

**Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”
Facultad de Informática
Carrera de Ingeniería Informática**



**TÍTULO: SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA
Y OTROS PARÁMETROS OPERACIONALES DE LOS MOTORES
ELÉCTRICOS ASINCRÓNICOS.**

Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniería Informática

Autor:

Eduardo Rafael García Nodal

Tutores:

Dr. C. Julio Rafael Gómez Sarduy

Ing. Lissette Montero Herrera

Consultante:

Ing. Yunior A. Hernández Andrade

**Cienfuegos, Cuba
Curso 2009 – 2010**

Declaración de autoría

Declaro que soy el único autor de este trabajo y autorizo al Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) y al Departamento de Informática de la Facultad de Informática en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, para que hagan el uso que estimen pertinente con el trabajo de diploma.

Para que así conste firmo (firmamos) la presente a los ____ días del mes de ____ del ____.

Nombre completo del primer autor

Nombre completo del primer tutor

Nombre completo del segundo tutor

Nombre completo del consultante

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referente a la temática señalada.

Firma Tutor

Firma Tutor

Firma ICT
Vicedecano

Firma

Dedicatoria

A tía, para que de alguna forma este trabajo refleje mi agradecimiento por todos estos años de dedicación.

Agradecimientos

Agradecer no retribuye con equidad por todo lo que se ha recibido, simplemente permite dejar claro testimonio de la deuda contraída con quienes en forma inmerecida me han hecho objeto de su generosidad. Terminar algo y convertirlo en un producto tangible no refleja, casi siempre, la cantidad real de personas que se vieron involucradas en el proceso para hacerlo posible.

Zuiero agradecerles a mis padres Carmen y Ricardo por su apoyo, a tía y kakã por caerme arriba para que me preocupara un poco más, por su cariño y apoyo incondicional. A Riki, mi hermanito, por aguantarme todo este tiempo. A mi novia Liset, por estar a mi lado siempre y darme cada día el aliento y las fuerzas para llevar a cabo este trabajo. A mis amigos Yjunior, por su paciencia y dedicación, Jancris, Dayron, a todos los que me ayudaron y apoyaron de una manera u otra. A mis tutores Julio y Lisette, por enseñarme tanto. A los que han estado y ya no, a los que fueron y ya no son, a todos aquellos que viven en mi mente y mi corazón va dirigido este trabajo.

El presente trabajo “Sistema informático para el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asíncronos”, se realizó para el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), de la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. El CEEMA es uno de los centros de estudio del país que contribuyen al uso adecuado de la energía y desarrollan soluciones a problemas que afectan la economía y el medio ambiente. Para la ejecución de las tareas de cálculo y análisis, los especialistas del Centro dependen de la herramienta MATLAB, software privativo que exige ciertas características de hardware y que no es muy amigable para usuarios inexpertos. El objetivo propuesto fue *elaborar un sistema informático ligero para el cálculo de la eficiencia energética y otras características operacionales de los motores eléctricos asíncronos*. El resultado alcanzado constituye una herramienta ligera, confiable y eficaz, que facilita a los especialistas el estudio de los motores y de factibilidad para su sustitución.

| | |
|--|----|
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1: Fundamentación Teórica. | 7 |
| 1.1 Introducción. | 7 |
| 1.2 Eficiencia energética, su impacto ambiental y económico. | 7 |
| 1.3 Definiciones necesarias para la comprensión del objeto de estudio. | 10 |
| 1.4 Determinación de la eficiencia de los motores asincrónicos con tensiones desbalanceadas en condiciones de campo. | 11 |
| 1.5 Sistemas existentes vinculados al campo de acción. | 12 |
| 1.5.1 ORMEL 96. | 12 |
| 1.5.2 MotorMaster+. | 13 |
| 1.5.3 Otros métodos. | 13 |
| 1.5.4 Consideraciones sobre los métodos mencionados. | 14 |
| 1.6 Presentación de la propuesta de solución. | 14 |
| 1.6.1 Ventajas de la creación de una herramienta informática. | 15 |
| 1.7 Fundamentación de la metodología utilizada. | 15 |
| 1.7.1 Lenguaje de Modelación Unificado (UML). | 15 |
| 1.7.2 Proceso Unificado de Desarrollo (RUP). | 16 |
| 1.8 Fundamentación del lenguaje de programación y de otros softwares utilizados. | 17 |
| 1.8.1 C#. | 17 |
| 1.8.2 Adobe Photoshop. | 18 |
| 1.8.3 XML (Extensible Markup Language). | 18 |
| 1.8.4 Rational Rose 2003. | 19 |
| 1.9 Conclusiones. | 19 |
| Capítulo 2: Descripción de la Solución Propuesta. | 20 |
| 2.1 Introducción. | 20 |
| 2.2 Descripción del modelo del dominio. | 20 |
| 2.2.1 Reglas a considerar | 21 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.2 Modelo de objetos del dominio _____ | 22 |
| 2.3 Modelo del sistema _____ | 23 |
| 2.3.1 Concepción general del sistema. _____ | 23 |
| 2.3.2 Captura de los requisitos del sistema _____ | 24 |
| 2.3.2.1 Requerimientos funcionales _____ | 24 |
| 2.3.2.2 Requerimientos no funcionales _____ | 26 |
| 2.3.3 Actores del modelo de sistema _____ | 28 |
| 2.3.4 Diagrama de casos de uso del sistema _____ | 29 |
| 2.3.5 Descripción de los casos de uso del sistema _____ | 30 |
| 2.4 Conclusiones. _____ | 39 |
| Capítulo 3: Construcción del Sistema. _____ | 40 |
| 3.1 Introducción _____ | 40 |
| 3.2 Construcción del sistema _____ | 40 |
| 3.2.1 Diagrama de clases del diseño _____ | 40 |
| 3.2.3 Estructura de los ficheros _____ | 42 |
| 3.2.4 Diagrama de implementación _____ | 43 |
| 3.3 Principios de diseño del sistema _____ | 43 |
| 3.3.1 Diseño de la interfaz del sistema _____ | 44 |
| 3.3.2 Tratamiento de errores _____ | 44 |
| 3.4 Estudio de Factibilidad _____ | 44 |
| 3.4.1 Cálculo de Puntos de Casos de Uso sin ajustar _____ | 45 |
| 3.4.2 Cálculo de Puntos de Casos de Uso ajustados _____ | 47 |
| 3.4.3 Cálculo del Esfuerzo _____ | 50 |
| 3.5 Beneficios tangibles e intangibles _____ | 52 |
| 3.6 Análisis de costos y beneficios _____ | 52 |
| 3.7 Conclusiones _____ | 53 |
| Conclusiones _____ | 55 |

Recomendaciones _____ 56

Referencias Bibliográficas _____ 57

Bibliografía _____ 58

Anexos _____ 59

Figura 1: Diagrama de clases del modelo de objetos de un estudio de motor. _____ 23

Figura 2: Diagrama de casos de uso del sistema. _____ 30

Figura 3:Diagrama de clases del diseño. _____ 41

Figura 4: Diagrama de clases persistentes. _____ 42

Figura 5: Diagrama de Implementación. _____ 43

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Descripción de los actores del sistema. _____ | 29 |
| Tabla 2: Descripción del caso de uso de sistema “Crear nuevo estudio de motor”. _____ | 31 |
| Tabla 3: Descripción del caso de uso de sistema “Realizar cálculo de la eficiencia”. _____ | 32 |
| Tabla 4: Descripción del caso de uso de sistema “Cargar un estudio de motor existente”. _____ | 32 |
| Tabla 5: Descripción del caso de uso de sistema “Guardar un estudio de motor”. _____ | 33 |
| Tabla 6: Descripción del caso de uso de sistema “Imprimir un estudio de motor”. _____ | 33 |
| Tabla 7: Descripción del caso de uso de sistema “Calcular factibilidad económica de cambio de motor”. _____ | 34 |
| Tabla 8: Descripción del caso de uso de sistema “Imprimir resultados de factibilidad”. _____ | 35 |
| Tabla 9: Descripción del caso de uso de sistema “Consultar datos de estudio de motor”. _____ | 35 |
| Tabla 10: Descripción del caso de uso de sistema “Guardar datos de consulta de estudio de motor”. _____ | 36 |
| Tabla 11: Descripción del caso de uso de sistema “Cargar datos de consulta de estudio de motor”. _____ | 36 |
| Tabla 12: Descripción del caso de uso de sistema “Registrar datos de consulta de estudio de motor”. _____ | 37 |
| Tabla 13: Descripción del caso de uso de sistema “Mostrar temas de ayuda”. _____ | 38 |
| Tabla 14: Descripción del caso de uso de sistema “Mostrar información del sistema”. _____ | 39 |
| Tabla 15: Descripción del caso de uso de sistema “Salir del sistema”. _____ | 39 |
| Tabla 16: Cálculo del Factor de Peso de los Actores sin Ajustar. _____ | 45 |
| Tabla 17: Cantidad de transacciones por casos de uso. _____ | 46 |
| Tabla 18: Cálculo del Factor de Peso de los CU sin Ajustar. _____ | 47 |
| Tabla 19: Cálculo del Factor de Complejidad Técnica. _____ | 49 |
| Tabla 20: Cálculo del Factor Ambiente. _____ | 50 |
| Tabla 21: Distribución del esfuerzo estimado entre los flujos de trabajo de RUP. _____ | 52 |

Introducción

En estos tiempos de crisis económica, energética y medioambiental, el ahorro y la eficiencia energética aparecen como la principal opción desde el ámbito energético para responder a estos tres desafíos. El ahorro de energía permite ahorrar nuestros escasos recursos económicos, pospone el agotamiento de nuestros escasos recursos fósiles (de los que sin embargo depende mayoritariamente nuestro suministro energético) y, por último, parece revelarse como una de las mejores alternativas para reducir las emisiones de CO₂. La clave para la existencia de estos ahorros reside en el hecho de que no consumimos energía, sino servicios energéticos: por tanto, puede ser posible proveer el mismo nivel de servicio energético con un menor nivel de consumo de energía.

Si bien el ahorro energético no es crítico para la resolución de todos los problemas ambientales, sí es cierto que su contribución a algunos de ellos, como el cambio climático, es la más significativa.

Esta relación hace que el ahorro energético se plantee desde numerosas instituciones como la alternativa con mayor potencial y rentabilidad para reducir las emisiones de CO₂. Así lo hace por ejemplo el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático en su cuarto informe de evaluación (IPPC, 2007), cuando estima que se podrían ahorrar entre un 7 y un 14 por 100 de las emisiones de gases de efecto invernadero globales para 2030 con medidas de coste negativo, la gran mayoría de las cuales son de ahorro y eficiencia energética. La Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2007). Como cualquier otra política pública, los programas de ahorro y eficiencia energética deben tratar de ser eficientes, es decir, utilizar los recursos de forma óptima.

Sin embargo, en ocasiones se observa que parte de estos recursos son malgastados, ya que no eran necesarios para conseguir una determinada reducción del consumo energético.

Evidentemente, parece deseable diseñar las políticas de forma que se minimice este efecto, a la vez que se mantienen los efectos beneficiosos de las políticas utilizadas.

En nuestro país, como en el resto del planeta, el ahorro energético es imprescindible para la economía y el medioambiente. Actualmente, debido a los precios crecientes y a la exigencia del ahorro de energía como vía hacia el desarrollo sustentable, el valor de la eficiencia juega un papel fundamental. En Cuba cobra mayor significado por lo limitado de sus recursos energéticos y las transformaciones que se llevan a cabo en este importante sector.

El empleo de motores eficientes constituye un paso determinante en la economía nacional, debido a que no sólo disminuye los costos de producción, sino que además aumenta la confiabilidad de sus procesos. En los motores se produce un menor desgaste; disminuyen la tasa de fallas, la temperatura de trabajo, la frecuencia de mantenimiento y se incrementa su vida útil. El uso eficiente de la energía también reduce la necesidad de ampliar la potencia contratada al sistema eléctrico. Esto genera un ahorro de energía, lo cual implica una reducción en la emisión de gases efecto invernadero. Asimismo, se reducen las emisiones de contaminantes locales y otros daños ambientales asociados a la producción, transmisión y consumo de energía.

Desde hace algunos años se hace evidente en el mundo de la ingeniería eléctrica la utilización de manera efectiva de la informática, debido a que las herramientas creadas en la misma han desarrollado una creciente velocidad de cálculo, gran capacidad de almacenamiento de datos y un preciso acceso a los mismos en tiempos extremadamente cortos. Esto conlleva a un mejoramiento notable tanto en la calidad de las tareas que se pretenden llevar a cabo en esta rama de la ciencia, así como el tiempo ahorrado y la parcial eliminación del error humano.

El Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), de la Universidad de Cienfuegos, está formado por un personal especializado en la eficiencia energética. Para este personal es imprescindible una herramienta que les facilite el trabajo con la información relacionada a este tema. Poner a su disposición una

herramienta informática con la que puedan llevar a cabo las tareas pertinentes, sin necesidad de detener el proceso de producción de la industria, significa un paso de avance en el desarrollo de esta operación con una importancia trascendental, debido a la prioridad que tiene en nuestro país la industria y el ahorro energético.

Situación problemática.

El CEEMA utiliza un método implementado en MATLAB para el análisis de la eficiencia de los motores eléctricos asincrónicos. La utilización del método exige la instalación del MATLAB en la empresa donde se va a realizar el estudio. La dependencia a este software privativo, que exige ciertas características de hardware, no muy amigable para usuarios inexpertos, dificulta en gran medida el proceso de cálculo de la eficiencia en condiciones de campo. La utilización de un documento de Microsoft Excel como vía para almacenar una serie de mediciones adicionales necesarias para el posterior análisis del motor, constituye una solución parcial pero no completa del problema, debido a que la versión del MATLAB puede o no aceptar la carga del documento de Microsoft Excel dependiendo de la versión de Microsoft Office empleada. Además, el análisis económico con flujos de caja descontados y la determinación de las características operacionales no están contemplados en el método implementado.

Objeto de estudio y campo de acción.

El objeto de estudio del presente trabajo es la metodología para la medición y el análisis de la eficiencia energética, desarrollada por el CEEMA.

El campo de acción son los procedimientos para el cálculo de la eficiencia energética y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asincrónicos.

Problema a resolver.

Carencia de una herramienta informática ligera para el cálculo de la eficiencia energética y otros parámetros operacionales de los motores asincrónicos en condiciones de campo.

Objetivo general.

Como objetivo general se puede definir: Elaborar un sistema informático ligero para el cálculo de la eficiencia energética y otras características operacionales de los motores eléctricos asincrónicos.

Objetivos específicos.

Los objetivos específicos para cumplimentar lo anteriormente planteado son:

- Analizar exhaustivamente el sistema.
- Diseñar el sistema mediante la metodología seleccionada.
- Estudiar la factibilidad del sistema.
- Implementar el sistema propuesto.

Tareas de la investigación.

Para cumplir los objetivos propuestos se definen las siguientes tareas a acometer:

- Estudio del estado del arte de la eficiencia energética de los motores asincrónicos.
- Análisis de los sistemas existentes que realizan tareas similares.
- Análisis del proceso de recopilación de datos de los motores asincrónicos.
- Selección de las tecnologías, metodologías y herramientas a utilizarse en el desarrollo de la solución.
- Determinación de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema.
- Definición del modelo del sistema empleando los artefactos de la metodología seleccionada.
- Definición del modelo de implementación empleando la metodología seleccionada.
- Documentación de la solución propuesta.

Idea a defender.

