



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

Facultad de Metalurgia - Electromecánica

Moa, Holguín

Trabajo de Diploma

en opción al título de ingeniero

Informático

Título: Sistema Experto para el tratamiento de problemas en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía en el ISMMM.

Autor: Eduardo Rey Fonseca Medina

Tutores: MsC. Gustavo Rodríguez Barcenás

Ing. Enrique Matos Alfonso

Moa, 2011

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que soy el único autor de este trabajo y autorizo al INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO "Dr. Antonio Núñez Jiménez" para que hagan el uso que estimen pertinente con este trabajo.

Para que así conste firmo la presente a los _____ días del mes de _____ del 2011.

Eduardo Rey Fonseca Medina
Nombre completo del primer autor

MSc. Gustavo Rodríguez Bárcenas
Nombre completo del primer tutor

Lic. Enrique Matos Alfonso
Nombre completo del segundo tutor

OPINIÓN DEL USUARIO DEL TRABAJO DE DIPLOMA

El Trabajo de Diploma, titulado "Sistema Experto para el tratamiento de problemas en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía en el ISMMM.", fue realizado en nuestra entidad: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Se considera que, en correspondencia con los objetivos trazados, el trabajo realizado le satisface:

Totalmente

Parcialmente en un _____ %

Los resultados de este Trabajo de Diploma le reportan a esta entidad los beneficios siguientes:

Los resultados de este Trabajo de Diploma le reportan a esta entidad los beneficios siguientes:

Como resultado de la implantación de este trabajo se reporta un efecto que económico asciende a _____ MN y _____ CUC.

Y para que así conste, se firma la presente a los _____ días del mes de _____ del año 2011.

Nombre del representante de la entidad Cargo

Firma

Cuño

OPINIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE DIPLOMA.

Título: Sistema Experto para el tratamiento de problemas en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía en el ISMMM.

Autor: Eduardo Rey Fonseca Medina

El tutor del presente Trabajo de Diploma considera que durante su ejecución el estudiante mostró las cualidades que a continuación se detallan.

Enrique Matos Alonso
Nombre completo del primer tutor

Fecha: _____

Pensamiento:

*Lo que importa verdaderamente en la vida
no son los objetivos que nos marcamos sino
los caminos que seguimos para lograrlo.*

Peter Bamm

Dedicatoria:

*A los más importante que tengo a las dos personas que
más amo en este mundo:*

*A mis padres este es mi regalo por haberme hecho el
hombre que soy.*

Los quiere "El negro"

Agradecimientos:

A mis padres Odalís y Eduardo por su esfuerzo y sacrificio, gracias por la educación que me dieron, por su apoyo y consejos, su preocupación ante todo.

*Gracias por quererme tal y como soy, ustedes son la luz de mi vida.
Gracias por traerme a este mundo.
Los amo.*

A mi hermana por siempre creer en mí y quererme tanto, te quiero Eli.

A una persona que quiero mucho mi novia: Katty, gracias por estar preocupada y sobre todas las cosas gracias por amarme tanto.

A mi mejor amigo Yohandý por su apoyo incondicional, por estar en las buenas y malas y nunca darme la espalda, te quiero Yoa.

A Javier y Ernesto compañeros de cuarto pero más que todo mis hermanos gracias por su apoyo y preocupación

A mis suegros por ayudarme cuando lo necesité, gracias Juan y Mari.

A una persona que me ayudo de manera incondicional y me ayudó a entender este trabajo a Jose Manuel, gracias hermano.

A mi tutor Enrique que siempre estuvo presente cuando lo necesité, gracias Kike eres parte de este trabajo, a Jorge que sin su ayuda esto no hubiera sido posible.

A mi tía Negra, a mi abuela, a mi primo Neris gracias por su preocupación y apoyo.

A los Ernestos (Leyva, Laffita), Padilla, Calderon, Humberto, Alexander, Roblejo, Interian, Yasmany, Foto (Jose), Arnold, Henry en general a todas las personas que estuvieron presente en esta etapa a todos

*Sinceramente
GRACIAS*

Resumen:

En la actualidad se especula sobre la posibilidad de automatización de los procesos que guardan relación con la Eficiencia Energética y el Uso Racional de la Energía, de manera que contribuya con el ahorro en que está inmerso el país, y así poder utilizar más racionalmente la energía en los distintos procesos de las instituciones y entidades empresariales. En el presente trabajo se trata de integrar al proceso anteriormente planteado un sistema automatizado e inteligente, que tribute a la toma de decisiones, específicamente en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), se incluyen técnicas de Inteligencia Artificial (IA) debido a que estas trabajan desde sus comienzos en el desarrollo de métodos que exhiban un comportamiento inteligente, todo ello permitió desarrollar un sistema experto capaz de establecer posibles soluciones ante varios problemas energéticos que ocurren en la institución. Fueron usadas varias herramientas para llevar a cabo las distintas acciones del proyecto como son el *Prolog*, Java como lenguaje de programación, NetBeans 7.0 y *Shell Swi-Prolog*, así como la metodología I. D. E. A. I en el desarrollo del Sistema. Por último se calculó el costo de ejecución del producto software mediante la ficha de costo arrojando como resultados (60,78 CUC y 116.54 CUP) demostrándose la conveniencia de ejecución del proyecto.

Abstract:

At present there is speculation about the possibility of automation of processes related to Energy Efficiency and Rational Use of Energy in ways that contribute to the savings that surrounds the country, so we can use energy more rationally in different processes, institutions and business entities. This work seeks to integrate the process previously presented an automated and intelligent, tribute to decision making, specifically in the Superior Mining Metallurgical Isntituto Moa (ISMMM) includes techniques of Artificial Intelligence (AI) due to these work from early in the development of methods that exhibit intelligent behavior, all possible to develop an expert system able to establish several possible solutions to energy problems that occur in the institution. Several tools were used to perform different actions of the project as are the Prolog programming language Java, NetBeans 7.0 and Shell Swi-Prolog and the methodology I. D. E. A. I in the development of the system. Finally we calculated the cost of implementing the software product by the card cost, indicates the result (60.78 CUC and 116.54 CUP) demonstrating the suitability of the project.

Índice

INTRODUCCIÓN	13
Capítulo 1	16
SISTEMAS EXPERTOS	16
1.1 ¿Qué es un Sistema Experto (SE)?	16
1.2 Aplicaciones de los Sistemas Expertos	17
1.3 ¿Por qué desarrollar Sistemas Expertos?	18
1.4 Ventajas de los sistemas expertos	18
1.5 Sistema experto VS. Sistema clásico	19
1.6 Arquitectura de un Sistema Experto	19
1.6.1 Base de conocimiento	21
1.6.1.1 Formas de representación del conocimiento	22
Declarativas	23
Procedurales	26
1.6.1.2 Adquisición del conocimiento	26
1.6.2 Base de Hechos	27
1.6.3 Motor de Inferencias	28
1.6.4 Subsistema de Explicación	30
1.6.5 Interfaz de Usuario	30
1.6.6 Adquisición de Conocimientos	30
1.6.7 Rasgos de un S.E.	30
1.7 Forma en que los usuarios interactúan con los SE	32
1.8 Metodologías para el desarrollo de un Sistema Experto	33
1.8.1 Método de Buchanan	33
1.8.2 Método de Grover	34
1.8.3 Metodología de Weiss y Kulikowski	35
1.8.4 Metodología I.D.E.A.L.	36
1.9 Lenguajes utilizados para la construcción de nuestro SE	39
1.9.1 Prolog	39
1.9.2 Java (lenguaje de programación)	40
1.10 Herramientas a Utilizar	40
1.10.1 NetBeans	40
1.10.2 Shell SWI-Prolog	41
Conclusiones del capítulo	41
Capítulo 2	42
2.1 Justificación de la metodología escogida	42
2.2 Justificación de la Forma de Representación del Conocimiento	42
2.2.1 Planteamiento del problema	43
2.2.2 Objetivos	43
2.2.3 Alcance	43
2.2.4 Participantes	44
2.2.5 Requisitos funcionales del Sistema	44
2.2.1 Justificación del análisis de viabilidad	46
2.3 Etapa I.3. Definición de las Características del Sistema	51
2.4 Etapa II.1 Concepción de la solución	52
2.5 Etapa II.2 Adquisición y Conceptualización de los conocimientos	52
2.6 Etapa II.3. Formalización de los conocimientos	52
2.6.1 Implementación de la Base de Conocimiento	52

2.7 Etapa II.4 Implementación.....	53
2.7.1 Implementación del razonador en Prolog	53
2.8 Implementación de la interfaz de usuario	53
2.9 Conclusiones del Capítulo.....	53
Capítulo 3	54
<i>Estudio de Costo y Factibilidad</i>	54
3.1 Introducción	54
3.2 Efectos Económicos	54
3.3 Beneficios y Costos Intangibles en el proyecto.....	56
3.4 Ficha de costo	56
3.5 Conclusiones	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
Apéndice	I

Indice de tablas

Tabla 1 Comparativa entre un Sistema Clásico y un Sistema Experto.	19
Tabla 2 Actores del Sistema.....	44
Tabla 3 Costo en Moneda Librementemente Convertible.	57
Tabla 4: Costo en Moneda Nacional.	58
Tabla 5 Definición de Intervalos Difusos correspondientes a cada valor lingüístico.....	III
Tabla 6 Definición de Intervalos binarios correspondientes a cada valor lingüístico	IV
Tabla 7 Estudio cualitativo de las características de cada dimensión para el estudio de viabilidad.	VII

Indice de Ilustraciones

Ilustración 1 Estructura de un Sistema Experto según (De Miguel, 05).	21
Ilustración 2 Evaluación del sistema.	59
Ilustración 3 Triángulo de Potencia	I
Ilustración 4 Función de pertenencia del conjunto difuso.....	III
Ilustración 5 Funciones de pertenencia de los valores lingüísticos	IV
Ilustración 6 Valor Global de la aplicación en una dimensión dada.....	V
Ilustración 7 Valor Justificación	V
Ilustración 8 Estudio cuantitativo para la dimensión de Plausibilidad.....	VII
Ilustración 9 Estudio cuantitativo para la dimensión de Justificación.	VIII
Ilustración 10 Estudio cuantitativo para la dimensión de Adecuación.	VIII
Ilustración 11 Estudio cuantitativo para la dimensión de Éxito.....	VIII
Ilustración 12 Cálculo final de la Viabilidad.	VIII

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reflexiona sobre la posibilidad de automatización de los procesos que guardan relación con la Eficiencia Energética y el Uso Racional de la Energía con el objetivo de contribuir con el ahorro en que está enmarcado el país, y de esta manera poder utilizar más racionalmente la energía en los distintos procesos de las instituciones y entidades empresariales.

En los Centros de la Educación Superior se trabaja por aunar esfuerzos de manera que contribuya a las medidas estratégicas encaminadas a economizar paliativamente los altos consumos energéticos. Es evidente que detrás de todo esto existen una serie de problemáticas reales culpables de estas situaciones energéticas.

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) no es ajeno a este proceso, donde cuenta con un Centro de Estudio que su principal premisa es el estudio energético y aplicación de Tecnología de Avanzada en este contexto, donde sus investigaciones tributan a mejorar los indicadores correspondientes a la energía. El ISMMM a nivel administrativo toma medidas de desconexión de los distintos bancos de energía. El factor humano al tomar este tipo de decisiones puede llevar a procesos ineficientes por las dificultades que de todo ello se derivan, estas pueden ser:

- Dificultad en la toma de decisiones para ahorrar energía eléctrica en la institución.
- Ineficiencia en los procesos de gestión universitaria.
- Dificultad en la toma de decisiones para desconectar las áreas de mayor consumo energético.
- Gran consumo de tiempo en el análisis de los procesos que se manejan en las distintas áreas del ISMMM.

La situación antes mencionada conduce al **problema científico: ¿Cómo favorecer la toma de decisiones mediante un sistema informático en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía en el ISMMM?**

Dicho problema se enmarca en el **objeto de estudio** *los sistemas expertos*.

De esta forma el **campo de acción** que abarca este trabajo, se centrará en *el desarrollo de sistemas expertos*.

Para dar solución a este problema se propone como **objetivo general**: Desarrollar e implementar un prototipo de Sistema Experto para automatizar la selección de alternativas ante los problemas existentes en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía en el ISMMM.

La investigación transcurrirá a través de los siguientes **objetivos específicos**:

1. Elaboración de los fundamentos teóricos de la investigación.
2. Adquisición y conceptualización de los conocimientos.
3. Formalización de los conocimientos adquiridos y definición de la arquitectura del prototipo de Sistema Experto.
4. Implementación del prototipo del Sistema Experto.

Para resolver los objetivos específicos planteados se proponen las siguientes **tareas**:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre:
 - El proceso de eficiencia energética y uso racional de la energía en las empresas e instituciones universitarias.
 - Técnicas de la inteligencia artificial para la toma de decisiones.
 - Sistemas Expertos.
2. Se definió conceptos y relaciones en el dominio del problema
 - Entrevistas a expertos en energía.
 - Revisión bibliográfica relacionada con el tema (libros, folletos, revistas).
 - Definición de los conceptos que representen el conocimiento adquirido y la relación entre ellos.
 - Explicar las relaciones entre los conceptos definidos.
3. Representación formal del conocimiento obtenido
 - Estudio de las formas de representación del conocimiento.
 - Definición de la forma de conocimiento escogida.



4. Implementación de la solución propuesta:

- Definir lenguajes y metodologías para desarrollar sistemas expertos.
- Selección de la herramienta para implementar el sistema.
- Conformación de la base de conocimiento.
- Implementación del razonador.
- Implementación de la Interfaz de usuario.

5. Validación mediante encuestas a los usuarios la rapidez y la precisión del software.

La presente investigación se sustenta de la siguiente **hipótesis**: Un sistema informático que sea capaz de seleccionar alternativas ante problemas existentes en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía debe favorecer al Programa de Ahorro Energético en el ISMMM de forma más rápida y precisa.

