



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia-Electromecánica
Departamento Informática

Trabajo de Diploma

Presentado en Opción al título de Ingeniería en Informática

Prototipo de Sistema Experto para seleccionar Máquinas de Excavación–Carga.

Autora:

Daykenís Caballero Feria

Tutores:

Dra. Darlínés Sánchez Muñoz

Dr. Orlando Belete Fuentes

Moa, 2009

Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que soy la única autora 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 2009.

Daykenis Caballero Feria

Nombre completo del primer autor

Darlines Sánchez Muñoz

Nombre completo del primer tutor

OPINIÓN DEL USUARIO DEL TRABAJO DE DIPLOMA

El Trabajo de Diploma, titulado "Prototipo de Sistema Experto para seleccionar máquinas de excavación -carga", 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:

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

Y para que así conste, se firma la presente a los ____ días del mes de _____ del año 2008

Nombre del representante de la entidad Cargo

Firma

Cuño

OPINIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE DIPLOMA.

Título: Prototipo de Sistema Experto para seleccionar máquinas mineras de excavación- carga.

Autor: Daykenis Caballero Feria

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

Darlines Sánchez Muñoz

Nombre completo del primer tutor

Fecha: _____

Pensamiento:

*Aplica tu corazón a la enseñanza y tus oídos a las razones
sabias.*

Proverbios 23:12

Dedicatoria:

*A la luz de mi vida, a lo más sublime que tengo y
tendré siempre: A Mis padres.*

Este es mi regalo por su esfuerzo en mi educación y formación.

Los quiere

Daykenis (Tati)

Agradecimientos:

A Dios por guiar mis pasos y no abandonarme nunca, por darme la fuerza de voluntad necesaria para luchar, por permitir que este sueño se realizara, y por rodearme de personas que me dieron aliento y mucho cariño.

Gracias mi señor.

A mis padres queridos: a mi mamita Magalis y mi papito Emiliano, el mayor tesoro que la vida me ha dado. Gracias por su esfuerzo y empeño en mi educación. Gracias por su desvelo por mí, por su cariño, por sus consejos, por su ayuda, por amarme tanto y sobre todo gracias por darme la vida.

Los amo.

A una persona muy especial en mi vida: mi novio Vladimir, quien supo darme su amor, su ayuda, su confianza, su apoyo incondicional, sus consejos, su optimismo, su energía positiva. Alguien que compartió junto a mí momentos malos y buenos, pero sobre todas las cosas me amó, a ti mi agradecimiento siempre porque gran parte de esta gloria te la debo.

A mis tutores el Dr. Orlando Belete Fuentes y la Dra.C Darlines Sánchez Muñoz por guiar mis pasos en esta investigación y por su ayuda incondicional.

A mis abuelitos que tuvieron paciencia para soportarme durante todo este tiempo. Gracias por cuidar de mí.

A mis tíos, tías y primos por su apoyo y colaboración.

A todas aquellas personas que han estado a mi lado no solo en este período de universidad sino durante toda mi vida, a todos esos amigos que me han brindado su mano, a los que ya no están conmigo, gracias sencillamente por el granito de arena que me proporcionaron para realizar esta ilusión.

A todos ustedes sinceramente

Gracias.

Resumen

La minería es una fuente significativa de obtención de riquezas en todo el mundo, que favorece el desarrollo de la humanidad, y en Cuba ha alcanzado un vertiginoso avance, convirtiéndose así en un importante renglón económico del país. El Municipio de Moa actualmente cuenta con importantes depósitos minerales que se encuentran en explotación, entre ellos sobresalen los que explota la industria procesadora de níquel Ernesto Che Guevara.

En dicha empresa para el laboreo de sus reservas se utilizan un conjunto de maquinarias entre las que se encuentran las máquinas de excavación-carga, que intervienen en diversas actividades, pero la más importante es la relacionada con la extracción y carga del mineral.

El empleo de estas máquinas viene antecedido por un proceso selectivo que tiene en cuenta un conjunto de indicadores, que determinan cual es la más adecuada para un proceso de excavación determinado, sin embargo dicho proceso se efectúa de forma manual lo cual implica dificultades para el desarrollo productivo. Con el desarrollo de esta investigación se pretende facilitar el proceso de selección de las máquinas de excavación-carga, a través de la implementación de un sistema informático que ejecute dicho proceso selectivo.

Abstract

The Mining is a significant source of obtaining riches all over the world, that favors humanity's development, and in Cuba he has attained a vertiginous advance, becoming thus in an important source for the country economic. Moa' Municipality, at present has important mineral deposits in exploitation and among them the ones processed by processing industry of nickel. Ernesto Che Guevara.

At the above mentioned company for processing its reserves it is necessary the use of , a group of machineries, among them we find machines for excavation and transportation of loads , that intervene in diverse activities, but the most important is the one for the extraction and transportation of load of mineral.

The use of these machines is preceded by a selective process taking into consideration indicators , that determine the best-suited machine for a particular process of excavation but due to the fact that the process is carried out handy it brings about difficulties for the productive development.

With the development of this investigation it is intended to make the process of selection of the excavation and transportation of load machines easier, through the implementation of information-technology system that execute this selective process.

INDICE DE MATERIAS

Introducción	2
Capítulo1: Fundamentos Teóricos.	6
Introducción	6
1. Aspectos sobre Minería.....	6
1.1 Importancia de la industria minera	7
1.2 Descripción de las actividades fundamentales de la minería	8
1.3 Empleo de las TICs en la Minería	9
1.4 Evolución de las TICs en Minería	11
1.5 Importancia de las TICs para la Minería	12
1.6 Algunos softwares desarrollados para la industria minera	13
1.6.1 TIC's en Cuba.	14
1.7 Desarrollo de la industria Minera en Cuba.....	15
1.7.1 Las Máquinas de Excavación – Carga en la producción minera.....	16
1.7.2 Características de las Excavadoras de una Cuchara	17
1.7.3 Características de las Excavadoras de Muchas Cucharas	19
1.8 Descripción del proceso de selección de las máquinas excavadoras.....	20
1.9 Selección del tipo de excavadora.	27
1.10 Cálculos de Productividad de las Excavadoras	28
1.11 Propuesta de solución	29
1.12 Sistemas Expertos para Minería	32
Dipmeter Advisor	32
Prospector	32
1.13 Conclusiones del Capítulo	32
Capítulo 2: Sistemas Expertos	34
Introducción	34
2. ¿Qué son los Sistemas Expertos (S.E.) ?	34

2.2 Componentes de un Sistema Experto	36
2.2.1 Base de Conocimiento	36
<i>Formas de representación del conocimiento (F.R.C)</i>	36
<i>Adquisición del conocimiento</i>	38
2.2.2 Motor de Inferencia	39
<i>Modos de razonamiento</i>	40
2.2.3 Base de Hechos	40
2.2.4 Interfaz de Usuario	41
<i>Módulo de comunicaciones</i>	41
<i>Módulo de explicaciones</i>	41
<i>Módulo de adquisición de conocimiento</i>	41
2.3 Caracterización de los Sistemas Expertos.....	42
2.3.1 Rasgos de un S.E.....	42
2.3.2 Comparación entre los S.E. y los programas convencionales.....	45
2.4 ¿Por qué desarrollar Sistemas Expertos?	46
2.5 Ventajas del uso de S.E.....	47
2.6 Metodologías para el desarrollo de un Sistema Experto	48
2.6.1 Método de Buchanan	48
2.6.2 Método de Grover	49
2.6.3 Metodología de Weiss y Kulikowski	50
2.6.4 Metodología I. D.E.A.L	51
2.7 Lenguajes para desarrollar Sistemas Expertos.....	54
2.7.1 LISP	54
2.7.2 PROLOG	55
2.7.3 CLIPS	55
2.7.4 Smalltalk	57
2.8 Shells para desarrollar S.E	57

2.8.1 Humble	58
2.8.2 EMYCIN	58
2.8.3 Gold Works II	58
2.9 Tareas que realizan los Sistemas Expertos	59
<i>Monitoreo</i>	59
<i>Control</i>	59
<i>Diagnóstico</i>	60
<i>Interpretación y Análisis</i>	60
2.10 Ejemplos de S.E en diferentes áreas	60
2.13 Conclusiones del Capítulo	61
Capítulo 3: Implementación de la Solución.....	62
Introducción:	62
Justificación de la metodología de desarrollo seleccionada	62
Justificación de la Forma de Representación del Conocimiento elegida	63
Fundamentación de la Metodología escogida para desarrollar la Ontología	63
Fundamentación de las Herramientas escogidas.....	65
Fase I: Identificación de la Tarea	67
3.1 Etapa I.1. Plan de requisitos y adquisición de conocimientos	67
3.1.1 Planteamiento del problema.....	67
3.1.2 Objetivos.....	67
3.1.3 Alcance	68
3.1.4 Participantes	68
3.1.5 Requisitos funcionales del Sistema.....	68
3.1.6 Diagrama de Casos de Uso del Sistema	70
3.2 Etapa I.2. Evaluación y selección de la tarea.....	71
3.2.1 Estudio de Viabilidad	71
3.2.2 Justificación del análisis de viabilidad	73

<i>Justificación de la Dimensión de Plausibilidad</i>	73
<i>Justificación de la Dimensión de Justificación</i>	75
<i>Justificación de la Dimensión de Adecuación</i>	76
<i>Justificación de la Dimensión de Éxito</i>	78
<i>3.3 Etapa I.3. Definición de las Características del Sistema</i>	80
FASE II: Desarrollo de los prototipos de demostración, investigación, campo y operacional	81
3.4.1 Etapa II.1 Concepción de la solución	81
3.4.2 Etapa II.2 Adquisición y Conceptualización de los conocimientos.....	81
<i>Formas de adquisición del conocimiento representado</i>	81
<i>Modelar los conocimientos</i>	82
<i>3.5.1 Implementación de la Base de Conocimiento</i>	82
<i>3.6 Archivos que se generan y cómo se utilizan</i>	87
<i>3.7 Etapa II.4 Implementación</i>	88
<i>3.7.1 Implementación del razonador en CLIPS</i>	88
<i>3.8 Implementación de la Interfaz de Usuario</i>	89
3.9 Conclusiones del Capítulo	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
Apéndice A: Aspectos Teóricos sobre Ontologías.....	98
Apéndice B: Diseño Conceptual de la Ontología.....	103
Apéndice C: Encuestas Aplicadas.	111
Apéndice D: Test de Viabilidad.....	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los yacimientos según su explotación industrial.....	21
Tabla 2. Tabla de las condiciones mínimas aproximadas para yacimientos ferrosos. (Smirnov, 82).....	22
Tabla 3. Clasificación de los yacimientos según su potencia.....	25
Tabla 4. Definición del Actor del Sistema	70
Tabla 5. Clase Yacimiento Metálicos con los tipos de datos de sus Slots	87
Tabla 8. Definición de Intervalos Difusos correspondientes a cada valor lingüístico .	117
Tabla 9. Definición de Intervalos binarios correspondientes a cada valor lingüístico.	117
Tabla 10. Estudio cualitativo de las características de cada	121
Tabla 11. Estudio cuantitativo para la dimensión de Plausibilidad.	122
Tabla 12. Estudio cuantitativo para la dimensión de Justificación.....	122
Tabla 13. Estudio cuantitativo para la dimensión de Adecuación.	122
Tabla 14. Estudio cuantitativo para la dimensión de Éxito.	123
Tabla 15. Cálculo final de la Viabilidad.....	123

