procesos.

El encendido de los motores será de 10 horas durante los días laborales y estará comprendido entre las 6 : 30 *am* y las 4 : 30 *pm*, se considera como potencia para los motores de Pintura y Planta de Tratamiento que deben permanecer encendidos las 24 horas del día, todos los días, el valor de 109,773 [kW] (Valor determinado a partir de las potencias medidas en los motores de esos procesos). En la tabla 4.34

**Tabla 4.34:** Evaluación de la alternativa A.2M

| Carga       | kWh      | kWh/día  | kWh/mes   | kWh/año    | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------------|----------|----------|-----------|------------|---------------------------|
| Motores     | 1000,198 | 13562,73 | 271254,65 | 3255055,78 | 680306,66                 |
| A.2M        | 1000,198 | 11538,80 | 257121,56 | 3085458,72 | 644860,87                 |
| Ahorro A.2M | 0        | 2023,93  | 14133,09  | 169597,06  | 35445,78                  |
| Ahorro (%)  | 0        | 14,92    | 5,21      | 5,21       | 5,21                      |

Fin de la Tabla

### A.3M

Reemplazar el Motor existente por uno de la misma potencia y según la eficiencia establecida en la especificación NEMA Premium

#### Descripción de la actividad

Esta alternativa plantea la sustitución del motor existente por un motor de mayor eficiencia según la especificación NEMA Premium. El criterio para el encendido y apagado de los equipos es el mismo que el de la alternativa A.2M. La evaluación del consumo eléctrico se realizó tomando en cuenta aquellos motores que no cumplieron con el valor de eficiencia nominal realizado en la sección 4.5.3.



Se clasificaron los motores de acuerdo a su capacidad (Potencia Hp) y se determinó el ahorro en energía que se puede lograr al sustituir los motores del conjunto por motores más eficientes.

Las tablas 4.35 y 4.36 muestran el resultado de la evaluación del consumo para cada grupo de motores.

**Tabla 4.35:** Evaluación del Consumo de Energía para la Alternativa A.3M Motores de 5, 10, 15, 25 Hp

| [HP]  | Alternativa | kWh    | kWh/día | kWh/mes  | kWh/año   | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------|-------------|--------|---------|----------|-----------|---------------------------|
| 5Hp   | Actual      | 96,76  | 1026,82 | 20663,30 | 247959,60 | 51823,56                  |
|       | A.3M        | 90,85  | 967,72  | 20369,60 | 244435,20 | 51086,96                  |
|       | Ahorro [%]  | 6,11   | 5,76    | 1,42     | 1,42      | 1,42                      |
| 7.5Hp | Actual      | 83,49  | 834,90  | 25047,00 | 300564,00 | 62817,88                  |
|       | A.3M        | 78,90  | 789,00  | 23670,00 | 284040,00 | 59364,36                  |
|       | Ahorro [%]  | 5,50   | 5,50    | 5,50     | 5,50      | 5,50                      |
| 10Hp  | Actual      | 72,12  | 814,58  | 17892,40 | 214708,80 | 44874,14                  |
|       | A.3M        | 69,33  | 784,58  | 17256,40 | 207076,80 | 43279,05                  |
|       | Ahorro [%]  | 3,87   | 3,68    | 3,55     | 3,55      | 3,55                      |
| 15Hp  | Actual      | 147,20 | 1472,00 | 44160,00 | 529920,00 | 110753,28                 |
|       | A.3M        | 136,04 | 1360,40 | 40812,00 | 489744,00 | 102356,50                 |
|       | Ahorro [%]  | 7,58   | 7,58    | 7,58     | 7,58      | 7,58                      |
| 25Hp  | Actual      | 69,60  | 696,00  | 20880,00 | 250560,00 | 52367,04                  |
|       | A.3M        | 60,97  | 609,70  | 18291,00 | 219492,00 | 45873,83                  |
|       | Ahorro [%]  | 12,40  | 12,40   | 12,40    | 12,40     | 12,40                     |

Fin de la Tabla

Al ver el resultado de la evaluación para la tabla anterior (ver tabla 4.35 se observa que al aumentar la capacidad de los motores se logra aumentar porcentualmente los ahorros de energía por sustitución con motores eficientes en cada grupo de motores; el mayor ahorro



se logrará al sustituir todo el conjunto de motores de 25Hp el cual tiene un porcentaje de disminución de 12,40 % respecto al consumo anterior.

A continuación se muestra el resultado para los motores mayores a 25Hp

**Tabla 4.36:** Evaluación del Consumo de Energía para la Alternativa A.3M Motores de 30, 40, 50 75 HP

| [HP] | Alternativa | kWh    | kWh/día | kWh/mes  | kWh/año   | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|------|-------------|--------|---------|----------|-----------|---------------------------|
| 30Hp | Actual      | 127,25 | 2354,14 | 65625,20 | 787502,40 | 164588,00                 |
|      | A.3M        | 102,07 | 1895,14 | 52893,20 | 634718,40 | 132656,15                 |
|      | Ahorro [%]  | 19,79  | 19,50   | 19,40    | 19,40     | 19,40                     |
| 40Hp | Actual      | 85,53  | 1051,72 | 24401,60 | 292819,20 | 61199,21                  |
|      | A.3M        | 67,05  | 825,76  | 19176,80 | 230121,60 | 48095,41                  |
|      | Ahorro [%]  | 21,61  | 21,48   | 21,41    | 21,41     | 21,41                     |
| 50Hp | Actual      | 157,49 | 1574,90 | 47247,00 | 566964,00 | 118495,48                 |
|      | A.3M        | 99,61  | 996,10  | 29883,00 | 358596,00 | 74946,56                  |
|      | Ahorro [%]  | 36,75  | 36,75   | 36,75    | 36,75     | 36,75                     |
| 75Hp | Actual      | 79,98  | 799,80  | 23994,00 | 287928,00 | 60176,95                  |
|      | A.3M        | 69,64  | 696,40  | 20892,00 | 250704,00 | 52397,14                  |
|      | Ahorro [%]  | 12,93  | 12,93   | 12,93    | 12,93     | 12,93                     |

Fin de la Tabla

El mayor porcentaje de ahorro se logra al sustituir los motores de 50Hp en casi un 37 %, esto se debe en gran parte a que las eficiencias que se determinaron en estos motores fueron menores al 67 %, lo que significa que mas del 20 % de la potencia de entrada se transforma en perdidas.



#### A.4M

Reemplazar el Motor existente por un equipos de menor potencia según el resultado de la evaluación técnica, y que cumplan con la eficiencia nominal establecida en la especificación NEMA Premium.

##### **Descripción de la actividad**

En esta alternativa, al igual que la anterior, se analizan los motores por grupos de acuerdo a su potencia. Además se sustituyen solo aquellos motores cuyo dimensionamiento es de menor potencia que la opción actual y de acuerdo a la especificación NEMA Premium, se utilizaron los mismos criterios para los horarios de encendido y apagado de los equipos de la alternativa anterior. La tabla 4.37 muestra el resultado de la evaluación para los motores menores a  $25Hp$

---



**Tabla 4.37:** Evaluación del Consumo de Energía para la Alternativa A.4M Motores de 5, 10, 15, 25 Hp

| [HP]  | Alternativa | kWh    | kWh/día | kWh/mes  | kWh/año   | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|-------|-------------|--------|---------|----------|-----------|---------------------------|
| 5Hp   | Actual      | 96,76  | 1026,82 | 20663,30 | 247959,60 | 51823,56                  |
|       | A.4M        | 83,07  | 889,08  | 18782,40 | 225388,80 | 47106,26                  |
|       | Ahorro [%]  | 14,15  | 13,41   | 9,10     | 9,10      | 9,10                      |
| 7.5Hp | Actual      | 83,49  | 834,90  | 25047,00 | 300564,00 | 62817,88                  |
|       | A.4M        | 75,74  | 757,40  | 22722,00 | 272664,00 | 56986,78                  |
|       | Ahorro [%]  | 9,28   | 9,28    | 9,28     | 9,28      | 9,28                      |
| 10Hp  | Actual      | 72,12  | 814,58  | 17892,40 | 214708,80 | 44874,14                  |
|       | A.4M        | 53,20  | 623,28  | 14030,40 | 168364,80 | 35188,24                  |
|       | Ahorro [%]  | 26,23  | 23,48   | 21,58    | 21,58     | 21,58                     |
| 15Hp  | Actual      | 147,20 | 1472,00 | 44160,00 | 529920,00 | 110753,28                 |
|       | A.4M        | 110,13 | 1101,30 | 33039,00 | 396468,00 | 82861,81                  |
|       | Ahorro [%]  | 25,18  | 25,18   | 25,18    | 25,18     | 25,18                     |
| 25Hp  | Actual      | 69,60  | 696,00  | 20880,00 | 250560,00 | 52367,04                  |
|       | A.4M        | 37,67  | 376,70  | 11301,00 | 135612,00 | 28342,91                  |
|       | Ahorro [%]  | 45,88  | 45,88   | 45,88    | 45,88     | 45,88                     |

Fin de la Tabla

Los ahorros logrados por el dimensionamiento y sustitución de motores mas eficientes que se determinaron de la tabla anterior, logran porcentajes de disminución entre el 9% y 45% respecto a la condición actual para los grupos de motores. En la tabla 4.38 se determina los ahorros para los motores mayores a 25Hp



**Tabla 4.38:** Evaluación del Consumo de Energía para la Alternativa A.4M Motores de 30, 40, 50 75 HP

| [HP] | Alternativa | kWh    | kWh/día | kWh/mes  | kWh/año   | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|------|-------------|--------|---------|----------|-----------|---------------------------|
| 30Hp | Actual      | 127,25 | 2354,14 | 65625,20 | 787502,40 | 164588,00                 |
|      | A.4M        | 61,17  | 1111,64 | 30803,20 | 369638,40 | 77254,43                  |
|      | Ahorro [%]  | 51,93  | 52,78   | 53,06    | 53,06     | 53,06                     |
| 40Hp | Actual      | 85,53  | 1051,72 | 24401,60 | 292819,20 | 61199,21                  |
|      | A.4M        | 31,83  | 376,54  | 8529,20  | 102350,40 | 21391,23                  |
|      | Ahorro [%]  | 62,78  | 64,20   | 65,05    | 65,05     | 65,05                     |
| 50Hp | Actual      | 157,49 | 1574,90 | 47247,00 | 566964,00 | 118495,48                 |
|      | A.4M        | 41,94  | 419,40  | 12582,00 | 150984,00 | 31555,66                  |
|      | Ahorro [%]  | 73,37  | 73,37   | 73,37    | 73,37     | 73,37                     |
| 75Hp | Actual      | 79,98  | 799,80  | 23994,00 | 287928,00 | 60176,95                  |
|      | A.4M        | 46,43  | 464,30  | 13929,00 | 167148,00 | 34933,93                  |
|      | Ahorro [%]  | 41,95  | 41,95   | 41,95    | 41,95     | 41,95                     |

Fin de la Tabla

Aquí se evidencian grandes porcentajes de ahorros de energía, lo que refleja lo beneficiosa que puede ser esta alternativa frente a las otras que se han considerado para los motores, ya que se logran porcentajes de disminución mayores al 40 % y el siguiente paso es realizar la evaluación económica a fin de verificar su factibilidad de implementación.