La creación de una herramienta informática ligera que integre todas las funcionalidades para el cálculo de la eficiencia energética y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asincrónicos, facilitará el proceso de análisis de los especialistas del CEEMA.

Aporte práctico.

El sistema informático para el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores asincrónicos permite integrar el funcionamiento aislado de diferentes tareas que tributan a un mismo proceso en un software ligero.

Su utilidad es básicamente que brinda al especialista las herramientas necesarias para el proceso de cálculo y análisis de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores asincrónicos y el estudio de factibilidad para la sustitución de motores.

Estructura del documento.

Capítulo 1. “Fundamentación teórica”: El contenido de este capítulo es la base de la fundamentación teórica del tema que se va a desarrollar. Se expone una descripción de los conceptos relacionados con el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asincrónicos, se describe la situación problemática y se enuncia el problema a resolver. Se describe el objeto de estudio y el campo de acción.

Capítulo 2. “Descripción de la Solución Propuesta”: En este capítulo se modela y describe la solución propuesta mediante el uso de UML como lenguaje de modelado y RUP como metodología. Se presenta una descripción del modelo de objeto del dominio, así como el enunciado y descripción de sus reglas. Utilizando el Modelo del Sistema, se identifican los requerimientos funcionales y no funcionales, se definen a los actores del sistema y a los servicios o

funcionalidades que a su disposición se colocan. También se muestra el diagrama de casos de uso del sistema, así como la descripción de los mismos.

Capítulo 3: “Construcción de la Solución”: El contenido de este capítulo muestra una descripción de la construcción de la solución propuesta, en la que se han utilizado el Diagrama de Clases del Diseño y el Diagrama de Clases Persistentes, artefactos que propone la Metodología de RUP. También se describe la estructura de los ficheros utilizados, se muestra el diagrama de implementación y los principios del diseño del sistema. Se realiza un análisis de factibilidad del proyecto, utilizando la estimación del esfuerzo basada en el Análisis de Puntos de Casos de Uso y se exponen los resultados alcanzados.

Capítulo 1: Fundamentación Teórica.

1.1 Introducción.

En el presente capítulo se exponen los aspectos teóricos sobre el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores asincrónicos, así como los sistemas existentes asociados al mismo, haciendo énfasis en la eficiencia y su importancia. Se analizan el lenguaje de programación, metodología y las tecnologías utilizadas para desarrollar el sistema informático propuesto.

1.2 Eficiencia energética, su impacto ambiental y económico.

La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso. [1]

La reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, siempre que su consecución no afecte negativamente al volumen de actividad. Uno de los parámetros que determina la correlación entre consumo de energía y crecimiento económico es la evolución de la intensidad energética, indicador generalista que señala la relación entre consumo de energía y el Producto Interno Bruto.

La energía que se obtiene a partir de las fuentes de energía y las cantidades disponibles de dichas fuentes es lo que se denomina 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.

Condiciones de partida actuales respecto a la energía:

- La gran mayoría de la energía que consumimos es generada mediante productos fósiles.
- El aumento del nivel de vida y de confort se encuentra socialmente asociado a un aumento del consumo de energía.
- Existe una gran dependencia de unas áreas sobre otras, a nivel global y local.
- Incremento de la población mundial.
- Los países no desarrollados demandan los mismos niveles energéticos que los desarrollados.
- Aumento de la conciencia social respecto a temas medioambientales.
- Rechazo social a la energía nuclear con tendencia a su eliminación.
- Creación de redes a nivel mundial (gas).

La evolución futura de todas estas cuestiones nos dará la clave para evitar el deterioro de nuestra calidad de vida permitiéndonos la conservación de nuestros ecosistemas actuales. En el día de hoy estamos asistiendo a un resurgir de las denominadas energías renovables no sólo por el notable aumento de los precios de los combustibles fósiles, destacando entre ellos al petróleo, sino también por sus negativos efectos ambientales.

La emisión constante a la atmósfera de los denominados gases invernadero contribuirá al tan anunciado cambio climático donde el incremento de las temperaturas y su influencia en otros factores del clima tendrán como consecuencia efectos graves para los habitantes del planeta y la conservación de los actuales ecosistemas.

En Cuba a partir de Noviembre de 1997 comenzó a trabajar el Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba (PAEC), en ese momento la economía cubana se encontraba en franco proceso de recuperación y en consecuencia, el crecimiento en la demanda y el consumo de electricidad de este propio año cerraba con tasas

que excedía el 4,9 % en la máxima demanda promedio y un 7,8 % en la generación de electricidad con relación al año anterior.

Después de un período de estudio de las experiencias, que se pudieron disponer, de programas o proyectos similares exitosos en otros países y de visitar e intercambiar con el Programa de Ahorro de Energía (PAE) del Perú y con el Fideicomiso de Ahorro de Electricidad (FIDE) y la Comisión de Ahorro de Energía (CONAE) de México, se crea el PAEC con los objetivos siguientes:

1. Lograr que el crecimiento anual de la máxima demanda sea inferior al de la generación bruta y que esta crezca menos que el PIB.
2. Desarrollar hábitos y costumbres en el uso racional de la energía y el cuidado del medio ambiente en las nuevas generaciones.
3. Desarrollar una política de normas y precios que estimule el uso racional y el manejo de la demanda y eleve la eficiencia de los nuevos equipos que se instalen en el país.

Para el logro de estos objetivos el PAEC cuenta con un grupo nacional encargado de dirigir la política, y un grupo en cada provincia encargado de desarrollar todas las actividades previstas, que disponen de una fuerza técnica muy calificada de alrededor de 300 profesionales.

El PAEC, además, posee un proyecto educativo y de motivación al ahorro que dirige todas las acciones encaminada a formar una cultura sobre el uso racional de la energía y el cuidado del medio ambiente en las nuevas generaciones, motivar acerca de la importancia de adoptar medidas de ahorro de electricidad por toda la población en cualquier lugar que se esté consumiendo y elevar el dominio y el conocimiento de todos los especialistas energéticos propios del PAEC, así como, los de empresas y organismos del país.

Máxima prioridad en este proyecto ha tenido el trabajo con las nuevas generaciones para lo cual, ha sido decisivo la inclusión en los contenidos del programa nacional educativo, desde la enseñanza preescolar hasta la

preuniversitaria y la politécnica, del tema de uso racional de la energía y el cuidado del medio ambiente.

Independientemente de la imperiosa necesidad de reducir los consumos de electricidad y los valores de demanda en el corto plazo, la educación de las nuevas generaciones en la conservación de la energía y el cuidado del medio ambiente ha sido y será la tarea más importante en la que se trabaja en Cuba.

Resulta claro que mientras la energía sea vista exclusivamente como factor de acumulación del capital, como negocio de alto rendimiento para las corporaciones transnacionales, la banca multilateral de desarrollo continuará en un papel que no conduce al bienestar de los países y sociedades que poseen fuentes energéticas fósiles y/o apropiadas. Es necesario que los pueblos tomen conciencia de la necesidad de cuidar el medio ambiente logrando una mayor eficiencia energética en todos los órdenes, para ello los gobiernos deben hacer suya esta tarea, como ocurre en Cuba, donde existe la voluntad política indispensable para lograr de forma exitosa el objetivo previsto.

En la provincia de Cienfuegos, el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), perteneciente a la Universidad del territorio, en consecuencia con la política del país referente al ahorro energético, propuso una metodología para el cálculo y análisis de la eficiencia energética de los motores eléctricos asincrónicos en la industria.

1.3 Definiciones necesarias para la comprensión del objeto de estudio.

Máquina Asíncrona: Las máquinas asíncronas, o de inducción, son máquinas eléctricas rodantes utilizadas sea como generadores sea como motores. [2]

Sistema Trifásico: Un sistema de corrientes trifásicas consta de tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud (y por consiguiente, valor eficaz) que presentan una cierta diferencia de fase entre ellas, en torno a 120° , y están dadas en un orden determinado. Cada una de las corrientes monofásicas que forman el sistema se designa con el nombre de fase. [3]

Sistema Trifásico Desbalanceado: Un sistema trifásico se dice desbalanceado cuando las magnitudes de las tensiones de línea o de fase son diferentes y el desfase entre ellas difiere de 120° eléctricos o existen simultáneamente ambas condiciones.

Sistema Trifásico Balanceado: Si las cargas se encuentran de manera que las corrientes producidas por los voltajes balanceados del circuito también están balanceadas entonces todo el circuito está balanceado. [4]

1.4 Determinación de la eficiencia de los motores asincrónicos con tensiones desbalanceadas en condiciones de campo.

Este trabajo fue realizado en el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), de la Universidad de Cienfuegos. Utiliza como herramienta principal el software MATLAB para realizar el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de las máquinas asincrónicas.

La eficiencia de una máquina asincrónica se calcula como la relación entre la potencia de salida y la potencia eléctrica de entrada. La potencia de salida es la potencia de entrada menos las pérdidas.

Con relación a la determinación de la eficiencia operacional de motores eléctricos, otros métodos presuponen un elevado grado de invasividad si se necesita detener la producción en la búsqueda de los datos necesarios para calcular la eficiencia, las pérdidas y las potencias, valores que, en muchos casos, son difíciles de determinar.

El trabajo desarrollado en el CEEMA, presenta el desarrollo teórico y la validación experimental de un procedimiento para determinar la eficiencia y otros parámetros operacionales de las máquinas asincrónicas, en condiciones de campo, mediante la aplicación de algoritmos genéticos (AG) en presencia de desbalances de tensión. Se incluye el caso particular de régimen balanceado con desviaciones de tensión y/o frecuencia. El procedimiento se fundamenta en la metodología del circuito equivalente, lo cual requiere un bajo nivel de invasividad. Otras ventajas

son las limitadas mediciones necesarias y la consideración de parámetros variables, aportando mayor precisión en los resultados obtenidos.

Con el propósito de lograr la rápida convergencia del proceso evolutivo y definir un escenario físico en las fronteras de búsqueda, se introduce un vector de impedancias aproximadas en la población inicial del AG. Con el objetivo de determinar estos parámetros, se pueden utilizar los métodos tradicionales cuando son posibles aplicarlos en la industria, pero se aporta otro que constituye una nueva aproximación en condiciones de campo.

El método desarrollado permite evaluar la eficiencia de las máquinas en condiciones generalizadas, incluyendo aquellas que han sido reparadas, utilizando las componentes simétricas y, a la vez, efectuar otros cálculos de interés (potencia compleja, pérdidas desagregadas, deslizamiento, factor de potencia, etc). Por esta razón, constituye una herramienta fundamental para el análisis técnico y económico de proyectos de mejoramiento de la eficiencia energética y de desarrollo de programas de máquinas de alta eficiencia en la industria y los servicios, así como para reducir el impacto ambiental de las tecnologías energéticas.

1.5 Sistemas existentes vinculados al campo de acción.

1.5.1 ORMEL 96.

Se reportan varios métodos para uso práctico en la industria, implementados por medio de programas de computación o instrumentos especiales. Oak Ridge National Laboratory desarrolló el **ORMEL 96** (Oak Ridge Motor Efficiency and Load, 1996), que es un software que utiliza el método del circuito equivalente para estimar el estado de carga y la eficiencia de un motor en servicio. Solamente requiere de los datos de chapa y de la medición de velocidad para calcular tanto la eficiencia como el factor de carga, asumiendo los valores de corriente a rotor trancado y pérdidas de fricción y batimiento para construir el circuito equivalente

del motor. Este programa permite al usuario entrar mediciones opcionales, tal como la resistencia del estator, para mejorar el estimado de la eficiencia. La precisión de este método está en dependencia de la validez de los datos de chapa y considera constante los parámetros en toda la banda de operación en que pueda encontrarse el motor.

1.5.2 MotorMaster+.

El software MotorMaster+ [5] es notable por su flexibilidad y fácil uso. Este software parte de los datos de chapa y datos de operación para estimar el estado de carga y la eficiencia. Incluye cuatro técnicas para la estimación de la carga, y selecciona la más adecuada en función de los datos de entrada. Las técnicas internas para la estimación de la carga son:

- Método de la potencia de entrada.
- Método del deslizamiento compensado con tensión.
- Método de la corriente compensada con tensión.
- Método ORMEL.

Con el factor de carga se accede a la base de datos interna y por interpolación lineal se estima la eficiencia para ese estado de carga. Este software contiene factores para corregir las desviaciones de la tensión y otras condiciones de operación que se aparten de las de diseño.

1.5.3 Otros métodos.

Otras técnicas se basan en la utilización de equipos especiales para la estimación de la eficiencia como es el caso del desarrollado por Vern Nielsen [6] que emplea el probador *MAS-1000* producido por Niagara Instruments de New York. Además de este equipo especial, el método requiere de sensor óptico de velocidad. Otro instrumento especial es el *Motor-Check* desarrollado por Vogelsang & Benning de Alemania, el cual emplea un método que requiere probar el motor para tres

estados de carga diferentes. También se reporta el *Vectron Motor Monitor* que emplea un método desarrollado por ECNZ (Electric Council of New Zealand) que necesita que el motor se pruebe a factores de carga por debajo del 10% y por encima del 50%. Todos estos instrumentos son genéricos, utilizados sólo en compañía del método al cual soportan y requieren que el motor sea temporalmente desacoplado de la carga para una prueba en vacío.

1.5.4 Consideraciones sobre los métodos mencionados.

A pesar de que todos los métodos mencionados pueden representar herramientas valiosas para los especialistas que en la industria llevan a cabo programas de ahorro de energía o participan en la toma de decisiones que requieren estimar la eficiencia operacional de los motores en servicio, están limitados debido a que son herramientas informáticas privativas, lo cual implica un gasto para la entidad que lo necesite. También se puede agregar que están diseñados para trabajar sobre bases de datos creadas previamente por los fabricantes y existe la posibilidad que en dicha base de datos no se encuentre el motor que se desea analizar.

1.6 Presentación de la propuesta de solución.

La propuesta de solución lleva como nombre Sistema informático para el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asincrónicos, tomando como punto de partida la investigación realizada en el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), de la Universidad de Cienfuegos.

Este sistema representa una vía de trabajo adecuada para el proceso de cálculo de la eficiencia en la maquinaria existente en los diferentes centros estatales de la provincia de Cienfuegos y de nuestro país, además de constituir una fuente de ahorro energético.

Posibilita además la liberación en cuanto a carga de trabajo del personal, permitiendo que los mismos especialistas en sus empresas lleven a cabo el análisis periódico de los motores eléctricos.

El presente software a diferencia de los descritos con anterioridad, permite almacenar información de los diferentes análisis que se llevan a cabo en los numerosos centros con que se cuenta en la provincia; obtener reportes finales que ilustran de forma explícita la información, así como un análisis económico de los motores.

1.6.1 Ventajas de la creación de una herramienta informática.

- El análisis en los diferentes centros estatales se podrá realizar de forma rápida y eficaz.
- Es un software ligero realizado específicamente para darle solución a este tipo de motores y tener una interfaz sencilla y amigable.
- Los especialistas en cada una de sus áreas de trabajo podrán realizar las corridas de datos para mantener los motores trabajando de manera eficiente.
- Se prescinde de la herramienta MATLAB.
- Ahorro de tiempo y recursos para las entidades interesadas en realizar el análisis de la eficiencia de sus motores.