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura básica de un sistema experto.	42
Figura 2. Diagrama de Casos de Uso del Sistema.....	70
Figura 3. Diagrama de Clases de la Ontología.....	85
Figura 4. Clase Palas_inversas con sus Slots.....	86
Figura 4. Primera interfaz del Sistema.	90
Figura 5. Forma para caracterizar el Yacimiento a explotar.....	91
Figura 6. Forma para seleccionar los tipos de palas.....	91
Figura 7. Forma para calcular productividad.	92
Figura 8. Jerarquía de Clases de la ontología.....	103
Figura 10. Clase Yacimiento Metálico con sus Slots.....	104
Figura 11. Clase Máquinas de Excavación-Carga con sus Slots.....	104
Figura 12. Clase Excavadora_una_cuchara con sus Slots.	105
Figura 13. Clase Palas con sus Slots.....	105
Figura 14. Clase Dragalinas con sus Slots.....	106
Figura 15. Clase Excavadora de greifer con sus Slots.....	106
Figura 16. Clase Excavadoras_Muchas_Cucharas con sus Slots.	107
Figura 17. Clase Excavadora_Rotor con sus Slots.	107
Figura 18. Clase Excavadora_Cadena con sus Slots.	108
Figura 19. Clase Excavadora de cucharones recogedores con sus Slots.	109
Figura 20. Clase Palas directas con sus Slots.	109
Figura 21. Clase Palas eléctricas con sus Slots.....	110
Figura 22. Clase Palas inversas con sus Slots.....	110
Figura 23. Funciones de pertenencia de los valores lingüísticos	118

Introducción

Como resultado del acelerado auge de la Informática y las Comunicaciones, las computadoras han conquistado un lugar significativo en el mundo. En estos momentos estas máquinas se ven aplicadas en las más disímiles tareas.

Nuestro país también se encuentra inmerso en el proceso de transformación computacional y se trabaja por llevar el adelanto por computadoras a cada esfera social, económica, política, educacional, de la salud y científica.

La minería no se encuentra exenta de esta revolución informática, por tal razón ha ella también han sido extendidos los principios automatizados y se le da significativa importancia a la rama del níquel, por ser uno de los principales fondos exportables de Cuba. Debido a su importancia se trabaja duro en la automatización de los procesos como consecuencia de la necesidad de perfeccionar cada día los medios y mecanismos de explotación en aras de incrementar la productividad.

Las industrias mineras del territorio nororiental de Moa (provincia Holguín, Cuba), se destacan en todo el país por su rendimiento en la explotación niquelífera, actualmente los volúmenes de producción son considerables gracias a la introducción de métodos efectivos de explotación y de modernas maquinarias y equipamiento técnico. Sin embargo no escapan a la necesidad de beneficiarse con la automatización de sus procesos buscando una mayor eficacia y calidad tanto en sus servicios como en la producción.

La empresa “Ernesto Che Guevara”, es una de las plantas procesadoras de níquel de nuestro territorio que se destaca en la explotación minero-metalúrgica. En este momento en ella se desarrolla un proceso de automatización de sus actividades con el objetivo de perfeccionar su rendimiento y la productividad minera.

Una de las actividades más importantes que se realiza a nivel mundial, y en esta industria para la obtención del mineral es la excavación minera. Este proceso es efectuado por las máquinas de excavación – carga, las cuales se encargan de arrancar el mineral y transportarlo hacia la escombrera o los medios de transporte.

El empleo de estas máquinas viene antecedido por un proceso de selección que es realizado por un grupo de expertos que se reúnen y miden un conjunto de parámetros de selección. Sin embargo este proceso no es realizado de la forma más eficiente, debido a que se efectúa a través del método manual lo que trae consigo los siguientes inconvenientes:

- ❖ Conflicto en la toma de decisiones para seleccionar las máquinas de excavación-carga.
- ❖ Retraso en la obtención de resultados que se solicitan de forma inmediata.
- ❖ Introducción de errores de cálculo no intencionados que atentan contra la fiabilidad de los datos.
- ❖ Implica un mayor esfuerzo de las personas.
- ❖ Gran consumo de tiempo en la realización del proceso selectivo.

Teniendo en cuenta los elementos que fundamentan la situación problemática a la cual hemos hecho referencia y las necesidades imperantes en el país de informatizar las industrias, con el fin de mejorar la calidad de la producción, se formuló el siguiente **Problema Científico:** *la inexistencia de una herramienta que seleccione la máquina excavadora más adecuada y que calcule los parámetros de trabajo de estas máquinas para cada proceso de excavación minero en la industria del níquel Ernesto Che Guevara.*

Por lo antes referido tomamos como **Objeto de Investigación:** *los procesos de excavación mineros* y el **Campo de Acción:** *el proceso de selección de las máquinas de excavación-carga.*

Para darle solución al problema existente se planteo el siguiente **Objetivo:** *Desarrollar e Implementar un prototipo de Sistema Experto para automatizar la selección de las máquinas de excavación-carga y el cálculo de los parámetros de trabajo de estas en la empresa Cdte. Ernesto Che Guevara* y como **Objetivos específicos:**

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

4. Implementación del Prototipo de sistema experto para seleccionar máquinas de excavación – carga.

El presente trabajo de investigación se sustenta en **la Idea a Defender** siguiente: *el desarrollo de un sistema informático que sea capaz de seleccionar las máquinas excavadoras idóneas para cada proceso de excavación concreto y que calcule los parámetros de trabajo de estas permitirá realizar el proceso selectivo de dichas máquinas con mayor celeridad y precisión.*

Para resolver los objetivos planteados se proponen las siguientes **Tareas**:

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre:
 - 1.1 La minería y los procesos de excavación.
 - 1.2 Los sistemas expertos.
2. Definir conceptos importantes en el dominio del problema y sus relaciones:
 - 2.1 Entrevistar, y encuestar a los expertos en minas.
 - 2.2 Revisar bibliografías relacionadas con el tema (libros, folletos).
 - 2.3 Encontrar conceptos que representen el conocimiento adquirido.
 - 2.4 Explicar las relaciones entre los conceptos definidos.
3. Representar formalmente los conocimientos adquiridos:
 - 3.1 Estudiar las formas de representación del conocimiento.
 - 3.2 Designar estructuras para organizar el conocimiento.
 - 3.3 Diseño conceptual de la ontología.
4. Implementar la solución propuesta:
 - 4.1 Estudiar sobre los lenguajes y las metodologías para desarrollar sistemas expertos.
 - 4.2 Seleccionar de la herramienta para implementar el sistema.
 - 4.3 Conformar la base de conocimientos.

4.4 Implementar la interfaz de usuario.

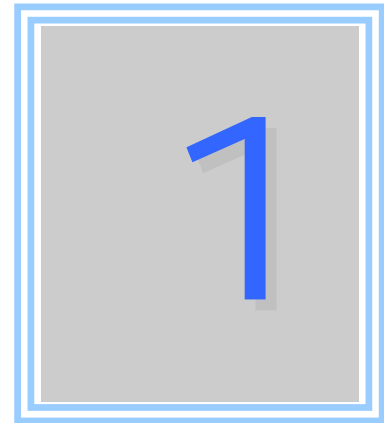
El presente trabajo consta de introducción, 3 capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos:

En el **Capítulo 1** se presenta información relacionada con la minería y las máquinas excavadoras, su clasificación, los tipos que existen, los criterios de selección para emplear un grupo u otro. Además se hace un análisis sobre la aplicación de las TIC's en la industria minera, así como algunas aplicaciones que han sido desarrolladas para esta rama económica.

En el **Capítulo 2** se realiza un estudio referente a los Sistemas Expertos, su definición, sus rasgos, su estructura básica, las metodologías que existen para su desarrollo. Además se explica sobre las ventajas y facilidades que proporciona su uso.

En el **Capítulo 3** se expone el diseño del prototipo de Sistema Experto para seleccionar máquinas de excavación – carga, así como los detalles sobre los procesos de implementación de dicho sistema, las herramientas seleccionadas, la metodología seguida y cada una de las fases que componen la misma.

Para finalizar se muestran las Conclusiones a las que se arribaron, las Recomendaciones que se proponen, la bibliografía consultada y los apéndices con información necesaria sobre el trabajo de diploma.



Capítulo 1: Fundamentos Teóricos.

Introducción

Este capítulo tratará sobre aspectos importantes de la industria minera, su estado actual, sus características, así como el empleo de las Máquinas de Excavación-Carga en la misma, las características de estas y los factores que influyen en su correcta selección, entre otros aspectos.

1. Aspectos sobre Minería

La vida humana no es posible sin la actividad productiva del hombre, es decir, sin el trabajo. Para vivir se necesitan bienes materiales que garanticen la existencia: alimentos, vestidos, abrigos, etc. El hombre los produce con su trabajo, y utiliza instrumentos que son elaborados con materiales que provee la propia naturaleza. La obtención y elaboración de gran cantidad de estos materiales constituyen el contenido de la industria minera.

La minería es la actividad industrial básica dedicada a la obtención de recursos para el abastecimiento de la población. Esta constituye una de las principales actividades económicas y su desarrollo está ligado a través de nuestra historia con todos los aspectos de la vida social, política, religiosa, cultural y económica, desde la época preincaica hasta nuestros días.