#### 4.6.9. Evaluación del Consumo Eléctrico en Misceláneos para las Alternativas de Ahorro

##### A.4EO

Apagar los equipos de oficina una vez concluya la jornada laboral.

**Descripción de la actividad** Esta alternativa consiste en apagar los equipos de oficinas al finalizar la jornada laboral (5:00pm). La tabla 4.39 muestra los siguientes valores.

**Tabla 4.39:** Evaluación de la alternativa A.4EO

| Carga               | kWh      | kWh/día   | kWh/mes   | kWh/año     | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|---------------------|----------|-----------|-----------|-------------|---------------------------|
| equipos de oficinas | 153,6147 | 2894,1414 | 86824,242 | 1041890,904 | 217755,20                 |
| A.4EO               |          | 2231,247  | 56540,94  | 678491,28   | 141804,68                 |
| Ahorro (%)          |          | 22,90     | 34,88     | 34,88       | 34,88                     |

Fin de la Tabla

Los valores antes expuestos hacen reducir el consumo energético en un 22,90 % de kWh/día y en emisiones de CO<sub>2</sub> al año en un 34,88 % Lo que hace una alternativa técnicamente factible.

##### A.5EO

Apagar los equipos de oficina una hora dentro de la jornada laboral (hora de descanso).

##### Descripción de la actividad

Desernegizar los equipos de oficinas en la hora de descanso (12:00 pm a 1:00pm). Con esta propuesta se pretende a que el personal de las oficinas participen en los ahorros energéticos en la empresa.



**Tabla 4.40:** Evaluación de la alternativa A.5EO

| Carga               | kWh      | kWh/día   | kWh/mes   | kWh/año     | CO <sub>2</sub> (kg)/ año |
|---------------------|----------|-----------|-----------|-------------|---------------------------|
| equipos de oficinas | 153,6147 | 2894,1414 | 86824,242 | 1041890,904 | 217755,20                 |
| A.5EO               | 16,1375  | 2127,2823 | 54461,646 | 653539,752  | 136589,81                 |
| Ahorro (%)          | 89,49    | 26,50     | 37,27     | 37,27       | 37,27                     |

Fin de la Tabla

La tabla 4.40 determina la reducción de kWh/mes/año en un 37,27 % y CO<sub>2</sub> , y en kWh se reduce el consumo en un 89,49 %, esta alternativa presenta ahorros del más del 35 % siendo una propuesta técnicamente factible, por disminuir el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 4.7. Evaluación Económica de las Propuestas de Eficiencia Energética

En esta etapa de la investigación se tomó un período de estudio de 5 años, se consideró una tasa de interés de 17,43 %, los costos de los equipos son proporcionados por el software MotorMaster+ y por el almacén de Chrysler de Venezuela LLC. Otro aspecto importante es que las propuestas se estudió en aquellas que no emplean ninguna inversión y las que requieren de inversión.

La tabla 4.41 demuestra el consumo en (kWh/año) y los costos por energía asociados para cada sistema, siendo esta la base de comparación con cada propuesta estudiada.



**Tabla 4.41:** Consumo (kWh/año) y costos asociados (Bs) de electricidad para cada sistema.

| Equipo                | Consumo (kWh/año) | Costo de Electricidad [Bs] |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|
| Iluminación           | 3791426,81        | 364763,86                  |
| Climatización         | 2550500,568       | 328479,02                  |
| Motores               | 3255055,776       | 392695,00                  |
| Compresores           | 3234009,6         | 305243,87                  |
| Misceláneos           | 1041890,904       | 92449,95                   |
| Pistolas electropunto | 1535403,929       | 303907,56                  |
| Refrigeracion         | 666662,4          | 92541,15                   |

Fin de la Tabla

El cálculo de ahorro energético en las alternativas seleccionadas para la evaluación económica se estimó de la siguiente manera.

$$\text{Ahorro}(Bs/año) = (kWh/año(Actual) - kWh/año(Alternativa)) \cdot \text{Tarifa}(Bs/kWh) \quad (4.7)$$

#### 4.7.1. Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Iluminación

##### Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Iluminación Sin Inversión

En la tabla 4.42 se expuso las propuestas del sistema de iluminación sin inversión. El ahorro de energía se calculó con la ecuación .



**Tabla 4.42:** Evaluación económica de las propuestas sin inversión del sistema de iluminación.

| Propuesta | Consumo (kWh/año) | Costo de Electricidad [Bs] | Ahorro (%) |
|-----------|-------------------|----------------------------|------------|
| A.2SI     | 2358023,52        | 279764,05                  | 23.30      |
| A.3SI     | 2276423,28        | 274925.21                  | 24.62      |

Fin de la Tabla

La tabla expresa que la alternativa de mayor ahorro es la opción A.3SI teniendo un ahorro de 24.62 %, y generando un costo de 274925,21 [Bs].

El costo operacional es el mantenimiento realizado por la contratista Condimaca teniendo un costo por hora/hombre de 30,7 Bs, siendo aplicado por 2 hombres, 1 día semanal alrededor de 48 semanas. El costo asociado de este mantenimiento anual es de 29472 [Bs].

### Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Iluminación Con Inversión

Los ahorros por las medidas con inversión se reflejan en la siguiente tabla 4.43.

**Tabla 4.43:** Evaluación económica de las propuestas con inversión del sistema de iluminación.

| Propuesta | Consumo (kWh/año) | Costo de Electricidad [Bs] | Ahorro (%) |
|-----------|-------------------|----------------------------|------------|
| A.8SI1    | 2185209,12        | 255141,51                  | 30,05      |
| A.8SI2    | 2120890,32        | 251327,45                  | 31,10      |
| A.9SI     | 2159591,52        | 246836,08                  | 32,33      |
| A.10SI    | 1668058,32        | 203313,74                  | 44,26      |

Fin de la Tabla



Las propuestas con inversión poseen un ahorro considerable siendo la alternativa A.10SI que presenta un mayor ahorro con 44,26 %, debido que involucra las dos alternativas correspondientes al sistema de iluminación.

La inversión por el reemplazo de las lámparas T12 a lámparas T8, balastos magnéticos por balastos electrónicos y el reemplazo de lámparas de luz mixta 500W por metal halide de 250W, se detalla en la siguiente tabla 4.44, donde muestra la cantidad de lámparas a reemplazar, costos por lámpara, el número de balastos a reemplazar, el costo de las nuevas unidades y total de la inversión.

**Tabla 4.44:** Reemplazo de lámparas de y equipos auxiliares

| <b>Cant. Lámparas a Reemplazar</b> | <b>Costos de Lámpara)</b> | <b>Cant. de Balastos a Reemplazar</b> | <b>Costos de Balastos Electrónicos</b> | <b>Total de Inversión</b> |
|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------|
| 4297                               | 18,82                     | 1074                                  | 138                                    | 229545,74                 |
| 424                                | 126                       | 424                                   | 252,86                                 | 227416,64                 |

Fin de la Tabla

El número de reemplazos de las lámparas en el período se calculó de la siguiente manera:

$$Reemplazo = \frac{(Período.Horas en uso)}{Vida Útil} = \frac{5 * 2050}{20000} \approx 0 \quad (4.8)$$

El costo por inversión es de 229545,74 [Bs], se determinó si dicha alternativa es rentable, para ello se estudió la factibilidad económica, en la tabla 4.45 muestra la aplicación para una propuesta (A.8SI1) en la escala del tiempo. Las fórmulas empleadas en esta sección se presentan en el capítulo II.



**Tabla 4.45:** Evaluación económica de la propuesta en la escala del tiempo.

| Período | Inversión [Bs] | Ahorro [Bs] | Costos Operacionales [Bs] |
|---------|----------------|-------------|---------------------------|
| 0       | -229545,74     | -           | -                         |
| 1       | -              | 109622,35   | 29472                     |
| 2       | -              | 131546,82   | 29472                     |
| 3       | -              | 157856,184  | 29472                     |
| 4       | -              | 189427,420  | 29472                     |
| 5       | -              | 227312,905  | 29472                     |

Fin de la Tabla

La siguiente tabla 4.46 muestra el valor neto actual, tasa interna de retorno, beneficio – costo y período de retorno de las alternativas.

**Tabla 4.46:** Valor actual neto, tasa interna de retorno, beneficio – costo y período de retorno de las alternativas con inversión del sistema de iluminación

| Propuesta | Inversión [Bs] | Costos Operacionales [Bs/año] | VNA [Bs]   | TIR [%] | B/C  | PRI [años] |
|-----------|----------------|-------------------------------|------------|---------|------|------------|
| A.8SI1    | -229545,74     | 29472                         | 164726,041 | 41      | 1,71 | 4          |
| A.8SI2    | -229545,74     | 29472                         | 202759,763 | 49      | 1,88 | 3          |
| A.9SI     | -227416,64     | 29472                         | 203800,580 | 46      | 1,89 | 3          |
| A.10SI    | -456962,38     | 58944                         | 74490,729  | 23      | 1,16 | 4          |

Fin de la Tabla



Las propuestas antes explicadas determinan que las alternativas son factibles y poseen un retorno de inversión no mayor de 4 años respectivamente.

#### 4.7.2. Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Climatización

##### Evaluación Económica de las Propuestas del Sistema de Climatización Sin Inversión

A continuación la tabla 4.47, en ella se muestra las propuestas del sistema de climatización sin inversión.

**Tabla 4.47:** Evaluación económica de las propuestas sin inversión del sistema de climatización.

| Propuesta | Consumo (kWh/año) | Costo de Electricidad [Bs] | Ahorro (%) |
|-----------|-------------------|----------------------------|------------|
| A.2SC     | 2130744           | 303587,75                  | 7,58       |
| A.3SC1    | 2026658,4         | 297415,55                  | 9,46       |
| A.3SC2    | 2070480           | 300014,141                 | 8,67       |
| A.3SC3    | 1966394,4         | 293841,938                 | 10,54      |

Fin de la Tabla

La tabla 4.47 proporciona las medidas necesarias en el ahorro en el sistema de climatización; en la alternativa (A.3SC3) se incluye las dos propuestas de ahorro lo que permite demostrar la factibilidad. Teniendo un ahorro de 10,54 % en el cargo de la facturación de la energía.