Capítulo 1

SISTEMAS EXPERTOS

La Inteligencia Artificial (IA) trabaja desde sus comienzos en el desarrollo de sistemas que exhiban un comportamiento inteligente. En este sentido el desarrollo de los sistemas basados en el conocimiento y en particular, los Sistemas Expertos, han sido un área de gran importancia, donde algunas de sus funciones son el diagnóstico, supervisión y control, en detección de fallos eléctricos entre otros. En este capítulo se analizarán con más detalles dichos sistemas, puesto que para resolver la problemática que se planteó anteriormente se propone desarrollar un SE.

Los Sistemas Expertos son variables en cuanto al campo donde los desempeñan, podemos encontrar Sistemas Expertos para la Minería, para la Salud, para la Química, entre otros. Por tanto para nuestro trabajo de diploma estaremos enfrascados en construir un ente inteligente que sea capaz de establecer posibles soluciones ante los problemas energéticos que ocurren en nuestro centro universitario Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM).

1.1 ¿Qué es un Sistema Experto (SE)?

El concepto de Sistema Experto (SE) ha ido evolucionando a través de los años, por lo que resulta un tanto difícil su definición, ya que, ha medida que se va progresando, sus funciones se van ampliando y resulta un concepto cambiante según **(Castillo, 1989)**. “Un Sistema Experto (SE), es básicamente un programa de computadora basado en conocimientos y raciocinio que lleva a cabo tareas que generalmente sólo realiza un experto humano”; es decir, es un programa que imita el comportamiento humano en el sentido de que utiliza la información que le es proporcionada para poder dar una opinión sobre un tema en especial. Otros autores lo definen como sigue: un Sistema Experto es un programa de computadora interactivo que contiene la experiencia, conocimiento y habilidad propios de una persona o grupos de personas especialistas en un área particular del conocimiento humano, de manera que permitan resolver problemas específicos de ése área de manera inteligente y satisfactoria. **(De Miguel, 05)** La tarea principal de un SE es tratar de aconsejar al usuario. **(Schildt, 1989)**.



Los usuarios que introducen la información al SE son en realidad los expertos humanos, y tratan a su vez de estructurar los conocimientos que poseen para ponerlos entonces a disposición del sistema. Los SE son útiles para resolver problemas que se basan en conocimiento. Para que un sistema experto sea herramienta efectiva según **(Vázquez, 2006)**, los usuarios deben interactuar de una forma fácil, reuniendo dos capacidades para poder cumplirlo:

- Explicar sus razonamientos o base del conocimiento: los sistemas expertos se deben realizar siguiendo ciertas reglas o pasos comprensibles de manera que se pueda generar la explicación para cada una de estas reglas, que a la vez se basan en hechos.
- Adquisición de nuevos conocimientos o integrador del sistema: son mecanismos de razonamiento que sirven para modificar los conocimientos anteriores. Sobre la base de lo anterior se puede decir que los sistemas expertos son el producto de investigaciones en el campo de la inteligencia artificial ya que esta no intenta sustituir a los expertos humanos, sino que se desea ayudarlos a realizar con más rapidez y eficacia todas las tareas que realiza con menor dificultad.

1.2 Aplicaciones de los Sistemas Expertos.

Los sistemas expertos tienen muchas aplicaciones. Éstos son ejemplos ilustrativos del tipo de problemas que pueden resolverse mediante ellos.

- Transacciones bancarias: usando los cajeros automáticos que son ejemplos sencillos de sistemas expertos. **(Castillo, 1997)**.
- Control de tráfico: se utilizan sistemas expertos que operan automáticamente los semáforos y regulan el flujo del tráfico en las calles de una ciudad y en los ferrocarriles. **(Castillo, 1997)**.
- Predicción: Inferir las consecuencias de situaciones dadas. **(Bello, 2005)**
- Diagnóstico médico: se utilizan sistemas expertos para asistir a médicos en el momento que un paciente presenta un conjunto de síntomas, ¿cómo se decide qué enfermedad es la que más probablemente tiene el paciente? **(Castillo, 1997)**.



- Monitoreo: Comparar observaciones para detectar situaciones esperadas. Implica el análisis continuo de señales y la puesta en marcha de acciones y/o alarmas según proceda. (**Bello, 2005**).
- Problemas de planificación: para que optimicen ciertos objetivos como, por ejemplo, la organización y asignación de aulas para la realización de exámenes finales en una gran universidad, la planificación de autobuses para las horas de congestión o de días festivos. (**Castillo, 1997**).

1.3 ¿Por qué desarrollar Sistemas Expertos?

Hay varias razones para utilizar sistemas expertos. Entre las más importantes según (**Castillo, 89**) están:

- Posibilidad de utilizar personal no especializado para resolver problemas que requieren especialidad.
- Obtención de soluciones más rápidas.
- Obtención de soluciones más fiables.
- Reducción de costes.
- Eliminación de operaciones incómodas o monótonas.
- Escasez de expertos humanos.
- Acceso al conocimiento a poblaciones más amplias.

1.4 Ventajas de los sistemas expertos.

Las ventajas que se presentan a continuación son en comparación con los expertos humanos según (**Sánchez, 1990**).

- Están siempre disponibles a cualquier hora del día y de la noche, y de forma interrumpida.
- Pueden duplicarse (lo que permite tener tantos SE como se necesiten).
- Pueden situarse en el mismo lugar donde sean necesarios.
- Permiten tener decisiones homogéneas efectuadas según las directrices que se les fijen.

- Son fáciles de reprogramar.
- Pueden perdurar y crecer en el tiempo de forma indefinida.
- Pueden ser consultados por personas u otros sistemas informáticos.

1.5 Sistema experto VS. Sistema clásico.

La siguiente tabla compara las características de ambos tipos de sistemas según **(De Ávila, 2003)**.

Sistema Clásico	Sistema Experto
Conocimiento y procesamiento combinados en un programa	Base de conocimiento separada del mecanismo de procesamiento
No contiene errores	Puede contener errores
No da explicaciones, los datos sólo se usan o escriben	Una parte del sistema experto consiste en el módulo de explicación
Los cambios son tediosos	Los cambios en las reglas son fáciles
El sistema sólo opera completo	El sistema puede funcionar con pocas reglas
Se ejecuta paso a paso	La ejecución usa heurísticas y lógica
Necesita información completa para operar	Puede operar con información incompleta
Representa y usa datos	Representa y usa conocimiento

Tabla 1 Comparativa entre un Sistema Clásico y un Sistema Experto.

1.6 Arquitectura de un Sistema Experto.

Los dos componentes principales de cualquier Sistema Experto son una base de conocimientos y un programa de inferencia, o también llamado motor de inferencias. **(De Miguel, 2005)**:

- 1) La base de conocimientos del Sistema Experto con respecto a un tema específico para el que se diseña el sistema. Este conocimiento se codifica según una notación específica que incluye reglas, predicados, redes semánticas y objetos.
- 2) El motor de inferencia, que es el que combina los hechos y las preguntas particulares, utilizando la base de conocimiento, seleccionando los datos y pasos apropiados para presentar los resultados. **(Criado, 2002)**.

Esta definición de las partes de un Sistema Experto es muy general, ahora se presenta una serie de componentes más detallados de un SE:

- **La base de conocimientos (BC).** En ella se almacena el conocimiento sobre algún dominio de aplicación mediante alguna forma de representación del conocimiento (F.R.C), por lo que podemos decir que la base de conocimientos contiene el conocimiento tanto público como privado que posee el experto para la solución de problemas en un dominio de aplicación concreto (**Bello, 2005**).
- **La base de hechos (memoria de trabajo).** Se trata de una memoria temporal auxiliar que almacena los datos del usuario, datos iniciales del problema, y los resultados intermedios obtenidos a lo largo del proceso de resolución. A través de ella se puede saber no sólo el estado actual del sistema sino también cómo se llegó a él (**Bello, 2005**).
- **El motor de inferencia.** El Motor de Inferencias realiza dos tareas principales:
 - Examina los hechos y las reglas, y si es posible, añade nuevos hechos.
 - Decide el orden en que se hacen las inferencias.

Para realizar estas tareas utiliza estrategias de inferencia y estrategias de control.

Las estrategias de inferencia que más se emplean en sistemas expertos están basadas en la aplicación de las reglas lógicas denominadas “*modus ponens*” y “*modus tollens*”.

Modus ponens: Si existe una regla “SI A ENTONCES B”, y A es verdadero, se puede concluir que B es verdadero.

Modus tollens: Si existe una regla “SI A ENTONCES B”, y B es falso, se puede concluir que A es falso.

- **Subsistema de adquisición del conocimiento.** controla el flujo del nuevo conocimiento que fluye del experto humano a la base de datos. El sistema determina qué nuevo conocimiento se necesita, o si el conocimiento recibido es en realidad nuevo, es decir, si debe incluirse en la base de datos y, en caso necesario, incorpora estos conocimientos a la misma (**Castillo, 1997**).

- **Subsistema de explicación.** Este componente entra en ejecución cuando el usuario solicita una explicación de las conclusiones obtenidas por el SE. Esto se facilita mediante el uso de una interface. (**Sell, 1989**).
- **Interfaz de usuario.** Mediante ella el usuario plantea los problemas al S.E., recibe preguntas del mismo y ofrece las explicaciones necesarias. La Interfaz de Usuario (UI) se compone de: Preguntas, Frases y Menús. Pueden incluir módulos de explicaciones asociadas a cada regla para proveer información suplementaria. Usualmente la información que procesa la IU debe suministrarse con una sintaxis estricta, formateada de alguna forma (**Bello, 2005**).

Muchos investigadores hacen representaciones visuales de los componentes de un SE. Por ejemplo, De Miguel muestra su diagrama de un SE en la figura 1

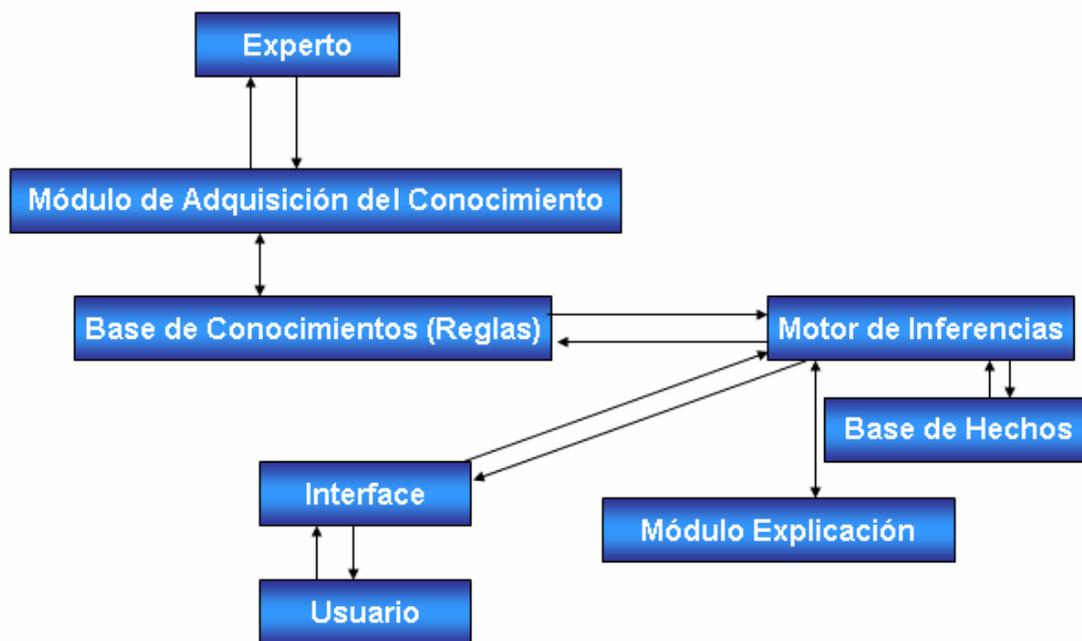


Ilustración 1 Estructura de un Sistema Experto según (De Miguel, 05).

1.6.1 Base de conocimiento.

La base de conocimientos contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja. La base de conocimiento que un experto utiliza es la que aprendió en la escuela, de colegas y a partir de años de experiencia. Probablemente cuanto más experiencia tiene, más grande es su conocimiento almacenado. El conocimiento le



permite interpretar la información en su base de datos ayudándolo en diagnósticos, diseño y análisis. Una base de conocimientos es similar a la suma total de los conocimientos y experiencias de los expertos humanos que se obtienen a través de años de trabajo en un área o disciplina específica. Esta base de conocimiento puede ser extremadamente eficiente y exacta desde el punto de vista de sus sugerencias y pronósticos, ya que contiene información proporcionada por diversos expertos. Una característica muy importante es que la base de conocimientos es independiente del mecanismo de inferencia que se utiliza para resolver los problemas. De esta forma, cuando los conocimientos almacenados se han quedado obsoletos, o cuando se dispone de nuevos conocimientos, es relativamente fácil añadir reglas nuevas, eliminar las antiguas o corregir errores en las existentes. No es necesario reprogramar todo el Sistema Experto.

1.6.1.1 Formas de representación del conocimiento.

El conocimiento que ha de funcionar en un SE es el conocimiento heurístico; el conocimiento heurístico es aquel conocimiento que ayuda a las personas u ordenadores a aprender, es el uso de los conocimientos empíricos. Las reglas de pensamiento, los trucos, los procedimientos o cualquier tipo de información que nos ayuda en la resolución de problemas. **(De Miguel, 2005).**

Debido a la variedad de formas que el conocimiento puede asumir, los problemas involucrados en el desarrollo de una representación del conocimiento son complejos, interrelacionados y dependientes del objetivo. En términos generales, el conocimiento debe estar representado de tal forma que:

- Capture generalizaciones.
- Pueda ser comprendido por todas las personas que vayan a proporcionarlo y procesarlo.
- Pueda ser fácilmente modificado.
- Pueda ser utilizado en diversas situaciones aún cuando no sea totalmente exacto o completo.
- Pueda ser utilizado para reducir el rango de posibilidades que usualmente debería considerarse para buscar soluciones.



La ingeniería cognoscitiva ha adaptado diversos sistemas de representación del conocimiento que, implantados en un computador, se aproximan mucho a los modelos elaborados por la psicología cognoscitiva para el cerebro humano.