1.7 Fundamentación de la metodología utilizada.

1.7.1 Lenguaje de Modelación Unificado (UML).

El Lenguaje de Modelado Unificado (UML - Unified Modeling Language) permite modelar, construir y documentar los elementos que forman un producto de Software que responde a un enfoque orientado a objetos. Este lenguaje fue creado por un grupo de estudiosos de la Ingeniería de Software formado por: Ivar Jacobson, Grady Booch y James Rumbaugh en el año 1995. Desde entonces, se ha convertido en el estándar internacional para definir, organizar y visualizar los elementos que configuran la arquitectura de una aplicación orientada a objetos.

Con este lenguaje, se pretende unificar las experiencias acumuladas sobre técnicas de modelado e incorporar las mejores prácticas actuales en un acercamiento estándar.

UML no es un lenguaje de programación sino un lenguaje de propósito general para el modelado orientado a objetos y también puede considerarse como un lenguaje de modelado visual que permite una abstracción del sistema y sus componentes.

Entre sus objetivos fundamentales se encuentran:

1. Ser tan simple como sea posible, pero manteniendo la capacidad de modelar toda la gama de sistemas que se necesita construir.
2. Necesita ser lo suficientemente expresivo para manejar todos los conceptos que se originan en un sistema moderno, tales como la concurrencia y distribución, así como también los mecanismos de la ingeniería de Software, como son el encapsulamiento y el uso de componentes.
3. Debe ser un lenguaje universal, como cualquier lenguaje de propósito general.
4. Imponer un estándar mundial.

1.7.2 Proceso Unificado de Desarrollo (RUP).

El Proceso Unificado de Desarrollo (RUP, por su denominación en inglés Rational Unified Process), fue creado por el mismo grupo de expertos que crearon UML, Ivar Jacobson, Grady Booch y James Rumbaugh en el año 1998. El objetivo que se perseguía con esta metodología era producir Software de alta calidad, es decir, que cumpla con los requerimientos de los usuarios dentro de una planificación y presupuesto establecidos. Esta metodología concibió desde sus inicios el uso de UML como lenguaje de modelado. Es un proceso dirigido por casos de uso, este avanza a través de una serie de flujos de trabajo, está centrado en la arquitectura y es iterativo e incremental. Además cubre el ciclo de vida de desarrollo de un proyecto y toma en cuenta las mejores prácticas a utilizar en el modelo de desarrollo de Software.

A continuación se muestran estas prácticas

- Desarrollo de Software en forma iterativa.
- Manejo de requerimientos.
- Utiliza arquitectura basada en componentes.
- Modelación del Software visualmente
- Verifica la calidad del Software.
- Controla los cambios.

1.8 Fundamentación del lenguaje de programación y de otros softwares utilizados.

1.8.1 C#.

Se escogió el lenguaje de programación C# para el desarrollo del software, debido a la gran cantidad de ventajas que ofrece esta novedosa herramienta, además de estar familiarizado con el lenguaje de programación C++, lo cual resultó un obstáculo menos a la hora del aprendizaje. Aunque C# forma parte de la plataforma.NET, ésta es una interfaz de programación de aplicaciones (API); mientras que C# es un lenguaje de programación independiente diseñado para generar programas sobre dicha plataforma. Algunos de sus rasgos más importantes son:

1. Lenguaje de programación orientado a objetos simple, moderno y de propósito general.
2. Inclusión de principios de ingeniería de software tales como revisión estricta de los tipos de datos, revisión de límites de vectores, detección de intentos de usar variables no inicializadas, y recolección de basura automática.
3. Capacidad para desarrollar componentes de software que se puedan usar en ambientes distribuidos.
4. Portabilidad del código fuente.

5. Fácil migración del programador al nuevo lenguaje, especialmente para programadores familiarizados con C y C++.
6. Soporte para internacionalización.
7. Adecuación para escribir aplicaciones de cualquier tamaño: desde las más grandes y sofisticadas como sistemas operativos hasta las más pequeñas funciones.
8. Aplicaciones económicas en cuanto a memoria y procesado.

1.8.2 Adobe Photoshop.

Se utilizó la aplicación informática Adobe Photoshop CS3 para la edición y retoque de imágenes bitmap.

Photoshop presenta un entorno completo para diseñadores y grafistas profesionales en el que se pueden crear sofisticadas imágenes para impresión, Internet, dispositivos inalámbricos y otros medios. Con el completo juego de herramientas Web, de retoque, de pintura y de dibujo, Photoshop ayuda a completar eficazmente cualquier tarea de edición de imágenes [7].

La potencia de Photoshop para la edición de imágenes y la inclusión y modificación avanzada de textos, el tratamiento avanzado del color, los efectos de filtros y propiedades de capas, las facilidades de conversión de formatos de imágenes y su cómoda interfaz integrada, lo hace cumplir con los requisitos necesarios para el trabajo de edición de imágenes que se requiere.

1.8.3 XML (Extensible Markup Language).

Para definir la estructura de los datos persistentes en archivos externos se utiliza XML (lenguaje de marcas extensible). XML se propone como un estándar para el intercambio de información estructurada entre diferentes plataformas. Se puede usar en bases de datos, editores de texto, hojas de cálculo y casi cualquier cosa imaginable. XML es una tecnología sencilla que tiene a su alrededor otras que la

complementan y la hacen mucho más grande y con unas posibilidades mucho mayores. Tiene un papel muy importante en la actualidad ya que permite la compatibilidad entre sistemas para compartir la información de una manera segura, fiable y fácil. [8]

1.8.4 Rational Rose 2003.

Para apoyar el trabajo con la metodología RUP, ha sido desarrollada por la compañía norteamericana Rational Corporation en el año 2000 la herramienta de tipo CASE (Computer Assisted Software Engineering) nombrada Rational Rose.

Esta herramienta integra todos los elementos que propone la metodología para cubrir el ciclo de vida de un proyecto.

Rational Rose es una buena elección para el ambiente de modelado, proporciona un lenguaje común de modelado que facilita la creación de software de calidad más rápidamente [9]. Es una herramienta de desarrollo basada en modelos, uno de los productos más completos, con soporte a Unified Modeling Language (UML), que al ofrecer un lenguaje de modelado común agiliza la creación del software [10].

1.9 Conclusiones.

Mediante el estudio realizado en este capítulo se hace evidente la necesidad de una herramienta informática que sea capaz de llevar a cabo las tareas de análisis y cálculo de la eficiencia en los motores eléctricos, desarrolladas por el CEEMA. Para el desarrollo metodológico se escogió RUP y para su implementación el lenguaje de programación C#. Se realiza un análisis de las herramientas y metodologías a emplear para el desarrollo de la solución propuesta.

Capítulo 2: Descripción de la Solución Propuesta.

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se describe el análisis de la solución propuesta, utilizando UML como lenguaje de modelado y RUP como metodología, empleando el Modelo del Dominio para la captura de objetos; el cual ayuda a modelar y describir la solución propuesta. Utilizando el Modelo del Sistema, se identifican los requerimientos funcionales y no funcionales, se definen a los actores del sistema y a los servicios o funcionalidades que a su disposición se colocan (los casos de uso del sistema). Se muestra el diagrama de casos de uso del sistema, así como la descripción de los mismos.

2.2 Descripción del modelo del dominio.

El modelo del dominio captura los tipos más importantes de objetos en el contexto del sistema. Los objetos del dominio representan las "cosas" que existen o los eventos que suceden en el entorno en el que trabaja el sistema. Muchos de los objetos del dominio o clases pueden obtenerse de una especificación de requisitos o mediante la entrevista con los expertos del dominio. El objetivo del modelado del dominio es comprender y describir las clases más importantes dentro del contexto del sistema.

Para una mayor comprensión del contexto en que se desarrolla el proceso de cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asincrónicos, a continuación se definen las clases del dominio:

Especialista: Es el usuario del CEEMA encargado de realizar el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales en los motores. Se traslada a la empresa y utiliza los datos de chapa del motor y las mediciones para realizar los cálculos de la eficiencia, utilizando MATLAB, además de sugerir el cambio de motor a partir de un estudio de factibilidad.

Datos del motor: Son datos que recoge el especialista cuando va a realizar un estudio de motor. Existen dos tipos de datos fundamentales: los datos nominales del motor (potencia nominal, voltaje nominal, corriente nominal, factor de potencia nominal, eficiencia nominal, velocidad sincrónica, velocidad nominal, diseño, norma por la que se estampa la chapa, conexión del devanado, clase de aislamiento), y el otro tipo de datos son las mediciones del motor (estados de carga), la estructura de las mediciones que son tomadas del motor: voltajes (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}), corrientes (I_a , I_b , I_c), velocidad (rpm), frecuencia (frec), potencia (Pt).

MATLAB: El especialista utiliza MATLAB para introducir los datos del motor a ser analizado y realiza el cálculo de la eficiencia y otros parámetros del motor.

Cálculo de la eficiencia y otros parámetros: Una vez introducidos los datos del motor en el MATLAB, el mismo calcula los resultados (voltajes corregidos, corrientes corregidas, factor de desbalance complejo, deslizamiento, eficiencia, pérdidas desagregadas, potencias consumidas de la red y potencia desarrollada).

Estudio de factibilidad de cambio de motores: Con los resultados obtenidos el especialista realiza un estudio de factibilidad para la sustitución del motor, donde interpreta si es realmente necesario o no la sustitución del motor actual por uno más eficiente. Para ello necesita introducir los datos nominales del motor actual, los datos nominales del motor propuesto y datos económicos necesarios para el estudio de factibilidad de cambio de motor (precio de la energía, precio de la demanda contratada, inflación de la energía, impuestos sobre las ganancias, interés bancario, meses de operación al año, tiempo de operación anual en horas, margen de riesgo, vida útil de la inversión).

2.2.1 Reglas a considerar

A continuación, se definen las reglas que fueron identificadas para un correcto proceso de cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asíncronos:

- Los datos de chapa, así como las mediciones que se llevan a cabo en la entidad deben cumplir con el formato establecido para el funcionamiento del sistema, deben introducirse en un libro de Excel.
- Sólo el especialista realiza el cálculo de la eficiencia y el estudio de factibilidad para el cambio de motores.
- Para llevar a cabo el proceso de análisis de factibilidad para la sustitución de motores el especialista debe tener un amplio conocimiento de los motores existentes en el mercado y los recursos con que cuenta la empresa.
- Los datos recogidos por el especialista no pueden ser alterados bajo ninguna circunstancia.

2.2.2 Modelo de objetos del dominio

Un Modelo del Dominio captura los tipos más importantes de objetos en el contexto del sistema. Los objetos del dominio representan los elementos que existen y los eventos que suceden en el entorno en el que trabaja el sistema. Muchos de los objetos del dominio o clases pueden obtenerse de una especificación de requisitos. La modelación del dominio tiene como objetivo fundamental la comprensión y descripción de las clases más importantes en el sistema. [11]

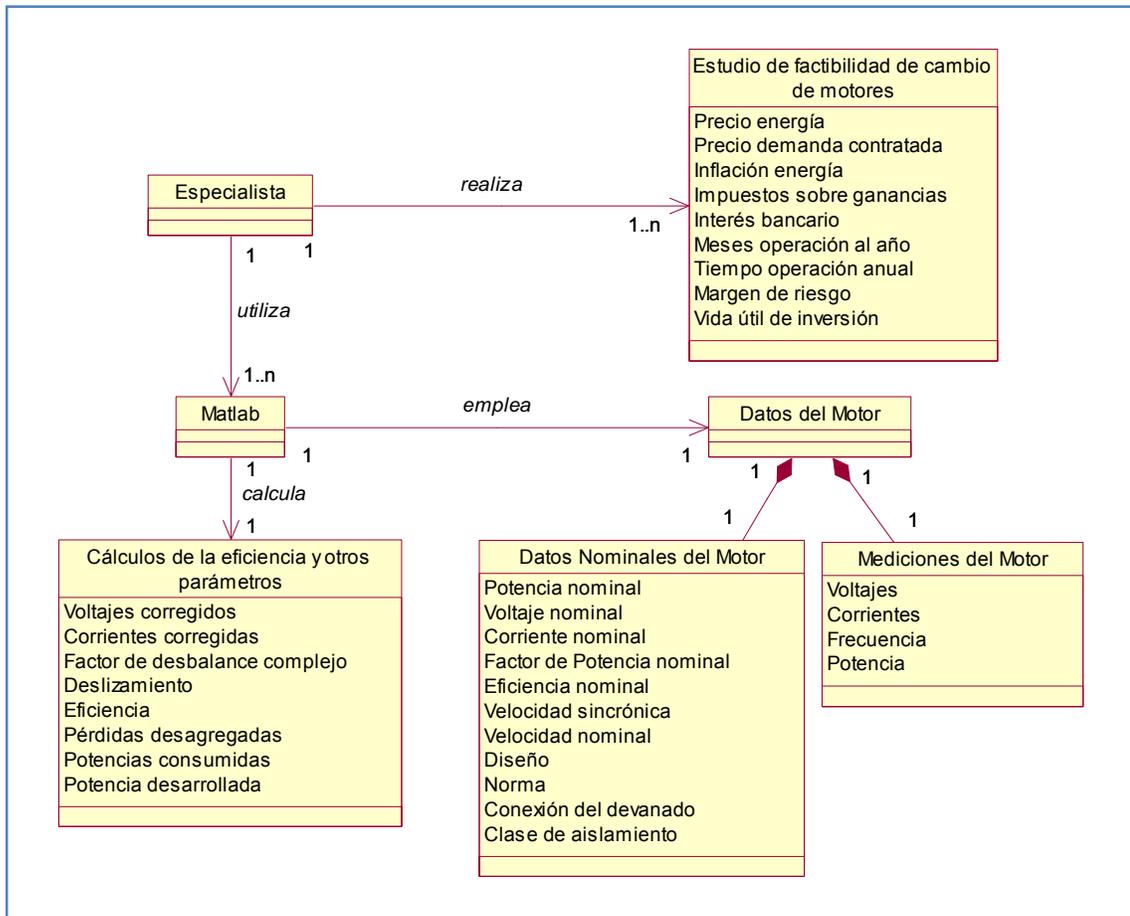


Figura 1: Diagrama de clases del modelo de objetos de un estudio de motor.

2.3 Modelo del sistema

En el presente epígrafe se identifican los requerimientos funcionales y no funcionales y a continuación se describe y analiza el modelo de sistema sobre la base de las especificaciones de la metodología RUP.

Se definen a los actores del sistema y los servicios o funcionalidades que a su disposición se colocan (los casos de uso del sistema), representándose las relaciones entre ellos a través del diagrama de casos de uso del sistema.

2.3.1 Concepción general del sistema.

El sistema propuesto encaminado al cálculo de la eficiencia energética y otros parámetros operacionales de los motores asíncronos en condiciones de campo

cuenta con dos partes fundamentales, la primera es la obtención de los datos del motor, en la cual el especialista realiza la recogida de los datos de forma manual y luego procede a introducirlos en el programa mediante los formularios pertinentes para estas tareas. Posteriormente se selecciona el estado de carga con el que se realizará el estudio, el cual debe estar previamente cargado en un libro de Microsoft Excel y procede a realizar el cálculo de la eficiencia y otros parámetros. La segunda parte encaminada al estudio de factibilidad de la sustitución de motores, en la cual el especialista una vez que haya concluido el proceso de cálculo, procede a presentar una propuesta de motor para determinar si es factible esta sustitución. Para ello deberá tener todos los datos nominales de ambos motores, como son: (potencia nominal, voltaje nominal, corriente nominal, factor de potencia nominal, eficiencia nominal, velocidad sincrónica, velocidad nominal, diseño, norma por la que se estampa la chapa, conexión del devanado, clase de aislamiento), también deberá introducir los datos económicos necesarios para este estudio (precio de la energía, precio de la demanda contratada, inflación de la energía, impuestos sobre las ganancias, interés bancario, meses de operación al año, tiempo de operación anual en horas, margen de riesgo, vida útil de la inversión).