Los costos operacionales para el mantenimiento de los aires acondicionados lo aplica el personal de Condimaca, 2 veces a la semana en la jornada laboral, alrededor de 48 semanas. El costo anual por es mantenimiento de estos equipos es de 58944 [Bs]



### 4.7.3. Evaluación Económica de las Propuestas de los Equipos Misceláneos

#### Evaluación Económica de las Propuestas de los Equipos Misceláneos Sin Inversión

La tabla 4.48 determina el ahorro sin inversión en los equipos misceláneos.

**Tabla 4.48:** Evaluación económica de las propuestas sin inversión en los equipos misceláneos.

| Propuesta | Consumo (kWh/año) | Costo de Electricidad [Bs] | Ahorro (%) |
|-----------|-------------------|----------------------------|------------|
| A.4EO     | 678491,28         | 70900,61                   | 23,31      |
| A.5EO     | 653539,752        | 69421,00                   | 24,91      |

Fin de la Tabla

Los equipos misceláneos poseen en ambas alternativas ahorro de más de 20 %, lo que hace mención la importancia de los trabajadores en contribuir con estas medidas para obtener una disminución en la energía eléctrica.



#### 4.7.4. Evaluación Económica de las Propuestas en Motores para las Alternativas de Ahorro

La evaluación económica se realizó para a las alternativas A.3M y A.4M, debido a que éstas requieren inversión porque se plantea sustituir los motores existentes por motores de mayor eficiencia según la especificación NEMA Premium. En la evaluación económica se utilizó el software **MotorMaster+** [52], esta herramienta es utilizada a nivel internacional para la selección y análisis de eficiencia energética en motores (ver Apéndice D). Debido a la gran cantidad de evaluaciones requeridas para los motores, estos se agruparon de acuerdo a su potencia nominal y para el grupo se tomaron dos motores: el de menor eficiencia y el de mayor eficiencia, con el fin de conocer si el la sustitución del equipo es factible y en que tiempo se recupera la inversión.

Los criterios utilizados para realizar la evaluación se muestran en la tabla 4.49, adicionalmente se determinó que los costos operacionales se obtienen a partir del mantenimiento preventivo y predictivo de los motores, el cual es realizado por el personal de mantenimiento durante una hora con un costo de hora hombre de 18,8 [Bs].

**Tabla 4.49:** Parámetros utilizados para realizar la evaluación económica en los Motores

| <b>Nombre</b>                                   | <b>Descripción</b>  | <b>Valor</b>   |
|---|---|----------------|
| Precio de la energía                            | Costo unitario por kWh consumido  | 0,059299 [Bs]  |
| Cargo por Potencia                              | Costo unitario por demanda en kVA   | 16,636009 [Bs] |
| Horas de Uso                                    | Horas de utilización del equipo en el año   | 3618 [hrs]     |
| Factor de Potencia                              | Factor de potencia entregado por la compañía suministradora de Electricidad   | 0,82           |
| Expectativa de Vida                             | La vida esperada o útil para el motor o mejoramientos a los sistemas de motores   | 5 [años]       |
| Tasa de incremento de costos de la electricidad | Es la tasa fija o constante a la cual se espera que los cargos por energía y demanda se incrementen durante el periodo de estudio                                   | 20 [%]         |
| Tasa de descuento                               | El valor del dinero en el tiempo (porcentual). Para la industria privada, la tasa de descuento es la tasa a superar o la tasa de retorno mínima para una inversión. | 17,43 [%]      |
| Costos Operacionales                            | Costo de mantenimiento preventivo y predictivo  | 108            |

Fin de la Tabla



## Evaluación Económica de la Alternativa A.3M

En la tabla 4.50 se muestra un resumen de la evaluación económica para la alternativa A.3M

**Tabla 4.50:** Evaluación Económica A3M

| [HP]  | Eficiencia | Inversión | VNA [Bs] | TIR [%] | B/C  | RC [años] | Rentable |
|-------|------------|-----------|----------|---------|------|-----------|----------|
| 5Hp   | 81,6       | 3195      | -2599    | 0       | 0,27 | 18,35     | No       |
|       | 91,39      |           | -        | -       | -    | -         | No       |
| 7.5Hp | 86,27      | 4489      | -3912    | 0       | 0,19 | 27,10     | No       |
|       | 90,28      |           | -        | -       | -    | -         | No       |
| 10Hp  | 85,89      | 5315      | -4349    | 0       | 0,23 | 22,03     | No       |
|       | 989,60     |           | -        | -       | -    | -         | No       |
| 15Hp  | 84,16      | 7357      | -5016    | 0       | 0,35 | 14,38     | No       |
|       | 87,05      |           | -        | -       | -    | -         | No       |
| 25Hp  | 79,72      | 12517     | -4898    | 0,6     | 0,62 | 8,36      | No       |
|       | 84,12      |           | -        | -       | -    | -         | No       |
| 30Hp  | 70,14      | 14732     | 3428     | 25,9    | 1,23 | 4,25      | Si       |
|       | 72,89      |           | 620,832  | 19,0    | 1,04 | 5         | Si       |
|       | 79,14      |           | -2393    | 10,9    | 0,84 | 6,19      | No       |
| 40Hp  | 70,15      | 18.924    | 5850     | 28,6    | 1,30 | 4,02      | Si       |
|       | 73,85      |           | 938,805  | 19,3    | 1,05 | 5         | Si       |
|       | 76,12      |           | -1870    | 13,5    | 0,90 | 5,8       | No       |
| 50Hp  | 50,18      | 23280     | 56878    | 89,4    | 3,41 | 1,54      | Si       |
|       | 67,78      |           | 12446    | 36,1    | 1,53 | 3,45      | Si       |
| 75Hp  | 81,91      | 39891     | -17955   | 0       | 0,55 | 9,57      | No       |
|       | 84,35      |           | -        | -       | -    | -         | No       |

Fin de la Tabla



En la tabla 4.50 se aprecia que para los motores de 30Hp y 40Hp la alternativa es factible siempre y cuando la eficiencia se encuentre por debajo de 72,89% y 73,85 respectivamente, en cambio para los de 50 Hp la alternativa es factibles en los motores existentes, por lo que se pueden reemplazar con motores de mayor eficiencia y que cumplan con la especificación NEMA Premium. Para el resto de los motores no es factible economicamente realizar la sustitución, ya que los periodos de recuperación del capital es mayor a 5 años.

### **Evaluación Económica de la Alternativa A.4M**

En este análisis, para cada grupo de potencia, se tomo el motor que posee la mayor eficiencia dentro del grupo según el resultado de su evaluación; con ese valor se redimensionó a un motor de menor potencia y cuya eficiencia cumple con la nominal requerida por la especificación NEMA Premium. En la tabla 4.51 se muestra un resumen de la evaluación económica para la alternativa A.4M

De la tabla 4.51 se verifica que el redimensionamiento del motor existente por uno de menor capacidad y mayor eficiencia es factible para todos y cada uno de los motores que necesitan el cambio, además se observan periodos de recuperación del capital menores a 5 años llegando en algunos casos a ser menores a 1 año.

---



**Tabla 4.51:** Evaluación Económica A.4M

| [HP]  | Nuevo HP | Inversión | VNA [Bs] | TIR [%] | B/C   | RC [años] | Rentable |
|-------|----------|-----------|----------|---------|-------|-----------|----------|
| 5Hp   | 1,5Hp    | 2305      | 3783     | 67,9    | 2,43  | 1,91      | Si       |
|       | 2Hp      | 2503      | 2618     | 51,4    | 1,92  | 2,45      | Si       |
|       | 3Hp      | 2804      | 469      | 23,6    | 1,15  | 4,1       | Si       |
| 7.5Hp | 5Hp      | 3195      | 1175     | 30,5    | 1,33  | 3,63      | Si       |
| 10Hp  | 5Hp      | 3195      | 6.084    | 75,1    | 2,72  | 1,77      | Si       |
|       | 7.5Hp    | 4489      | 280      | 19,8    | 1,06  | 4,67      | Si       |
| 15Hp  | 5Hp      | 3195      | 16494    | 154,7   | 5,66  | 0,85      | Si       |
|       | 7.5Hp    | 4489      | 10690    | 87,6    | 3,21  | 1,54      | Si       |
|       | 10Hp     | 5315      | 5273     | 50,0    | 1,93  | 2,60      | Si       |
| 25Hp  | 10Hp     | 5315      | 26673    | 151,5   | 5,71  | 0,87      | Si       |
|       | 15Hp     | 7357      | 15514    | 80,7    | 3,02  | 1,69      | Si       |
|       | 20Hp     | 8974      | 4831     | 36,2    | 1,52  | 3,39      | Si       |
| 30Hp  | 15Hp     | 7357      | 29536    | 127,9   | 4,84  | 1,05      | Si       |
|       | 20Hp     | 8974      | 18853    | 80,5    | 3,02  | 1,70      | Si       |
|       | 25Hp     | 12517     | 6402     | 35,3    | 1,50  | 3,47      | Si       |
| 40Hp  | 15Hp     | 7357      | 54681    | 207,4   | 8,10  | 0,62      | Si       |
|       | 20Hp     | 8974      | 43999    | 149,0   | 5,72  | 0,89      | Si       |
|       | 25Hp     | 12517     | 31547    | 91,3    | 3,45  | 1,50      | Si       |
| 50Hp  | 15Hp     | 7357      | 91150    | 319,9   | 12,84 | 0,39      | Si       |
|       | 20Hp     | 8974      | 80468    | 242,5   | 9,64  | 0,53      | Si       |
|       | 25Hp     | 12517     | 68016    | 161,4   | 6,29  | 0,82      | Si       |
| 75Hp  | 50Hp     | 23280     | 38503    | 68,7    | 2,63  | 2,0       | Si       |

Fin de la Tabla



---

## CAPÍTULO V

# RESUMEN PARA ALTERNATIVAS EVALUADAS

El presente capítulo muestra un resumen del conjunto de propuestas evaluadas económicamente y que resultaron rentables para aumentar la eficiencia energética y disminuir el consumo energético en Chrysler de Venezuela LLC.

La tabla 5.1 muestra el resumen de las alternativas seleccionadas de acuerdo a la factibilidad y rentabilidad.

**Tabla 5.1:** Resumen de alternativas rentables

| <b>Equipos</b> | <b>Alternativa</b> | <b>Descripción</b>  |
|----------------|--------------------|---|
| Iluminación    | A.10SI             | Reemplazar las luminarias de T12 por T08 y las luminarias de luz mixta por bombillos de metal halide  |
| Climatización  | A.3SC3             | Apagar el sistema de climatización en las oficinas una hora dentro de la jornada laboral de 7:00 am a 8:00 am y en las áreas productivas (hora de descanso)                                 |
| Motores        | A.4M               | Reemplazar los motores existentes por equipos de menor potencia según el redimensionamiento de la sección 4.5.5 que cumplan con la eficiencia establecida en la especificación Nema Premium |
| Misceláneos    | A.5E0              | Apagar los equipos de oficina una hora dentro de la jornada laboral (hora de descanso)  |

Fin de la Tabla

---



En la tabla 5.2 se presentan los ahorros que se obtienen respecto al consumo actual por cada sistema y en general, una vez implementada cada alternativa (ver tabla 5.1).