No podríamos imaginar el actual desarrollo tecnológico, sin contemplar y mencionar a la minería, que contribuyó a que nuestra especie evolucionara y darse a sí misma importantes avances en la ciencia, tecnología, medicina, etc.

Hoy podemos valernos de ordenadores, teléfonos, fluido eléctrico, vestimenta, tratamientos médicos, agroquímicos, industriales y miles de aplicaciones más, en donde los recursos minerales constituyen una herramienta indispensable para ello.

1.1 Importancia de la industria minera

Es evidente que la humanidad no puede prescindir de los recursos minerales y está claramente probado que esa actividad se intensificará en el futuro. La minería es importante, entre otras razones por lo siguiente:

<http://www.wikipedia.com/actividadeseconomicas.htm>

Por ser una de las principales fuentes de obtención de riquezas - La industria minera representa una de las principales fuentes de ingresos monetarios de todo el mundo y es uno de los principales renglones económicos.

Por ser una fuente ocupacional de gran importancia.- Brinda ocupación a un gran número de habitantes del planeta. La industria minera es una importante fuente de empleo fundamentalmente en los lugares en que se ubican las industrias.

Porque estas actividades contribuyen al desarrollo regional.- La explotación minera conlleva a la instalación de numerosas obras complementarias, entre las que se cuentan: centrales hidroeléctricas; redes de caminos carreteros y ferrocarrileros; viviendas modernas, dotadas de todos sus servicios; centros educativos de los diferentes niveles; servicios hospitalarios, etc., que, en conjunto, promueven el desarrollo regional.

Porque la actividad minera promueve el desarrollo de otras actividades económicas.- Como el transporte, el comercio, la agricultura, la ganadería, la reforestación, la artesanía, los servicios de comunicación y recreación, así como otras obras complementarias, entre las que podemos considerar a las plantas concentradoras, las fundiciones y las refinerías de metales y crudos, etc.

Por estas, entre otras razones, la minería ha jugado un rol trascendental en el desarrollo mundial ya que, a diferencia de cualquier otro sector económico es un gran agente descentralizador y de desarrollo internacional.

1.2 Descripción de las actividades fundamentales de la minería

En la minería se desarrollan una serie de actividades llamadas: labores de preparación minera. Estas están encaminadas a establecer las condiciones necesarias, para que la extracción y el transporte del mineral se efectúen con la mayor calidad y lo más eficiente posible. Las actividades fundamentales de preparación minera según el orden en que se realizan son las siguientes: **(Belete et al, 02)**

- 1. Desbroce:** esta actividad consiste en la eliminación de la capa vegetal y paralelamente se realiza la conformación del terreno permitiendo la entrada de los equipos de arranque – carga.
- 2. Destape:** consiste en extraer y trasladar la capa superior de mineral (escombro) que por su bajo contenido de níquel y cobalto, no resulta conveniente procesarlo. Se deben realizar con antelación a los trabajos de arranque.
- 3. Construcción de Caminos:** Los caminos mineros son utilizados para trasladar las excavadoras hasta los frentes planificados, traslado del escombro hasta las escombreras y para el traslado del mineral hasta la planta metalúrgica por medio de camiones.

4. Montaje de líneas eléctricas: para llevar la energía hasta los frentes de trabajo, por ello es necesario instalar líneas eléctricas de gran seguridad. El montaje de estas líneas hay que realizarlo de manera que no obstaculicen el movimiento de las excavadoras, ni se encuentren dentro del radio de trabajo de las mismas.

5. Trabajos de drenaje: están en dependencia de las condiciones hidrogeológicas del yacimiento. Si estas son muy difíciles, es necesario realizar una serie de trabajos de drenaje para reducir la humedad del mineral e impedir pérdidas por el fondo.

6. Extracción y transporte del mineral: esta es la actividad más importante que se realiza; pues garantiza el proceso industrial, los contenidos y volúmenes necesarios para obtener el producto final, esto se realiza por medio de diferentes frentes de minería que van dando toneladas y contenidos de Ni, Fe, y Co mediante mezclas.

7. Rehabilitación minera: esta actividad se realiza de acuerdo al proyecto de rehabilitación minera que existe en la mina, el mismo consta de todas las partes necesarias para la realización eficaz de estos trabajos.

Las máquinas excavadoras juegan su papel primordial en la extracción y el transporte del mineral. El proceso de selección de estas se efectúa inmediatamente que se conocen las características del yacimiento mineral que se va a explotar, es decir la profundidad a la que se encuentra, el espesor de la capa, el tamaño que posee esa reserva, las condiciones climáticas que presenta la región en donde se ubica el mismo entre otras, antes de realizar las actividades que se explicaron anteriormente.

1.3 Empleo de las TICs en la Minería

Resulta habitual desarrollar cualquier tarea o actividad apoyadas sobre la base de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones. En este uso la industria minera no es ajena.

Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), son el compendio de tecnologías que permiten la adquisición, elaboración, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de informaciones contenidas en sonidos, imágenes o datos alfanuméricos. **(Reyes, 07)**

Las nuevas tecnologías y la innovación son fundamentales en el desarrollo y futuro de la minería, ya que es prácticamente imposible mantener la competitividad sin incorporar de manera innovadora las tecnologías emergentes, y una forma concreta de hacerlo es a través de proyectos TIC, ya sea para conservar los actuales niveles de servicio, mejorarlos, o intentar provocar cambios más radicales en el rendimiento de la empresa.

Se debe considerar que la industria de las TICs es altamente dinámica en la aparición de nuevas tecnologías y servicios, que van abriendo oportunidades y dejando obsoletas tecnologías y servicios considerados maduros hasta entonces. Y se debe tener en cuenta la constante demanda de los usuarios por satisfacer nuevas y cada vez más exigentes necesidades de información, de comunicaciones y de control de procesos.

Las empresas mineras se encuentran altamente actualizadas en términos de TIC. Estas ocupan en forma competitiva las soluciones de punta disponibles a nivel mundial. La industria minera se ha expandido enormemente durante los últimos años, la evolución de las aplicaciones para geología y minería han alcanzado el nivel en el cual las empresas mineras cosecharan grandes avances, mediante la integración de aplicaciones usadas en cada área de sus operaciones.

La minería está incorporando la automatización y la robótica en sus procesos productivos, debido a que no tiene otra alternativa para seguir siendo profesional. No se puede pensar en la minería actual sin las tecnologías que están presentes en todas las otras actividades económicas; así que deberemos acostumbrarnos a ver cada vez más procesos mineros con mayor automatización acompañada por sistemas automáticos.

En el año 2007 se celebró en Chile, el XV Simposio de Ingeniería en Minas donde se mostraron los siguientes resultados: **(Reyes, 07)**

- Se calcula que en la industria minera se consume un 16% en hardware, un 9% en servicios, el 53% del consumo es en telecomunicaciones, y el 22% en software.
- En cuestión de ingresos se emplean aproximadamente \$ 625 millones de dólares en software y servicios.
- Las TICs en minería disfruta de un uso principal en operaciones de software y mejora paulatinamente hacia un enfoque más indispensable.
- La minería invierte el 0,8% de sus ingresos en TICs.

De esta forma las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), brindan servicios evidentes a la minería como son: integraciones de sistemas computacionales, y la automatización de oficinas, servicios de procesamiento de datos etc.

1.4 Evolución de las TICs en Minería

El empleo de las TICs en la minería no ha sido un proceso de la actualidad, el uso de estas técnicas ha ido evolucionando con el de cursar de la historia. Por ejemplo:

- En 1960 eran empleadas para realizar estimaciones de tonelaje.
- En 1970, se realizó el modelamiento numérico de bloques en 3D.
- En 1980, se produjo el modelamiento geométrico y visualización en 3D.
- En 1989, se emplearon en el diseño de minas, la optimización, la planificación y el manejo de flotas.

Actualmente se realiza la integración de la información capturada desde varias partes de la organización, conectando las distintas perspectivas de los trabajadores, sus habilidades e ideas para tomar mejores decisiones acerca del negocio, lo que tiene un enorme valor.

1.5 Importancia de las TICs para la Minería

Sin dudas el desarrollo económico de la industria minera recibe un impacto de las TICs de forma muy significativa; **(Reyes, 07)** este se ve reflejado en el incremento de la producción y el rendimiento, además de que se produce una reducción en los costos.

La tecnología en la automatización y control de procesos ha sido utilizada exitosamente en proyectos mineros, contribuyendo entre otros al control de procesos de producción y aumento de la seguridad de los mismos.

Como resultado de la robótica han surgido los Robots, los que se encuentran programados para llevar a cabo diversas tareas. Estos han alcanzado un significativo auge en la participación en trabajos mineros, muestra de ello son las siguientes aplicaciones:

- ◆ Robots para inspección de ductos, cavernas, derrumbes, chimeneas, etc.
- ◆ Martillos Rompe roca.
- ◆ Perforación con sistema GPS de alta precisión, a cielo abierto.
- ◆ Software para la evaluación de reservas, diseño y planificación minera. determinación de flota de equipos, evaluación económica, etc.
- ◆ Control de producción en tiempo real.
- ◆ Sistemas de Control Experto en planta concentradora.

- ◆ Plantas de procesamiento y concentración de minerales.
- ◆ Mecanización en la Carga y descarga de máquinas.
- ◆ Camiones autónomos fuera de carretera a cielo abierto.
- ◆ Control de signos vitales de los equipos mineros compatibles con sistemas de despacho.

El empleo de los robots ha reportado una enorme contribución para la industria minera, lo que se ve reflejado en la continuidad en la producción, en condiciones ambientales más favorables para los trabajadores, en la reducción de los riesgos

laborales, en la reducción de los costos de mantención, en el aumento de la productividad de la mano de obra, en la optimización de los desplazamientos de los vehículos y, en el mejor control de la producción.

1.6 Algunos softwares desarrollados para la industria minera

Uno de los resultados más exitosos de la aplicación de las TICs a la minería, ha sido el desarrollo de softwares encaminados a favorecer el desarrollo de este elemental sector, brindando múltiples soluciones a problemas reales que presenta dicha industria.

Algunos ejemplos significativos de estos son: ***El mercado de los softwares mineros [en línea] ,2009.***

Monitor Foreman

Se encarga del monitoreo y despacho de todos los equipos en tiempo real desplegados en forma gráfica; resumen de estadísticas de tiempo, producción y productividad en tiempo real; edición de registros de eventos mineros recientes; reportes de desempeño de la actividad minera reciente; editor para la configuración de los parámetros de despacho.