2.3.2 Captura de los requisitos del sistema

Los requerimientos de software se documentan en un intento de especificar: [12]

- Una capacidad de software necesaria para que el usuario solucione un problema, para alcanzar un objetivo.
- Una posibilidad de software que debe cumplir o poseer un sistema o componente del sistema para satisfacer un contrato, estándar, especificación, u otra documentación formalmente impuesta.

2.3.2.1 Requerimientos funcionales

Un requerimiento funcional especifica una acción de ser capaz de realizar un sistema, sin considerar restricciones físicas; requisito que especifica comportamiento de entrada/salida de un sistema. [11]. Estos dependen del tipo de

software y del sistema que se desarrolle y de los posibles usuarios del software. Cuando se expresan como requerimientos del usuario, habitualmente se describen de forma general mientras que los requerimientos funcionales del sistema describen con detalle la función de éste, sus entradas y salidas, excepciones, etc. En algunos casos, los requerimientos funcionales de los sistemas también declaran explícitamente lo que el sistema no debe hacer.

Requerimientos funcionales del sistema:

1. Crear nuevo estudio de motor.
 - 1.1. Cargar datos para estudio de motor.
 - 1.2. Identificar los datos con las variables del motor.
 - 1.3. Seleccionar datos del estado de carga.
 - 1.4. Introducir datos de chapa del motor.
2. Realizar cálculo de la eficiencia.
3. Abrir un estudio de motor existente.
4. Guardar un estudio de motor.
5. Imprimir estudio de motor.
6. Calcular factibilidad económica de cambio de motor.
7. Imprimir resultados de estudio de factibilidad económica del motor.
8. Consultar datos de estudio de motor.
 - 8.1. Consultar por código de motor.
 - 8.2. Consultar por nombre de empresa.
 - 8.3. Explorar datos de consulta de estudio de motor.
 - 8.4. Eliminar datos de consulta de estudio de motor.
9. Guardar datos de consulta de estudio de motor.

10. Cargar datos de consulta de estudio de motor.
11. Registrar datos de consulta de estudio de motor.
 - 11.1. Registrar datos actuales.
 - 11.2. Registrar datos desde archivo.
12. Mostrar temas de ayuda.
13. Mostrar información del sistema.
14. Salir de la aplicación.

2.3.2.2 Requerimientos no funcionales

Un requerimiento no funcional especifica propiedades del sistema, como restricciones del entorno o de implementación, rendimiento, dependencias de plataforma, mantenibilidad, extensibilidad o fiabilidad. Es un requerimiento que especifica restricciones físicas sobre un requerimiento funcional. [11]

Apariencia o interfaz externa:

La interfaz estará diseñada de modo tal que el usuario pueda tener en todo momento el control de la aplicación, lo que le permitirá ir de un punto a otro dentro de ella con gran facilidad. Se cuidará porque la aplicación sea lo más interactiva posible. La interfaz será uniforme en cuanto a apariencia y funcionalidad.

Requisitos de usabilidad:

Los usuarios de esta aplicación quedan restringidos a los especialistas del CEEMA.

Requisitos de rendimiento:

El sistema está concebido para funcionar como una aplicación de escritorio, por lo que con un solo ordenador basta para su correcto funcionamiento.

En cuanto a los tiempos de respuesta, estos deben ser cortos para lograr una mayor rapidez a la hora de mostrar los resultados.

El sistema deberá funcionar de manera estable evitando errores que conciernen directamente a su programación.

Requisitos de soporte:

La aplicación en general deberá ser instalada por personal calificado, teniendo en cuenta las configuraciones necesarias para su funcionamiento.

Las pruebas del sistema serán realizadas en el CEEMA. Dichas pruebas permitirán evaluar en la práctica la funcionalidad y las ventajas de este nuevo producto.

La aplicación será documentada para garantizar el soporte de la herramienta.

Requisitos político – culturales:

El nivel social, cultural o étnico, no determinará una prioridad o limitante a la hora de brindar los servicios que ofrece el producto.

Requisitos legales:

La herramienta propuesta responderá a los intereses del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) de la Universidad de Cienfuegos. Dicha herramienta puede ser comercializada por el CEEMA.

Requisitos de ayuda y documentación en línea:

El sistema contará con una ayuda para las diferentes funcionalidades del mismo.

Requerimientos de software:

Se deberá tener un sistema operativo compatible (Windows), para la instalación de la aplicación. Como prerrequisitos el sistema solicita los componentes de Visual Studio o Framework.NET versión 3.5, además del paquete de Microsoft Office.

Requerimientos de hardware:

Para el desarrollo y puesta en práctica del proyecto se requieren ordenadores con los siguientes requisitos mínimos:

- Procesador Pentium IV a 2.4 GHz.
- 512 Mb de memoria RAM
- 10 Gb de Capacidad de disco duro.
- Teclado y Mouse
- Monitor SVGA con 1024 x 768 píxeles de resolución, 32 bits de colores.
- Se requiere de una capacidad de procesamiento alta para ejecutar algoritmos que requieren tiempo de procesamiento, como en el caso del algoritmo genético.

2.3.3 Actores del modelo de sistema

Un actor es aquel que interactúa con el sistema, sin ser parte de él y puede asumir el rol que juega una o varias personas, un equipo o un sistema automatizado. A continuación se definen los actores del sistema propuesto.

| Nombre del actor | Descripción |
|------------------|-------------|
|------------------|-------------|

| | |
|--------------|--|
| Especialista | Es el usuario encargado de realizar el cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales en los motores. Tiene acceso a todos los requerimientos funcionales de este módulo. |
|--------------|--|

Tabla 1. Descripción de los actores del sistema.

2.3.4 Diagrama de casos de uso del sistema

Los actores interactúan y usan el sistema a través de casos de uso. Los casos de uso son artefactos narrativos que describen, bajo la forma de acciones y reacciones, el comportamiento del sistema desde el punto de vista del usuario. Los casos de uso del sistema son:

1. Crear nuevo estudio de motor.
2. Realizar cálculo de la eficiencia.
3. Cargar un estudio de motor existente.
4. Guardar un estudio de motor.
5. Imprimir un estudio de motor.
6. Calcular factibilidad económica de cambio de motor.
7. Imprimir resultados de factibilidad.
8. Consultar datos de estudio de motor.
9. Guardar datos de consulta de estudio de motor.
10. Cargar datos de consulta de estudio de motor.
11. Registrar datos de consulta de estudio de motor.
12. Mostrar temas de ayuda.
13. Mostrar información del sistema.
14. Salir del sistema.

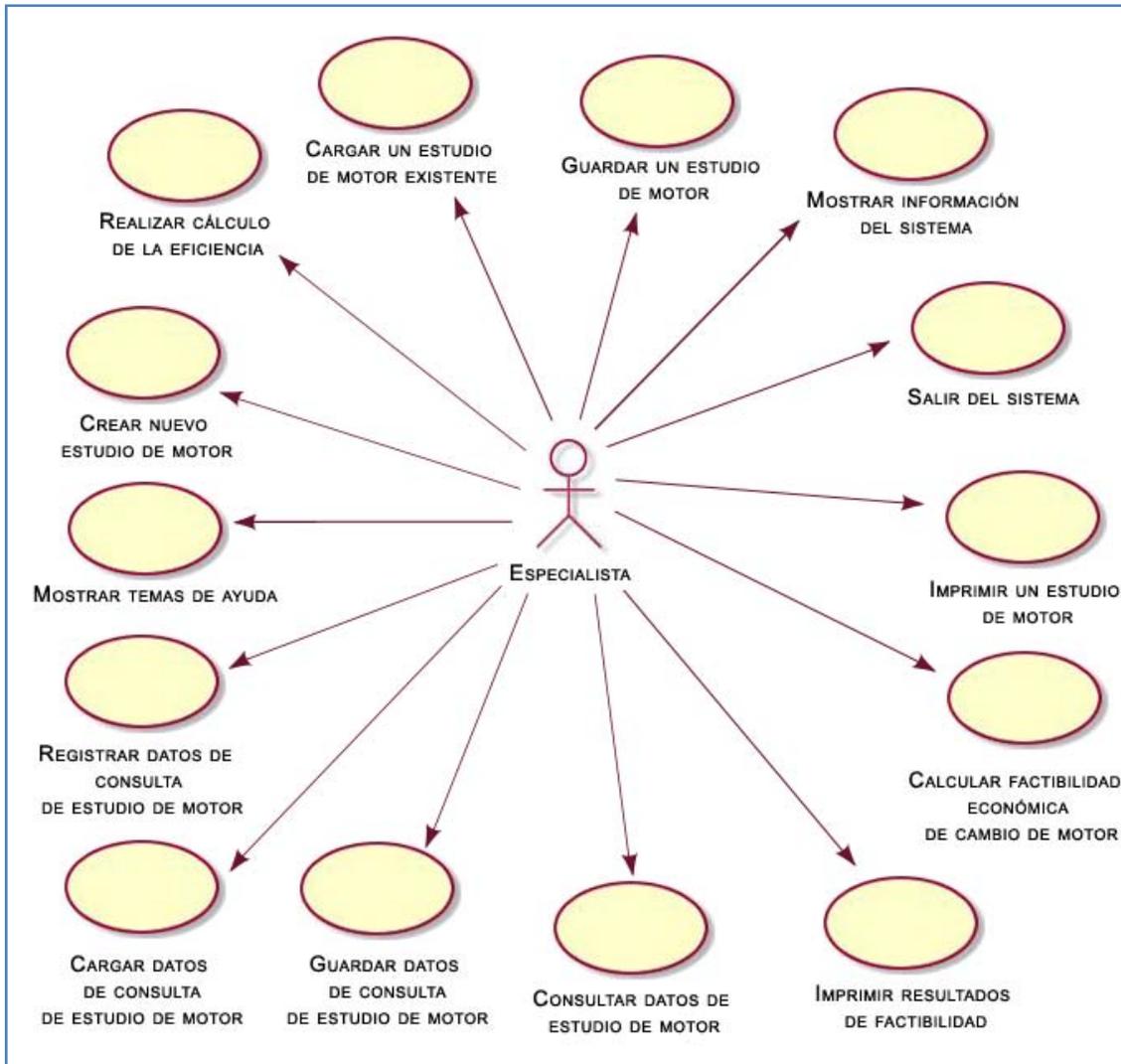


Figura 2: Diagrama de casos de uso del sistema.

2.3.5 Descripción de los casos de uso del sistema

| Caso de uso | Crear nuevo estudio de motor |
|-------------------|--|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista crear un nuevo estudio de motor. |

| | |
|---|------------------------------------|
| Resumen: | |
| <p>El caso de uso se inicia cuando el especialista decide crear un nuevo estudio de motor. El sistema necesita importar los datos, se abre una ventana que muestra el directorio de la unidad almacenamiento, selecciona el archivo de datos del libro de Microsoft Excel que contiene los datos del motor. Identifica los datos con las variables del motor: (voltajes (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}), corrientes (I_a, I_b, I_c), velocidad (rpm), frecuencia (frec), potencia (Pt). Selecciona el estado de carga a evaluar. Introduce los datos de chapa del motor (potencia nominal, voltaje nominal, corriente nominal, factor de potencia nominal, eficiencia nominal, velocidad sincrónica, velocidad nominal, diseño, norma por la que se estampa la chapa, conexión del devanado, clase de aislamiento). El caso de uso culmina con la confirmación del especialista.</p> | |
| Referencias: | R1. |
| Precondiciones: | - |
| Poscondiciones: | Se introducen los datos del motor. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A1). |

Tabla 2: Descripción del caso de uso de sistema “Crear nuevo estudio de motor”.

| Caso de uso Realizar cálculo de la eficiencia | |
|--|---|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista calcular la eficiencia del motor. |
| Resumen: | |
| <p>El caso de uso se inicia cuando el especialista decide calcular la eficiencia del motor. Se procede a calcular los resultados, obteniendo la eficiencia y otros datos operacionales del motor. El caso de uso culmina con la muestra de los resultados.</p> | |
| Referencias: | R2. |
| Precondiciones: | Debe haberse creado un nuevo estudio de motor. |

| | |
|-------------------------------|---------------------------|
| Poscondiciones: | Se calcula la eficiencia. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A2). |

Tabla 3: Descripción del caso de uso de sistema “Realizar cálculo de la eficiencia”.

| Caso de uso | | Cargar un estudio de motor existente |
|-------------------------------|--|---|
| Actores: | Especialista. | |
| Propósito: | Permite al especialista cargar un estudio de motor previamente creado. | |
| Resumen: | <p>El caso de uso se inicia cuando el especialista decide abrir un estudio de motor ya creado. Se abre una ventana que muestra el directorio de la unidad almacenamiento y se procede a seleccionar el archivo deseado. El caso de uso culmina con la carga del archivo.</p> | |
| Referencias: | R3. | |
| Precondiciones: | Debe haberse guardado previamente un estudio de motor. | |
| Poscondiciones: | Se carga el archivo. | |
| Requisitos especiales: | - | |
| Prototipo: | Anexos (A3). | |

Tabla 4: Descripción del caso de uso de sistema “Cargar un estudio de motor existente”.

| Caso de uso | | Guardar un estudio de motor |
|--------------------|---|------------------------------------|
| Actores: | Especialista. | |
| Propósito: | Permite al especialista guardar un estudio de motor. | |
| Resumen: | <p>El caso de uso se inicia cuando el especialista decide guardar un estudio de motor. Se abre una ventana que muestra el directorio de la unidad almacenamiento y se procede a escribir un nombre para el archivo que va a ser</p> | |

| | |
|---|---|
| guardado. El caso de uso culmina con el archivo guardado. | |
| Referencias: | R4. |
| Precondiciones: | Debe haberse realizado un estudio de motor. |
| Poscondiciones: | Se guarda el archivo. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A4). |

Tabla 5: Descripción del caso de uso de sistema “Guardar un estudio de motor”.

| Caso de uso Imprimir un estudio de motor | |
|---|---|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista imprimir un estudio de motor. |
| Resumen: El caso de uso se inicia cuando el especialista decide imprimir un estudio de motor. Se abre un diálogo donde se muestra lo que se está imprimiendo. El caso de uso culmina con la impresión del estudio de motor. | |
| Referencias: | R5. |
| Precondiciones: | Debe existir un estudio de motor. |
| Poscondiciones: | Se imprime el estudio de motor. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A5). |

Tabla 6: Descripción del caso de uso de sistema “Imprimir un estudio de motor”.

| Caso de uso Calcular factibilidad económica de cambio de motor | |
|--|--|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista calcular la factibilidad económica de cambio de motor. |
| Resumen: El caso de uso se inicia cuando el especialista decide calcular la factibilidad | |

económica de cambio de motor. Se abre formulario donde se muestran los datos nominales del motor actual y los datos nominales del motor a sustituir (potencia nominal, voltaje nominal, corriente nominal, factor de potencia nominal, eficiencia nominal, velocidad sincrónica, velocidad nominal, diseño, norma por la que se estampa la chapa, conexión del devanado, clase de aislamiento), así como los datos necesarios para el análisis económico (precio de la energía, precio de la demanda contratada, inflación de la energía, impuestos sobre las ganancias, interés bancario, meses de operación al año, tiempo de operación anual en horas, margen de riesgo, vida útil de la inversión). El caso de uso culmina con la visualización de los resultados del cálculo de factibilidad (ahorro de la energía en pesos, ahorro de la demanda máxima, ahorro total, flujo descontado acumulado en pesos).

| | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Referencias: | R6. |
| Precondiciones: | - |
| Poscondiciones: | Se calcula la factibilidad económica. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A6). |

Tabla 7: Descripción del caso de uso de sistema “Calcular factibilidad económica de cambio de motor”.

| Caso de uso Imprimir resultados de factibilidad | |
|--|--|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista imprimir los resultados de factibilidad. |
| Resumen: El caso de uso se inicia cuando el especialista decide imprimir los resultados del cálculo de factibilidad de cambio de motor. Se abre un diálogo donde se muestra lo que se está imprimiendo. El caso de uso culmina con la impresión de los resultados de factibilidad. | |
| Referencias: | R7. |
| Precondiciones: | Se haya realizado un estudio de factibilidad. |

| | |
|-------------------------------|---|
| Poscondiciones: | Se imprimen los resultados de factibilidad. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A7). |

Tabla 8: Descripción del caso de uso de sistema “Imprimir resultados de factibilidad”.

| Caso de uso Consultar datos de estudio de motor | |
|--|--|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista consultar datos de estudio de motor. |
| Resumen: El caso de uso se inicia cuando el especialista decide consultar datos de estudio de motor. El sistema muestra una ventana con una lista de los distintos estudios de motor previamente registrados. Se procede a consultar el estudio de motor por el código de motor y por el nombre de la empresa. Se exploran los datos de consulta de estudio de motor. Se eliminan datos de consulta de estudio de motor, lo cual permite eliminar un estudio del registro del sistema. El caso de uso culmina con la aceptación o la denegación del especialista de consultar datos de estudio de motor. | |
| Referencias: | R8. |
| Precondiciones: | - |
| Poscondiciones: | Se consultan los datos de estudio de motor. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A8). |

Tabla 9: Descripción del caso de uso de sistema “Consultar datos de estudio de motor”.

| Caso de uso Guardar datos de consulta de estudio de motor | |
|--|--|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista guardar datos de consulta de estudio de motor. |
| Resumen: | |

| | |
|---|---|
| El caso de uso se inicia cuando el especialista decide guardar los datos de una consulta de estudio de motor en el registro. Los datos son guardados de forma automática. El caso de uso culmina con la aceptación o la denegación del especialista de guardar los datos de consulta de estudio de motor. | |
| Referencias: | R9. |
| Precondiciones: | Se haya realizado un estudio de motor. |
| Poscondiciones: | Se guardan los datos de consulta de estudio de motor. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A9). |

Tabla 10: Descripción del caso de uso de sistema “Guardar datos de consulta de estudio de motor”.

| Caso de uso Cargar datos de consulta de estudio de motor | |
|--|---|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista cargar datos de consulta de estudio de motor. |
| Resumen: El caso de uso se inicia cuando el especialista decide cargar los datos de una consulta de estudio de motor. En caso que el especialista haya cometido una mala manipulación del registro, siempre podrá cargar nuevamente los datos de consulta de estudio de motor. Los datos son cargados de forma automática. El caso de uso culmina con la carga de los datos de consulta de estudio de motor. | |
| Referencias: | R10. |
| Precondiciones: | - |
| Poscondiciones: | Se cargan los datos de consulta de estudio de motor. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A10). |

Tabla 11: Descripción del caso de uso de sistema “Cargar datos de consulta de estudio de motor”.

| Caso de uso Registrar datos de consulta de estudio de motor | |
|--|--|
| Actores: | Especialista. |
| Propósito: | Permite al especialista registrar datos de consulta de estudio de motor. |
| Resumen: | |
| <p>El caso de uso se inicia cuando el especialista decide registrar datos ya sean datos actuales o bien desde un archivo guardado, de manera persistente en el registro del sistema. El sistema en el caso que se deseen guardar datos que ya existen en el registro, muestra un diálogo con una advertencia de que el estudio de motor ya existe, en caso contrario se muestra una ventana con datos del contacto que llevará a cabo el proceso de guardar los datos, los datos que se mostrarán en esta ventana son: datos del motor, codificación del motor, tipo de carga; datos de la empresa, nombre de la empresa, departamento y proceso; fecha en la que se realizará el proceso de registrar; datos del contacto, nombre, teléfono y correo electrónico. En caso que los datos se importen de un archivo, se abre una ventana que muestra el directorio de la unidad almacenamiento y se procede a buscar el archivo que va a ser guardado. Una vez seleccionado, el estudio de motor quedará registrado automáticamente mostrando un mensaje de confirmación. El caso de uso culmina con la aceptación o la denegación del especialista de registrar los datos de consulta de estudio de motor.</p> | |
| Referencias: | R11. |
| Precondiciones: | Se haya realizado un estudio de motor. |
| Poscondiciones: | Se registran los datos de consulta de estudio de motor. |
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A11). |

Tabla 12: Descripción del caso de uso de sistema “Registrar datos de consulta de estudio de motor”.

| Caso de uso | | Mostrar temas de ayuda |
|-------------------------------|---|------------------------|
| Actores: | Especialista. | |
| Propósito: | Permite al especialista mostrar temas de ayuda. | |
| Resumen: | <p>El caso de uso se inicia cuando el especialista decide consultar los temas de ayuda. En caso que el especialista necesite una mayor comprensión del sistema, en esta opción encontrará las principales funcionalidades que brinda el mismo. El caso de uso culmina con la muestra de los temas de ayuda.</p> | |
| Referencias: | R12. | |
| Precondiciones: | - | |
| Poscondiciones: | Se muestran los temas de ayuda. | |
| Requisitos especiales: | - | |
| Prototipo: | Anexos (A12). | |

Tabla 13: Descripción del caso de uso de sistema “Mostrar temas de ayuda”.

| Caso de uso | | Mostrar información del sistema |
|------------------------|---|---------------------------------|
| Actores: | Especialista. | |
| Propósito: | Permite al especialista mostrar una breve información del sistema. | |
| Resumen: | <p>El caso de uso se inicia cuando el especialista decide consultar la información del sistema. En caso que el especialista necesite una breve descripción del sistema, en esta opción encontrará: nombre del sistema, versión del sistema, año de realización, nombre del centro donde se desarrolló y una breve descripción de sus funcionalidades. El caso de uso culmina con la muestra de información del sistema.</p> | |
| Referencias: | R13. | |
| Precondiciones: | - | |
| Poscondiciones: | Se muestran la información del sistema. | |

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Requisitos especiales: | - |
| Prototipo: | Anexos (A13). |

Tabla 14: Descripción del caso de uso de sistema “Mostrar información del sistema”.

| Caso de uso | | Salir del sistema |
|-------------------------------|--|-------------------|
| Actores: | Especialista. | |
| Propósito: | Permite al especialista salir del sistema. | |
| Resumen: | El caso de uso se inicia cuando el especialista decide salir del sistema. Se muestra un diálogo donde se solicita confirmación para salir del sistema. El caso de uso culmina con la salida del sistema. | |
| Referencias: | R14. | |
| Precondiciones: | - | |
| Poscondiciones: | Se sale del sistema. | |
| Requisitos especiales: | - | |
| Prototipo: | Anexos (A14). | |

Tabla 15: Descripción del caso de uso de sistema “Salir del sistema”.

2.4 Conclusiones.

En el presente capítulo queda definido el modelo de objetos del dominio que corresponde al método de cálculo de la eficiencia energética y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asincrónicos, quedaron descritas las reglas que regulan y conducen al buen funcionamiento del negocio. También se describe el modelo del sistema mediante sus requerimientos funcionales y no funcionales, se identificaron y describieron los actores del sistema así como sus casos de uso, definiéndose un total de 14. Este análisis conllevó a que se pueda tener una visión más clara del problema a resolver.

Capítulo 3: Construcción del Sistema.

3.1 Introducción

En este capítulo se realiza una descripción de la construcción de la solución propuesta, en la que se han utilizado el Diagrama de Clases del Diseño y el Diagrama de Clases Persistentes, artefactos que propone la Metodología de RUP. También se describen las estructuras de los ficheros utilizados, se muestra el diagrama de implementación y los principios del diseño del sistema. También se hace la evaluación de la factibilidad del proyecto, para conocer si es conveniente llevarlo a cabo. La viabilidad y el análisis de riesgo están relacionados de muchas maneras. Si el riesgo del proyecto es alto, la viabilidad de producir software de calidad se reduce. En el presente capítulo se hace un estudio de factibilidad, beneficios y costo del sistema propuesto.

3.2 Construcción del sistema

En este epígrafe se realiza una descripción de la construcción de la solución propuesta utilizando el Diagrama de Clases del Diseño y el Diagrama de Clases Persistentes, artefactos que propone la Metodología de RUP. También se describen las estructuras de los ficheros utilizados.

3.2.1 Diagrama de clases del diseño

A continuación se mostrará el Diagrama de clases del diseño, para una mayor comprensión del mismo se recomienda ver Anexos (B1, B2, B3, B4).

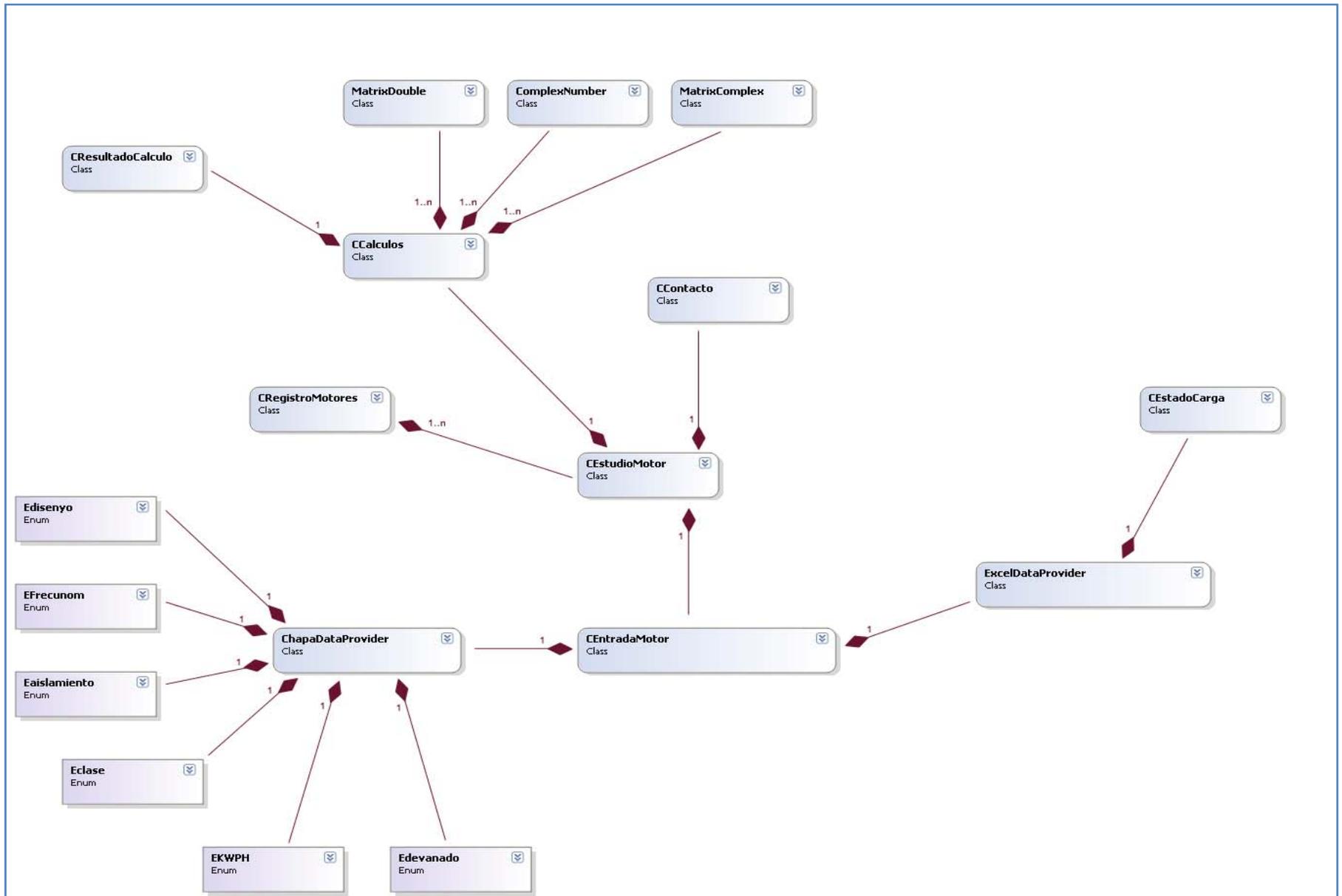


Figura 3: Diagrama de clases del diseño.

3.2.2 Diagrama de clases persistentes

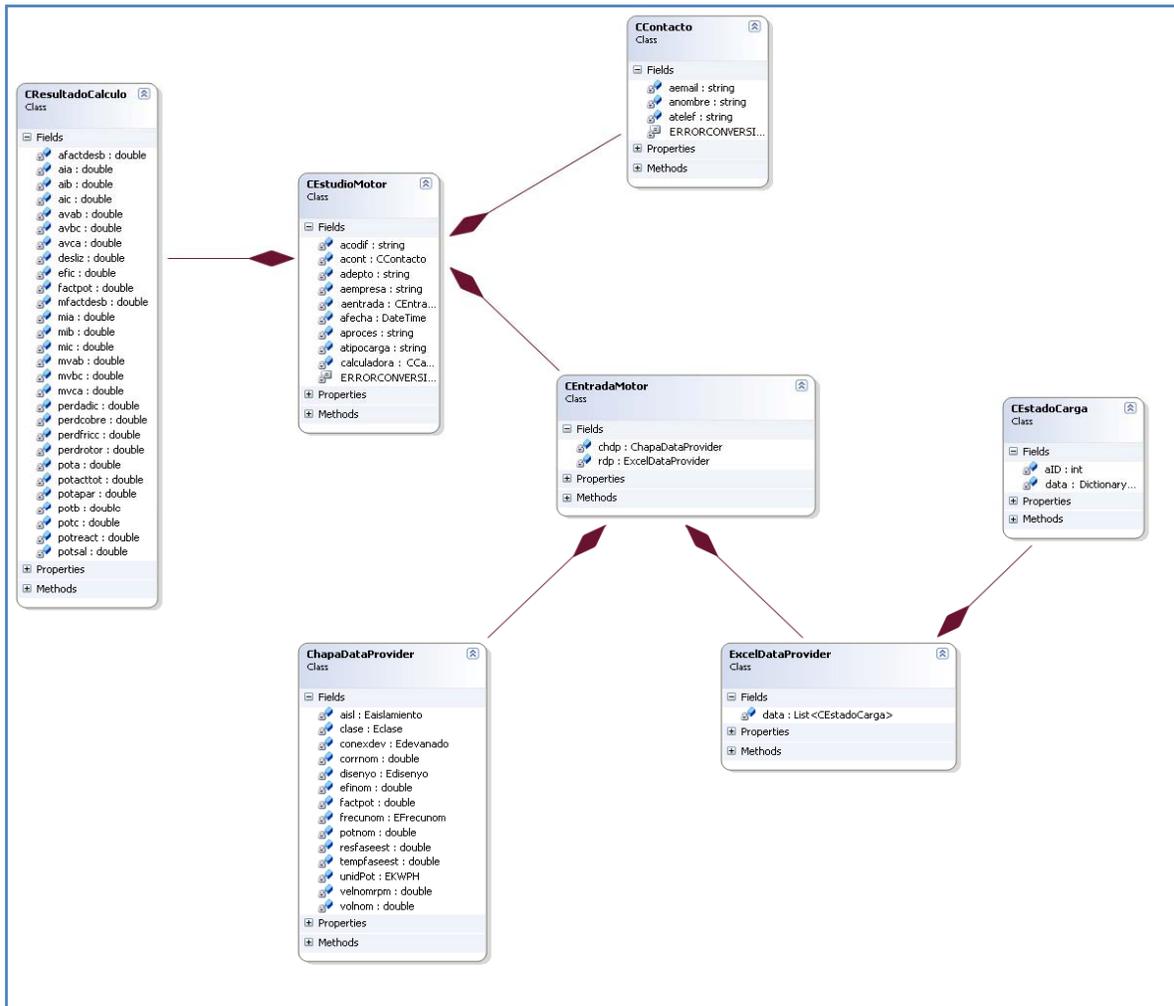


Figura 4: Diagrama de clases persistentes.