**Tabla 5.2:** Resumen de Alternativas Rentables.

| Equipos       | Inversión<br>[Bs] | Ahorro<br>[kWh] | Ahorro<br>[Bs] | Ahorro<br>[kg-CO <sub>2</sub> ] | %<br>Ahorro<br>en [kWh] |
|---------------|-------------------|-----------------|----------------|---------------------------------|-------------------------|
| Iluminación   | 456962,38         | 2123368,49      | 230313,31      | 443784,0                        | 56                      |
| Climatización | 0                 | 584106,17       | 211873,22      | 122078,1                        | 22,9                    |
| Motores       | 597170            | 1015060,836     | 193371,13      | 212147,7                        | 31,18                   |
| Misceláneos   | 0                 | 388351,15       | 53695,5        | 81165,4                         | 37,27                   |
| Total         | 1054132,38        | 4110886,65      | 689253,17      | 859175,3                        | 25,57                   |

Observando los datos que se muestran en la tabla 5.2 se analiza, que con una inversión de 1054132,38 [Bs] para la implementación de las propuestas, sólo en el primer año, se obtendrán ingresos de 689253,167 [Bs] en facturación de electricidad, lo que representa en términos simples, una recuperación del capital invertido en un periodo menor a dos años. Además con la aplicación de las propuestas se logra reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 859175,309 [kg – CO<sub>2</sub>/año], lo que asegura el cumplimiento del compromiso ambientalista por parte de la empresa.



---

## CAPÍTULO VI

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

En este trabajo se realizó un estudio de eficiencia energética en la planta ensambladora de vehículos Chrysler de Venezuela LLC, la metodología que se utilizó fue la de una auditoría energética, se logró realizar un diagnóstico de la situación actual de la planta, donde se establecieron los principales equipos consumidores de energía, además se determinó la estructura de la empresa a través de las áreas que la conforman y con la ayuda de los historiales de consumo de energía de cada área, se identificó al área de Pintura como principal consumidora de energía en el conjunto, con un 45 % del consumo total de la planta. Así mismo, para cada una de las áreas se determinó la incidencia de cada grupo de equipos, lo que arrojó como resultado a las pistolas de Electropunto con la mayor demanda del sistema; pero como se demostró más adelante, el consumo de energía estuvo encabezado por el sistema de Iluminación con un 23 % de incidencia en el consumo total.

Otros de los aspectos importantes que se desarrollaron en esta investigación fue la utilización de métodos y análisis estadísticos para determinar el comportamiento del consumo de energía en cada una de las áreas, permitiendo el establecimiento de los valores analíticos del consumo de energía linealizando sus parámetros a través del algoritmo Marquardt-Levenberg de mínimos cuadrados no lineales implementado con el software interactivo GnuPlot. Esto sirvió para validar el estudio teórico con los consumos reales obtenidos mediante las mediciones realizadas en la empresa.

Las evaluaciones técnicas y operativas de cada uno de los grupos de equipos permitieron cuantificar los valores de eficiencia y al compararlos con las diferentes normas y especifi-

---



caciones internacionales. Se pudo constatar el incumplimiento de esos requerimiento en la mayoría de los equipos existentes en planta. Como consecuencia de la evaluación se elaboraron de propuestas que apuntan a mejorar los sistemas evaluados, y por ende, lograr que sean eficientes.

Luego de haber establecido las propuestas de ahorro, se analizaron y se agruparon en: alternativas que no requieren inversión y alternativas que requieren inversión, a estas últimas se les realizó un estudio de viabilidad económica y para cada sistema se llegó a los siguientes resultados:

- ⚡ En los sistemas de Iluminación, la alternativa A.10SI, disminuye las emisiones de  $CO_2$  en un 56,00%, lo que hace que esta propuesta sea la de mayor viabilidad económica del conjunto, ya que se estima un retorno de la inversión en aproximadamente 4 años.
- ⚡ Para el Sistema de Climatización, se comprobó que la alternativa sin inversión A.3SC3. Resulta ser la más atractiva del conjunto logrando un ahorro de 22,9% en el consumo energético.
- ⚡ Con los Motores, se verificó que la mejor propuesta para disminuir el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética es la alternativa A.4M, la cual trae grande porcentajes de ahorro y tiempos de recuperación de la inversión relativamente cortos en comparación con la alternativa A.3M.
- ⚡ Por último se tiene para los equipos misceláneos, la alternativa A.5EO es la más viable, ya que, se logra obtener una disminución de 37,27% en el consumo de energía.

Para finalizar se evaluaron todas las alternativas rentables y se determinó que de lograr implementarse, se reduce el consumo de energía en más de un 20% al año y la inversión se recupera en un período menor a 2 años.

---



## 6.2. Recomendaciones

Se recomienda a la Empresa:

- ⚡ Realizar campañas periódicamente que apunten a usar eficientemente todos los equipos y sistemas que los empleados utilizan en sus labores diarias.
  - ⚡ Hacer reuniones periódicas con el Comité de Ahorro y Uso Eficiente de la Energía a fin de gestionar y verificar el estatus de las propuestas de eficiencia energética.
  - ⚡ Analizar las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos de nueva adquisición a fin de regular el cumplimiento de las diferentes normas y especificaciones de eficiencia energética existentes.
  - ⚡ Evaluar periódicamente el cumplimiento de los planes de ahorro y uso eficiente de energía en cada una de las áreas.
  - ⚡ Limpiar periódicamente las luminarias, porque la suciedad disminuye el nivel de iluminación de una lámpara hasta en un 20 %.
  - ⚡ Independizar y sectorizar los circuitos de iluminación, esto ayudará a iluminar sólo los lugares necesarios.
  - ⚡ Seleccionar las lámparas que suministren los niveles de iluminación requeridos en las normas de acuerdo al tipo de actividad que desarrollen.
  - ⚡ Hacer un estudio de los niveles de iluminación requeridos por área en la empresa.
  - ⚡ Limpie y revise periódicamente su sistema de aire acondicionado (cada 2 ó 3 meses) podría suponer un ahorro de entre un 3 % y un 10 % del consumo de energía utilizado para la climatización.
  - ⚡ Asegurar el control de la temperatura, regulando el termostato conveniente en las oficinas y lugares donde exista los aires acondicionados.
-

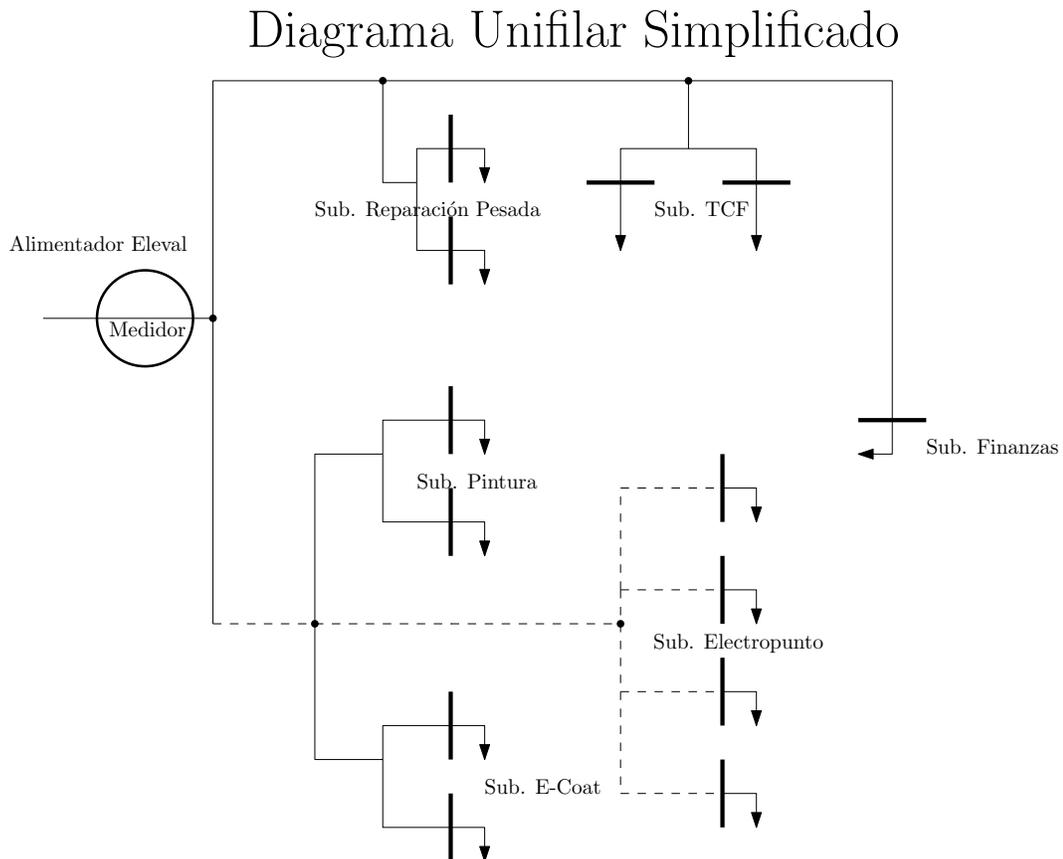


- ⚡ Realizar un estudio de carga a todos los motores evaluados en esta investigación con un analizador de redes que permita almacenar los parámetros eléctricos y elaborar un perfil de trabajo a fin de dimensionar adecuadamente el motor.
  - ⚡ Adquirir equipos para diagnóstico de las condiciones operativas de los motores con la finalidad de realizar análisis predictivos.
  - ⚡ Efectuar rutinariamente la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños, que impidan su óptimo funcionamiento. La regularidad con que ésta se realice dependerá de las condiciones en las que el motor este trabajando, pero es recomendable desmontarlo al menos una vez al año para realizar la limpieza completa de todos sus componentes.
  - ⚡ Realizar la inspección periódica del motor, incluyendo lecturas de corriente, potencia (kW), velocidad (Rpm), resistencia de aislamiento, etc., con objeto de verificar si se mantienen en condiciones apropiadas de funcionamiento y eficiencia, y poder tomar acciones correctivas, cuando se requieran.
  - ⚡ No se recomienda rebobinar los motores más de 2 veces, porque puede variar las características de diseño del motor, lo cual incrementaría las pérdidas de energía.
  - ⚡ Evaluar la colocación de variadores de velocidad en los motores de alto consumo de energía. A fin de ajustar el consumo eléctrico a los estados de cargas presentes en dichos motores.
  - ⚡ Apagar el computador y la pantalla cuando no se estén utilizando.
-



## APÉNDICE A DIAGRAMAS UNIFILARES

A continuación se muestran los diagramas unifilares de la Empresa Chrysler de Venezuela LLC.