MineVision

Despliega en forma gráfica y en tiempo real, todos los equipos mineros sobre un mapa a escala de la mina y a su vez visualiza el desplazamiento de los camiones en sus respectivas rutas de acarreo según posiciones de GPS.

Surpac

Surpac Minex Group tiene una serie de soluciones computacionales para el trabajo geológico minero, entre las cuales se puede mencionar que tiene aplicación en el área geológica minera, específicamente en: Exploración geológica; Estimación de reservas; Diseño en minería open pit y subterránea; Planificación minera; Modelamiento de relaves; Levantamiento topográfico.

Surfer

Programa muy empleado para la construcción de Modelos Digitales del Terreno y representaciones topográficas. También tiene aplicación en los Mapas topográficos y en el cálculo de volúmenes de tierras: correspondientes a la situación del terreno original y tras la excavación. ***Surfer Version 8 [en línea], 2009.***

Sistema de alta precisión para máquinas excavadoras y cargadoras frontales

El Sistema de excavadoras GPS de Alta Precisión se ha elaborado para mejorar el control en la calidad de extracción de los equipos de carga y el nivel de los pisos en los distintos frentes de trabajo, todo ello con el fin de minimizar la contaminación por cargas inadecuadas. El sistema utiliza GPS de alta precisión para la ubicación de los equipos e información de los softwares de planificación, entregando dicha información en tiempo real en las consolas de gráficos a bordo de los equipos, mostrándoles los bloques precisos que están extrayendo. Lo que permite que los operadores verifiquen que el material que se esté excavando sea el apropiado en todo momento, inclusive durante las noches o en condiciones climáticas adversas.

El mercado de los softwares mineros [en línea] ,2009.

1.6.1 TIC's en Cuba.

Cuba, con un proyecto de desarrollo que tiene como pilares la justicia social, la participación popular, la equidad y la solidaridad, ha diseñado e iniciado la aplicación de estrategias que permiten convertir los conocimientos y las tecnologías de la información y las comunicaciones en instrumentos a disposición del avance y las profundas transformaciones revolucionarias.

Actualmente se sigue perfeccionando el trabajo y ampliando el radio de acción de las nuevas tecnologías en beneficio de todas las personas. Se habla y planifican metas ambiciosas que están a la altura de los países del primer mundo y que ya hoy no estamos muy lejos de poderlas alcanzar, ejemplo de ello es la Industria Cubana del Software, que con la participación de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) y otras empresas productoras de software del país se están dando grandes pasos.

Cuando nos referimos a la informatización de la sociedad cubana, estamos hablando de la aplicación ordenada y masiva de tales tecnologías en todos los sectores, mediante su uso racional y adecuado en aras de lograr una mejor eficacia y eficiencia y, por ende, mayor generación de riquezas y el aumento de la calidad de vida de nuestros ciudadanos.

Por supuesto que dentro de esa enorme revolución Informática se encuentra insertada la industria minera, la que se beneficia con la aplicación de estas técnicas, las que le han proporcionado softwares para inspeccionar procesos, la introducción de un enorme número de computadoras que permiten un mejor control de las actividades, herramientas que permiten verificar, por ejemplo la calidad del níquel, y chequear constantemente los procesos industriales en las plantas metalúrgicas, la comunicación en red que hace la gestión de la información muy eficiente, la creación de entidades que se dedican al desarrollo de aplicaciones para la minería etc.

1.7 Desarrollo de la industria Minera en Cuba

El desarrollo de la minería en Cuba se remonta a la época de los aborígenes los que conocían algunos minerales, y los utilizaban de forma mínima. Cuando los españoles colonizaron Cuba, la actividad minera se centró en la búsqueda de oro, pero de forma muy limitada. En la época neocolonial fue que la industria minera cobró auge con la explotación de cobre, cromo. Los norteamericanos comenzaron la explotación de los recursos lateríticos ubicados fundamentalmente en la región Oriental del país. **(Vladimirrovich y Arioza, 86)**

Con el triunfo de la revolución a la industria minera se le otorgó mayor importancia, y poco a poco fue alcanzando desarrollo, y en la actualidad constituye uno de los más importantes renglones económicos del país.

Actualmente el desarrollo minero en Cuba es significativo. Existen minas con un alto nivel de mecanización, con máquinas excavadoras, perforadoras, así como camiones modernizados que permiten elevar el nivel de extracción. **(Belete et al, 02)**

Esta novedosa técnica se ve creada en las industrias mineras, ubicadas en el noreste de la provincia de Holguín, Cuba en las empresas niquelíferas “Pedro Soto Alba”, “Rene Ramos Latour” y “Ernesto Che Guevara”, siendo esta última la muy destaca en esta rama.

En estos últimos años se ha estado avanzando, tratando de introducir los últimos adelantos de la Ciencia y la Técnica en esta fábrica, y se han obtenido grandes resultados, sin embargo todavía quedan procesos de mucha importancia y mucho peso para la actividad minera que requieren automatizarse.

En esta planta el arranque del mineral, la carga y transportación, incluyendo el ascenso a la superficie, constituyen importantes elementos del proceso de producción minera, sin embargo la elección del equipamiento de excavación – carga se realiza por el método manual, lo que trae consigo dificultades a al desarrollo productivo minero.

1.7.1 Las Máquinas de Excavación – Carga en la producción minera

Las máquinas de excavación-carga son maquinarias esenciales para la industria minera a nivel mundial, y tienen una gran significación para la empresa Ernesto Che Guevara.

Las mismas están destinadas para la excavación de rocas, previamente fragmentadas en el caso de las rocas ligadas y sin fragmentación previa en el caso de las rocas blandas o las rocas sueltas, su traslado a una distancia, relativamente corta y su carga a los medios de transporte o su deposición en las escombreras.

Los representantes más característicos de las máquinas de excavación – carga son las excavadoras que se emplean en los trabajos a cielo abierto.

Las excavadoras se clasifican atendiendo a distintos índices tales como el número de cucharas, la energía que utilizan, el equipo de marcha, por el tipo de equipo de trabajo, por su destino y la naturaleza del trabajo que realizan, por la capacidad de la cuchara.

Esta investigación tratará la clasificación de las excavadoras atendiendo solo al número de cucharas. De acuerdo a esta clasificación las mismas se dividen en dos grandes grupos:

- ◆ Excavadoras de una Cuchara.
- ◆ Excavadoras de Muchas Cucharas.

1.7.2 Características de las Excavadoras de una Cuchara

Según **(Belete, 99)** Las excavadoras de una cuchara realizan la excavación en rocas blandas o previamente fragmentadas, depositándolas en otro lugar en un determinado período de tiempo, por lo que se denominan máquinas de acción periódica o cíclica.

De los dos tipos de excavadoras, las de una cuchara tienen una gran utilización por su universalidad. No siendo así las de varias cucharas por sus características, es decir tienen utilización limitada.

El proceso de trabajo de las excavadoras de una cuchara incluye el ciclo de trabajo y el movimiento de la excavadora.

El ciclo de trabajo se compone de las siguientes operaciones sucesivas:

- Excavar y llenar la cuchara (arranque - carga).
- Sacar la cuchara del frente.
- Girar la cuchara al lugar de descarga.
- Descarga de la cuchara en el medio de transporte o escombrera.
- Girar al frente.
- Bajar la cuchara al lugar de la siguiente operación a excavar.

Las excavadoras de una cuchara según su destino se dividen en los siguientes grupos:

1. De construcción universal; destinadas para la realización de movimiento de tierra y trabajos de carga y descarga en la construcción.
2. Excavadoras de cantera; destinadas para los trabajos en las canteras o minas a cielo abierto en la explotación de yacimientos minerales y carbón.

Las excavadoras de una cuchara de acuerdo con la forma de la cuchara se clasifican en:

❖ **Pala directa:**

Es una excavadora con la cuchara fijada al astil que excava la roca en dirección desde la excavadora. Se utilizan para el laboreo de cualquier tipo de terreno, en diferentes condiciones minero-técnicas, hidrogeológicas, y climáticas, dada su gran fiabilidad en el trabajo y maniobrabilidad. **(Otaño, 88)**

❖ **Dragalina:**

Es una excavadora de una cuchara con su órgano de arranque suspendido en la pluma a través de cables de suspensión, la extracción se realiza por debajo o por encima del nivel de estacionamiento de la máquina en dirección hacia la excavadora. Tiene la pluma más larga que las palas, lo que permite excavar el suelo desde una profundidad mayor, protege el piso del manto destapado, traslada la carga a una distancia mayor. **(Belete, 99)**

❖ **Pala inversa(Retroexcavadora):**

Es tipo de pala, se caracteriza por poseer la cuchara fijada al astil al lado de la máquina y excava la roca en dirección hacia la excavadora. Constituye una opción verdaderamente “simpática” dentro de este tipo de maquinaria. Lo que más la destaca de la primera es que en cambio de tener una sola pala cargadora, tiene dos. O sea: vista desde adelante parecería ser, a todas luces, una excavadora convencional; sin embargo, en la parte de atrás, tiene una pala mucho menor que se utiliza para trabajar con un mayor grado de detalle y precisión.

❖ Greifer (Jaiba):

Están destinadas para la excavación de zanjas, de embalses, así como para la carga de materiales arenosos y de pequeña granulometría.

Los dos primeros tipos son los más utilizados. Cada uno de estos tipos de excavadoras tienen sus disímiles modelos y cada uno se distingue por sus características técnicas.

Esta última clasificación atendiendo al número de cucharas es la que trataremos en el transcurso de esta investigación.

1.7.3 Características de las Excavadoras de Muchas Cucharas

Las excavadoras de muchas cucharas se emplean mucho en los trabajos de destape y de extracción, en la construcción y en la realización de diferentes tipos de trabajos especiales. **(Belete, 99)**

Las excavadoras de varias cucharas realizan ambas operaciones simultáneamente, por lo que se denominan máquinas de acción continua.