3.2.3 Estructura de los ficheros

Los datos del estudio de motor y del registro de estudios son guardados en archivos de texto plano con formato XML bajo las extensiones de .ema y .rma respectivamente. Ambos son cargados por sus respectivas clases modelo. El formato XML es un estándar que usa etiquetas definidas por el usuario para modelar datos. Lo cual se describe como:

- Fecha en que se lleva a cabo el estudio de motor.

- Datos de la empresa que realiza el estudio de motor.
- Datos de chapa del motor.
- Datos del estado de carga analizado.
- Resultados del proceso de cálculo.

3.2.4 Diagrama de implementación

El diagrama de implementación describe cómo los elementos del modelo de diseño, las clases, se implementan en términos de componentes. Describe también cómo se organizan los componentes de acuerdo con los mecanismos de estructuración y modularización disponibles en el entorno de implementación y en el lenguaje o lenguajes de programación utilizados y cómo dependen los componentes unos de otros.

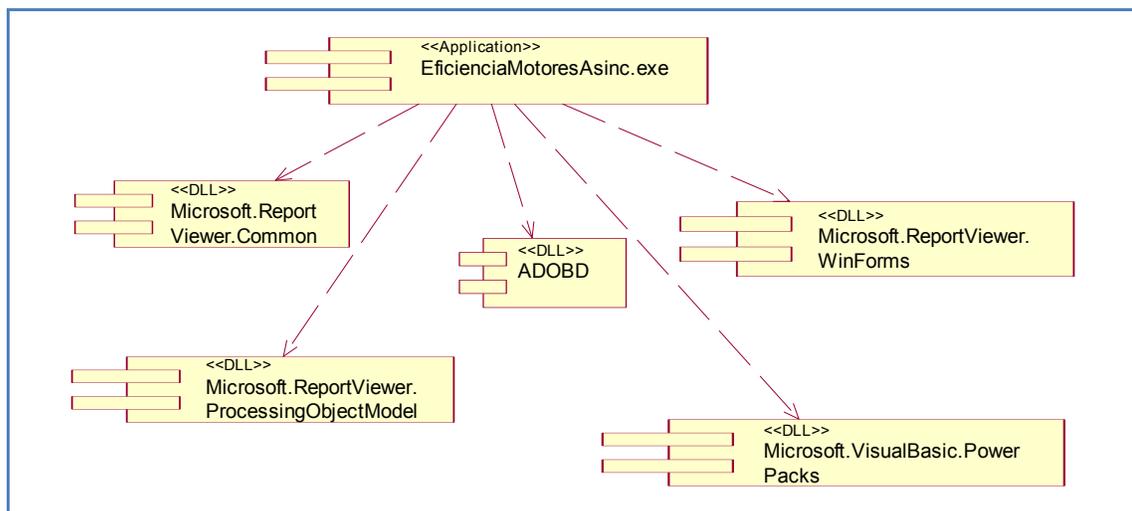


Figura 5: Diagrama de Implementación.

3.3 Principios de diseño del sistema

Los principios de diseño describen la realización física de los casos de uso, centrándose en cómo los requisitos funcionales y no funcionales, junto con otras

restricciones relacionadas con el entorno de implementación, tienen impacto en el sistema a considerar. [11]

3.3.1 Diseño de la interfaz del sistema

La interfaz es un modelo mental permanente, es decir una representación cognitiva o conceptualización que el usuario hace del sistema. A fin de que este modelo se mantenga a lo largo del programa ha de tener una consistencia, es decir mantener su coherencia de principio a fin. Para lograr esto se han de mantener las reglas y los criterios en el diseño.

La interfaz de entrada / salida diseñada para el sistema se concibió íntegramente para aprovechar las posibilidades de potencia gráfica del lenguaje propuesto para la construcción del sistema, conservando el estándar de controles típico de Windows La carga visual se distribuirá de manera cómoda evitando acumulaciones engorrosas.

La tipografía utilizada es Verdana 12 px.

Los mensajes de error son en Español.

3.3.2 Tratamiento de errores

El sistema será programado de manera tal que se minimicen los errores aplicando técnicas de validación de datos y mediante la cuidadosa confección de la interfaz de entrada salida. Los mensajes de error que emite el sistema se mostrarán en un lenguaje claro y de fácil comprensión a personas sin conocimientos avanzados de computación.

3.4 Estudio de Factibilidad

La estimación por Puntos de Casos de Uso es un método propuesto inicialmente por Gustav Karner en el año 1993 y que se utiliza para la estimación del tiempo de desarrollo de un proyecto mediante la asignación de “pesos” a un cierto número de factores que lo afectan. Este método resulta muy efectivo para estimar el esfuerzo requerido en el desarrollo de los primeros casos de uso de un sistema, si se sigue una aproximación iterativa como el Proceso Unificado de Software. En este tipo de

aproximación, los primeros casos de uso a desarrollar son los que ejercitan la mayor parte de la arquitectura del software y los que a su vez ayudan a mitigar los riesgos más significativos.

3.4.1 Cálculo de Puntos de Casos de Uso sin ajustar

$$UUCP = UAW + UUCW$$

Donde:

UUCP: Puntos de Casos de Uso sin ajustar.

UAW: Factor de Peso de los Actores sin ajustar.

UUCW: Factor de Peso de los Casos de Uso sin ajustar.

Para calcular Factor de peso de los actores sin ajustar UAW:

| Tipo | Descripción | Peso | Cant*Peso |
|---------------|--|------|-----------|
| Simple | Otro sistema que interactúa con el sistema a desarrollar mediante una interfaz de programación. | 1 | 0*1 |
| Medio | Otro sistema que interactúa con el sistema a desarrollar mediante un protocolo o una interfaz basada en texto. | 2 | 0*2 |
| Complejo | Una persona que interactúa con el sistema mediante una interfaz gráfica. | 3 | 1*3 |
| Total: | | | 3 |

Tabla 16: Cálculo del Factor de Peso de los Actores sin Ajustar.

Para calcular UUCW:

| No. | Nombre del caso de uso | Cantidad de transacciones | Tipo |
|-----|---|---------------------------|--------|
| 1 | Crear nuevo estudio de motor. | 3 | Simple |
| 2 | Realizar cálculo de la eficiencia. | 2 | Simple |
| 3 | Cargar un estudio de motor existente. | 2 | Simple |
| 4 | Guardar un estudio de motor. | 2 | Simple |
| 5 | Imprimir un estudio de motor. | 1 | Simple |
| 6 | Calcular factibilidad económica de cambio de motor. | 1 | Simple |
| 7 | Imprimir resultados de factibilidad. | 1 | Simple |
| 8 | Consultar datos de estudio de motor. | 3 | Simple |
| 9 | Guardar datos de consulta de estudio de motor. | 2 | Simple |
| 10 | Cargar datos de consulta de estudio de motor. | 2 | Simple |
| 11 | Registrar datos de consulta de estudio de motor. | 5 | Medio |
| 12 | Mostrar temas de ayuda. | 1 | Simple |
| 13 | Mostrar información del sistema. | 1 | Simple |
| 14 | Salir del sistema. | 1 | Simple |

Tabla 17: Cantidad de transacciones por casos de uso.

| Tipo | Descripción | Peso | Cant*Peso |
|--------|---|------|-----------|
| Simple | El Caso de Uso contiene de 1 a 3 transacciones. | 5 | 13*5 |
| Medio | El Caso de Uso contiene de 4 a 7 | 10 | 1*10 |

| | | | |
|----------|---|----|------|
| | transacciones. | | |
| Complejo | El Caso de Uso contiene más de 7 transacciones. | 15 | 0*15 |
| Total: | | | 75 |

Tabla 18: Cálculo del Factor de Peso de los CU sin Ajustar.

La cantidad de transacciones se determina a partir de la descripción textual del CU. Entre más detallada esté la descripción textual, más transacciones se puede encontrar y la estimación será más exacta.

Luego: $UUCP = 3 + 75$

$UUCP = 78$

3.4.2 Cálculo de Puntos de Casos de Uso ajustados

$UCP = UUCP * TCF * EF$

Donde: UCP: Puntos de Casos de Uso ajustados.

UUCP: Puntos de Casos de Uso sin ajustar.

TCF: Factor de complejidad técnica.

EF: Factor de ambiente.

Para Calcular Factor de Complejidad Técnica (TCF)

$TCF = 0.6 + 0.01 * \Sigma (\text{Pesoi} * \text{Valori})$ (Donde Valor es un número del 0 al 5).

Significado de los valores:

0: No presente o sin influencia.

- 1: Influencia incidental o presencia incidental.
- 2: Influencia moderada o presencia moderada.
- 3: Influencia media o presencia media.
- 4: Influencia significativa o presencia significativa.
- 5: Fuerte influencia o fuerte presencia.

| Factor | Descripción | Peso | Valor | Comentario | Σ (Pesoi * Valori) |
|--------|---|------|-------|--|------------------------------|
| T1 | Sistema distribuido. | 2 | 4 | El sistema es distribuido. | 8 |
| T2 | Objetivos de performance o tiempo de respuesta. | 1 | 3 | Se requiere que el sistema tenga un buen rendimiento. | 3 |
| T3 | Eficiencia del usuario final. | 1 | 5 | Debe ser eficiente el resultado final. | 5 |
| T4 | Procesamiento interno complejo. | 1 | 5 | El sistema debe realizar numerosos cálculos complejos. | 5 |
| T5 | El código debe ser reutilizable. | 1 | 4 | Es reutilizable. | 4 |
| T6 | Facilidad de instalación. | 0.5 | 4 | El sistema debe ser fácil de instalar. | 2 |
| T7 | Facilidad de uso. | 0.5 | 3 | De ser un sistema amigable. | 1.5 |
| T8 | Portabilidad. | 2 | 4 | Se requiere que el sistema sea portable. | 8 |
| T9 | Facilidad de cambio. | 1 | 3 | Se requiere que sea un sistema flexible ante cambios. | 3 |

| | | | | | |
|--------|--|---|---|---|------|
| T10 | Concurrencia. | 1 | 2 | Hay poca concurrencia. | 2 |
| T11 | Incluye objetivos especiales de seguridad. | 1 | 0 | El sistema gestiona información no confidencial. | 0 |
| T12 | Provee acceso directo a terceras partes. | 1 | 3 | Provee acceso directo a terceras partes. | 3 |
| T13 | Se requieren facilidades especiales de entrenamiento a los usuarios. | 1 | 2 | No se requieren facilidades especiales de entrenamiento a los usuarios. | 2 |
| Total: | | | | | 46.5 |

Tabla 19: Cálculo del Factor de Complejidad Técnica.

$$TCF = 0.6 + 0.01 * 46.5$$

$$TCF = 1.065$$

Para Calcular EF

$$EF = 1.4 - 0.03 * \Sigma (\text{Peso} * \text{Valor}) \text{ (Donde Valor es un número del 0 al 5)}$$

| Factor | Descripción | Peso | Valor | Comentario | $\Sigma (\text{Peso} * \text{Valor})$ |
|--------|---|------|-------|---|---------------------------------------|
| E1 | Familiaridad con el modelo de proyecto utilizado. | 1.5 | 2 | El grupo no está familiarizado con el modelo de proyecto. | 3 |
| E2 | Experiencia en la aplicación. | 0.5 | 3 | No hay mucha experiencia en la aplicación. | 1.5 |

| | | | | | |
|--------|--|-----|---|--|-----|
| E3 | Experiencia en orientación a objetos. | 1 | 4 | La mayoría del grupo ha programado Orientado a Objetos. | 4 |
| E4 | Capacidad del analista líder. | 0.5 | 3 | Experiencia media | 1.5 |
| E5 | Motivación. | 1 | 5 | El grupo está altamente motivado. | 5 |
| E6 | Estabilidad de los requerimientos. | 2 | 4 | Se esperan cambios. | 8 |
| E7 | Personal part-time. | -1 | 0 | | 0 |
| E8 | Dificultad del lenguaje de programación. | -1 | 3 | Se usará el lenguaje C# orientado a objetos, no estudiado. Aunque el lenguaje no es difícil de aprender. | -3 |
| Total: | | | | | 20 |

Tabla 20: Cálculo del Factor Ambiente.

$$EF = 1.4 - 0.03 * 20$$

$$EF = 0.8$$

Luego

$$UCP = 78 * 1.065 * 0.8$$

$$UCP = 66.456$$

3.4.3 Cálculo del Esfuerzo

$$E = UCP * CF$$

Donde:

E: esfuerzo estimado en horas-hombre.

UCP: Puntos de Casos de Uso ajustados.

CF: factor de conversión.

Para calcular Factor de Conversión (CF):

CF = 20 horas-hombre (si Total EF \leq 2)

CF = 28 horas-hombre (si Total EF = 3 ó Total EF = 4)

CF = abandonar o cambiar proyecto (si Total EF \geq 5)

Total EF = Cant EF < 3 (entre E1 – E6) + Cant EF > 3 (entre E7 – E8)

Como Total EF = 1 + 0

Total EF = 1

CF = 20 horas-hombre (porque Total EF = 1)

Luego $E = 66.456 * 20$ horas-hombre

$E = 1329.12$ horas-hombre

| Actividad | % Esfuerzo | Valor Esfuerzo |
|-----------------------|------------|----------------|
| Análisis | 10 | 332.28 |
| Diseño | 20 | 664.56 |
| Implementación | 40 | 1329.12 |
| Prueba | 15 | 498.42 |

| | | |
|-------------------|------------|----------------|
| Sobrecarga | 15 | 498.42 |
| Total | 100 | 3322.80 |

Tabla 21: Distribución del esfuerzo estimado entre los flujos de trabajo de RUP.

3.5 Beneficios tangibles e intangibles

El desarrollo del sistema aporta un considerable beneficio económico. El mayor aporte se enfoca en la disponibilidad de una herramienta informática ligera, que permitirá a los especialistas del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) en la Provincia de Cienfuegos, calcular y analizar la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asíncronos en condiciones de campo. Dicha herramienta podrá ser utilizada en cualquier entidad estatal de nuestro país para beneficio del mismo y de sus recursos estatales. El CEEMA podrá comercializar este producto, así como preparar especialistas para hacer estudios de motor en las empresas que se lo soliciten.

Además de los beneficios tangibles que proporciona la implementación de este producto de software se generan los siguientes beneficios intangibles:

- Ahorro de tiempo.
- Se incorpora el estudio de factibilidad.