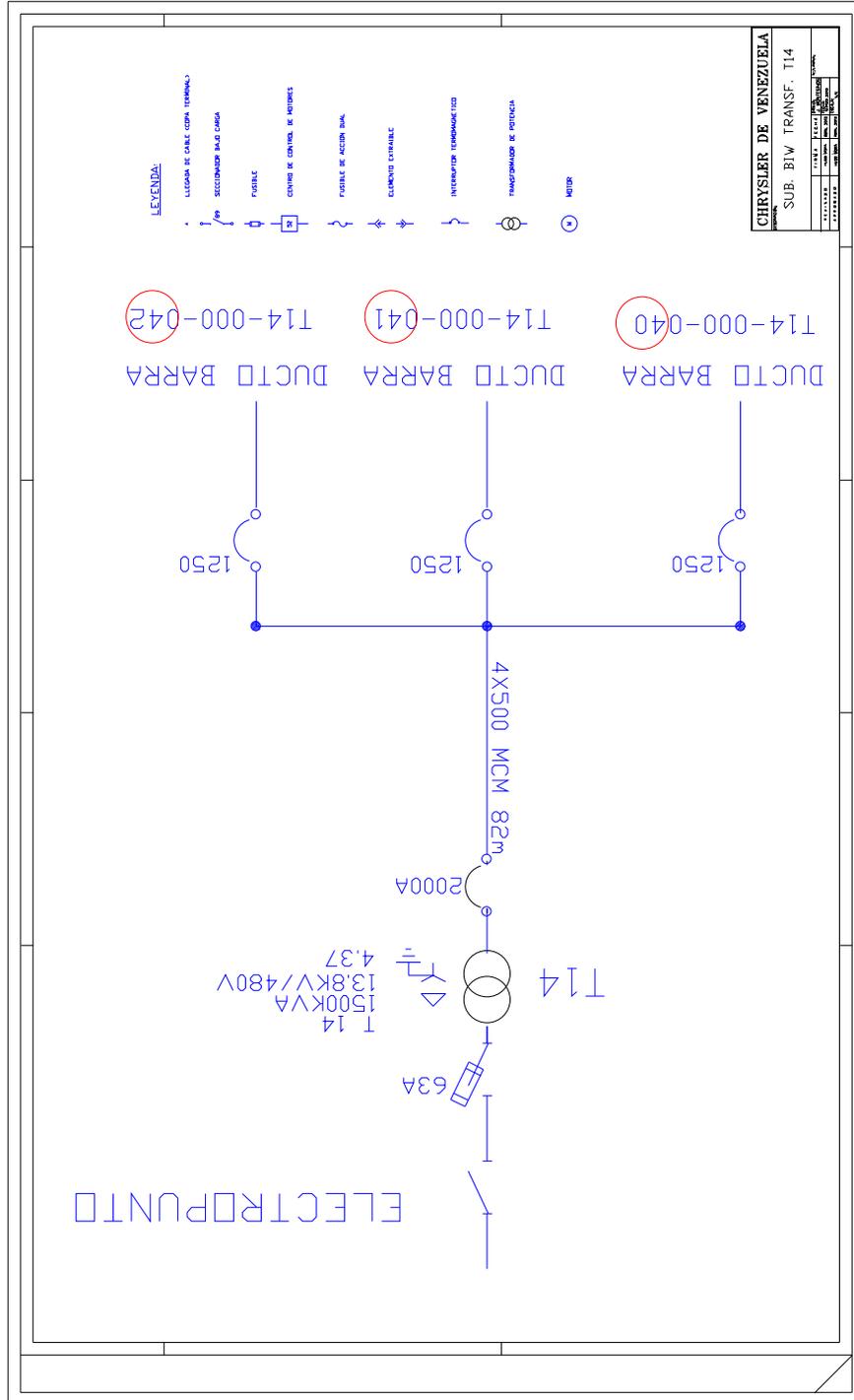


**Figura A.1:** Diagrama Unifilar Simplificado de Chrysler de Venezuela LLC









**Figura A.5:** Diagrama Unifilar Subestación de Electropunto Transformador T14



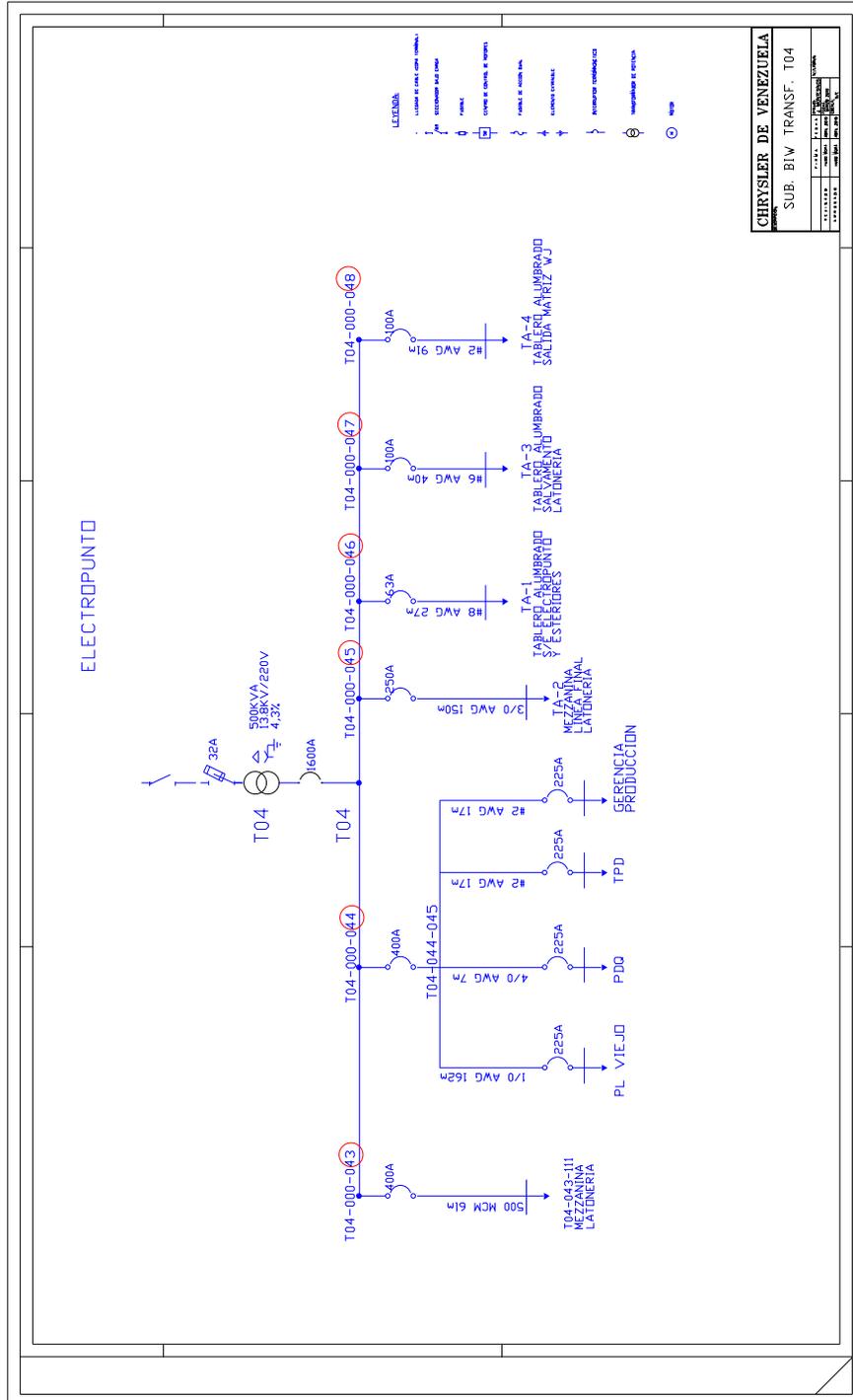


Figura A.7: Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T04

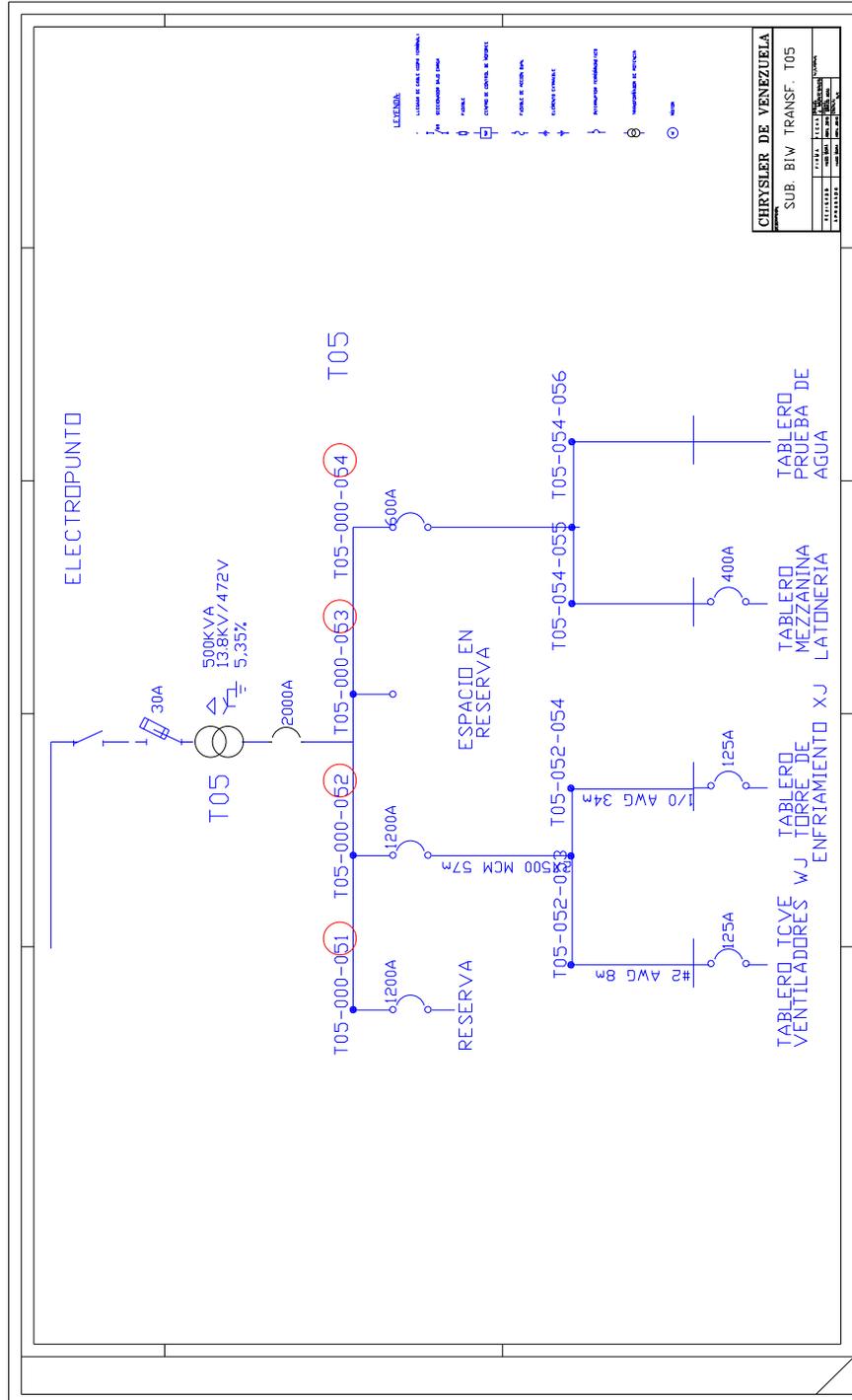


Figura A.8: Diagrama Unifilar Subestación de BIW Transformador T05