Tradicionalmente la representación del conocimiento conlleva el uso de marcos (frames), redes semánticas, cálculo de predicados o sistemas de producción (De Albornoz, 2006). Sin embargo, existen otros sistemas para la representación del conocimiento. Entre los principales sistemas se tienen:

Declarativas.

- **Lógica Proposicional.** La lógica proposicional es la más antigua y simple de las formas de lógica. Utilizando una representación primitiva del lenguaje, permite representar y manipular aserciones sobre el mundo que nos rodea. La lógica proposicional permite el razonamiento a través de un mecanismo que primero evalúa sentencias simples y luego sentencias complejas, formadas mediante el uso de conectivos proposicionales, por ejemplo Y (AND), O (OR). Este mecanismo determina la veracidad de una sentencia compleja, analizando los valores de veracidad asignados a las sentencias simples que la conforman. La principal debilidad de la lógica proposicional es su limitada habilidad para expresar conocimiento.
- **Lógica de Predicados.** Existen varias sentencias complejas que pierden mucho de su significado cuando se les representa en lógica proposicional. Por esto se desarrolló una forma lógica mas general, capaz de representar todos los detalles expresados en las sentencias, esta es la lógica de predicados.
- **Redes Asociativas.** Es un método que consiste en representar el conocimiento en forma de redes o grafos; los nodos representan conceptos u objetos, y los arcos que los interconectan describen relaciones entre ellos. Estas redes son muy apropiadas para representar conocimiento de naturaleza jerárquica. Su concepción se basa en la asociación de conocimientos que realiza la memoria humana. Las principales aplicaciones son: comprensión de lenguaje natural, bases de datos deductivas, visión por computadora y sistemas de aprendizaje. (Angulo y Del Moral, 1994).

Ventajas y desventajas de las Redes Asociativas

Las redes asociativas tienen dos ventajas sobre los sistemas basados en reglas y sobre los sistemas basados en lógica:

- Permiten la declaración de importantes asociaciones, en forma explícita.
- Debido a que los nodos relacionados están directamente conectados, y no se expresan las relaciones en una gran base de datos, el tiempo que toma el proceso de búsqueda por hechos particulares puede ser significativamente reducido.

Entre las desventajas de las redes asociativas, se pueden mencionar:

- No existe una interpretación normalizada para el conocimiento expresado por la red. La interpretación de la red depende exclusivamente de los programas que manipulan la misma.
- La dificultad de interpretación a menudo puede derivar en inferencias inválidas del conocimiento contenido en la red.
- La exploración de una red asociativa puede derivar en una explosión combinatoria del número de relaciones que deben ser examinadas para comprobar una relación.
- **Estructuras Marcos o Frames.** Una plantilla (frame) es una estructura de datos apropiada para representar una situación estereotípica. Las plantillas organizan el conocimiento en objetos y eventos que resultan apropiados para situaciones específicas. Una plantilla representa un objeto o situación describiendo la colección de atributos que posee. Cada plantilla está formada por un nombre y por una serie de campos de información o ranuras (slots). Cada ranura puede contener uno o más enlaces (facets). Cada enlace tiene un valor asociado. Varios enlaces pueden ser definidos para cada ranura. Esto sugiere que una plantilla puede ser un medio poderoso de representación del conocimiento, especialmente si se la incorpora en una red de plantillas. (*Benchimol et al*, 1990)



Ventajas y desventajas de los frames

Las ventajas que se pueden establecer para los sistemas basados en plantillas son las siguientes:

- Facilidad de proceso guiado por las expectativas. Un sistema basado en plantillas, mediante los demons es capaz de especificar acciones que deben tener lugar cuando ciertas condiciones se han cumplido durante el procesamiento de la información.
- El conocimiento que posee un sistema basado en plantillas es significativamente más estructurado y organizado que el conocimiento dentro de una red asociativa.
- Las plantillas pueden ser estructuradas de tal forma que sean capaces de determinar su propia aplicabilidad en determinadas situaciones. En el caso de que una plantilla en particular no sea aplicable, puede sugerir otras plantillas que pueden ser apropiadas para la situación.
- Se puede fácilmente almacenar en las ranuras valores dinámicos de variables, durante la ejecución de un sistema basado en conocimiento. Esto puede ser particularmente útil para aplicaciones de simulación, planeamiento, diagnóstico de problemas o interfaces para bases de datos.

Las principales desventajas que se pueden establecer para la representación del conocimiento mediante plantillas, son:

- Dificultad de representar objetos que se alejen considerablemente de estereotipos.
- No tiene la posibilidad de acomodarse a situaciones u objetos nuevos.
- Dificultad para describir conocimiento heurístico que es mucho más fácilmente representado mediante reglas.
- **Ontologías.** Según la definición de (**Gruber, 1983**) una ontología constituye "una especificación explícita y formal sobre una conceptualización compartida".

Procedurales.

- **Strips.** Son los procedimientos que transforman la descripción de un estado a otro. La planificación es la generación de una secuencia de acciones para un agente. Estas acciones cambian de un estado a través de los Strips.
- **Reglas de Producción.** Es la forma más común de representar el conocimiento, debido a su gran sencillez y a que es la formulación más inmediata del principio de causalidad. Una regla consta de un conjunto de acciones o efectos (una o más) que son ciertas cuando se cumplen un conjunto de condiciones o causas. La potencia de una regla está en función de la lógica que admita en las expresiones de las condiciones y de las conclusiones. La conclusión se suele referir a la creación de un nuevo hecho válido, o la incorporación de una nueva característica a un hecho, mientras que la acción suele referirse a la transformación de un hecho. (Rich y Knight, 1991)

Ventajas y desventajas de las reglas de producción

Las ventajas que representan las reglas de producción son su carácter declarativo, su sencillez, su uniformidad que permite la representación de conocimiento como de meta-conocimiento, su independencia permite la supresión o inclusión sin que se vea afectado el resto de la base de conocimientos y su modularidad al ser fácilmente agrupables.

La principal desventaja que presentan las reglas de producción, es la dificultad de establecer relaciones, para lo cual hay que recurrir al uso de meta reglas, lo que produce el crecimiento muy rápido del número de reglas, lo que hace lento el proceso de inferencia y conduce a la introducción de repeticiones y lo que es peor, contradicciones.

1.6.1.2 Adquisición del conocimiento.

El conocimiento necesario para el desarrollo de un sistema experto se puede adquirir desde diversas fuentes, como: estudio de casos, artículos, bases de datos, datos empíricos, libros y la experiencia personal de los expertos, siendo esta última la principal y aplicada para recopilar la información necesaria con la que contará nuestro sistema con la ayuda de los diferentes especialistas en las áreas de nuestro instituto. Debido a la importancia de la adquisición del conocimiento en los S.E. se han



desarrollado un conjunto de métodos para ello, proporcionándole el nombre de Ingeniera del Conocimiento. La Ingeniería del Conocimiento es el arte de diseñar y construir los sistemas expertos donde los ingenieros del conocimiento son sus médicos, es además una parte aplicada de la ciencia de la inteligencia artificial que, a su vez, es parte de la informática. Teóricamente, un ingeniero del conocimiento es un informático que sabe diseñar y poner programas en ejecución que incorporan técnicas de inteligencia artificial. (**Vázquez, 2006**).

Algunas de las técnicas que han sido desarrolladas para la adquisición del conocimiento de un experto humano, son las siguientes:

- Realizar reuniones informales con los expertos con el objetivo de identificar el problema y caracterizarlo.
- Realizar entrevistas a los expertos para determinar conceptos, relaciones, comprender las estrategias que usa el experto para resolver los problemas.
- Aplicar encuestas, o cuestionarios para obtener el conocimiento que se necesita incluir en la Base de Conocimiento.
- Observar en forma pasiva al experto resolver problemas reales en su trabajo.
- Presentar al experto una serie de problemas reales a ser resueltos.
- Discusión de problemas : se debe seleccionar un conjunto de problemas representativos dentro del dominio de aplicación concreto e, informalmente, discutirlos con el experto, con el objetivo de determinar cómo éste organiza el conocimiento para resolver el problema, representarlos conceptos y relaciones entre ellos y maneja las imprecisiones de los datos.
- Descripción de problemas: Pedir al experto que describa un problema prototipo para cada categoría de respuesta posible y analizar cómo éste resuelve cada uno. (**Bello, 2005**)

1.6.2 Base de Hechos.

La base de datos o base de hechos es una parte de la memoria del ordenador que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un

problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.

1.6.3 Motor de Inferencias.

El motor de inferencias es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el Sistema Experto. Utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución. (Vázquez, 2006). La estrategia de control puede ser de encadenamiento progresivo o de encadenamiento regresivo.

Encadenamiento regresivo: En este caso el motor de inferencia comenzará por el objetivo (parte acción de las reglas) y operará retrocediendo para ver cómo se deduce ese objetivo partiendo de los datos. Esto se produce directamente o a través de conclusiones intermedias o subobjetivos. Lo que se intenta es probar una hipótesis a partir de los hechos contenidos en la base de datos y de los obtenidos en el proceso de inferencia.

En la mayoría de los Sistemas Expertos se utiliza el encadenamiento regresivo. Este enfoque tiene la ventaja de que el sistema va a considerar únicamente las reglas que interesan al problema en cuestión. El usuario comenzará declarando una expresión E y el objetivo del sistema será establecer la verdad de esa expresión. Para ello se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1) Obtener las reglas relevantes, buscando la expresión E en la parte acción (éstas serán las que puedan establecer la verdad de E).
- 2) Si no se encuentran reglas para aplicar, entonces no se tienen datos suficientes para resolver el problema; se termina sin éxito o se piden al usuario más datos.
- 3) Si hay reglas para aplicar, se elige una y se verifica su parte condición C con respecto a la base de datos.
- 4) Si C es verdadera en la base de datos, se establece la veracidad de la expresión E y se resuelve el problema.
- 5) Si C es falsa, se descarta la regla en curso y se selecciona otra regla.



- 6) Si C es desconocida en la base de datos (es decir, no es verdadera ni falsa), se le considera como subobjetivo y se vuelve al paso 1 (C será ahora la expresión E).

A este enfoque se le llama también guiado por objetivos.

Encadenamiento progresivo: El motor de inferencia comienza con los hechos disponibles en la base de datos, y se buscan reglas que satisfagan esos datos, es decir, reglas que verifiquen la parte SI. Normalmente, el sistema sigue los siguientes pasos:

1. Evaluar las condiciones de todas las reglas respecto a la base de datos, identificando el conjunto de reglas que se pueden aplicar (aquellas que satisfacen su parte condición).
2. Si no se puede aplicar ninguna regla, se termina sin éxito; en caso contrario se elige cualquiera de las reglas aplicables y se ejecuta su parte acción (esto último genera nuevos hechos que se añaden a la base de datos).
3. Si se llega al objetivo, se ha resuelto el problema; en caso contrario, se vuelve al paso 1.

A este enfoque se le llama también guiado por datos, porque es el estado de la base de datos el que identifica las reglas que se pueden aplicar. Cuando se utiliza este método, el usuario comenzará introduciendo datos del problema en la base de datos del sistema.

Existen también otros enfoques como:

Encadenamiento mixto. En el que se combinan los métodos guiados por datos con los guiados por objetivos para paliar sus limitaciones y mantener las ventajas.

Algoritmos de búsqueda heurística. En los casos en los que la naturaleza de la base de conocimiento permita construir una estructura de árbol, el proceso de inferencia se convierte en un problema de búsqueda en un árbol. Existen diversos métodos, y la elección dependerá, por lo tanto, de la naturaleza del problema.

Herencia. Es el método de inferencia utilizado en entornos orientados a objetos. Un objeto hijo hereda propiedades y hechos de sus padres. Así, la asignación de nuevas propiedades a un objeto se realiza a través de las relaciones entre ese objeto y el resto.

1.6.4 Subsistema de Explicación.

La mayoría de los sistemas expertos contienen un módulo de explicación, diseñado para aclarar al usuario la línea de razonamiento seguida en el proceso de inferencia. Si el usuario pregunta al sistema cómo ha alcanzado una conclusión, éste le presentará la secuencia completa de reglas usada. Esta posibilidad de explicación es especialmente valiosa cuando se tiene la necesidad de tomar decisiones importantes amparándose en el consejo del SE. Además, de esta forma, y con el tiempo suficiente, los usuarios pueden convertirse en especialistas en la materia, al asimilar el proceso de razonamiento seguido por el sistema. El subsistema de explicación también puede usarse para depurar el SE durante su desarrollo.

1.6.5 Interfaz de Usuario.

La interfaz de usuario permite que el usuario pueda describir el problema al Sistema Experto. Interpreta sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa, formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones. Es decir, posibilita que la respuesta proporcionada por el sistema sea inteligible para el interesado. También puede solicitar más información al SE si le es necesaria. En algunos sistemas se utilizan técnicas de tratamiento del lenguaje natural para mejorar la comunicación entre el usuario y el SE.

1.6.6 Adquisición de Conocimientos.

El módulo de adquisición del conocimiento permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento (en la mayoría de los casos reglas) en el SE. Si el entorno es dinámico, entonces este componente es muy necesario, puesto que el sistema funcionará correctamente sólo si se mantiene actualizado su conocimiento. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen. (**Samper, 2002**).

1.6.7 Rasgos de un S.E

A pesar de que existen muchas implementaciones de S.E., hay rasgos comunes que los distinguen: (**Bello, 2005**)

- ❖ La acumulación y codificación del conocimiento:



La B.C. contiene el conocimiento tanto público como privado que posee el experto para la solución de problemas en un dominio de aplicación concreto. Existen diversas formas de representar ese conocimiento. La selección adecuada de la F.R.C. desempeña un papel muy importante e influye sustancialmente en la efectividad de todo el sistema.

❖ El conocimiento del S.E. es explícito y accesible:

El conocimiento de los expertos es expresado bastante explícitamente en forma de un fichero en la computadora. De esta manera, la B.C. es fácilmente accesible por los expertos y modificada por ellos. La B.C. se almacena de forma independiente a la M.I., por lo que una misma M.I. puede ser utilizada en áreas de aplicación diferentes.