3.6 Análisis de costos y beneficios

Luego de realizar el análisis de factibilidad mediante Puntos de Casos de Uso, conocemos una estimación del tiempo de desarrollo del proyecto, igual a 3322.80 horas-hombre de desarrollo.

De acuerdo a las características del grupo de trabajo (cantidad de desarrolladores, salario básico), es posible obtener una estimación del costo del proyecto y de su duración.

Calculando para:

Salario básico: \$200.00

Cantidad de hombres: 3

Se obtiene que:

Duración del proyecto: 1107.6 horas

Si se trabaja

Al día: 8 horas.

En la semana: 40 horas.

En un mes: 160 horas.

El proyecto tendrá una duración de aproximadamente 7 meses y un costo de \$4 200.

El estudio del estado del arte realizado en el Capítulo #1 de la presente investigación arrojó, que existen en el mundo software que realizan estas tareas. Actualmente es muy elevado el costo de producción de software, debido a los altos precios que implantan en el mercado las grandes compañías productoras de herramientas informáticas destinadas para este fin.

La solución propuesta aporta varios beneficios tanto tangibles como intangibles, los cuales fueron descritos en el epígrafe anterior. El despliegue de esta aplicación en el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) en la provincia de Cienfuegos, mejorará el proceso de cálculo y análisis de la eficiencia de los motores eléctricos asincrónicos en condiciones de campo. Por otra parte esta herramienta informática sienta las bases para el desarrollo de posteriores versiones del sistema. Por todo lo antes planteado se puede concluir que la implementación del módulo es factible.

3.7 Conclusiones

En este capítulo se muestra el diagrama de clases del diseño y el diagrama de clases persistentes. Se analizaron temas como: diseño de la interfaz, tratamiento

de errores y ayuda. Además se realizó un análisis de factibilidad, utilizando el análisis de Puntos de Casos de Uso ya que esta técnica permite cuantificar el tiempo de desarrollo de un proyecto, independientemente del lenguaje de programación, las metodologías, plataformas y/o tecnologías utilizadas. Posteriormente teniendo en cuenta el costo y los beneficios que aporta con su Implantación, llegando a la conclusión de que un grupo de desarrollo de tres personas cumpliendo las etapas de análisis, diseño e implementación, trabajando 8 horas al día, 40 horas al mes, durante 7 meses, es suficiente. El desarrollo de este sistema tendrá un costo de \$4200.00.

Conclusiones

Se realizó un análisis del proceso de obtención de datos y cálculo de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asincrónicos, desarrollado por el CEEMA y se constató que no existe un software profesional ligero con las características indicadas para esta labor.

Se desarrolló el sistema mediante la metodología seleccionada: Proceso Unificado de Desarrollo; garantizándose a través de sus diferentes etapas, que el sistema alcanzara las características deseadas.

A través de un estudio de factibilidad utilizando el análisis de Puntos de Casos de Uso y teniendo en cuenta los costos y beneficios, se concluyó que es factible la implementación del sistema.

Se implementó el sistema propuesto utilizando técnicas de programación orientada a objetos en un lenguaje de alto nivel.

Recomendaciones

Se recomienda ampliar el análisis de la eficiencia y otros parámetros operacionales de los motores eléctricos asíncronos en varios estados de carga del motor.

Referencias Bibliográficas

- [1] www.monografias.com. [En línea] [Citado el: 24 de mayo de 2010.]
www.monografias.com/trabajos67/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica.shtml.
- [2] www.delorenzogroup.com. [En línea] [Citado el: 24 de mayo de 2010.]
www.delorenzogroup.com/dl/demo/DLElma/VirLab/A_teor_S/T_Asi/Asi_Gen.htm.
- [3] wikipedia. [En línea] [Citado el: 15 de mayo de 2010.]
es.wikipedia.org/wiki/Sistema_trif%C3%A1sico.
- [4] www.trifasicos.com. [En línea] [Citado el: 10 de mayo de 2010.]
www.trifasicos.com/conceptos.php.
- [5] Motor Challenge Program. [En línea] www.motor.doe.gov.
- [6] Wallace, A., y col., "A laboratory assessment of in-service motor efficiency testing methods", 1997 IEEE International Electric Machines and Drives Conference Record, May 18-21, 1997., Milwaukee, Wisconsin, USA, 1997.
- [7] Ayuda de Adobe Photoshop 8.
- [8] [En línea] [Citado el: 5 de mayo de 2010.] www.w3.org/XML/.
- [9] Rational Rose. [En línea]
www.rational.com.ar/herramientas/roseenterprise.html.
- [10] "Taringa! - IBM Rational Rose Enterprise 2003";
<http://www.taringa.net/posts/downloads/967555/IBM-Rational-Rose-Enterprise-2003.html>.
- [11] I. Jacobson, El Proceso Unificado de Desarrollo de Software, La Habana: Editorial Félix Varela, 2008
- [12] Richard H. Thayer y Merlin Dorfman , Software Requirements Engineering, IEEE Computer Society Press, 1997

Bibliografía

CEEMA, Colectivo de Autores, "Gestión Energética Empresarial", Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, 2001, pp. 80-83.

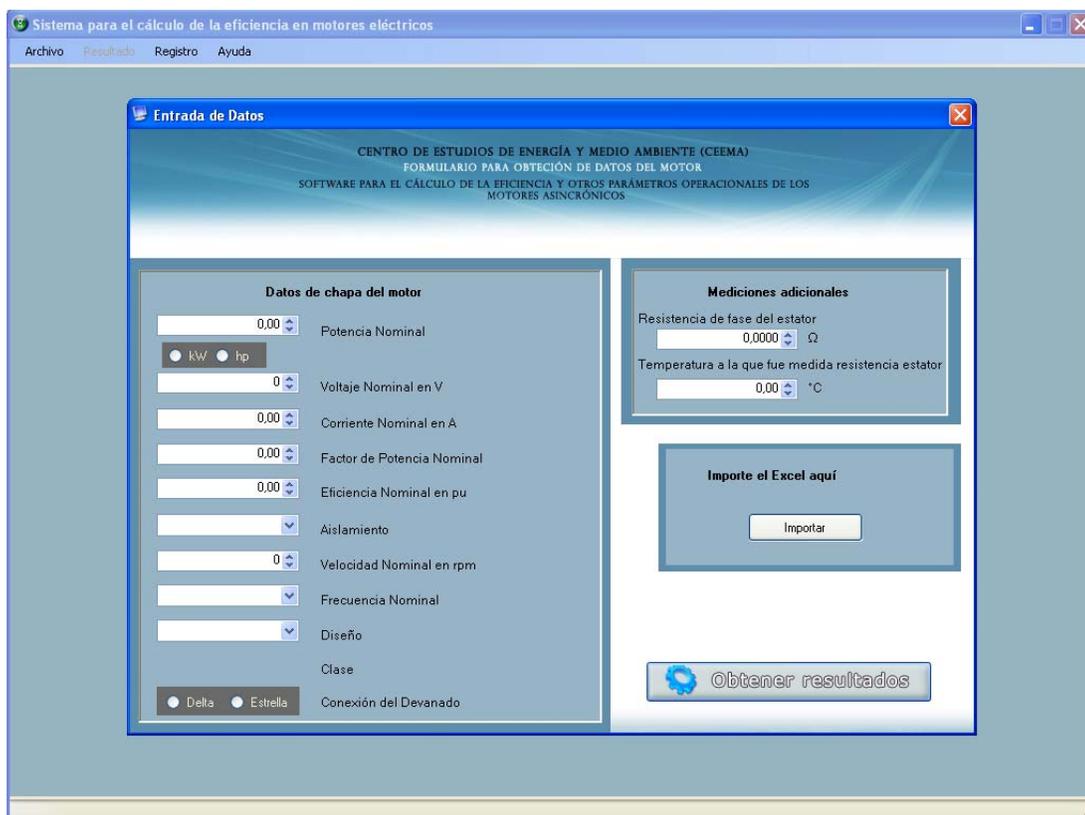
Gómez Sarduy, J., "Determinación de la Eficiencia de los Motores Asíncronos con Tensiones Desbalanceadas en Condiciones de Campo". Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba. 2006.

Gómez Sarduy, J., y col., "Parámetros iniciales de motores asíncronos con tensiones desbalanceadas para optimización con algoritmos genéticos", Memorias SIE 2005. (XI Simposio de Ingeniería Eléctrica), 21-23 junio del 2005., Santa Clara, Cuba.

Anexos

Anexo A. Prototipos de los casos de uso del sistema.

A1. (Crear nuevo estudio de motor)



A screenshot of the "Entrada de Datos" (Data Entry) window. The window title is "Sistema para el cálculo de la eficiencia en motores eléctricos". The menu bar includes "Archivo", "Resultado", "Registro", and "Ayuda". The main content area is titled "CENTRO DE ESTUDIOS DE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE (CEEMA) FORMULARIO PARA OBTENCIÓN DE DATOS DEL MOTOR SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA Y OTROS PARÁMETROS OPERACIONALES DE LOS MOTORES ASINCRÓNICOS".

The form is divided into two main sections:

- Datos de chapa del motor:** This section contains several input fields and dropdown menus for motor specifications:
 - Potencia Nominal: 0,00 (with a unit selector for kW or hp)
 - Voltaje Nominal en V: 0
 - Corriente Nominal en A: 0,00
 - Factor de Potencia Nominal: 0,00
 - Eficiencia Nominal en pu: 0,00
 - Aislamiento: (dropdown menu)
 - Velocidad Nominal en rpm: 0
 - Frecuencia Nominal: (dropdown menu)
 - Diseño: (dropdown menu)
 - Clase: (dropdown menu)
 - Conexión del Devanado: (radio buttons for Delta and Estrella)
- Mediciones adicionales:** This section contains:
 - Resistencia de fase del estator: 0,0000 Ω
 - Temperatura a la que fue medida resistencia estator: 0,00 °C

At the bottom right, there is a button labeled "Importar" under the heading "Importe el Excel aquí", and a large button labeled "Obtener resultados" with a gear icon.

A2. (Realizar cálculo de la eficiencia)



A3. (Cargar un estudio de motor existente)



Sistema para el cálculo de la eficiencia en motores eléctricos

Archivo Resultado Registro Ayuda

CENTRO DE ESTUDIOS DE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE (CEEMA)
SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LA EFICIENCIA Y OTROS PARÁMETROS OPERACIONALES DE LOS MOTORES ASÍNCRONICOS

| Voltaje | | | Corriente | | | Factor de desbalance complejo | | |
|----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-------------------------------|--------|--------|
| Variable | Módulo | Ángulo | Variable | Módulo | Ángulo | Variable | Módulo | Ángulo |
| VAB | 451,3 | 0 | ILa | 34,08 | -66,72 | FDVC | 27,42 | 2,32 |
| VBC | 443,1 | 0 | ILb | 33,38 | 171,35 | | | |
| VCA | 453 | 122,03 | ILc | 32,74 | 53,41 | | | |

Deslizamiento
s = 0,0166

Eficiencia
Ef = 91,19

Pérdidas desagregadas[W]

Pérdidas de cobre del estator
Pcus = 461,01

Pérdidas de cobre del rotor
Pcur = 544,33

Pérdidas de fricción, balatamiento y núcleo
Pitn = 342,64

Pérdidas adicionales
Pad = 490,97

Pérdidas Totales
Péridas = 1838,95

Potencias consumidas de la red [W]

Potencia Activa Fase a
Pfase(1) = 7157,15

Potencia Activa Fase b
Pfase(2) = 6859,37

Potencia Activa Fase c
Pfase(3) = 6604,65

Potencia Activa Total
Pin = 20621,18

Potencia Reactiva
Qin = 16125,34

Potencia Aparente
S = 26177,47

Factor de Potencia
FP = 0,79

Potencia de Salida
Pdes = 19030,58

A4. (Guardar un estudio de motor)



A5. (Imprimir un estudio de motor)



A6. (Calcular factibilidad económica de cambio de motor)

Estudio de Factibilidad de Cambio de Motores

Entre los datos de los motores a comparar...

Datos nominales del motor estándar

Potencia nominal, hp:

Voltaje, V:

Velocidad, rpm:

Eficiencia nominal, %:

factor de carga, %:

Eficiencia al factor de carga especificado:

Costo(pesos):

Datos nominales del motor alta eficiencia

Potencia nominal, hp:

Voltaje, V:

Velocidad, rpm:

Eficiencia nominal, %:

factor de carga, %:

Eficiencia al factor de carga especificado:

Costo(pesos):



Datos para el análisis económico

Precio de la energía, \$/kWh:

Precio de la demanda contratada, \$/kW:

Inflación de la energía, % anual:

Impuestos sobre la ganancia, %:

Interés bancario, %:

Meses de operación al año:

Tiempo de operación anual, h:

Margen de riesgo, %:

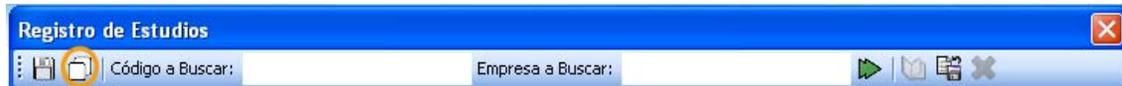
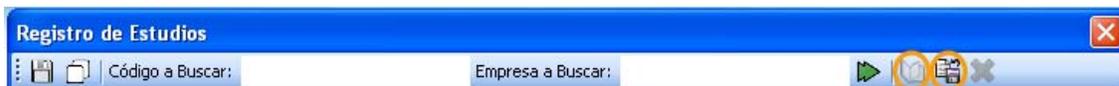
Vida útil de la inversión, año:

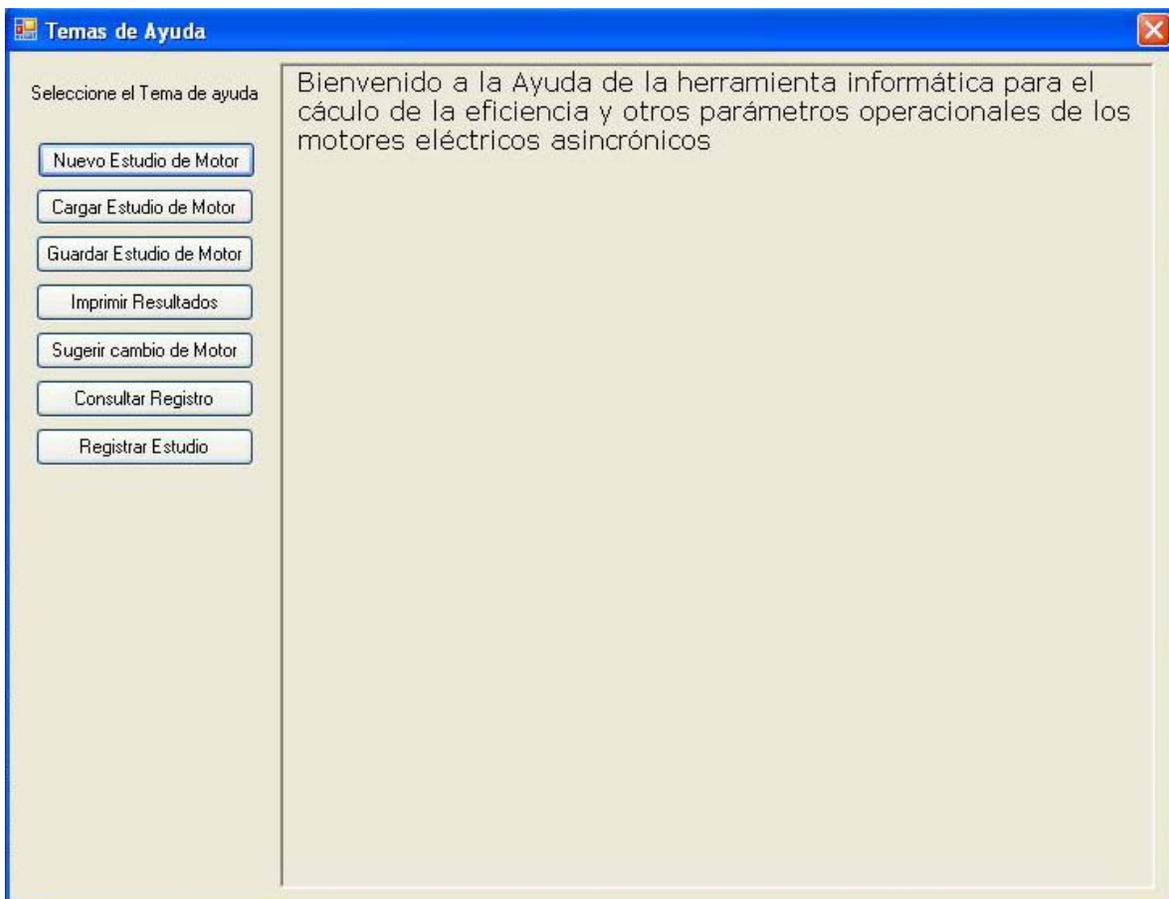
A7. (Imprimir resultados de factibilidad)