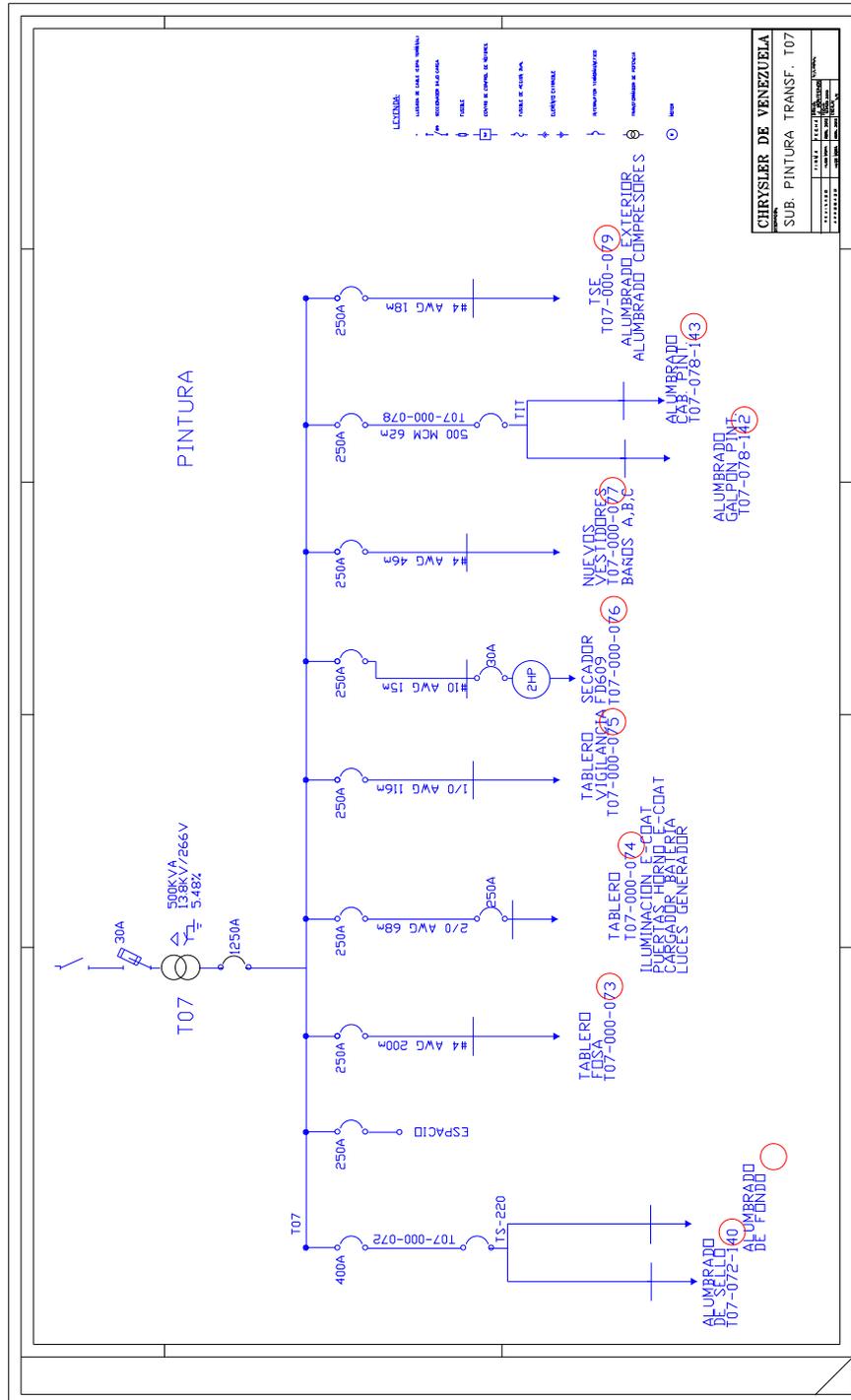


Figura A.10: Diagrama Unifilar Subestación de Pintura Transformador T07







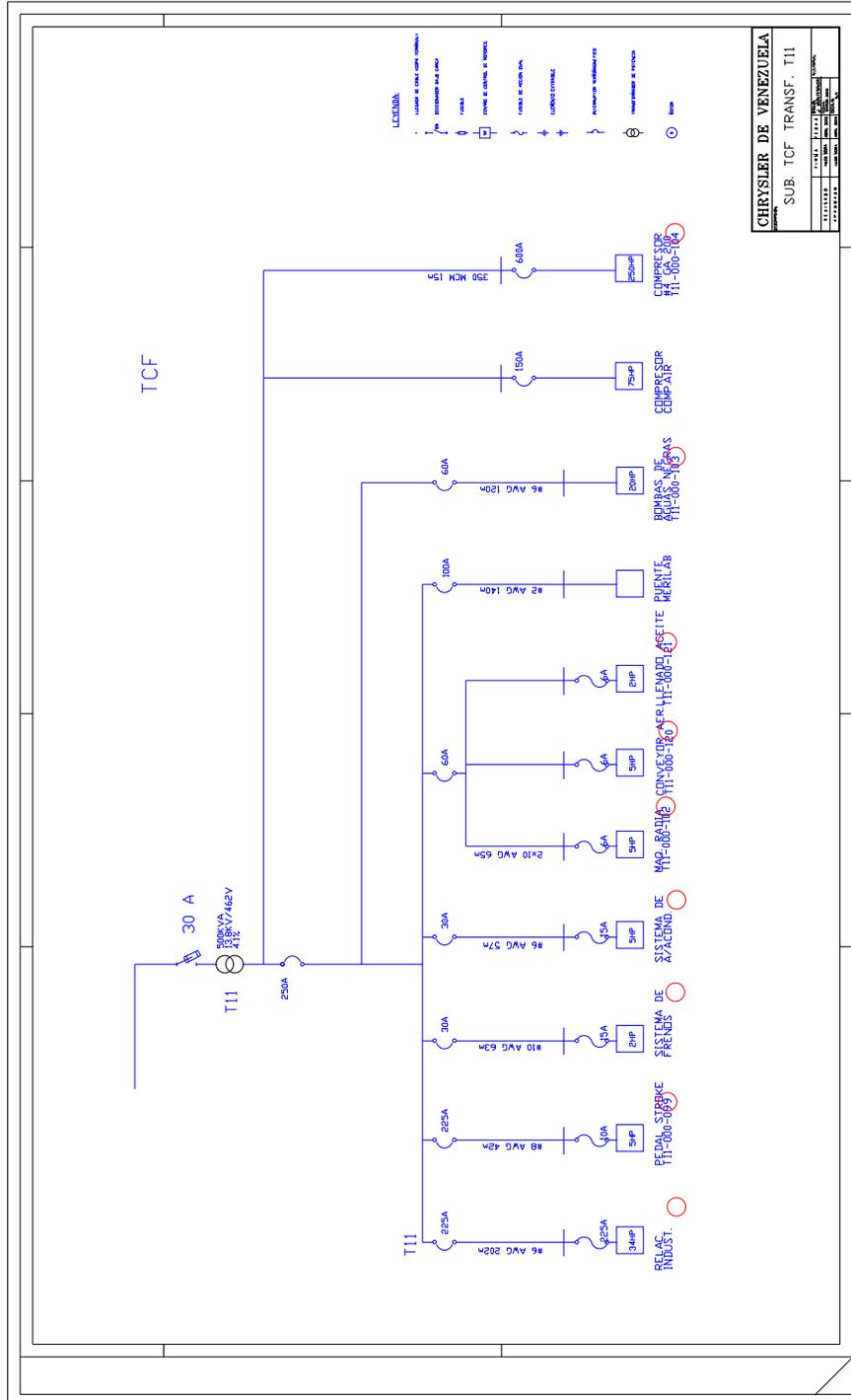


Figura A.14: Diagrama Unifilar Subestación de TCF Transformador T11

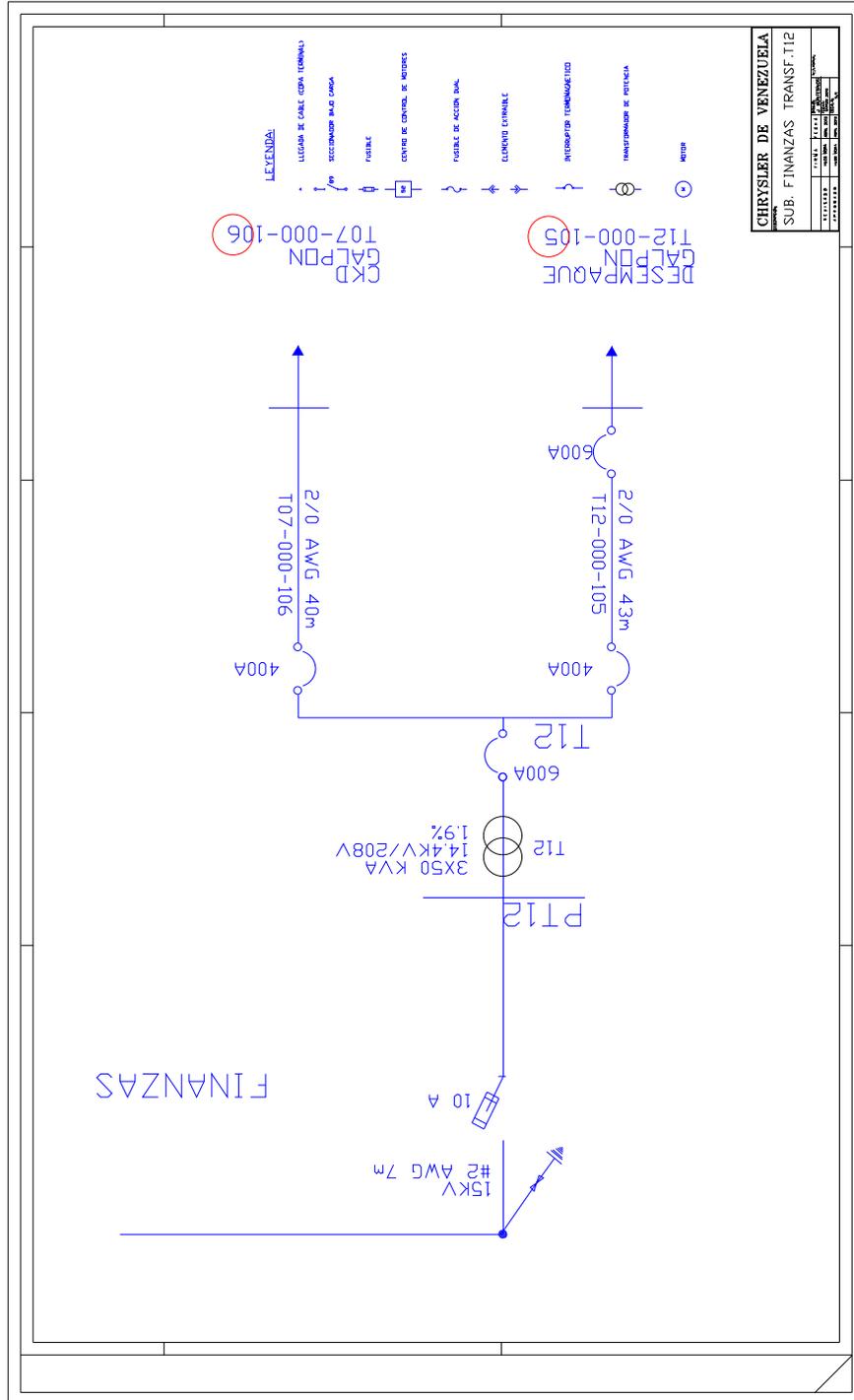


Figura A.15: Diagrama Unifilar Subestación de Finanzas Transformador T12

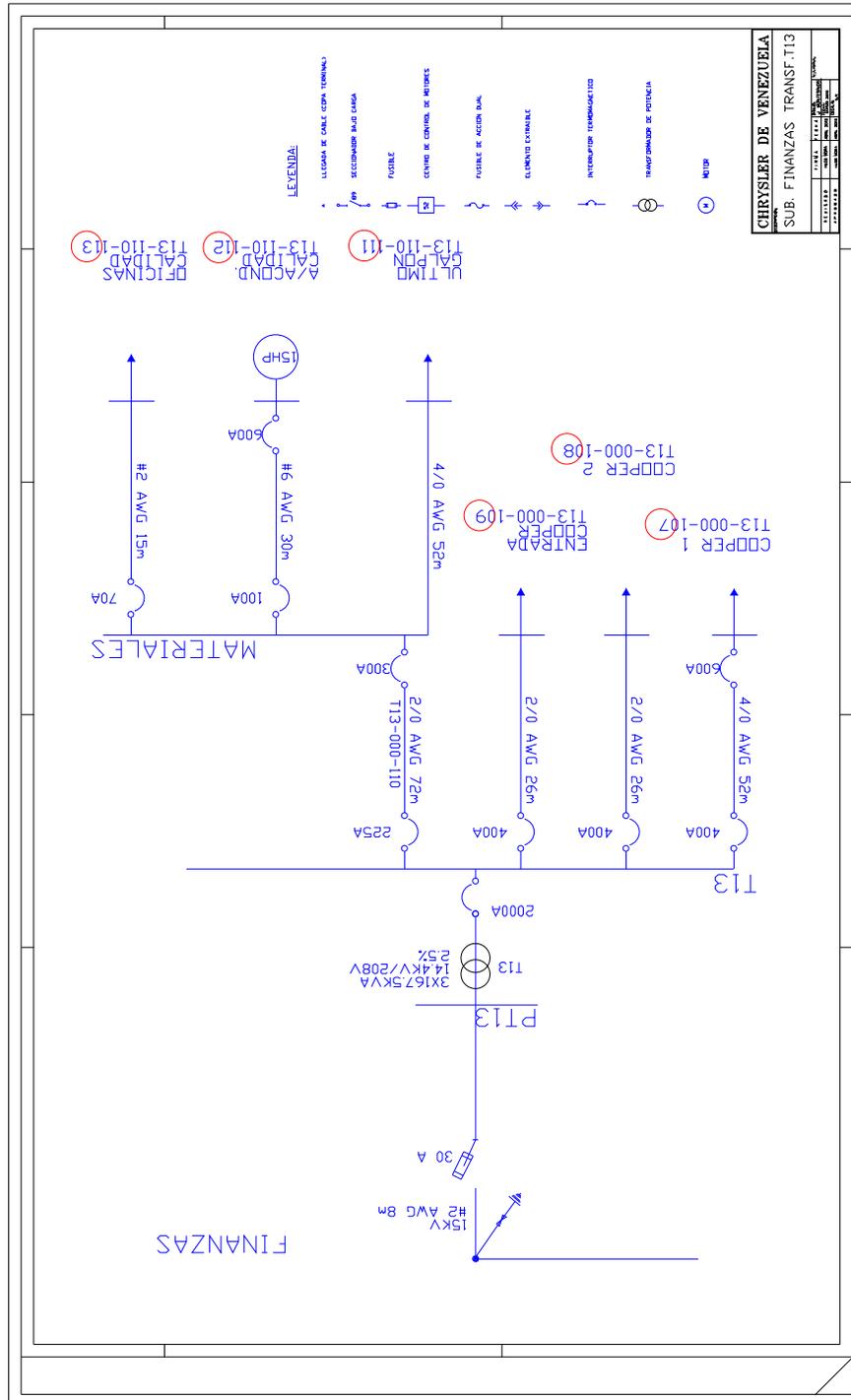


Figura A.16: Diagrama Unifilar Subestación de Finanzas Transformador T13