❖ Alto nivel de experticidad:

Es el rasgo más útil. Los S.E. resuelven problemas que requieren años de entrenamiento a los humanos.

❖ Habilidad para ofrecer facilidades de entrenamiento para personal clave y miembros importantes del grupo:

Los S.E. contienen el conocimiento necesario y la habilidad para explicar su proceso de razonamiento.

❖ Puede actuar como una teoría de procesamiento de información:

El S.E. permite al usuario evaluar los efectos potenciales de nuevos datos y comprender la relación entre ellos. Igualmente puede evaluar el efecto de nuevas estrategias o procedimientos mediante la inclusión o modificación de las reglas, o sea, permite analizar cómo se comporta el S.E. ante un cambio de los datos iniciales.

❖ Es un modelo computacional para ayudar a la toma de decisiones:

Los S.E. constituyen un nuevo modelo computacional donde el formalismo para representar el conocimiento es independiente del método de solución empleado.

❖ Es una memoria institucional:

Si la base de conocimientos fue desarrollada a través de la interacción con el personal clave de una institución, entonces esta compilación de conocimientos se convierte en

un consenso de opiniones de alto nivel, luego representa la política actual de esa institución.

- ❖ Son capaces de tomar decisiones inteligentes en un área de aplicación relativamente estrecha:

Ellos deben ser capaces de tener atributos similares a los de los expertos humanos como la capacidad de adquirir nuevos conocimientos y perfeccionar el que posee.

- ❖ Tienen facilidad de explicación:

Los S.E. son capaces de justificar cómo obtuvieron sus conclusiones y explicar el por qué hacen una pregunta. Esto implica exponer las líneas de razonamiento y las operaciones realizadas en cada paso. Precisamente por estas características, los S.E. permiten entrenar a personas no especialistas en el problema que aborda.

Un SE debe reunir las dos capacidades siguientes, además de cumplir con su tarea fundamental:

- ❖ Explicar sus razonamientos.
- ❖ Adquirir nuevos conocimientos y modificar los antiguos.

La capacidad de un S.E poder explicar sus razonamientos, se presenta en dos aspectos fundamentales:

- Poder explicar cómo se alcanzó un resultado, esta pregunta la hace el usuario cuando tiene dudas sobre el resultado o desea aprender cómo se alcanzó.
- Poder explicar por qué se hace una pregunta (esta posibilidad aparece cuando se utiliza como método de solución de problema un método como el encadenamiento hacia atrás), al usuario le interesa saber por qué se le hace una pregunta cuando ésta le parezca irrelevante o en caso que la respuesta requiera un esfuerzo adicional por parte del usuario.

1.7 Forma en que los usuarios interactúan con los SE

El usuario de un SE puede estar operando en cualquiera de los siguientes modos:

- Verificador: El usuario intenta comprobar la validez del desempeño del sistema.



- Tutor: El usuario da información adicional al sistema o modifica el conocimiento que ya está presente en el sistema.
- Alumno: El usuario busca rápidamente desarrollar pericia personal relacionada con el área específica mediante la recuperación de conocimientos organizados y condensados del sistema.
- Cliente: El usuario aplica la pericia del sistema a tareas específicas reales.

El reconocimiento de las caracterizaciones anteriores contrasta con la percepción de un simple papel (el cliente) de los sistemas tradicionales de software.

1.8 Metodologías para el desarrollo de un Sistema Experto

Al igual que para desarrollar un sistema de información convencional existen varias metodologías para desarrollar un sistema experto. El área de sistemas expertos es relativamente joven por lo cual no se dispone de una única metodología sino que cada autor propone una de acuerdo a su forma de desarrollo. Sin embargo existen algunas que han tenido éxito más que otras lo cual ha llevado a su mayor difusión.

1.8.1 Método de Buchanan

Este método puede esquematizarse en seis etapas¹:

Etapa 1: Familiarizarse con el Problema y el Dominio.

Abarca desde la lectura de libros o artículos, las entrevistas o charlas con las personas familiarizadas con el tema y la búsqueda de un experto que esté dispuesto a colaborar en la construcción del sistema; como así también la definición de cuáles son las funciones o tareas más idóneas para ser realizadas por el sistema experto.

Etapa 2: Delimitar el Sistema.

Significa que por medio de entrevistas con el experto, con el objetivo de identificar y caracterizar el problema informalmente.

Etapa 3: Obtener la Estructura de Inferencia del Sistema Experto.

Con el problema adecuadamente definido el ingeniero de conocimiento empieza a determinar los principales conceptos del dominio que se requieren para realizar cada

¹ Tomado de <http://www.fortunecity.com/sisexpertos.htm>



una de las tareas que va a resolver el sistema. Este trata de entender que conceptos son relevantes e importantes solicitándole al experto que explique y justifique los razonamientos que utiliza para resolver los problemas.

Etapa 4: Definir el Sistema Experto Prototipo.

Se definen los conceptos primitivos, con la forma de representación elegida. Este es el primer paso hacia la implementación del prototipo. El ingeniero de conocimiento puede presentar las reglas definidas y en ocasiones los resultados obtenidos al usar las reglas, para que el experto manifieste su opinión sobre la representación y soluciones.

Etapa 5: Depurar el Sistema Prototipo.

Se refina el sistema prototipo, depurado la base de conocimientos, refinando reglas, rediseñando la estructura del conocimiento, o reformulando conceptos básicos, con el objetivo de capturar información adicional que haya proporcionado el experto.

Etapa 6: Optimizar el Sistema Experto Prototipo.

Cuando el sistema prototipo ha crecido tanto que resulta difícil de manejar el ingeniero de conocimiento rediseña un sistema más eficiente. Este nuevo sistema deberá refinarse y extenderse a fin de completar así el desarrollo del sistema experto.

1.8.2 Método de Grover

El Método de Grover es, uno de los más importantes para el diseño de una Base de conocimiento. Este método además de definir una serie de etapas, propone con énfasis una documentación de los procesos: los cuales reemplazan parcialmente al experto y sirven de medio de comunicación y referencia entre los usuarios y los diseñadores. **(Grover, 1983).**

Etapa 1: Definición del Dominio

El objetivo de esta etapa consiste en realizar una cuidadosa interpretación del problema y documentarla, elaborando un Manual de Definiciones del Dominio, el cual debe contener:

- Una descripción general del problema
- La bibliografía de referencia
- Un glosario de términos y símbolos

- La identificación del o los Expertos
- La Definición de métricas de performance (parámetros) para evaluar el rendimiento del Sistema Experto
- La Descripción de escenarios para ejemplos posibles.

Etapas 2: Formulación del Conocimiento Fundamental

Esta etapa tiene como objetivo examinar los escenarios ejemplo a partir de criterios de evaluación y reclasificarlos según:

- los más importantes y los más insignificantes
- los más esperados
- los más arquetípicos - característicos, representativos.
- los más comprensibles

Para obtener el Conocimiento Fundamental, una técnica conveniente es la simulación del proceso y la reclasificación. La simulación consiste en sugerirle al experto que resuelva un problema como lo haría habitualmente y que vaya construyendo verbalmente las reglas de razonamiento que utiliza. La reclasificación consiste en analizar las reglas obtenidas y reclasificarlas según diferentes niveles para alcanzar el objetivo propuesto. El estudio final consiste en la definición computacional de las reglas.

1.8.3 Metodología de Weiss y Kulikowski

Para el desarrollo de un sistema experto (**Weiss y Kulikowski, 1984**) sugieren las siguientes etapas para el diseño e implementación de un sistema experto.

- 1) **Planteamiento del problema.** La primera etapa en cualquier proyecto es normalmente la definición del problema a resolver. Puesto que el objetivo principal de un sistema experto es responder a preguntas y resolver problemas, esta etapa es quizás la más importante en el desarrollo de un sistema experto. Si el sistema está mal definido, se espera que el sistema suministre respuestas erróneas.



- 2) **Encontrar expertos humanos que puedan resolver el problema.** En algunos casos, sin embargo, las bases de datos pueden jugar el papel del experto humano.
- 3) **Diseño de un sistema experto.** Esta etapa incluye el diseño de estructuras para almacenar el conocimiento, el motor de inferencia, el subsistema de explicación, la interfaz de usuario, etc.
- 4) **Elección de la herramienta de desarrollo.** Debe decidirse si realizar un sistema experto a medida utilizando lenguaje de programación.
- 5) **Desarrollo y prueba de un prototipo.** Si el prototipo no pasa las pruebas requeridas, las etapas anteriores (con las modificaciones apropiadas) deben ser repetidas hasta que se obtenga un prototipo satisfactorio.
- 6) **Refinamiento y generalización.** En esta etapa se corrigen los fallos y se incluyen nuevas posibilidades no incorporadas en el diseño inicial.
- 7) **Mantenimiento y puesta al día.** En esta etapa el usuario plantea problemas o defectos del prototipo, corrige errores, actualiza el producto con nuevos avances, etc.

1.8.4 Metodología I.D.E.A.L.

Este método fue desarrollado en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid. Sus siglas responden al nombre de cada una de las fases que la componen, las cuales son:

Fase I: Identificación de la tarea

Fase II: Desarrollo de los prototipos

Fase III: Ejecución de la construcción del sistema integrado

Fase IV: Actuación para conseguir el mantenimiento perfectivo

Fase V: Lograr una adecuada transferencia tecnológica. (**Pazos, 1996**)

Fase I: Identificación de la tarea

La fase I considera la definición de los objetivos del proyecto de sistema experto y determinar si la tarea asociada es susceptible de ser tratada con la tecnología de



Ingeniería del Conocimiento. En caso afirmativo se definen las características del problema, se especifican los requisitos que enmarcan la solución del problema. Esta fase se subdivide en las siguientes etapas:

Etapas I.1: Plan de requisitos y adquisición de conocimientos

Lo primero que debe hacer el ingeniero de conocimiento es tratar de identificar las necesidades del cliente describiendo para ello, los objetivos del sistema. Para confeccionar el plan de requisitos es necesario comenzar con la adquisición de conocimientos, entrevistándose con directivos, expertos y usuarios.

Etapas I.2. Evaluación y selección de la tarea

Esta etapa, que conforma el «estudio de viabilidad», se lleva a cabo realizando la evaluación de la tarea, cuantificando dicha evaluación para ver qué grado de dificultad presenta la tarea. Existen, varias formas de llevar a cabo dicha evaluación. Esta etapa es fundamental para evitar *a priori* fallas.

Etapas I.3. Definiciones de las características de la tarea

Aquí, se establecen y, eventualmente, definen las características más relevantes asociadas con el desarrollo de la aplicación. Con la definición de esta fase, los ingenieros de conocimiento, los expertos, usuarios y directivos, consiguen perfilar satisfactoriamente el ámbito del problema; definir coherentemente sus funcionalidades, rendimiento, e interfaces; analizar el entorno de la tarea el riesgo de desarrollo del sistema experto. Todo ello hace que el proyecto se justifique y asegura que los ingenieros de conocimiento y los clientes tengan la misma percepción de los objetivos del sistema.

Fase II. Desarrollo de los prototipos

Concierne al desarrollo de los distintos prototipos que permiten ir definiendo y refinando más rigurosamente las especificaciones del sistema, de una forma gradual hasta conseguir las especificaciones exactas de lo que se puede hacer y cómo realizarlo. La construcción relativamente rápida de un prototipo de demostración permitirá al ingeniero de conocimiento, al experto y directivos comprobar la viabilidad de la aplicación y comprender mejor los requisitos de los usuarios y las especificaciones del sistema. Es decir, conocer mejor la problemática de la aplicación.

Etapa II.1: Concepción de la solución.

Esta etapa tiene como objetivo producir un diseño general del sistema prototipo. Inicialmente, el ingeniero de conocimiento y, el experto estudian las especificaciones parciales del sistema y el plan del proyecto obtenidas en la fase anterior y, en base a ello, producen un diseño general. Esta etapa engloba dos actividades principales: el desarrollo del diagrama de flujo de datos (DFD) y el diseño arquitectónico del sistema.

Etapa II.2: Adquisición de conocimientos y conceptualización de los conocimientos

Aunque la adquisición de conocimientos es una actividad que impregna toda la ingeniería de conocimiento, desde que se inicia el estudio de viabilidad hasta que finaliza el uso del sistema experto desarrollado, es en esta etapa donde adquiere su mayor uso. La adquisición, en sus dos facetas de extracción de los conocimientos públicos de sus fuentes (libros, documentos, manuales de procedimientos) y la educación de los conocimientos privados de los expertos, se alterna cíclicamente con la etapa de conceptualización para modelar el comportamiento del experto.

Etapa II.3. Formalización de los conocimientos

Esta etapa presenta dos actividades fundamentales:

- La selección de los formalismos para representar los conocimientos que conforman la conceptualización obtenido en la etapa anterior.
- La realización del diseño detallado del sistema experto.

La formalización o representación de los conocimientos, se encuentra ligada con los tipos de conocimientos más apropiados para su representación y las herramientas disponibles en su desarrollo.

Etapa II.4: Implementación

Si en la etapa anterior se seleccionó una herramienta de desarrollo adecuada y el problema se ajusta a ella y viceversa, la implementación es inmediata y automática. En otro caso, es necesario programar, al menos, parte del Sistema

Basado en Conocimiento, con las dificultades y problemas que implican cualquier implementación.

Etapas II.5: Validación y Evaluación

La fiabilidad de los resultados es, tal vez, el punto más sensible de todo sistema experto y por tanto su punto crítico. Es una de las tareas más difíciles dado que estos sistemas están contruidos para contextos en los que las decisiones son, en cierta medida, discutibles. Sin embargo, existen técnicas que permiten realizar esta validación de una forma satisfactoria. Para ello, se deben realizar las siguientes acciones, independientes entre si pero complementarias.

Etapas II.6. Definición de nuevos requisitos, especificaciones y diseño

Como ya se ha mencionado, los sistemas basados en conocimiento se construyen de forma incremental, primero un prototipo de investigación, que se convierte en un prototipo de campo para, finalmente, resultar un prototipo de operación. Esta etapa se corresponde con la definición de los requisitos, especificaciones y diseño del siguiente prototipo, que para ser construido deberá pasarse, de nuevo, por las etapas II.1 a II.5. Esta fase acaba con la obtención del sistema experto completo.