Las excavadoras de muchas cucharas se diferencian por los siguientes índices:

- Por su destino: de canteras, de construcción y especiales.
- Por el tipo de Órgano de trabajo: de cucharas, de cucharones recogedores, de rotor, de cucharones - fresadores y sin cucharones – fresadores.
- Por la productividad teórica máxima: pequeñas (hasta 630 m³/h), medianas (hasta 2500 m³/h), grandes (hasta 5000 m³/h), potentes (hasta 10 000 m³/h) y superpotentes (mayores de 10 000 m³/h).
- Por el método de ataque en el frente: de excavación superior, de excavación inferior y de excavación superior e inferior.
- Por el carácter del movimiento del órgano de trabajo: excavación longitudinal, en el cual la dirección del movimiento de trabajo (del rotor, cadena, cucharón) es perpendicular a la dirección de su desplazamiento, excavación radial, en el cual el órgano de trabajo (rotor, cadena con cucharas) junto con la composición superior, gira con respecto a la base de la máquina.

Las excavadoras de muchas cucharas de acuerdo al órgano de trabajo se clasifican en:

❖ **Excavadoras de rotor**

Las excavadoras de rotor son máquinas de auto-marcha de acción continua que excavan las rocas mullidas con cucharas fijadas en la rueda del rotor y destinadas para el laboreo simultáneo y transportación de rocas estériles o minerales útiles.

Las excavadoras de rotor se diferencian de las excavadoras de cadenas por la transportación de la roca, que después de arrancada por las cucharas del rotor, se transportan por un transportador de banda situado en la pluma.

❖ **Excavadoras de cadena**

Las excavadoras de muchas cucharas de cadena, extraen la roca minera con las cucharas. Al desplazarse, las cucharas se llenan de rocas mineras y las transportan por el canal de recepción, donde estas a través de un equipo de carga ingresan a un equipo de transporte.

❖ **Excavadoras de cucharones recogedores**

Las excavadoras de cucharones recogedores se utilizan para el laboreo de rocas blandas y carbón, también en rocas débiles con excavación superior en banco con potencia de hasta 45 m. Tienen utilización en la extracción de carbón en Alemania y en los trabajos de destape y nivelación en los EE.UU. En Cuba no tienen utilización **(Belete, 99)**.

Esta clasificación será la que utilizaremos en el transcurso de la investigación.

1.8 Descripción del proceso de selección de las máquinas excavadoras

Uno de los factores básicos que influyen sustancialmente sobre el efecto económico de la extracción de los minerales a cielo abierto, es la elección del equipamiento

básico de excavación más adecuado, el cual esta condicionado por las particularidades del yacimiento que se va a explotar. Estas características son:

- ❖ Tipo de yacimiento.
- ❖ Profundidad de yacencia del yacimiento con relación a la superficie.
- ❖ Angulo de buzamiento del cuerpo.
- ❖ Potencia del cuerpo.
- ❖ Condiciones climáticas de la zona donde se sitúa el yacimiento.
- ❖ Plazo de vida útil del yacimiento.

El estudio y la valoración detallada de estos indicadores son realizados por un conjunto de expertos para poder realizar una correcta selección del equipamiento de excavación-carga para la explotación que se va a realizar. A continuación será descrito como es efectuado el proceso selectivo.

❖ **Tipo de yacimiento:**

Cuando se va a escoger el equipamiento de excavación-carga para realizar la extracción de un yacimiento mineral lo inmediato que se necesita es conocer el tipo de reserva que se va explotar, nos referimos a los minerales que contiene (níquel, hierro, cobre, etc.). Los yacimientos minerales según la explotación industrial se clasifican en: **(Smirnov, 82)**

Nombre
Yacimientos Metálicos
Yacimientos no Metálicos
Yacimientos de rocas organógenas
Yacimientos de hidrominerales

Tabla 1. Clasificación de los yacimientos según su explotación industrial. De estas cuatro clasificaciones la que mundialmente se explota es la de los yacimientos metálicos, debido a que son los que comúnmente más encontramos.

Los elementos metálicos se subdividen en los siguientes grupos: **(Ariosa, 77)**

- Grupo de los metales ferrosos y de las aleaciones.

- Grupo de los metales no ferrosos.
- Grupo de los metales ligeros.
- Grupo de los metales ligeros.
- Grupo de los metales preciosos.
- Grupo de los metales radioactivos.

Esta clasificación es elemental, puesto que para cada grupo se han estimado los límites de tamaño, para poder establecer cuando una reserva es grande y cuando es pequeña, y en dependencia de las dimensiones que esta posea será el equipamiento que se indique emplear.

Metales	Reservas mínimas(T)	Reservas grandes(T)
Ferrosos	Cientos-Miles	Miles de Millones
No Ferrosos	Miles-Decenas de Miles	Decenas de Millones
Raros	Decenas-Cientos	Cientos de miles
Radioactivos	Decenas-Cientos	Cientos de miles
Nobles	kilogramos	Decenas de Miles

Tabla 2. Tabla de las condiciones mínimas aproximadas para yacimientos ferrosos. (Smirnov, 82)

De estos grupos los que vamos a utilizar en esta investigación son los de metales ferrosos, no ferrosos y metales nobles.

Cuando el tamaño de la reserva sea grande se sugiere emplear las excavadoras de muchas cucharas, debido a que las mismas tienen una productividad más elevada que las excavadoras de una cuchara, ya que poseen un número mayor de cucharas, lo que permite que el arranque del mineral sea mucho más rápido.

Si las dimensiones del yacimiento son pequeñas se va a proponer el uso de las excavadoras de una cuchara, porque sería muy costoso adquirir una excavadora de

muchas cucharas para arrancar un yacimiento pequeño, además se terminaría el trabajo en un período relativamente corto y después la máquina estaría parada sin ningún tipo de empleo porque para trasladarla de un lugar a otro se necesita mucha energía.

❖ **Plazo de vida útil del yacimiento:**

El plazo de vida útil de un yacimiento es el tiempo que se estima que se puede explotar el mismo en dependencia de sus dimensiones. **(Otaño, 88)**

Si el plazo de vida útil de una reserva es de pocos años, es decir hasta 5 años es recomendable el uso de excavadoras de una cuchara, porque es más factible comprarlas ya que son menos costosas, aparte de que van terminar el proceso de arranque del mineral en el plazo de vida que se estimó.

Sin embargo si se emplearán las excavadoras muchas cucharas, el proceso de inversión sería muy elevado, además terminarían la explotación del yacimiento antes de lo previsto, y el resto del tiempo estaría inutilizable.

El uso de las excavadoras de muchas cucharas es apropiado para yacimientos con un plazo de servicio grande, es decir de 5 años en adelante.

❖ **Profundidad de yacencia:**

La profundidad de yacencia de los cuerpos minerales es muy significativa para escoger el método de explotación y sus medios técnicos.

La profundidad máxima de la mina no debe sobrepasar de 500 a 1000 m de acuerdo con el tipo de mineral útil. **(Vladimirovich y Arioza, 86)**

En dependencia de cómo sea la profundidad a la que se ubique el depósito mineral de la superficie será el tipo de máquina de extracción que se use.

Profundidad de yacencia del cuerpo con relación a la superficie:

- **Superficiales:** Ubicados directamente en la superficie o cubierto por aluviones con potencias hasta 20 –30 metros.

- **Profundos:** Las rocas de recubrimiento varían desde 30 hasta 250 metros y más
- **Elevados:** Ubicados en una elevación
- **Elevados y profundos:** Ubicados por encima y por debajo del nivel predominante de la superficie terrestre. **(Otaño y Cuesta, 01)**

Si el yacimiento es superficial resulta más beneficioso el uso de las excavadoras de una cuchara, puesto que sería irracional adquirir un aparato tan costoso como una excavadora de muchas cucharas para remover un yacimiento que esta relativamente a pocos metros, cuando las máquinas de una cuchara pueden realizar el proceso y el precio de ellas es muchísimo más bajo.

Cuando el yacimiento se identifique por ser profundo se propone el empleo de las excavadoras de muchas cucharas, porque en ese caso sí es viable la inversión.

Además por la razón de que estas máquinas son más productivas, lo que influye en el tiempo de culminación de las excavaciones mineras, si se sirvieran de las máquinas de una cuchara el tiempo de culminación sería superior ya que estos artefactos tienen una capacidad de la cuchara más pequeña.

❖ **Potencia:**

Otra medida que es elemental considerar para elegir el equipamiento apropiado es la potencia del cuerpo mineral.

La potencia del yacimiento mineral es el ancho del cuerpo mineral, medido perpendicularmente a su eje. La autenticidad y la precisión de su valor promedio determinada en gran porte la exactitud del cálculo de la reservas del mineral útil dentro del área que se estudia.

Por la potencia del cuerpo los yacimientos se clasifican en: **(Borisov *et al*, 86)**

Denominación	Potencia(m)
Muy delgado	Menos de 0,6
Delgados	0,6-2,0
Potencia mediana	2,0-5,0
Potentes	5,0-20,0
Muy potente	Más de 20,0

Tabla 3. Clasificación de los yacimientos según su potencia

Resulta más conveniente el uso de las excavadoras de una cuchara para extraer yacimientos muy delgados o yacimientos delgados, puesto que sería irracional comprar una maquinaria tan costosa como las excavadoras de muchas cucharas para extraer un yacimiento de poco espesor, cuando las máquinas de una cuchara también realizan el proceso y cuestan muchísimo menos.

La explotación de yacimientos potentes o muy potentes es favorable realizarlo con excavadoras de muchas cucharas.

❖ **Angulo de buzamiento:**

El ángulo de buzamiento de un yacimiento mineral interviene en el proceso selectivo de las máquinas excavadoras, de forma directa, puesto que en dependencia de la clasificación que posea el yacimiento a tendiendo a dicho ángulo será el equipamiento de excavación-carga que se indique emplear.

Según este ángulo los yacimientos se clasifican en: **(Otaño y Blanco, 88)**

- Yacimientos Horizontales, con ángulo hasta 3 grados.
- Yacimientos Suaves, con ángulo hasta 18 grados.
- Yacimientos Inclinaados, con ángulo desde 19 hasta 35 grados.

- Yacimientos Muy inclinados, con ángulo desde 36 hasta 55 grados.
- Yacimientos Abruptos, con ángulo mayor de 56 grados.

En los depósitos horizontales se puede trabajar con cualquier tipo de máquina excavadora, porque las condiciones de trabajo son favorables para el movimiento de la máquina y el proceso de arranque y carga.