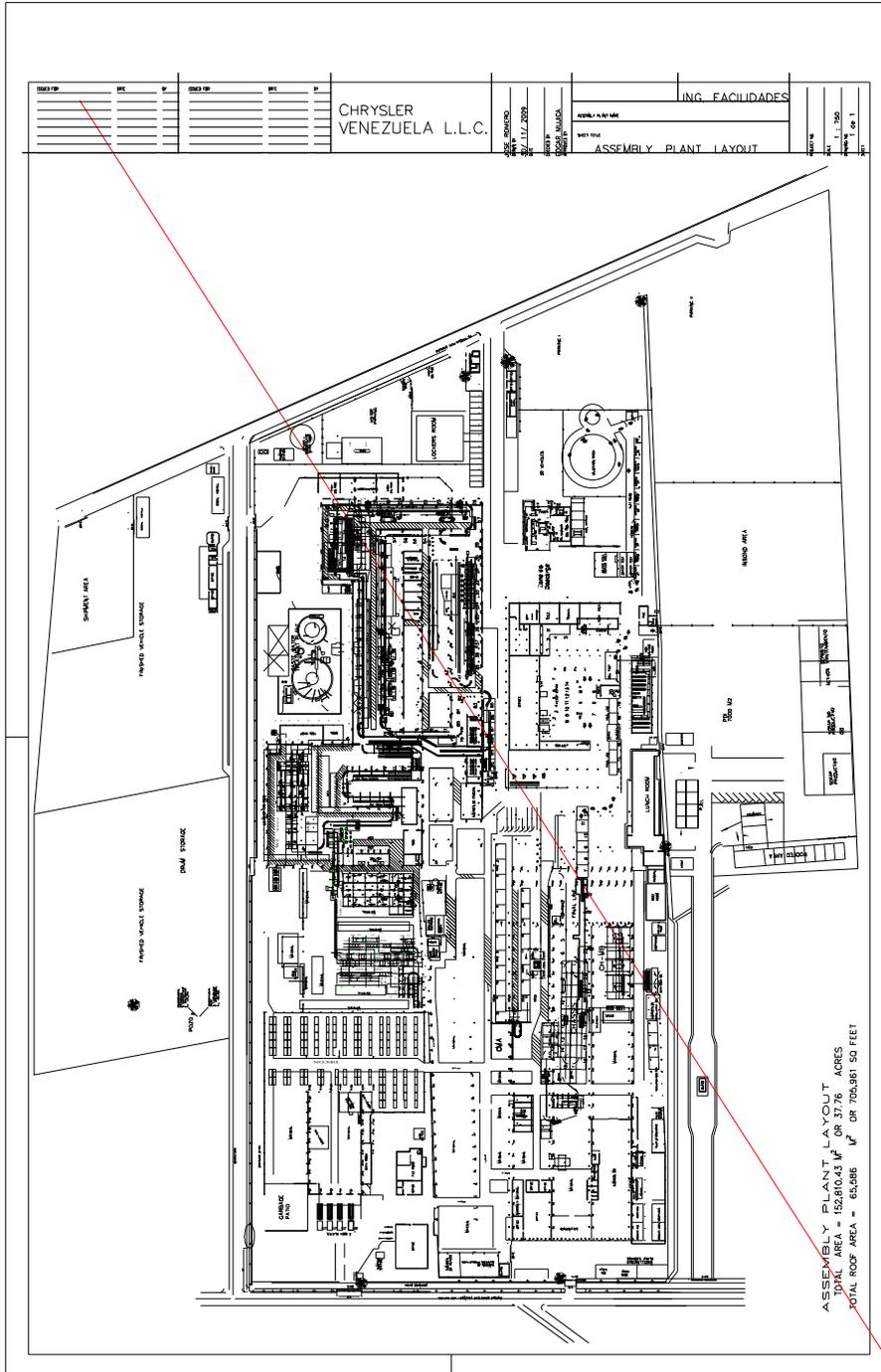
---

## APÉNDICE B

# PLANO FÍSICO DE LA EMPRESA

A continuación se muestran Plano físico de la Empresa Chrysler de Venezuela LLC.





**Figura B.1:** Diagrama Físico de Planta Chrysler de Venezuela







---

## APÉNDICE C

# HERRAMIENTAS EMPLEADAS

### C.1. Herramientas de Recolección de Datos

En esta sección se muestran los formatos de las herramientas de recolección de datos utilizados en la investigación.