1.9 Lenguajes utilizados para la construcción de nuestro SE.

Existen decenas de herramientas para la construcción de S.E., ya sea para el esquema de representación del conocimiento como para la máquina de inferencia.

Para el desarrollo del sistema se realizó un estudio sobre las posibles herramientas a utilizar en su construcción. Teniendo en cuenta las tendencias actuales y las novedades en este campo.

1.9.1 Prolog

Implementado primeramente para dar soporte al Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN). Prolog trabajaba (y sigue haciéndolo hasta nuestros días) esencialmente con la lógica matemática. Es un lenguaje de programación que se centra alrededor de un conjunto pequeño de mecanismos, incluyendo reconocimiento de patrones, estructuras de datos basadas en árboles y backtracking (retroceso) automático. Este conjunto pequeño constituye una estructura de programación sorprendentemente poderosa y flexible. Prolog es ideal para resolver problemas que involucren objetos en particular objetos estructurados y relaciones entre ellos. Prolog tiene cierto vigor híbrido en el sentido de que contiene características declarativas de la lógica computacional



matemática y algunos aspectos procedurales de la programación convencional. En vez de escribir un procedimiento con una secuencia de pasos, un programador Prolog escribe un conjunto declarativo de reglas y hechos con sus respectivas relaciones.

1.9.2 Java (lenguaje de programación)

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, desarrollado por Sun Microsystems a principios de los años 90. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la manipulación directa de punteros o memoria. Las aplicaciones Java están típicamente compiladas en un bytecode, aunque la compilación en código máquina nativo también es posible. En el tiempo de ejecución, el bytecode es normalmente interpretado o compilado a código nativo para la ejecución, aunque la ejecución directa por hardware del bytecode por un procesador Java también es posible. La implementación original y de referencia del compilador, la máquina virtual y las bibliotecas de clases de Java fueron desarrolladas por Sun Microsystems en 1995. Desde entonces, Sun ha controlado las especificaciones, el desarrollo y evolución del lenguaje a través del Java Community Process, si bien otros han desarrollado también implementaciones alternativas de estas tecnologías de Sun, algunas incluso bajo licencias de software libre. Entre diciembre de 2006 y mayo de 2007, Sun Microsystems liberó la mayor parte de sus tecnologías Java bajo la licencia GNU GPL, de acuerdo con las especificaciones del Java Community Process, de tal forma que prácticamente todo el Java de Sun es ahora software libre (aunque la biblioteca de clases de Sun que se requiere para ejecutar los programas Java aún no lo es).

1.10 Herramientas a Utilizar

1.10.1 NetBeans

NetBeans es un entorno de desarrollo, hecho principalmente para el lenguaje de programación Java. Existe además un número importante de módulos para extender el NetBeans IDE. NetBeans IDE es un producto libre y gratuito sin restricciones de uso.

NetBeans es un proyecto de código abierto de gran éxito con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento, y con cerca de 100 socios en todo



el mundo. Sun Microsystems fundó el proyecto de código abierto NetBeans en junio de 2000 y continúa siendo el patrocinador principal de los proyectos.

La plataforma NetBeans permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados *módulos*. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de NetBeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma NetBeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

1.10.2 Shell SWI-Prolog

Un Shell es un Sistema Experto que contiene la máquina de inferencia, la interface con el usuario y la base de conocimiento vacía y, puede ser empleado en la creación de diversos SE . (Bello, 05).

Un Shell de SE (conocido como intérprete) también es visto como un grupo de paquetes y herramientas de software utilizados para diseñar, desarrollar, poner en operación y mantener un S.E, donde el usuario introduce los datos o parámetros apropiados y el SE proporciona el resultado para el problema o situación.

SWI-PROLOG es el sistema de compilación líder para los PC's basados en Windows. Prolog es un poderoso lenguaje AI que ofrece un alto nivel y un entorno productivo basado en inferencia lógica. comparte el mismo motor de inferencia de 32-bit y arquitectura como LPA DOS-PROLOG y LPA MacProlog32 y es muy cercanamente compatible tanto con ISO Prolog y con Quintus Prolog para Unix. Posee una poderosa interface bi-direccional DLL que permite acceder código escrito en C, C++, Pascal, etc., y un configurable DDE para conectar con otras aplicaciones (Excel, Word, Visual Basic, etc). Incluye un atractivo ambiente de desarrollo multiventanas, depurador interactivo de fuente nivel, editor integrado y alto nivel de acceso a funciones Windows GDI.

Conclusiones del capítulo

Hasta el momento hemos podido comprobar que los Sistemas Expertos son considerados una herramienta útil que brindan grandes facilidades para diferentes áreas y una de estas áreas es la minería, por ello en este trabajo proponemos el desarrollo de un SE como solución a la situación expuesta en el capítulo anterior.

Capítulo 2

Implementación de la Solución.

En este capítulo mostramos como se implementó el Prototipo de Sistema Experto para seleccionar las soluciones a un problema dado en un sistema eléctrico, y como se desarrolló cada uno de los componentes que forman parte del mismo, siguiendo cada una de las fases que componen la metodología de desarrollo escogida: la metodología I.D.E.A.L.

2.1 Justificación de la metodología escogida.

Para desarrollar este sistema elegimos como metodología de desarrollo la Metodología I.D.E.A.L., porque esta metodología propone un ciclo de vida en espiral en tres dimensiones, y se ajusta a la tendencia del software actual, esto es:

- Ser Reutilizable.
- Ser Integrable.
- Poseer Requisitos Abiertos.
- Diversidad de Modelos Computacionales.

Los requisitos están sometidos a constantes cambios y por ende el sistema también, por lo que como resultado se obtiene un sistema en constante evolución por lo que puede considerarse como un prototipo en constante perfeccionamiento, mediante el agregado de nuevas funcionalidades, mediante nuevas técnicas de descomposición del problema, mediante nuevas formas de documentación o estándares a los que debe ajustarse. (Rizzi, 2001)

2.2 Justificación de la Forma de Representación del Conocimiento

Se escogió como forma de representación del conocimiento las *Reglas de Producción* ya que es la forma más común de representar el conocimiento, debido a su gran sencillez y a que es la formulación más inmediata del principio de causalidad.

Fases de la Metodología I.D.E.A.I.

Fase I: Identificación de la Tarea

Etapa I.1. Plan de requisitos y adquisición de conocimientos

2.2.1 Planteamiento del problema

Siguiendo el orden de las fases de la metodología primeramente se realizó un análisis del problema que íbamos a resolver, el cual abordaría el proceso de selección de respuesta ante un fallo eléctrico dado, teniendo en cuenta un conjunto de parámetros de selección, para determinar cual es la solución mas adecuada al problema.

2.2.2 Objetivos

El Prototipo de S.E que se desarrolló tiene como propósito asistir al Ingeniero eléctrico o persona encargada de reparar averías o fallas en el sistema en la elección correcta de una o varias soluciones, según las condiciones del tipo de fallo eléctrico, teniendo en cuenta:

- ❖ Variaciones de voltaje.
- ❖ Estado físico de la red eléctrica.
- ❖ Control del circuito.
- ❖ Sobreconsumo energético.
- ❖ Estado físico de los equipos consumidores.
- ❖ Existencia o no de un plan energético.
- ❖ Causas externas.

En el Apéndice B se muestran algunas particularidades sobre la energía eléctrica.

2.2.3 Alcance

El sistema afrontara el proceso de selección de soluciones o alternativas de solución ante una situación problemática determinada, primeramente ubicará el problema y vera si el mismo es causal de otros en el sistema, posteriormente seleccionará la solución más viable.

2.2.4 Participantes

Expertos:

Inicialmente se seleccionaron los participantes, los cuales resultaron ser 7 ingenieros eléctricos; de los cuales 4 son pertenecientes al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM) y 3 de la termoeléctrica Lidio Ramón Pérez, de Felton, Mayarí.

2.2.5 Requisitos funcionales del Sistema

El sistema se encarga de:

- R1. Caracterizar el problema.
- R.2 Proponer soluciones viables.
- R.3 Agregar conocimiento a la base de conocimientos.

Actores del Sistema

Nombre del Actor	Descripción
Usuario	Se denominan usuarios aquellas personas que van a interactuar con el sistema, en nuestro caso son: Ing. Eléctricos del ISMM Electricistas ISMM Estudiantes de la carrera de Ing. Eléctrica

Tabla 2 Actores del Sistema

Etapas I.2. Evaluación y selección de la tarea

Una vez conocido el problema nos enfrentamos a la interrogante de si este podía ser resuelto mediante un Sistema Experto. Para ello necesitábamos realizar un: Estudio de Viabilidad. Este estudio de viabilidad está compuesto por dos fases, primeramente se realiza un estudio cuantitativo mediante la realización de un test y después se realiza un estudio cualitativo.

El Test está conformado por un conjunto de características, a las cuales el Ingeniero de Conocimiento debe asignar valores, de acuerdo al grado de comprensión que este posee del problema, y del proyecto.

Este Test utiliza las siguientes cuatro dimensiones:



A) **Plausibilidad:** Uno de los requisitos más importantes, por ser condición necesaria, es que existan verdaderos expertos en el área del problema. Estos expertos deberían estar totalmente disponibles para trabajar en el proyecto. Además es imprescindible que el experto sea cooperativo y capaz de articular sus conocimientos y modos de razonamiento. Aquí es crítico disponer de un conjunto de casos de prueba que permitan observar in situ cómo los expertos resuelven el problema, de manera que sea más sencillo entender el proceso real tal como es, así como los conocimientos reales que utilizan.

B) **Justificación:** El esfuerzo de desarrollo de un Sistema Experto se justifica por ejemplo cuando la tarea del experto debe realizarse en entornos hostiles o peligrosos, por lo que no se desea mantener un experto humano en el lugar, o bien, cuando los expertos humanos escasean y una empresa necesita expertos en distintas ubicaciones a la vez. Otra justificación para el desarrollo de un Sistema Experto es la rotación de personal, por ejemplo por jubilación y la experiencia adquirida está a punto de perderse.

C) **Adecuación:** Para que el desarrollo de un Sistema Experto resulte adecuado, el problema a resolver debe poseer ciertas características intrínsecas, como por ejemplo cuando se necesitan unos conocimientos que son subjetivos, cambiantes, simbólicos, dependientes de los juicios particulares de las distintas personas, o son de naturaleza heurística, etc. Si se cumple alguna de las condiciones mencionadas entonces el problema se ajusta para ser tratado con la Ingeniería del Conocimiento.

D) **Éxito:** Existen otras cuestiones no técnicas a tener en cuenta para decidir aplicar la Ingeniería del Conocimiento en la resolución de un problema, como por ejemplo la mentalización de los responsables de modo que los recursos humanos y materiales estén comprometidos en lograr la solución, que las personas implicadas estén lo suficientemente entrenadas, que el Sistema Experto sea finalmente ubicado en el lugar correcto para cumplir su función, que los usuarios lo acepten como una herramienta que mejora su calidad laboral, y que los expertos coincidan en la escuela de pensamiento acerca del problema a resolver.

A continuación se exponen los resultados obtenidos para cada una de las dimensiones analizadas.

Dimensión de Plausibilidad:

$$Vr = (7.652, 7.859, 8.106, 8.312)$$

Dimensión de Justificación

$$Vr = (6.962, 11.829, 13.676, 14.89)$$

Dimensión de Adecuación

$$Vr = (3.941, 4.685, 5.577, 6.321)$$

Dimensión de Éxito

$$Vr = (4.176, 5.176, 6.376, 7.298)$$

Finalmente una vez obtenidos los intervalos resultantes de las cuatro dimensiones, se efectúa el cálculo final para determinar la viabilidad general del proyecto.

El intervalo final dio como resultado:

$$Vr = (5.605, 6.738, 7.616, 16.662)$$

Entonces:

$$(5.605 + 6.738 + 7.616 + 16.662) / 4 > 6$$

Resultado final: 9.16

Dado que es superior a 6, es viable la construcción del sistema experto.

En el Apéndice C se pueden ver los demás resultados del Test de viabilidad.

2.2.1 Justificación del análisis de viabilidad

Justificación de la Dimensión de Plausibilidad

Característica P1: Existen expertos, están disponibles y son cooperativos.

Análisis: Se dispone de personas que tienen experiencia en el área de la electricidad y especialmente en el campo de reparación de sistemas eléctricos. Estas personas están muy interesadas en la construcción del sistema y han puesto su conocimiento y disposición de colaborar en todo momento.

Valor: Sí



Característica P2: El experto es capaz de estructurar sus métodos y Procedimientos de trabajo.

Análisis: Los expertos y electricistas con que trabajamos poseen muchos años de trabajo, por lo que son capaces de estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo.

Valor: Mucho

Característica P3: La tarea está bien estructurada y se entiende.

Análisis: La tarea está bien estructurada, ya que se identificaron la mayoría de las funciones que debe cumplir el sistema las cuales se enumeran a continuación:

- Descomposición del problema introducido.
- Selección de una solución adecuada
- Justificar la selección de la solución propuesta.

Valor: Sí

Característica P4: La tarea sólo depende de los conocimientos y del sentido común.

Análisis: La tarea depende de los conocimientos que el experto posea del problema se está tratando, es decir conocimiento sobre la minería y especialmente acerca de cómo realizar el proceso de selección de las máquinas de excavación y carga.

Valor: 8

Justificación de la Dimensión de Justificación

Característica J1: Resuelve una tarea útil y necesaria.

Análisis: El desarrollo de este sistema es de posee gran importancia pues va a constituir una herramienta para asistir a los electricistas en su trabajo, que va a permitir que un proceso manual se automatice y en solo unos instantes se tenga una respuesta precisa y adecuada a las condiciones existentes. Además permitirá la disponibilidad de conocimientos y experiencia.

Valor: Mucho

Característica J2: Hay escasez de experiencia humana.



Análisis: No es frecuente encontrar expertos en el diagnóstico de sistemas eléctricos. Se requieren personas que posean mucha experiencia en el trabajo práctico con estos tipos de problemas.

Valor: Mucho

Característica J3: Hay necesidad de distribuir los conocimientos.