❖ **Condiciones climáticas:**

Las condiciones climáticas del lugar en que se encuentre enclavado el cuerpo mineral es otro de los factores a tener en cuenta en la elección, puesto que si las condiciones climáticas son favorables es decir, es un lugar donde llueve poco, no existe mucha humedad, se pueden emplear cualquiera de los grupos de máquinas de excavación- carga. **(Belete et al, 02)**

Sin embargo cuando las condiciones climáticas son desfavorables, ya que llueve mucho, existe mucha humedad, y agua, las excavadoras de una cuchara son las más indicadas para ser empleadas en el proceso productivo, por su gran maniobrabilidad. Si se emplearan excavadoras de muchas cucharas en malas condiciones climáticas estas no podrían avanzar por las malas condiciones del terreno, así como porque se adheriría el mineral en las cucharas y habría que estar deteniendo el proceso de arranque para limpiar las cucharas de la excavadora.

El estudio detallado de estos parámetros es determinante para la correcta elección del equipamiento de excavación –carga para realizar los procesos de excavación.

El proceso selectivo será realizado estudiando todos los parámetros en conjunto. En el caso de que todos los concuerden con que se emplee un grupo, ese será el grupo que finalmente se indique emplear.

Si se plantea la situación, en que algunos parámetros indiquen un grupo y otros propongan el empleo del otro grupo, es necesario establecer un nivel de prioridad entre los indicadores, donde el primero a evaluarse va a ser las condiciones climáticas.

Si estas condiciones son favorables, queda abierta la posibilidad de emplear cualquiera de los dos grupos de máquinas excavadoras, en esta situación recurriremos a otro parámetro que será la el tamaño de la reserva: en este caso no existe la posibilidad de que se empleen cualquiera de los dos grupos, porque si el tamaño de la reserva es grande se van a emplear las excavadoras de muchas cucharas y si la reserva es pequeña se indicará que se empleen las excavadoras de una cuchara, es por ello que el grupo que indique este parámetro si se dan las situaciones anteriores es el que definitivamente se va a emplear.

1.9 Selección del tipo de excavadora.

Una vez seleccionado un grupo determinado es preciso definir cual de los tipos de máquinas que dicho grupo contiene es la que se va a manipular. Para ello también existen indicadores que son categóricos.

Para seleccionar el tipo de máquina excavadora en el caso que pertenezca a las excavadoras de una cuchara se tiene en cuenta la forma de efectuar la explotación del yacimiento.

Para realizar la explotación de un yacimiento mineral existen diversos métodos de explotación pero nosotros el que vamos a emplear es el método de explotación para yacimientos lateríticos porque ese es el tipo de yacimiento que explota la Che Guevara.

Este método a su vez se divide en: método de explotación por bancos y el método de explotación de las áreas de influencia.

Si el método de explotación que se va a emplear es por Bancos el tipo de máquina excavadora que se aconseja emplear es la Pala.

Pero a su vez las palas se dividen en varios tipos de los cuales nosotros solo vamos a utilizar las palas directas y palas inversas (retroexcavadora). En este caso para elegir cual tipo se debe emplear como parámetro de selección el modo de arranque

del frente. Si el modo de arranque del frente es inferior se recomienda el uso de Palas directas y si es superior se aconsejan las Retroexcavadoras.

En el caso de que el método de explotación que se vaya a emplear sea el de las áreas de influencia se indican las Dragalinas, por el radio de acción que estas tienen, además porque pueden excavar a grandes profundidades.

En el grupo de las excavadoras de muchas cucharas solo se va a trabajar con las excavadoras de rotor, porque aunque existen otros tipos, son las que se utilizan universalmente ya que los demás tipos han quedado arcaicos. Es por ello que para este tipo no necesitaremos ningún indicador de selección.

1.10 Cálculos de Productividad de las Excavadoras

La productividad de los equipos de excavación es uno de los índices técnico-económicos básicos de los trabajos mineros a cielo abierto (**Belete, 99**). A partir del cálculo de la productividad, según el tipo de excavadora que ha sido seleccionada, es el modelo de dicho tipo, que se va seleccionar, debido a que es necesario conocer cual es el modelo más productivo y conveniente para emplear en la explotación.

Existen varios tipos de productividad:

- Teórica.
- Técnica.
- De explotación.

Productividad Teórica: es la cantidad de producción (en tonelada o metro cúbico) que puede ser explotada en una unidad de tiempo (horas) en un trabajo continuo.

Productividad Técnica: es la máxima producción para la excavadora dada en un trabajo continuo en una unidad de tiempo.

Productividad De Explotación: volumen real de masa minera que arranca la excavadora en un periodo.

Como primer paso es necesario calcular la productividad Teórica, puesto que de ella depende el cálculo de la productividad Técnica, y a su vez se necesita la productividad Técnica para calcular la productividad de Explotación.

Una vez calculada la productividad de explotación se compara y se escoge cual es el mejor modelo, según las condiciones dadas.

El sistema se encargará también de calcular los parámetros de trabajo principales del tipo de máquina seleccionada. (Se puede encontrar estos cálculos en (**Belete, 99**)).

1.11 Propuesta de solución

Como hemos visto el proceso de selección es de mucha importancia y mucho peso para la industria minera sin embargo no es ejecutado de la forma más eficiente, debido a que se efectúa a través del método manual lo que trae consigo los siguientes inconvenientes:

- Conflicto en la toma de decisiones para seleccionar las máquinas de excavación – carga:

El proceso de selección como dijimos con anterioridad, es efectuado por un conjunto de expertos, que entre todos determinan cual es la máquina más adecuada, para ello cada uno emite su criterio según sus conocimientos privados, su opinión particular y la experiencia acumulada por los años de trabajo interactuando con problemas de este tipo. Sin embargo esto favorece a que en muchos casos no todos los expertos coincidan con la elección, y por tanto es necesario llegar a un consenso para resolver la situación.

- Retraso en la obtención de resultados que se solicitan de forma inmediata:

El tipo de máquina que se va a emplear en los procesos de excavación – carga es una información que se necesita con urgencia cuando se va a extraer un determinado recurso mineral, sin embargo en muchas ocasiones esta información se envía de forma retrasada, debido a que es necesario realizar un

estudio detallado de los parámetros de selección, de las condiciones del yacimiento y realizar algunos cálculos, lo que le dificulta el trabajo a los mineros y por tanto la obtención de los resultados se torna tardía cuando estos resultados se necesitan de forma inmediata.

- Introducciones de errores de cálculo no intencionados:

Para elegir un modelo de máquina es necesario calcular la productividad de la misma, ese cálculo se realiza de forma manual, lo que propicia que se cometan errores de cálculo no intencionados pero que en ocasiones conducen a que se seleccione un modelo cuando en realidad es otro. La misma situación se da en el cálculo de los demás parámetros de trabajo que se calculan una vez definido el tipo de máquina a emplear.

- Implica un mayor esfuerzo de las personas:

Los procesos o tareas que se realizan de forma manual implican un mayor esfuerzo físico de las personas que lo realizan, por lo que este tipo de trabajo se torna engorroso y agotador.

- Gran consumo de tiempo en la realización del proceso de selección:

Como ya hemos visto para seleccionar la máquina más adecuada se estudian muchos indicadores, y como el proceso es efectuado por el método manual se consume mucho tiempo.

Todas estas dificultades han traído consigo la necesidad de aplicar las tecnologías de la información y las comunicaciones para resolver esta problemática, debido a las facilidades que brindan estas de poder automatizar y controlar procesos de forma eficiente y más cómoda para el usuario.

Después de realizar una minuciosa revisión bibliográfica no se encontró ningún sistema que realice el proceso de selección de las máquinas de excavación –carga, ni sobre alguno que este en desarrollo.

Es por ello que decidimos proponer como solución del problema planteado la implementación de un **Sistema Experto (S.E)**, teniendo en cuenta sus características:

- Permiten explicar sus razonamientos y como llegaron a determinadas conclusiones.

Esta característica se hace adecuada para nuestro problema porque en el área de selección de las máquinas de excavación-carga los expertos que existen son de una edad avanzada por lo que se hace necesario comenzar a entrenar personal nuevo en este campo de trabajo, y por tanto el S.E nos va a permitir realizar esta labor, explicándoles a estos novatos como se llegó a esas respuestas.

- Pueden acumular y codificar el conocimiento tanto público como privado que posee uno o varios expertos para la solución de problemas concretos.

Como ya hemos explicado para realizar el proceso selectivo es necesario contar con un conjunto de expertos, en este caso esta propiedad de estos sistemas se nos resulta cómoda porque vamos a poder reunir todo el conocimiento privado de esas personas y el conocimiento que se encuentra formalizado en los libros en un solo sistema.

- Resuelven problemas que requieren años de entrenamiento a los humanos.

El problema que vamos a solucionar es resuelto por expertos, los que poseen años de experiencia en esta área, por tanto con un S.E podremos resolver en pocos minutos algo que ha requerido mucho tiempo en aprender a esas personas.

1.12 Sistemas Expertos para Minería

Estas facilidades que brindan este tipo de sistema han sido aprovechadas en muchas ramas, como la medicina, la industria, la aeronáutica y la contabilidad y finanzas, para las cuales se han desarrollado Sistemas Expertos que han tenido mucho éxito por las facilidades y comodidades que brindan en la solución de los problemas. Asimismo para la minería también se han desarrollado este tipo de Sistemas Basado en el Conocimiento, que han aportado grandes resultados en la tarea que realizan, ejemplo de ello son **(Bello, 05)**:

Dipmeter Advisor

Desarrollado para la evaluación de la calidad en la perforación de pozos petroleros, la cual ha alcanzado la suma de 21.5 millones de dólares, la ganancia por su aplicación para la firma Schlumberger es alrededor de 200 millones de dólares anuales.

Prospector

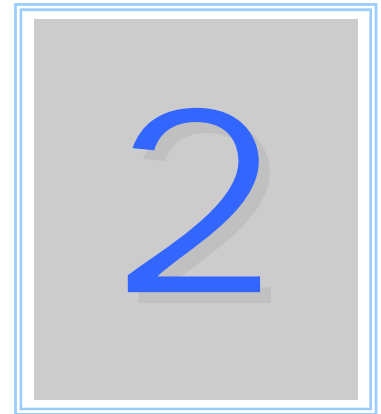
Se ocupa de la prospección y evaluación de yacimientos de minerales, particularmente cobre y uranio. Utiliza la inferencia probabilística. Este sistema experto descubrió un depósito de molibdeno, cerca del Monte Tolman, en Eastern Washington, que ha sido evaluado en cien millones de dólares.

1.13 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo se describieron detalles importantes sobre las máquinas de excavación –carga, los parámetros que son tenidos en cuenta para su correcta

selección, así como aspectos relacionados con la minería y el empleo de las TIC's en la misma.