#### C.1.1. Formulario para determinar los energéticos utilizados en Chrysler de Venezuela LLC

**Tabla C.1:** Formulario para determinar los energéticos utilizados en Chrysler de Venezuela LLC

| Usos de los energéticos | Obsolencia de equipos | Condiciones operativas | Monitoreo de calidad energético | Fugas detectadas | Mantenimiento preventivo | Otras causas |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| Iluminación             |                       |                        |                                 |                  |                          |              |
| Refrigeración           |                       |                        |                                 |                  |                          |              |
| Climatización           |                       |                        |                                 |                  |                          |              |
| Aire comprimido         |                       |                        |                                 |                  |                          |              |
| Motores                 |                       |                        |                                 |                  |                          |              |
| Actividades de oficina  |                       |                        |                                 |                  |                          |              |
| Informatica             |                       |                        |                                 |                  |                          |              |
| Otros usos              |                       |                        |                                 |                  |                          |              |

Fin de la Tabla

---





#### C.1.4. Auditorías de planes energético en Chrysler de Venezuela LLC

**Tabla C.4:** Auditorías de planes energético en Chrysler de Venezuela LLC

| <b>Gestión</b>  | <b>SI</b> | <b>NO</b> |
|---|-----------|-----------|
| ¿Existe responsable Energético en la Empresa?           |           |           |
| ¿Ha realizado Auditorías Energéticas anteriormente?     |           |           |
| ¿Una vez aplicadas las recomendaciones observó mejoras? |           |           |
| ¿Realizó el plan con sus propios empleados?             |           |           |

Fin de la Tabla





---

## APÉNDICE D

# SOFTWARE UTILIZADOS

### D.1. Latex

Descripción: Es un sistema para la composición de textos, muy adecuado para realizar documentos científicos de cualquier tipo con una muy alta calidad tipográfica.

Formato: Software Descargable

Contacto: LaTeX3 project

URL: <http://www.ing.uc.edu.ve/latexuc/>

### D.2. Gnuplot

Descripción: Gnuplot es una línea de comandos gráficos portable desarrollado para Linux, OS / 2, MS Windows, OSX, VMS, y muchas otras plataformas. El código fuente posee derechos de autor, pero es de distribución gratuita. Fue creado originalmente para permitir a los científicos y los estudiantes a visualizar funciones matemáticas y datos de manera interactiva, pero ha crecido para apoyar muchos usos no-interactivo, como secuencias de comandos web.

Formato: Software Descargable (3.3 MB)

Contacto: Thomas Williams, Colin Kelley y otros

URL: <http://www.gnuplot.info/>

---



### D.3. MotorMater+

**Descripción:** Es un Programa de Tecnología Industrial que ofrece una colección de herramientas de software libre para ayudarle a identificar y analizar las oportunidades de ahorro de energía del sistema en su planta o instalación industrial.

**Formato:** Software Descargable (30 MB)

**Contacto:** Centro de Información EERE

**URL:** <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>

#### D.3.1. Software de Eficiencia Energética en Motores Eléctricos

**Descripción:** Es un Software que permite evaluar la potencia del motor en el sitio de operación y también seleccionar la mejor opción económica de compra.

**Formato:** Software Descargable (MB).

**Contacto:** Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

**URL:** <http://www.si3ea.gov.co/>

---



---

## APÉNDICE E

# CALIFICACIÓN DE LA ENERGY STAR

La siguiente tabla muestra la clasificación de eficiencia energética para los aires acondicionados, según la especificación de la ENERGY STAR.

**Tabla E.1:** Calificación de la ENERGY STAR para la elección de aires acondicionados

| <b>Tipo de Equipo</b> | <b>Capacidad<br/>[BTU]</b> | <b>Standard<br/>[EER]</b> | <b>ENERGY<br/>STAR [EER]</b> |
|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Ventana               | Menor 6000 -<br>7999       | 9,7                       | 10,7                         |
|                       | 8000 - 13999               | 9,8                       | 10,8                         |
|                       | 14000 - 19999              | 9,7                       | 10,7                         |
|                       | Mayor 20000                | 8,5                       | 9,4                          |
| Split                 | 12000 - 24000              | 8,5                       | 12                           |
| Compacto              | 24000 - 36000              | 8,5                       | 12                           |

Fin de la Tabla

---





---

## REFERENCIAS

- [1] I. E. Agency, *Energy Efficiency Initiative – Volume 1: Energy Policy Analysis*. International Energy Agency, 1998.
  - [2] U. E. I. Administration, “International energy statistics.” Sitio Web, Citado en Abril de 2010. <http://www.eia.doe.gov/>.
  - [3] W. E. Council, *Eficiencia Energética: Estudio Mundial Indicadores, Políticas, Evaluación*. World Energy Council, 2004.
  - [4] C. E. para América Latina y el Caribe (CEPAL), “Base de datos y publicaciones estadísticas.” Sitio Web, Citado Abril de 2010. <http://www.eclac.org/estadisticas/>.
  - [5] S. de Miera G, “La eficiencia energética: análisis empírico y regulatorio (dt),” tech. rep., Real Instituto Elcano, 2009.
  - [6] C. Galitsky and E. Worrell, “Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the vehicle assembly industry,” tech. rep., ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, 2008.
  - [7] L. G. G. A, “Estudio sobre auditoría técnica integral del sistema eléctrico del servicio de diagnóstico por imagen en una institución hospitalaria, realizado en el hospital clínica caracas, san bernardino - caracas,” 2006.
  - [8] J. Martínez and G. J., “Estudio de la eficiencia energética en la escuela de ingeniería eléctrica de la universidad de carabobo,” 2002.
-



- 
- [9] V. J. Michael, “Auditoría de campo del sistema eléctrico de la compañía venezolana empacadora c.a,” 1996.
- [10] R. Fowler, *Electricidad principios y aplicaciones*. Barcelona Illustrated, 1994.
- [11] E. Harper, *Instalaciones eléctricas residenciales e industriales*. SADF Limusa, 1996.
- [12] S. Ramirez, *Redes de distribución de energía*. Manizales, 2004.
- [13] Corpoelec, “Tarifas y servicios.” Sitio Web, Citado en Abril de 2010. [http://www.cadafe.com.ve/tarifas\\_servicios.php](http://www.cadafe.com.ve/tarifas_servicios.php).
- [14] G. A. Fulton and D. R. Schmidt, *Contribution of the Automotive Industry to the US Economy*. University of Michigan, 2001.
- [15] C. H. Fine, *Meeting the Challenge: U.S. faces the 21st Century*. Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [16] O. correspondents survey, *WORLD MOTOR VEHICLE PRODUCTION BY COUNTRY AND TYPE 2008–2009*. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, 2010.
- [17] B. Leven and C. Weber, *Energy Efficiency in Innovative Industries*. Council for an Energy..Efficient Economy, 2001.
- [18] F. Sencamer, “Iluminancias en tareas y áreas de trabajo.” Sitio Web, Citado Julio de 2010. <http://www.sencamer.gob.ve>.
- [19] Philip, “Guía de aplicaciones n° 3 de alumbrado: Alumbrado para oficinas,” tech. rep., Philip, 1992.
-



- 
- [20] M. Luís, *Nueva enciclopedia de la climatización, Aire acondicionado*. Ediciones CEAC, 2000.
- [21] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press Inc. NewYork, 2001.
- [22] Fondonorma, *COVENIN 3049-93: Gestión del Mantenimiento*. Fondonorma, 2001.
- [23] O. de Operación de Sistemas Interconectados (OPSIS), “Boletines e informes estadísticos del sistema eléctrico nacional.” Sitio Web, Citado 22 Mayo de 2010. <http://opsis.org.ve>.
- [24] S. Nassir and S. Reinaldo, *Fundamentos de preparación y evaluación de proyectos*. Ed. McGraw Hill.México, 2003.
- [25] L. R, *Manual para determinar la factibilidad económica de proyectos*. Proarca, 1999.
- [26] B. U. G, *Evaluación de Proyectos 4ta Edición*. Mc Graw Hill. México, 2001.
- [27] B. Zvi and M. Robert, *Finanzas*. Prentice Hall-Earson Education. USA, 2003.
- [28] I. C. Rovira, “Diagrama de pareto. herramienta básica para la mejora de la calidad.” Sitio Web, Citado Junio de 2010. [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/diagramadepareto/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/diagramadepareto/).
- [29] F. Martínez and E. Gómez., *Metodología De Auditorías Energéticas*. Ediciones Paraninfo, SA, Madrid 2006.
- [30] I. E. Agency, “International co2 emission factor.” Sitio Web, Citado Octubre de 2010. <http://iea.org/index.asp>.
- [31] H. Jacqueline, *Metodología de la Investigación Holística*. Fundación CYPAL, 2000.
-



- [32] S. Carlos, *Como hacer una tesis*. Editorial Panapo de Venezuela, tercera edición ed., 1992.
- [33] Upel, “Manual de trabajo de grado de especialización, maestría y tesis doctorales,” tech. rep., Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 1998.
- [34] T. y Tamayo Mario, *El proceso de la investigación científica: Fundamentos de investigación*. Limusa, primera edición ed., 1985.
- [35] T. y Tamayo Mario, *El proceso de la investigación científica*. Limusa, tercera edición ed., 1997.
- [36] F. G. Arias, *Introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme, primera edición ed., 2006.
- [37] C. B. Hernández S, Roberto Fernández, *Metodología de la investigación*. MacGraw-Hill, segunda edición ed., 1998.
- [38] F. G. Arias, *El proyecto de Investigación*. Editorial Episteme, tercera edición ed., 1999.
- [39] C. Amado and P. Alcino, *Metodología Científica*. MacGraw-Hill, 1980.
- [40] S. Taylor and R. Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Paidós, 1986.
- [41] U. del Atlántico, *Guía para la implementación de Sistemas de Gestión Integral de la Energía*. Colciencias. Colombia, Noviembre de 2008.
- [42] R. Castillo, “Evaluación técnica económica de la eficiencia energética de los sistemas de iluminación y climatización en el complejo petroquímico morón,” 2010.
- [43] J. y o. Selltiz, *Propósito del análisis*. Editorial Limusa. México, 1996.
-



- 
- [44] T. Williams and C. Kelley, *An Interactive Plotting Program*. Thomas Williams Colin Kelley, 05 Mar 2010.
- [45] M. I. A. Lourakis, “A brief description of the levenberg-marquardt algorithm implemented,” tech. rep., Institute of Computer Science Foundation for Research and Technology–Hellas, Febrero 2005.
- [46] M. B. S, “Uso del programa gnuplot en el laboratorio de física,” tech. rep., Universidad de Las Américas, 23 Jan 2007.
- [47] J. Palou and A. S. Salvá, “Experimentación en química física,” tech. rep., Universitat Illes Balears Departament de Química, May 2005.
- [48] M. de Minas y Energía, “Ntc 4366 ntc 4295 ntc 5104 ntc 5115: Normas de eficiencia energética y ensayo de equipos,” 2004.
- [49] U. de Planeación Minero Energético, “Gestión integral de la energía: Herramientas virtuales.” Sitio Web, Citado Octubre de 2010. <http://www.si3ea.gov.co/>.
- [50] N. E. M. Association, “Nema premium.” Sitio Web, Citado Octubre de 2010. <http://www.nema.org/gov/energy/efficiency/premium/>.
- [51] E. Star, “Look for energy star to identify the most energy-efficient products,” tech. rep., Natural Resources Canada Office of Energy Efficiency, May 2008.
- [52] U. S. A. D. of Energy, “Resources: Software tools.” Sitio Web, Citado Septiembre de 2010. <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/software.html>.
-