Análisis: Se espera que el sistema ayude de forma positiva y pueda ser utilizado por el ISMMM en el diagnóstico de fallas eléctricas.

Valor: Todo

Característica J4: Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema.

Análisis: El trabajo se realiza basándose en el conocimiento público (libros, folletos, revistas) y en conocimiento privado (experiencia de los expertos). No obstante se corre el riesgo de que las personas abandonen el instituto ya sea por jubilación, muerte o por cambio de centro laboral, y en ese caso se corre el riesgo de que los conocimientos se pierdan.

Valor: Mucho.

Característica J5: No existen otras soluciones al problema.

Análisis: Se han desarrollado muchas técnicas y herramientas, incluso softwares para asistir a los eléctricos en la toma de decisiones en los trabajos que ellos realizan, sin embargo no existe una herramienta automatizada que permita seleccionar las soluciones de manera rápida ya que se hace por apreciación y experiencia.

Valor: Sí

Justificación de la Dimensión de Adecuación

Característica A1: Los efectos de la introducción del SE no pueden predecirse.

Análisis: Se espera que la introducción del SE no ofrezca resultados adversos en cuanto a que la tarea que realizará será asistir al energético en la toma de decisiones ante un problema determinado dándole a este mayor seguridad y confiabilidad en su trabajo.

Valor: Poco.

Característica A2: La tarea requiere experiencia

Análisis: La actividad de selección de una solución ante una falla determinada requiere que la persona que la realiza posea una gran experiencia y haber trabajado en la reparación de sistemas eléctricos.

Valor: Mucho.

Característica A3: El problema es relativamente simple y puede descomponerse en subproblemas.

Análisis: Se puede descomponer el problema en subproblemas, como por ejemplo: La selección de una solución según el tipo de problema una vez conocidas las causas del problema.

Valor: Mucho.

Característica A4: Es conveniente justificar las soluciones adoptadas.

Análisis: Es necesario justificar las respuestas adoptadas explicando al usuario el porqué de ella de forma que este entienda como funciona el proceso de selección de una respuesta en específico y, de esa forma pueda guiarse para continuar el proceso.

Valor: Mucho

Característica A5: La tarea requiere investigación básica.

Análisis: La tarea requiere que previamente se realice una investigación básica sobre el sistema eléctrico que se va a tratar, para poder determinar los parámetros que se van a medir en la selección de una solución.

Valor: Si

Característica A6: Se espera que la tarea continúe sin cambios significativos durante un largo período de tiempo.

Análisis: El proceso de dar solución a una falla eléctrica siempre se ha hecho por apreciación o experiencia del experto, por lo que se espera que este proceso que se va a automatizar, no cambie en los pasos que se siguen para realizarlo.

Valor: Mucho

Justificación de la Dimensión de Éxito

Característica E1: Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de personas.

Análisis: Los conocimientos se encuentran repartidos entre un conjunto de personas, y aunque poseen un nivel similar de conocimientos hay veces que se hace necesaria su presencia simultánea a la hora de realizar la reparación de un fallo eléctrico.

Valor: Mucho

Característica E2: Las soluciones son explicables.

Análisis: El sistema debe ser capaz de explicar cada una de sus selecciones, es decir cada una de sus respuestas de modo que ayude al usuario a entender como se ha efectuado el proceso y al mismo tiempo para comprender como debe continuar.

Valor: Mucho

Característica E3: La solución del problema es importante para el centro.

Análisis: La solución de este problema tiene significativa importancia para el centro ya que si la solución del problema no es resuelta se afectan procesos de suma importancia e influye negativamente en la planificación institucional.

Valor: Mucho

Característica E4: La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positiva y no se sienten amenazados por el proyecto

Análisis: Los expertos esperan con mucho entusiasmo el desarrollo del sistema experto debido a que este facilitará su trabajo y le brindará gran seguridad en su elección.

Valor: Mucho.

Característica E5: Existe una ubicación idónea para el SE.

Análisis: El SE será utilizado por los ingenieros eléctricos y técnicos eléctricos. No obstante el director del proyecto debe poder tener acceso a su utilización para justificar o rectificar decisiones, para coordinar tareas a realizar por el resto del equipo de reparación. No parece prioritario una ubicación única y eficaz del SE.

Valor: No



Característica E6: La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana.

Análisis: El trabajo será el mismo pero con la ayuda y la asistencia del sistema, por lo que esta herramienta es bienvenida y muy esperada.

Valor: Poco

Característica E7: Se dispone de los recursos humanos, hardware y software necesarios para el desarrollo e implantación del sistema

Análisis: Se cuenta con computadoras para el desarrollo, el software adecuado, material bibliográfico, la disponibilidad de personal universitario y de expertos.

Valor: Todo

Característica E8: Los expertos y técnicos en electricidad resuelven el problema en la actualidad

Análisis: Los expertos y/o técnicos en electricidad resuelven los problemas pero de forma manual, por lo que la implantación del sistema ayudaría en la toma de decisiones ante una problemática dada.

Valor: Si

Conclusión: Teniendo en cuenta el estudio de las características anteriores llegamos a la conclusión de que el desarrollo del SE si es viable, porque nuestro sistema cumple con las cuatro dimensiones que han sido estudiadas.

2.3 Etapa 1.3. Definición de las Características del Sistema

En esta etapa se determinaron las características que el sistema va a tener, tales como:

- ❖ Para una mejor solución del problema es necesario conocer como es controlado el sistema eléctrico (cuchillas o interruptores automáticos).
- ❖ El usuario debe brindarle al sistema el estado físico de la red de distribución de energía eléctrica.
- ❖ El usuario debe introducir si se han instalado nuevos servicios en la red de distribución.
- ❖ El usuario debe especificar si existe en proceso un plan energético.

- ❖ El sistema no brindará explicaciones al usuario si no ha escogido un problema.

FASE II: Desarrollo de los prototipos de demostración, investigación, campo y operacional

2.4 Etapa II.1 Concepción de la solución

En esta fase los expertos nos orientaron la bibliografía a consultar es decir, los libros, folletos, y artículos en que podíamos encontrar los conceptos y el contenido que necesitábamos para conocer a fondo el problema y comenzar a concebir la solución del mismo, es decir en esta etapa obtuvimos el conocimiento público del problema.

2.5 Etapa II.2 Adquisición y Conceptualización de los conocimientos

En este período se efectuó la adquisición del conocimiento privado de los expertos. Este conocimiento, junto al conocimiento público fue el que se añadió a la base de conocimiento.

Formas de adquisición del conocimiento representado

Para poder tener los elementos suficientes para conformar la base de conocimientos (BC), se aplicó una encuesta a los 7 participantes (ver resultados Apéndice D).

- Encuesta : Determinar aspectos a tener en cuenta a la hora de solucionar un fallo eléctrico

La información que fue brindada al sistema, es la relacionada con: Fallos eléctricos así como las, características de estas; causas que la originan y modo de darles solución y las características de los sistemas de distribución de energía eléctrica.

En el Apéndice D se muestra la encuesta realizada a los expertos.

2.6 Etapa II.3. Formalización de los conocimientos.

2.6.1 Implementación de la Base de Conocimiento

La base de conocimiento fue implementada en *Prolog* ya que permite definir predicados de manera procedural y se hace más fácil el manejo de los términos y conceptos que se manejan en la presente investigación.

2.7 Etapa II.4 Implementación

2.7.1 Implementación del razonador en Prolog

Para la implementación del razonador se utilizaron las siguientes funciones:

forall : Provee todas las soluciones de un término.

not : Devuelve verdadero si no se prueba la meta.

assert : Inserta un objeto.

retract : Remueve un término de una regla.

findall : Encuentra en una lista todos los términos que coincidan.

Retractall : Remueve todos los hechos y cláusulas.

2.8 Implementación de la interfaz de usuario

La interfaz de usuario fue diseñada teniendo en cuenta el orden de los pasos que realizan los eléctricos y energéticos para realizar el proceso de selección de una alternativa de solución ante un problema en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía. Se trabajó para lograr una interfaz sencilla, agradable y de fácil comprensión por la razón de que los usuarios finales no poseen bastos conocimientos en área de la informática.

En la primera interfaz se muestra una lista de las causas de una serie de problemas relacionados con la eficiencia energética, habiendo el usuario seleccionado al menos una de estas causas el sistema pide que responda una serie de preguntas que se muestran en la segunda interfase, como próximo paso el sistema devuelve un listado con los posibles problemas y por último las posibles alternativas de solución.

2.9 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo se ofrecieron aspectos que brindan informaciones específicas para el correcto entendimiento de la solución propuesta a partir del análisis efectuado del problema. Se definieron los actores del sistema, se modeló el Diagrama de Casos de uso el cual representa las funcionalidades del sistema. Se describió que forma de representación del conocimiento se usó para implementar el razonador. Además se mostró el diseño de la interfaz de usuario.



Capítulo 3

Estudio de Costo y Factibilidad

3.1 Introducción

Actualmente con el desarrollo de los proyectos viene adherido el estudio de factibilidad del sistema, imprescindible, pues se tiene en cuenta los costos a incurrir infiriéndose si el proyecto realizado será factible, o si no, no llevar a cabo el mismo.

Muchas son las formas de calcular el costo, pero para nuestro caso se utilizará la Metodología Costo Efectividad, la cual sugiere que la conveniencia de la ejecución de un proyecto se determina por la observación de ciertos factores en conjunto, estos son:

- ❖ El costo que involucra la implementación de la solución informática, adquisición y puesta en marcha del sistema hardware / software y los costos de operación asociados.
- ❖ La efectividad que se entiende como capacidad del proyecto para satisfacer la necesidad, solucionar el problema o lograr el objetivo por el cual se ideó, es decir, un proyecto será más o menos efectivo con relación al mayor o menor cumplimiento que alcance en la finalidad para la cual fue ideado (costo por unidad del cumplimiento del objetivo).

Esta parte es crucial en la elaboración de cualquier proyecto pues haciendo un estudio correcto de factibilidad se puede ahorrar meses e incluso años de trabajo, hasta evitar poner en duda la reputación profesional si se realiza un sistema mal planificado desde una etapa temprana.

3.2 Efectos Económicos

- ❖ Efectos directos.
- ❖ Efectos indirectos.
- ❖ Efectos externos.
- ❖ Intangibles.

Efectos directos:



POSITIVOS:

- ❖ Los usuarios autorizados a manipular el sistema tendrán la cobertura de ver como interrelacionarse con otros actores del sistema para enriquecer su investigación.
- ❖ Se facilitará el proceso de interrelacionar las investigaciones entre usuarios.

NEGATIVOS:

- ❖ Debido a que nuestra aplicación está implementada en Java con Prolog embebido la PC donde se use el software tendrá que tener instalada la máquina virtual de Java, pues el sistema no se ejecutará de no ser así.

Efectos indirectos:

- ❖ Los efectos económicos observados que pudiera repercutir sobre otros mercados no son perceptibles, aunque este proyecto no está construido con la finalidad de comercializarse.

Efectos externos:

- ❖ Se tendrá una herramienta disponible que le facilitará a los energéticos del centro así como a los demás usuarios la toma de decisiones ante un problema determinado en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso racional de la Energía.

Intangibles:

- ❖ En la valoración económica siempre hay elementos perceptibles por una comunidad como perjuicio o beneficio, pero al momento de ponderar en unidades monetarias esto resulta difícil o prácticamente imposible.

A fin de medir con precisión los efectos, deberán considerarse tres situaciones:

❖ SITUACIÓN SIN PROYECTO

El proceso de toma de decisiones ante un problema en específico se realiza de forma manual por lo cual el mismo se hace un poco engorroso debido a:

1. Falta de personal especializado.
2. Gran consumo de tiempo al tomar una decisión.

❖ SITUACIÓN CON PROYECTO

Para la entrada de los datos al sistema propuesto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Entrar el problema específico o general.
2. Explicar la selección de una alternativa ante una situación determinada.

3.3 Beneficios y Costos Intangibles en el proyecto

Costos

- ❖ Resistencia al cambio.

Beneficios

- ❖ Mejor en cuanto comodidad para los usuarios.
- ❖ Mejora la calidad de información.
- ❖ Facilidad a la hora de tomar una decisión ante una situación dada.
- ❖ Menor tiempo empleado en el proceso de selección de alternativas ante un problema en específico.

3.4 Ficha de costo

Para determinar el costo económico de nuestro proyecto se utilizará el procedimiento para elaborar Una Ficha de Costo de un Producto Informático. (Pérez, A. M. G, 2009)

Para la elaboración de la ficha se consideran los siguientes elementos de costo, desglosados en moneda libremente convertible y moneda nacional.

Costos en Moneda Libremente Convertible:

Costo en Moneda Libremente Convertible.

Ficha de Costo	
	Precio(s)
Costos Moneda Libremente Convertible	
Costos Directos	
Compra de equipos de cómputo	0,00
Alquiler de equipos de cómputo	0,00
Compra de licencia de Software	0,00
Depreciación de equipos	60,78
Materiales directos	0,00
Subtotal	60,78
Costos Indirectos	
Formación del personal que elabora el proyecto	0,00
Gastos en llamadas telefónicas	0,00
Gastos para el mantenimiento del centro	0,00
Know How	0,00
Gastos en representación	0,00
Subtotal	0,00
Gastos de Distribución y Venta	
Participación en ferias o exposiciones	0,00
Gastos en transportación	0,00
Compra de materiales de propagandas	0,00
Subtotal	0,00
Total	60,78

Tabla 3 Costo en Moneda Libremente Convertible.

Costos en Moneda Nacional:

Costo en Moneda Nacional.

Ficha de Costo.	
	Precio(s)
Costos Moneda Nacional	
Costos Directos	
Salario del personal que laborará en el proyecto	100,00
5% del total de gastos por salarios se dedica a la seguridad social	0,00
9.09% de salario total, por concepto de vacaciones a acumular	0,00
Gasto por consumo de energía eléctrica	5,94
Gastos en llamadas telefónicas	0,00
Gastos administrativos	0,00
Subtotal	105,94
Costos Indirectos	
Know How	10.6
Subtotal	
Total	116,54

Tabla 4: Costo en Moneda Nacional.