El próximo capítulo estará dedicado al estudio detallado de los Sistemas Expertos por haber sido propuesto como solución del problema.



Capítulo 2: Sistemas Expertos

Introducción

Para resolver la problemática que se planteó en el capítulo anterior vamos a desarrollar un Sistema Experto, dadas las características de este tipo de aplicación, que lo hacen apropiado para solucionar el problema que se está abordando.

Los Sistemas Expertos constituyen la aplicación más difundida de los Sistemas Basados en el Conocimiento. Comenzaron a difundirse como una herramienta de software utilizable en dominios de aplicación restringidos, tales como diagnóstico médico, detección de yacimientos minerales, entre otros. En este capítulo describiremos sus rasgos distintivos, sus aplicaciones, la forma en que están estructurados, los tipos que existen, las herramientas que se utilizan para su desarrollo, entre otros aspectos.

2. ¿Qué son los Sistemas Expertos (S.E.) ?

Los expertos son individuos que solucionan determinados tipos de problemas (**Bello, 05**). Su pericia procede, habitualmente, de una enorme experiencia y de un conocimiento minucioso, especializado de los problemas que manipulan. Se pueden

mencionar como ejemplos los médicos especialistas, intérpretes de datos de satélite, etc.

El conocimiento de un experto humano presenta dos aspectos:

- **Conocimiento formal o público:** este se basa en las leyes conocidas de la naturaleza, y en procedimientos formales de razonamiento. Este conocimiento se encuentra incluido en los libros de texto relativos al tema, habitualmente, y, puede ser transferido a otras personas con relativa facilidad.
- **Conocimiento informal o privado:** es aquel según la opinión o el criterio personal del experto. Constituye la parte más importante del conocimiento de los expertos. Se cree que el mejor experto es el que tiene un conjunto más rico de este tipo de conocimiento.

La experticidad o destreza es, el conocimiento tanto público como privado que existe en determinado campo y las habilidades conocidas para resolver problemas dentro de ese campo. El conocimiento privado es el que diferencia a un experto de un novato, pues este último sólo posee conocimiento público sobre dicho campo.

El concepto de Sistema Experto (S.E.) fue introducido como consecuencia de la experiencia del proyecto DENDRAL. El surgimiento de estos sistemas está directamente vinculado al cambio de concepción ocurrido a fines de la década del 60, pues de los intentos de emular el pensamiento humano mediante potentes métodos de razonamiento se pasó a dar mayor énfasis a los sistemas de razonamiento de propósito específico. (Bello, 05)

Los Sistemas Expertos (SE) constituyen uno de los éxitos comerciales más importantes de la Inteligencia Artificial. Una definición de este tipo de aplicación es la siguiente:

“Los sistemas expertos son programas de computadoras diseñados para resolver problemas que son solucionados por expertos humanos en una rama del conocimiento específica, mediante esquemas propios del cerebro humano tales como la memorización, razonamiento, y aprendizaje automático, para ayudar a un usuario en la toma de decisiones.” (Fuentes, 03)

Sería ilógico pensar que solo existe una definición de Sistemas Expertos, ya que tanto los SE como la propia Inteligencia Artificial han ido evolucionando a través de los años.

Estos sistemas reúnen el conocimiento de una o varias personas experimentadas. Solucionan problemas de forma inteligente y son capaces de explicar y justificar sus respuestas.

El mecanismo que proporciona este comportamiento inteligente está establecido en el uso de los conocimientos. Un experto humano o un programa de computación es más inteligente mientras mayor cantidad de conocimiento posea y emplee. La razón por la que los S.E. pueden alcanzar un comportamiento similar al de los expertos humanos es, precisamente, que usan el conocimiento informal o privado para resolver problemas.

Su finalidad y principal actividad no es copiar los procesos mentales humanos en la manera más fiel, sino lograr las mejores respuestas a preguntas de datos reales.

2.2 Componentes de un Sistema Experto

Un S.E se encuentra estructurado por los componentes básicos siguientes: **(Bello, 05)**

2.2.1 Base de Conocimiento

La base de conocimiento de un S.E almacena todo el conocimiento, es decir la información, datos, reglas, casos y relaciones importantes que utiliza el SE. 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.

La base de conocimiento de un SE contiene el conocimiento público del problema, es decir el que se encuentra formalizado en los libros de texto, y el conocimiento privado de los expertos, es decir el conocimiento que estos han ido adquiriendo a través de los años por la interacción con este tipo de problema.

Formas de representación del conocimiento (F.R.C)

El conocimiento incluido en la base de conocimiento de un S.E debe ser estructurado o representado para poder ser manipulado más tarde. La representación los conocimientos que conformaran la B.C es un esquema o dispositivo utilizado para capturar los elementos esenciales del dominio de un problema. De la misma forma que no existe ningún lenguaje de programación universal, tampoco se ha encontrado un lenguaje ideal para poder representar el conocimiento formalmente.

Existen diversos formalismos que permiten representar fácilmente mecanismos de razonamiento puramente lógicos; otros, sin embargo, se adaptan mejor a una representación por analogía.

A continuación se explican en detalle algunos ejemplos de representación: **Sistemas Expertos, [en línea] 2008.**

- **Reglas de producción:** Es una representación formal de una relación, una información semántica o una acción condicional. Una regla de producción tiene, generalmente, la siguiente forma: SI Premisa ENTONCES Consecuencia. Ofrecen una gran facilidad para la creación y la modificación de la base de conocimiento. Los hechos y las reglas asociadas de la base de conocimiento normalmente no son exactos; es decir se tiene incertidumbre sobre el grado de certeza de algunos hechos y también sobre el campo de validez de algunas de las reglas. Para el manejo de la incertidumbre en los sistemas de reglas se han utilizado varios sistemas; los tres más conocidos son los Factores de Certeza, la lógica de Dempster Shafer, y la Lógica Difusa (Fuzzy Logic).
- **Lógica proposicional:** Es similar a las reglas de producción. Su diferencia principal con éstas es que separa los elementos que componen la base de conocimiento de aquellos que controlan la operación del sistema.
- **Redes semánticas:** 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.
- **Marcos (Frames):** Consiste en asociar propiedades a los nodos que representan los conceptos u objetos. Las propiedades son descritas en términos de atributos y los valores asociados.

- **Guiones (Scripts):** los guiones tiene información estereotipada. Pueden predecir acontecimientos que no se observan explícitamente. Proporcionan una organización del orden de los acontecimientos. Se utiliza para la generación de bloques.
- **Objetos:** La diferencia con los marcos reside en que, en un entorno de programación orientada a objetos, éstos pueden actuar como entidades independientes. De esta forma, el control del sistema se consigue mediante el envío de mensajes del sistema a los objetos y entre ellos mismos.
- **Ontología:**

Según la definición de **(Gruber, 93)**, una ontología constituye " una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida".

El significado de esta definición es que las Ontologías definen conceptos y relaciones presentes en algún dominio de una forma consensuada y accesible, a la vez que esta descripción se hace de manera formal para que pueda ser procesada por un ordenador.

En el **apéndice A** se pueden ver más aspectos teóricos relacionados con Ontología.

Adquisición del conocimiento

El conocimiento necesario para el desarrollo de un sistema experto, y el que se va a incluir en la BC 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.

Debido a la importancia de la adquisición del conocimiento en los S.E. se han desarrollado un conjunto de técnicas para ello, proporcionándole el nombre de Ingeniera del Conocimiento.

La Ingeniería del Conocimiento surge como consecuencia de la necesidad de establecer principios metodológicos y científicos que permitan desarrollar Sistemas de Información Basados en el Conocimiento a partir de los fundamentos de la Informática

en general y de la Inteligencia Computacional en particular. En este aspecto puede verse como la especialización de Ingeniería de Software en su aplicación al desarrollo de Sistemas Inteligentes.

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, 05)**

2.2.2 Motor de Inferencia

Según **Sistemas Expertos, [en línea] 2008**, el motor de inferencia, también llamado intérprete de reglas, es un módulo que se encarga de las operaciones de búsqueda y selección de las reglas a utilizar en el proceso de razonamiento. Frente a una situación dada, detecta los conocimientos que interesan, los utiliza, los encadena y construye un esquema de resolución independientemente del dominio y especificidad del problema.

El propósito general de un motor de inferencias es buscar información y relaciones en la base de conocimientos, y proporcionar respuestas, pronósticos y sugerencias en la misma forma en que lo haría un experto humano. En otras palabras, el motor de inferencias es el que proporciona el consejo experto.

Modos de razonamiento

En el desarrollo del sistema es necesario idear el mecanismo de inferencia que refleje lo más fielmente posible cómo piensa o actúa el experto. Existen cinco modos de razonamiento que a continuación se explican:

- **Encadenamiento hacia adelante:** El motor de inferencia parte de los hechos para llegar a los resultados, esto es, selecciona las reglas que verifiquen las condiciones de la parte izquierda (premisas).
- **Encadenamiento hacia atrás:** En este caso el motor de inferencia parte de los resultados y trata de volver a los hechos para comprobar si encajan con el problema planteado.
- **Encadenamiento mixto:** Este modo ofrece varias posibilidades que resultan de combinar el encadenamiento hacia adelante y hacia atrás 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.

2.2.3 Base de Hechos

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. **Sistemas Expertos, [en línea] 2008.**

2.2.4 Interfaz de Usuario

Todo sistema dispone de una interfaz de usuario, que gobierna el diálogo entre el sistema y el usuario. Para el desarrollo de estas interfaces algunas herramientas de desarrollo incorporan generadores de interfaz de usuario o bien se utilizan herramientas de desarrollo de interfaces gráficas existentes en el mercado.

Otros módulos que forman parte de un S.E son los siguientes: **Sistemas Expertos, [en línea] 2008.**

Módulo de comunicaciones

En la actualidad la mayoría de los sistemas basados en el conocimiento no viven aislados sino que interactúan con otros sistemas por lo que son capaces de interactuar no solamente con el experto sino con estos sistemas, para poder recoger información o consultar bases de datos.

Módulo de explicaciones

Es una utilidad importante en la etapa de desarrollo ya que aporta una ayuda considerable al ingeniero del conocimiento para refinar el funcionamiento del motor de inferencia, y al experto a la hora de construir y verificar la coherencia de la base de conocimiento. Sirve para explicar al usuario tanto las reglas usadas como el conocimiento aplicado en la resolución de un determinado problema.