Resultado del Cambio de Motores

| Ahorro | | | | | | | | | |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Ahorro en energía, pesos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ahorro en Dem. Max., pesos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ahorro total, pesos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

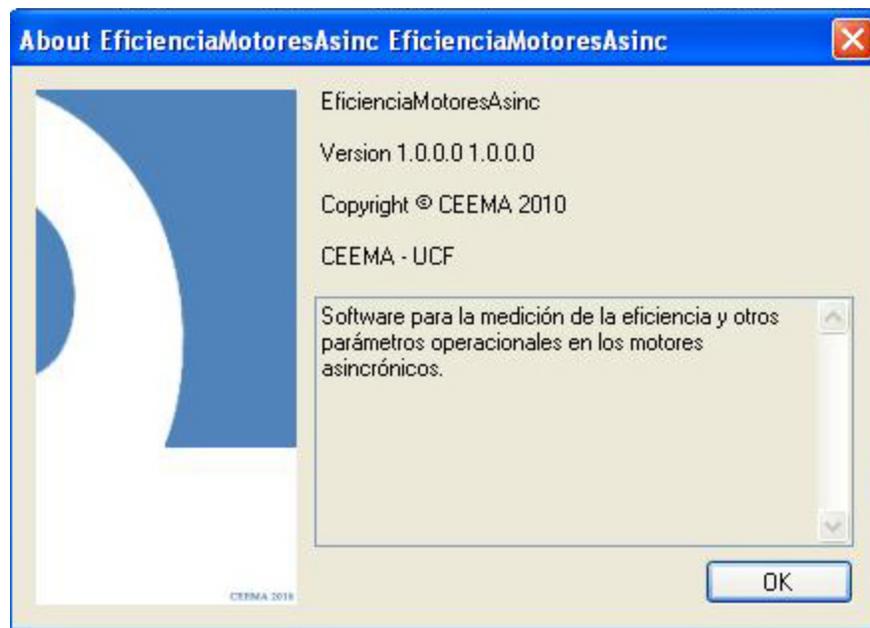
| Resultados | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Flujo descontado acumulado (Fd...) | -1058,98 | -1036,1 | -1025,84 | -1021,24 | -1019,18 | -1018,25 | -1017,84 | -1017,65 | -1017,57 |
| Valor presente neto (VPN), pesos | -1017,51 | | | | | | | | |

A10. (Cargar datos de consulta de estudio de motor)**A11. (Registrar datos de consulta de estudio de motor)****A12. (Mostrar temas de ayuda)**



A13. (Mostrar información del sistema)





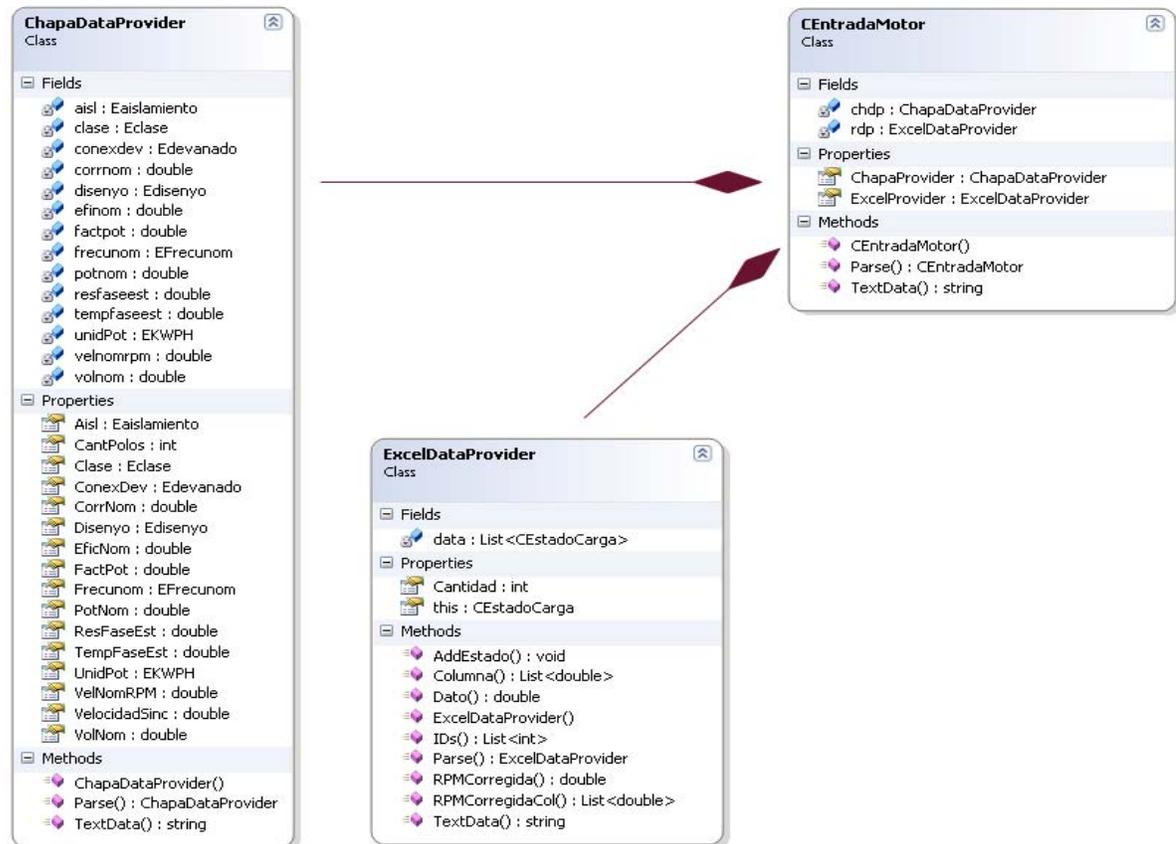
A14. (Salir del sistema)



Anexo B. Diagrama de clases del diseño.

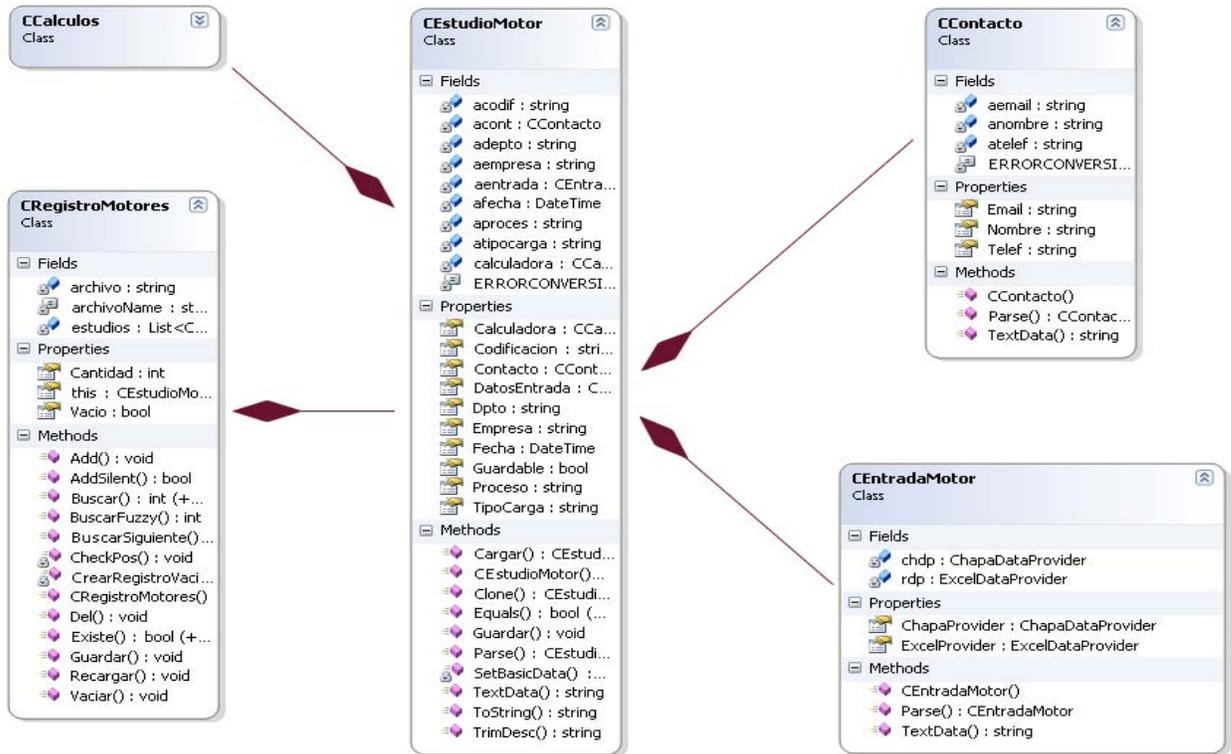
B1. (CEntradaMotor).

Diagrama de clases del diseño (continuación)



B2. (CRegistroMotor).

Diagrama de clases del diseño (continuación)



B3. (CCálculos).

Diagrama de clases del diseño (continuación)

CCalculos

Class

Fields

- a : ComplexNumber
- ancho : int
- AngIa : MatrixDouble
- AngIb : MatrixDouble
- AngIc : MatrixDouble
- AngIp : MatrixDouble
- AngVa : MatrixDouble
- AngVab : MatrixDouble
- AngVbc : MatrixDouble
- AngVca : MatrixDouble
- apob : MatrixDouble
- aZ : MatrixDouble
- chdp : ChapaDataProvider
- cn : MatrixComplex
- conjKin : MatrixComplex
- conjKINom : ComplexNumber
- COSFI : MatrixDouble
- EF : double
- error : double
- errores : List<double>
- F0 : double
- F4 : double
- F5 : double
- F6 : double
- F7 : double
- FD : MatrixComplex
- FDVC : MatrixComplex
- Fem : MatrixComplex
- FI : MatrixDouble
- FP : double
- IABC : MatrixComplex
- Iah : double
- ialphabeta : MatrixDouble
- Ibh : double
- Ich : double
- Ieq : MatrixDouble
- IF : MatrixComplex
- Ifa : ComplexNumber
- Ifase : MatrixComplex
- Ifb : ComplexNumber
- Ifc : ComplexNumber
- IFcal : MatrixComplex
- Ifn : double
- IFn : MatrixComplex
- IFp : MatrixComplex
- IFp1 : MatrixComplex
- IFpn : MatrixComplex
- Ifr : MatrixComplex
- IL : MatrixComplex
- ILa : ComplexNumber
- ILb : ComplexNumber
- ILc : ComplexNumber
- ILcal : MatrixComplex
- Ilinea : MatrixComplex
- IIINomea : MatrixComplex
- ILpn : MatrixComplex
- Im : MatrixComplex
- Imcal : MatrixComplex

- indiv : List<MatrixDouble>
- Ip : MatrixDouble
- Iptemp : MatrixDouble
- Ir : MatrixComplex
- Ira : ComplexNumber
- Irb : ComplexNumber
- Irc : ComplexNumber
- Ircal : MatrixComplex
- kad : double
- Kin : MatrixComplex
- KINom : ComplexNumber
- Kvn : MatrixComplex
- KVNom : ComplexNumber
- minerr : double
- pad : double
- Pcte : double
- Pctotal : double
- pcur : double
- pcus : double
- Pdes : double
- PDNEMA : MatrixDouble
- Perdidas : double
- Pfa : double
- Pfase : MatrixDouble
- pfb : double
- Pfb : double
- pfbn : double
- Pfc : double
- Pin : double
- Po : double
- Qin : double
- r2 : MatrixDouble
- R2 : MatrixDouble
- R22 : MatrixDouble
- Rad : double
- radi : MatrixDouble
- rdp : ExcelDataProvider
- resultcalc : CResultadoCalculo
- RL : MatrixDouble
- RM : MatrixDouble
- rs : double
- s : MatrixDouble
- S : MatrixComplex
- Sa : ComplexNumber
- Sb : ComplexNumber
- Sc : ComplexNumber
- sn : double
- ST : ComplexNumber
- t : ComplexNumber
- temp : MatrixComplex
- temp2 : MatrixComplex
- VABC : MatrixComplex
- valphabeta : MatrixDouble
- VF : MatrixComplex
- Vfase : MatrixComplex
- Vfn : double
- Vfr : MatrixComplex
- VL : MatrixComplex
- Vlinea : MatrixComplex
- VLINEomea : MatrixComplex
- X1 : MatrixDouble
- x2 : MatrixDouble

- X2 : MatrixDouble
- X22 : MatrixDouble
- XM : MatrixDouble
- z : MatrixDouble
- Zb : double
- Zm : ComplexNumber
- ZM : MatrixComplex
- Zmr : MatrixComplex
- Zr : MatrixComplex

Properties

- CorrecTemperResist : double
- Corrientes : MatrixComplex
- corrientesIL : MatrixComplex
- Deslizamiento : MatrixDouble
- Eficiencia : double
- FactorDC : MatrixComplex
- FactPotencia : double
- HayResultados : bool
- MejorIndiv : MatrixDouble
- PerdAdicionales : double
- PerdCobre : double
- PerdFriccion : double
- PerdRotor : double
- PotActTotal : double
- PotAparente : MatrixComplex
- PotenciasConsumidas : MatrixDouble
- PotReactiva : double
- PotSalida : double
- Resultados : CResultadoCalculo
- Voltajes : MatrixComplex

Methods

- Ajuste() : void
- Calcular() : void
- CalculosIniciales() : void
- CCalculos()
- Cruzar() : MatrixDouble
- GetIndivFromPop() : MatrixDouble
- IntercambiaInvidDePob() : void
- ModificacionesAlMejor() : MatrixDouble
- modulo() : double
- Mutar() : MatrixDouble
- ParaSalud() : double
- Populate() : void
- RePopulate() : void
- RunCondition() : bool
- SeleccionTorneo() : List<MatrixDouble>
- StartGen() : MatrixDouble

B4. (CResultadoCálculos).