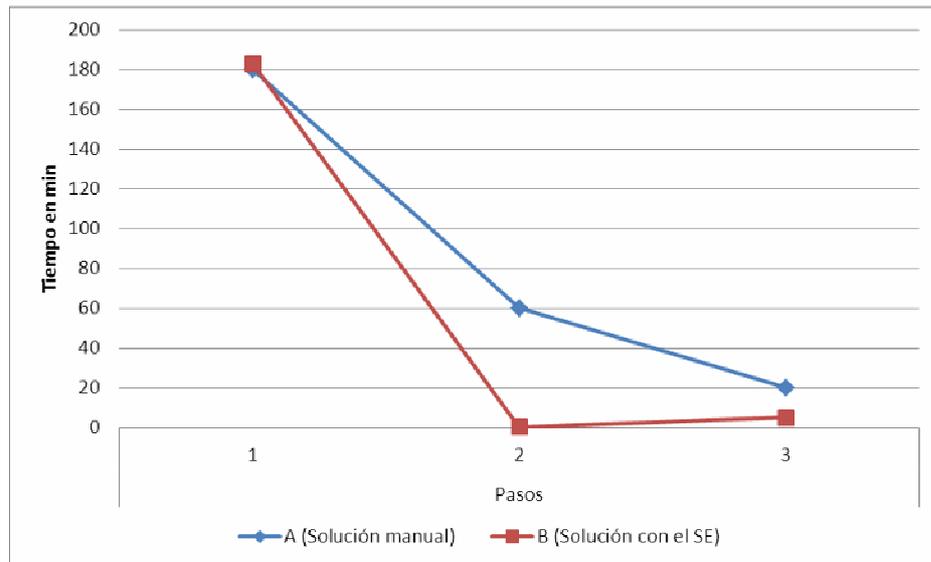
Como se hizo referencia anteriormente, la técnica seleccionada para evaluar la factibilidad del proyecto es la Metodología Costo-Efectividad. Dentro de esta metodología la técnica de punto de equilibrio aplicable a proyectos donde los beneficios tangibles no son evidentes, el análisis se basa exclusivamente en los costos. Para esta técnica es imprescindible definir una variable discreta que haga variar los costos. Teniendo en cuenta que el costo para este proyecto es depreciable, tomaremos como costo el tiempo en horas empleado por los energéticos del centro para tratar de seleccionar una solución ante un problema en el contexto de la Eficiencia Energética y uso racional de la Energía.

Valores de la variable (Solución Manual):

- i. Identificación del problema existente (180 min).
- ii. Análisis del problema y las posibles soluciones (60 min).
- iii. Selección de la alternativa más conveniente para solución del problema (20 min).

Valores de la variable (Solución con el software):

- i. Identificación e introducción del problema al software (183 min).
- ii. Sistema devuelve las posibles soluciones (0.2 min).
- iii. Usuario selecciona la alternativa más conveniente para solución del problema (5 min).

**Ilustración 2 Evaluación del sistema.**

Teniendo en cuenta los resultados reflejados en la gráfica en cuanto al Punto de Equilibrio queda demostrada la factibilidad del sistema evidenciado por la relación entre la complejidad del problema (cantidad de variables) y el tiempo que demora la solución del mismo de forma manual y automatizada.

3.5 Conclusiones

En este capítulo se hace un estudio profundo del costo real en que se incurrió durante el diseño e implementación del producto software mediante la Metodología Costo Efectividad (Beneficios), se analizaron todos los factores directos, indirectos, externos e intangibles, además se calculó el costo de ejecución del producto software mediante la ficha de costo arrojando como resultados (**60,78 CUC y 610.60 CUP**) demostrándose la conveniencia de la elaboración del sistema.



Conclusiones

Realizada la investigación y luego de haber diseñado e implementado el software se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Se desarrolló un sistema experto que permitirá mostrar posibles soluciones como alternativas ante problemas existentes en el contexto de la Eficiencia Energética y Uso Racional de la Energía en el ISMMM, apoyando el proceso de toma de decisiones en la institución.
2. Se llevó a cabo un estudio de las principales metodologías, lenguajes y herramientas que se consideraron factibles para el desarrollo del módulo, por lo cual se consideró la I.D.E.A.L. como metodología, Java como lenguaje de programación para la interface gráfica y Prolog como motor de inferencia para la confección de las reglas.
3. Se identificaron y especificaron los requerimientos funcionales, la base de conocimiento y el motor de inferencia de la aplicación, así como se llevaron a cabo las demás fases de la metodología, entre ellas la identificación de las tareas y el desarrollo del prototipo.
4. Se realizaron las pruebas del Sistema Experto, tomando como referencia problemas definidos por el energético del ISMMM, cumpliéndose con las expectativas del cliente, demostrándose así las posibilidades que brindan estas aplicaciones en este contexto.
5. El estudio de viabilidad siguiendo la metodología seleccionada tuvo como resultado 9.16, lo que demuestra que fue viable la ejecución del proyecto, así como el resultado del estudio de factibilidad realizado siguiendo la metodología Costo Efectividad, el cual arrojó los efectos económicos y beneficios, siendo el costo de ejecución del proyecto, de 60,78 CUC y 116.54 CUP, demostrándose que es factible el proyecto.



Recomendaciones

- 1- Que el sistema se aplique como herramienta de trabajo, en la actividad que realiza el energético del ISMMM, para apoyar el proceso de toma de decisiones en la institución.
- 2- Que se continúe con el perfeccionamiento del sistema, de manera que se logre mayor intuitividad, y pueda ser explotado por diferentes usuarios.
- 3- Enriquecer la base de conocimiento con nuevas problemáticas y posibles soluciones de manera que posibilite tener un mayor radio de aplicación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO USATEGUI J.M y DEL MORAL BUENO A. "Guía fácil de la Inteligencia Artificial". Editorial Paraninfo. 2 ed. Madrid, 1994.
- BENCHIMOL G, PIERRE L, y PROMEROL CHARLES J. Los sistemas expertos en la empresa. Macrobit. 1ed., México, 1990.
- BELLO PEREZ R. Curso Introductorio a la Inteligencia Artificial. Departamento de Ciencia de la Computación Universidad Central de Las Villas.2005.
- CASTILLO E. "Sistemas Expertos: aprendizaje e incertidumbre". Editorial Paraninfo, S.A. Madrid, 1989.
- CASTILLO E., MANUEL J, HADI S."Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas".1997.
- CRIADO BRIZ J.M. Sistemas Expertos, [en línea] 2002.[Consultado :2008-10-15] Disponible en: <http://home.worldonline.es/jmariocr/>.
- DE ALBORNOZ BUENO A." Laboratorio de Procesamiento de Imágenes" [en línea] 2006 [Consultado 2011-03-03] Disponible en: http://www.cic.ipn.mx/organización/lab_de_int_art.htm.
- DE AVILA RAMOS J. "Sistemas Expertos." [en línea] 2003 [Consultado 2009-02-05] Disponible en : http://www.lafacu.com/apuntes/informatica/sist_expe/.
- DE MIGUEL L.J "Técnicas de Mantenimiento Predictivo Industrial basadas en Sistemas Expertos." [en línea] 2005 [Consultado:2008-12-15] Disponible en: <http://www.cartif.es/mantenimiento/expertos.html>.
- GROVER, M. "A Pragmatic Knowledge Acquisition Methodology." Proceedings VIII IJCAI. Estados Unidos. 1983.
- PAZOS SIERRA, J. "Introducción a la Ingeniería del Conocimiento." Unidad 19. Material del Magister en Ingeniería del Software. Convenio ITBA-UPM. 1996.



Pérez, Ana. María. C. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DE USUARIOS, 2009.

RICH E. y KNIGHT K. "Artificial Intelligence". Mc GrawHill. 2 ed. México, 1991.

RIZZI MARCELO, F; 2001: Sistema Experto Asistente de Requerimientos. (Tesis de Maestría).

SANCHEZ y BELTRAN J. P. "Sistemas Expertos: Una metodología de programación." Macrobite. Primera edición. México, 1990.

SAMPER MARQUEZ J. J. "SISTEMAS EXPERTOS. EL CONOCIMIENTO AL PODER". [en línea] 2002. [Consultado: 2011-01-23] Disponible en:

<http://www.psycologia.com/articulos/ar-jsamper01.htm>.

SCHILD H, "Utilización de C en Inteligencia Artificial". Mc GrawHill. Primera edición. México, 1989.

SELL P. "Sistemas Expertos para principiantes." 1 ed. Noriega Editores México, 1989.

VAZQUEZ GONGORA A.2006" Sistema Experto Difuso para la Evaluación de Impacto Ambiental."[Universidad de Oriente] Santiago de Cuba.(Trabajo de Diploma)

Apéndice B Aspectos teóricos sobre la Energía Eléctrica.

Gestión Energética.

Es un conjunto de acciones técnico-organizativas para administrar eficientemente la energía, que aplicadas de forma continua, con la filosofía de gestión total de la calidad, permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control y evaluación del uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de conservación de la energía y de reducción de sus costos.

La Gestión Energética va encaminada a lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicios del confort, productividad, calidad de los servicios y sin deteriorar el nivel de vida. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de ahorro de energía ya sea desde el punto de vista de la propia empresa como a nivel nacional.

En la medida en que la situación energética se deteriora, se hace sentir la necesidad de que la energía sea considerada como un factor de costo que requiere especial atención. Durante años los precios se han duplicado debido a que el mundo se ha ido desarrollando y también se ha incrementado la demanda en varios sectores industriales y de servicios.

¿Qué es el factor de potencia?

Se define factor de potencia, FP, de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S, o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como $\cos\varphi$, siendo φ el valor de dicho ángulo. De acuerdo con el triángulo de potencias de la ilustración 3.

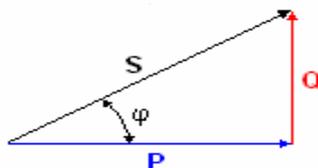


Ilustración 3 Triángulo de Potencia

Efectos de un bajo factor de potencia.

- Se deja de utilizar potencia instalada.
- Aumento de las corrientes provocando pérdidas en líneas y conductores.

- Un factor de potencia bajo comparado con otro alto, origina, para una misma potencia, una mayor demanda de intensidad, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección.
- Incremento de las caídas de tensión.

¿Por qué existe un bajo factor de potencia?

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Una sub.-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

Cargas puramente resistivas, tales como alumbrado incandescente, resistencias de calentamiento, etc. no causan este tipo de problema ya que no necesitan de la corriente reactiva.

Cortocircuito

Se denomina cortocircuito al fallo en un aparato o línea eléctrica por la cual la corriente eléctrica pasa directamente del conductor activo o fase al neutro o tierra en sistemas monofásicos de corriente alterna, entre dos fases o igual al caso anterior para sistemas polifásicos, o entre polos opuestos en el caso de corriente continua.

El cortocircuito se produce normalmente por los fallos en el aislante de los conductores, cuando estos quedan sumergidos en un medio conductor como el agua o por contacto accidental entre conductores aéreos por fuertes vientos o roturas de los apoyos.

Interruptores automáticos

Los interruptores son dispositivos de protección que están diseñados para soportar una carga máxima, la cual se mide en amperios. De igual manera se diseñan para soportar una tensión máxima, que es medida en voltios. Estos equipos accionan (o disparan) cuando el valor medio (el nivel de corriente que circula a través de él) supera el valor prefijado como ajuste o de fabricación, brindando de esta forma protección a los circuitos eléctricos contra cortocircuitos o fallas a tierra, desconectando la sección o secciones afectadas para evitar averías en las líneas y en el peor de los casos incendios por calentamientos de los conductores.

APÉNDICE C Test de Viabilidad.

El método es de tipo métrico, usa ponderaciones, utiliza la media armónica e incorpora la manipulación de valores lingüísticos mediante intervalos difusos, con los que, además, se pueden definir operaciones básicas de cálculos. El método integra tres tipos de valores para las características: booleanos, que podrán tener los valores Sí o No, numéricos en el intervalo [x,y]; y lingüísticos. Se trata de conservar la naturaleza de cada tipo de valor por lo que cada uno es traducido a un intervalo difuso, desarrollándose todos los cálculos con dichos intervalos. Esto es porque el cerebro humano piensa, en general, con valores lingüísticos en vez de valores numéricos.

Los valores lingüísticos se podrán tomar de entre un conjunto de los cinco valores siguientes: "nada", "poco", "regular", "mucho", "todo". Cuanto más verdadera parece la característica, mayor valor se le asigna, es decir, "mucho" o "todo", "poco" o "nada" se dan a características que parecen falsas. Finalmente, el valor "regular" es para los casos en los que no se sabe muy bien. Estos valores se pueden ver como cuantificadores de las características. Todos los valores lingüísticos se han traducido en valores difusos. El intervalo dentro del cual se expresarán todos los valores difusos es [0,10]. La Tabla 5 muestra las funciones de pertenencia para los respectivos valores. Un valor lingüístico se define por su función de pertenencia del intervalo [0,10] en el intervalo [0,1]; que indica en que grado se ajusta a dicho valor lingüístico, sabiendo que cuanto más se acerca la función a 1, más cierto es el valor lingüístico.

Así mismo se muestra en la tabla 6 la función de pertenencia para valores booleanos a los efectos de realizar el cálculo en base a intervalos difusos. Por otra parte, a continuación se muestra la función de pertenencia del conjunto difuso cuyo único elemento es un número a.

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x = a \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Ilustración 4 Función de pertenencia del conjunto difuso

Esta función sirve para manipular características que toman valores nítidos. Como se puede visualizar en la Figura 4.1, las gráficas de las funciones de pertenencia pueden ser definidas gracias a sus puntos de ruptura o puntos angulares. A cada valor lingüístico le será asociado un intervalo difuso, determinado por los siguientes puntos angulares.

Valor Lingüístico	Intervalo Difuso			
Muy Poco o Nada	0.01	0.01	1.2	1.2
Poco	1.2	2.2	3.4	4.4
Regular	3.4	4.4	5.6	6.6
Mucho	5.6	6.6	7.8	8.8
Muchísimo o Todo	7.8	8.8	10	10

Tabla 5 Definición de Intervalos Difusos correspondientes a cada valor lingüístico

En la tabla 5 se puede apreciar 4 columnas que definen el intervalo difuso. Cada uno de dichos valores se denomina "punto angular" o "punto de ruptura", dado que es en dichos puntos donde el valor de la característica cambia su función de pertenencia. Por ejemplo para el caso del valor lingüístico "regular", el punto de ruptura "3,4" indica que a partir de allí la característica no tiene más el valor

"Cero", pero tampoco es "uno". El valor 4,4 indica que a partir de allí la característica tiene valor "Uno", hasta el punto de ruptura "5,6" en el cuál la característica se vuelve nuevamente difusa hasta el valor "6,6" a partir del cuál el valor es "cero". Puede observarse también que se utilizan para "Muy Poco o Nada" los valores 0,01 en lugar de cero. Esto es para evitar, en ciertas ocasiones, la división por cero.

Valor Lingüístico	Intervalo Difuso			
No	0.01	0.01	0.01	0.01
Sí	10	10	10	10

Tabla 6 Definición de Intervalos binarios correspondientes a cada valor lingüístico

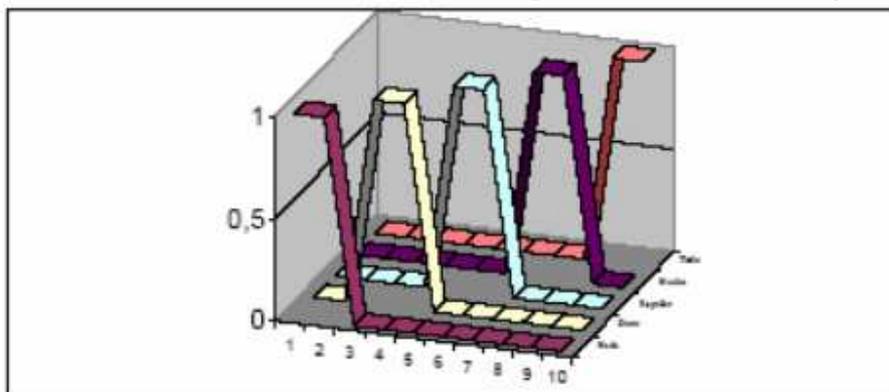


Ilustración 5 Funciones de pertenencia de los valores lingüísticos

Se puede observar en la ilustración 5 los puntos de ruptura o angulares que definen la función de pertenencia. Además, las características poseen otros componentes indicativos de su naturaleza, que hay que tener en cuenta para su consideración y uso en el Test de Viabilidad.

Dichas características son:

Categoría: es únicamente de carácter indicativo y muestra a qué o a quién se referirá la característica. Puede ser a la Tarea, a los Directivos/Usuarios o a los Expertos.

Peso: Permite dar una importancia relativa a cada característica en la globalidad del test. El peso tiene dos componentes, una de carácter numérico que puede tomar valor entero en el intervalo [1,10]. La otra de carácter binario toma el valor + si la importancia relativa que aporta la característica favorece la construcción del SE, y el valor - si hace disminuir el grado de interés en el desarrollo del SE.

Naturaleza del valor asociado a la característica puede ser: booleano, numérico o lingüístico.

Tipo: una característica puede ser de dos tipos: deseable o esencial y muestra su importancia. Si es vital para el proyecto, es esencial, una característica de este tipo deberá superar un valor de umbral, de lo contrario el proyecto deberá ser inmediatamente abandonado. En otro caso la característica se considera deseable.

Umbral: Es una referencia para características esenciales. El valor del umbral es fijo, pero no necesariamente igual para todas las características y es de la misma naturaleza que el valor de las características.

Valor: para cada proyecto concreto hay que asignar un valor a cada característica dentro del conjunto de valores adecuados para cada naturaleza.

Funcionamiento de la Técnica

La representación de los valores en intervalos difusos según los cuatro puntos angulares mencionados anteriormente, permiten trabajar con estos como si fueran valores numéricos.

La media armónica proporciona los valores más aceptables para el problema, con el único inconveniente que si hay un valor "cero" en el conjunto de los valores de los que se hace la media, el resultado obtenido es "cero". Esto se soluciona haciendo la media armónica y la media aritmética del conjunto de intervalos y luego, hacer la media aritmética de los dos intervalos obtenidos. Es decir:

$$VC_i = \frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^{r_i} P_{ik}}{\sum_{k=1}^{r_i} \frac{P_{ik}}{V_{ik}}} + \frac{1}{2} \frac{\sum_{k=1}^{r_i} P_{ik} V_{ik}}{\sum_{k=1}^{r_i} \frac{P_{ik}}{V_{ik}}}$$

Ilustración 6 Valor Global de la aplicación en una dimensión dada

Donde:

VC_i Valor Global de la aplicación en una dimensión dada.

V_{ik} Valor de la característica k en la dimensión j.

P_{ik} Peso de la característica k en la dimensión j.

r_i número de la característica en la dimensión j.

La suma de intervalos se realiza de la siguiente forma:

$$(V1, V2, V3, V4) + (W1, W2, W3, W4) = (V1 + W1, V2 + W2, V3 + W3, V4 + W4)$$

Si una sola característica de justificación tiene un valor muy alto, enteramente está justificado el desarrollo del sistema experto.

La viabilidad técnica del proyecto es más dependiente de las Plausibilidad y la Adecuación que de la Justificación o del Éxito.

La Justificación del proyecto es importante únicamente antes de que empiece el desarrollo del sistema. Para determinar la evaluación de viabilidad del proyecto, se calculará el valor final, mediante la media aritmética ponderada de los valores obtenidos para cada dimensión con los pesos:

8 Para Plausibilidad y Adecuación.

3 Para Justificación.

5 Para Éxito.

Con la fórmula siguiente:

$$V_f = \frac{\sum_{i=1}^4 P_i V_i}{\sum_{i=1}^4 P_i}$$

Ilustración 7 Valor Justificación

Aquí el producto de un intervalo por un número se define como:

$$a * (V1, V2, V3, V4) = (a * V1, a * V2, a * V3, a * V4)$$

La tarea es aceptada si se obtiene un valor mayor o igual a 6.

Denominación de las características.	Categoría	Dimensión	Peso(P9)	Tipo	Naturaleza	Umbral	Valor
Existen expertos, están disponibles y son cooperativos.	Experto	P1	10	Esencial	Booleana	Si(Si)	Si
El experto es capaz de	Experto	P2	7	Deseable	Difusa	No	Mucho

estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo.							
La tarea está bien estructurada y se entiende.	Tarea	P3	8	Deseable	Difusa	No	Mucho
La tarea solo depende del conocimiento y no del sentido común.	Tarea	P4	9	Deseable	Numérica	No	8
Resuelve una tarea útil y necesaria	Tarea	J1	8	Deseable	Difusa	No	Mucho
Hay escasez de experiencia humana.	Experto	J2	6	Deseable	Difusa	No	Mucho
Hay necesidad de distribuir los conocimientos.	Tarea	J3	10	Deseable	Difusa	No	Todo
Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema.	Experto	J4	10	Deseable	Difusa	No	Mucho
No existen otras soluciones al problema.	Tarea	J5	8	Esencial	Booleana	Si(Si)	Si
Los efectos de la introducción del SE no pueden predecirse.	Tarea	A1	-2	Deseable	Difusa	No	Poco
La tarea requiere experiencia.	Tarea	A2	10	Deseable	Difusa	No	Mucho
El problema es relativamente simple y puede descomponerse en subproblemas.	Tarea	A3	6	Deseable	Difusa	No	Mucho
Es conveniente justificar las soluciones adoptadas.	Tarea	A4	3	Deseable	Difusa	No	Mucho
La tarea requiere investigación básica.	Tarea	A5	-10	Esencial	Booleana	Si(No)	No
Se espera que la tarea continúe sin cambios significativo durante un largo período de tiempo.	Tarea	A6	8	Esencial	Difusa	Si(mucho)	Mucho
Los conocimientos están repartidos entre un grupo de individuos.	Experto	E1	-7	Deseable	Difusa	No	Poco

Las soluciones son explicables.	Tarea	E2	5	Deseable	Difusa	No	Mucho
La solución del problema es importante para el centro.	Directivos/	E3	8	Esencial	Difusa	Si(mucho)	Mucho
	usuarios						
La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positivo y no se sienten amenazados por el proyecto.	Experto	E4	8	Deseable	Difusa	No	Mucho
Existe una ubicación idónea para el sistema experto.	Directivos/	E5	7	Deseable	Difusa	No	Regular
	usuarios						
La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es decir, apenas interfiere en la rutina cotidiana.	Directivos/	E6	8	Deseable	Difusa	No	Poco
	usuarios						
Se dispone de los recursos humanos, hardware y software necesarios para el desarrollo e implementación del sistema.	tarea	E7	4	Deseable	Difusa	No	Todo
El experto resuelve el problema en la actualidad.	Experto	E8	5	Deseable	Difusa	No	Mucho

Tabla 7 Estudio cualitativo de las características de cada dimensión para el estudio de viabilidad.

Se exponen a continuación los resultados obtenidos para cada una de las dimensiones analizadas.

Dimensión de Plausibilidad

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Peso/Valor			
			10	10	10	10	100	100	100	100	10	10	10	10
P1	10	Si	10	10	10	10	100	100	100	100	10	10	10	10
P2	7	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	39,2	46,2	54,6	61,6	1,25	1,06060606	0,8974359	0,79545455
P3	8	8	8	8	8	8	64	64	64	64	8	8	8	8
P4	9	8	8	8	8	8	57	57	57	57	1,125	1,125	1,125	1,125
	34						260,2	267,2	275,6	282,6				
						Resultado	7,652	7,859	8,106	8,312				

Ilustración 8 Estudio cuantitativo para la dimensión de Plausibilidad.

Dimensión de Justificación

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Peso/Valor				Aproximación numérica
J1	8	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	44,8	52,8	62,4	70,4	1,21212121	1,02564103	0,90909091		2,465034965
J2	6	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	33,6	39,6	46,8	52,8	0,90909091	0,76923077	0,68181818		1,848776224
J3	10	Todo	7,8	8,8	10	10	78	88	100	100	1,13636364		1		2,386363636
J4	10	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	56	66	78	88	1,51515152	1,28205128	1,13636364		3,081293706
J5	8	Si	10	10	10	10	80	248,4	287,2	311,2	0,8	0,8	0,8	0,8	2,6
	42						292,4	496,8	574,4	622,4			MAX		4,867007932
		Resultado					6,962	11,829	13,676	14,89					

Ilustración 9 Estudio cuantitativo para la dimensión de Justificación.

Dimensión de Adecuación

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Peso/Valor			
A1	2	Poco	1,2	2,2	3,4	4,4	2,4	4,4	6,8	8,8	1,66666667	0,90909091	0,58823529	0,45454545
A2	10	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	56	66	78	88	1,78571429	1,51515152	1,28205128	1,13636364
A3	6	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	33,6	39,6	46,8	52,8	1,07142857	0,90909091	0,76923077	0,68181818
A4	3	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	16,8	19,8	23,4	26,4	0,53571429	0,45454545	0,38461538	0,34090909
A5	10	No	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	1000	1000	1000	1000
A6	8	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	44,8	52,8	62,4	70,4	1,42857143	1,21212121	1,02564103	0,90909091
	39						153,7	182,7	217,5	246,5				
							3,941	4,685	5,577	6,321				

Ilustración 10 Estudio cuantitativo para la dimensión de Adecuación.

Dimensión de Éxito

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Peso/Valor			
E1	7	Poco	1,2	2,2	3,4	4,4	8,4	15,4	23,8	30,8	5,83333333	3,18181818	2,05882353	1,59090909
E2	5	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	28	33	39	44	0,89285714	0,75757576	0,64935065	0,56818182
E3	8	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	44,8	52,8	62,4	70,4	1,42857143	1,21212121	1,02564103	0,90909091
E4	8	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	44,8	52,8	62,4	70,4	1,42857143	1,21212121	1,02564103	0,90909091
E5	7	Regular	3,4	4,4	5,6	6,6	23,8	30,8	39,2	46,2	2,05882353	1,59090909	1,25	1,06060606
E6	8	Poco	1,2	2,2	3,4	4,4	9,6	17,6	27,2	35,2	6,66666667	3,63636364	2,35294118	1,81818182
E7	4	Todo	5,6	6,6	7,8	8,8	22,4	26,4	31,2	35,2	0,71428571	0,60606061	0,51282051	0,45454545
E8	4	Todo	7,8	8,8	10	10	31,2	35,2	40	40	0,51282051	0,45454545		0,4
	51						213	264	325,2	372,2				
							4,176	5,176	6,376	7,298				

Ilustración 11 Estudio cuantitativo para la dimensión de Éxito.

Cálculo final de Viabilidad

Dimensión	Peso	Valores Intervalo				Peso*Valor			
Plausibilidad	8	7,652	7,859	8,106	8,312	61,216	62,872	64,848	66,496
Justificación	3	6,962	11,829	13,676	14,89	20,886	35,487	35,487	44,67
Adecuación	8	3,941	4,685	5,577	6,321	31,528	37,48	50,568	252,224
Exito	5	4,176	5,176	6,376	7,298	20,88	25,88	31,88	36,49
	24					134,51	161,719	182,783	399,88
		Intervalo Resultado Final				5,605	6,738	7,616	16,662
						Resultado Final 9,16			

Ilustración 12 Cálculo final de la Viabilidad.

Por tanto se puede afirmar que el desarrollo del Sistema Experto es viable.

APENDICE D Encuesta realizada a los expertos

Encuesta #1 Determinar solución ante un fallo eléctrico.

1-Conocer cómo es controlado el circuito.

Cuchillas_____

Interruptores automáticos_____

Marque con una X.

2-En caso de no conocer como es controlado el circuito

Explique proceso a seguir.

3-Especificar fallo eléctrico.

4-Determinar causas de ocurrencia del fallo eléctrico.

Explicar causas

5-Determinar si el fallo eléctrico es causal

Explicar que provoca o que provocó el fallo

6-Conocer estado de la red física de distribución energética

Marque con una X.

Mal estado_____

Buen estado_____

Regular_____