Módulo de adquisición de conocimiento

Este módulo permite al ingeniero del conocimiento, y/o experto, la construcción de la base de conocimiento de una forma sencilla, así como disponer de una herramienta de ayuda para actualizar la base de conocimiento cuando sea necesario.

Si bien estos módulos no existen en todos los sistemas expertos, la función que desempeñan es muy interesante en el desarrollo de estos sistemas. Así, el motor de

inferencia y las interfaces, que incluyen la interfaz de usuario, el módulo de explicaciones y el módulo de adquisición del conocimiento, forman el esqueleto o sistema esencial, y que, separadas de las bases de conocimiento y de hechos, constituyen una herramienta *software* para el desarrollo de los sistemas basados en el conocimiento (*shells*).

En su artículo “Sistemas Expertos” (**Sánchez, 08**) define la siguiente arquitectura de un Sistema Experto:

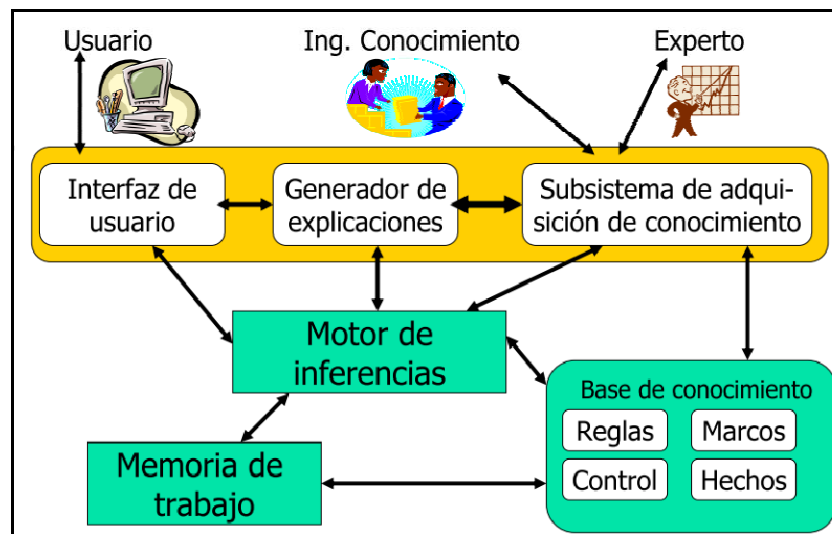


Figura 1. Estructura básica de un sistema experto.

2.3 Caracterización de los Sistemas Expertos

Los Sistemas Expertos son un tipo de modelo computacional con características especiales por las razones que se describen a continuación.

2.3.1 Rasgos de un S.E

A pesar de que existen muchas implementaciones de S.E., hay rasgos comunes que los distinguen: (**Bello, 05**)

- ❖ 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:** En el diagnóstico los médicos no aceptarán los resultados sino están convencidos del razonamiento que se hizo.
- **Adquirir nuevos conocimientos y modificar los antiguos:** Una manera de plasmar el conocimiento en un programa es a través de la interacción con el experto humano. Otra forma es que el programa aprenda el comportamiento del experto a partir de los datos en bruto.

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 como 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.

2.3.2 Comparación entre los S.E. y los programas convencionales

Los programas convencionales pueden ser divididos en: el algoritmo, el cual contiene todo el conocimiento y los datos a los que se le aplica dicho algoritmo. La arquitectura típica de los S.E. es diferente. Ellos están constituidos por el Shell y la B.C.

Los sistemas expertos tienen la ventaja frente a los programas habitualmente conocidos, de proporcionar gran flexibilidad a la hora de incorporar nuevos conocimientos. Para ello solo tenemos que introducir la nueva regla que deseemos hacer constar a está, sin necesidad de cambiar el funcionamiento propio del programa. Los sistemas expertos son "auto explicativo", al contrario que en los programas convencionales, en los que el conocimiento como tal está encriptado junto al propio programa en forma de lenguaje de ordenador. Esta flexibilidad de los S.E. proporciona una mayor eficiencia en la programación y la comprensibilidad y precisamente, los distingue como un modelo computacional nuevo.

Mientras los programas convencionales son usados para llevar a cabo una determinada secuencia fija de instrucciones, sin tener "en mente" el fin o la meta de su actividad, los S.E. tienen "en mente" la obtención de ese fin. Los S.E. contienen "hechos" y "medios" de utilización de sus hechos para alcanzar los fines. Además la destreza para aprender nuevos conocimientos a partir de la experiencia puede ser implementada en forma natural y efectiva por los S.E.

Los sistemas clásicos no dan explicaciones, los datos solo se escriben o se usan, mientras que los S.E. cuentan con un modulo para ofrecer explicaciones a los usuarios de cómo arribaron a un determinado resultado o conclusión. Los sistemas convencionales para operar necesitan poseer la información completa, en cambio los sistemas expertos tienen la ventaja que pueden trabajar con conocimiento incompleto.

Los S.E. representan y trabajan con conocimiento, sin embargo los programas clásicos operan con datos.

2.4 ¿Por qué desarrollar Sistemas Expertos?

Hay varias razones para utilizar sistemas expertos, pero las más importantes son: **(Castillo et al, 97)**

1. Con la ayuda de un sistema experto, personal con poca experiencia puede resolver problemas que requieren un conocimiento de experto. Esto es también importante en casos en los que hay pocos expertos humanos. Además, el número de personas con acceso al conocimiento aumenta con el uso de sistemas expertos.
2. El conocimiento de varios expertos humanos puede combinarse, lo que da lugar a sistemas expertos más fiables, ya que se obtiene un sistema experto que combina la sabiduría colectiva de varios expertos humanos en lugar de la de uno solo.
3. Los sistemas expertos pueden responder a preguntas y resolver problemas mucho más rápidamente que un experto humano. Por ello, los sistemas son muy valiosos en casos en los que el tiempo de respuesta es crítico.
4. En algunos casos, la complejidad del problema impide al experto humano resolverlo. En otros casos la solución de los expertos humanos no es fiable. Debido a la capacidad de los ordenadores de procesar un elevadísimo número de operaciones complejas de forma rápida y aproximada, los sistemas expertos suministran respuestas rápidas y fiables en situaciones en las que los expertos humanos no pueden.
5. Los sistemas expertos pueden ser utilizados para realizar operaciones monótonas, aburridas e incómodas para los humanos. En verdad, los sistemas expertos pueden ser la única solución viable en una situación en la que la tarea a realizar desborda al ser humano (por ejemplo, un avión o una cápsula espacial dirigida por un sistema experto).
6. Se pueden obtener enormes ahorros mediante el uso de sistemas expertos.

El uso de los sistemas expertos se recomienda especialmente en las situaciones siguientes:

- Cuando el conocimiento es difícil de adquirir o se basa en reglas que solo pueden ser aprendidas de la experiencia.
- Cuando la mejora continua del conocimiento es esencial y/o cuando el problema está sujeto a reglas o códigos cambiantes.
- Cuando los expertos humanos son caros o difíciles de encontrar.
- Cuando el conocimiento de los usuarios sobre el tema es limitado.

2.5 Ventajas del uso de S.E

- 1) Permanencia: los S. E. no olvidan
- 2) Reproducción: se pueden hacer muchas copias de un S. E.
- 3) Eficiencia: puede mejorar el rendimiento y distribuir costos entre varios usuarios.
- 4) Consistencia: situaciones similares, se manejan de la misma manera en diferentes oportunidades.
- 5) Documentación: un S.E. puede proveer permanentemente documentación acerca de su proceso de decisión.
- 6) Oportunidad: la información está disponible a tiempo para la toma de decisiones.
- 7) Amplitud: el conocimiento de múltiples expertos puede ser combinado para obtener un sistema más amplio.
- 8) Compleitud: un S.E. puede revisar todas sus transacciones, una persona sólo una muestra.
- 9) Fácil acceso y disponibilidad de conocimiento experto.
- 10) Respuestas no subjetivas.

11) Resolución de problemas complejos que no tengan una solución específica y adecuada. (DE LA FUENTE,06)

2.6 Metodologías para el desarrollo de un Sistema Experto

Las metodologías de prototipación son herramientas esenciales usadas por el Ingeniero en conocimiento, ya que dan pautas de como desarrollar un Sistema Experto y permiten detectar problemas para corregirlos a tiempo, evitando así el arrastre de los mismos.

A continuación vamos a ejemplificar algunas de las metodologías y los métodos más importantes que han sido desarrolladas para el tratamiento de estos sistemas.

2.6.1 Método de Buchanan

Este método puede esquematizarse en seis etapas:

<http://www.fortunecity.com/sisexpertos.htm>

Etapas 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 cuales son las funciones o tareas más idóneas para ser realizadas por el sistema experto.

Etapas 2: Delimitar el Sistema.

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

Etapas 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 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.

Etapas 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.

Etapas 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.

Etapas 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.

2.6.2 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, 83)

Etapas 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 mas importantes y los mas 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.

2.6.3 Metodología de Weiss y Kulikowski

Para el desarrollo de un sistema experto (**Weiss y Kulikowski, 84**) 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) deban 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.
- 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.

2.6.4 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, 96)**

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:

Etapla 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.

Etapla 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.

Etapla 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.

2.7 Lenguajes para desarrollar Sistemas Expertos

Para el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento se han venido utilizando tanto lenguajes de programación específicos de la inteligencia artificial (LISP y PROLOG) como de propósito general (C, PASCAL, etc.).

2.7.1 LISP

El lenguaje LISP es uno de los más utilizados desde los comienzos de la I.A. Se trata de uno de los lenguajes de alto nivel más antiguos. Es un lenguaje cuya principal estructura de datos son las listas, aún cuando se han ido incorporando otras estructuras más sofisticadas como pueden ser los objetos. Tiene como ventaja el manejo de sus estructuras a muy alto nivel lo que facilita la implementación rápida de los modelos y su facilidad de modificación. Como desventaja está su relativa lentitud frente a lenguajes de propósito general como C. La mayoría de las primeras

herramientas de desarrollo de sistemas basados en el conocimiento fueron escritas en LISP. (Hasemert y John, 89)

2.7.2 PROLOG

Es un lenguaje declarativo que, a partir de los datos introducidos deduce nuevos hechos y resuelve el problema automáticamente. PROLOG tiene incluido, por tanto, un motor de inferencia que se encarga de realizar búsquedas en su base de hechos. Programar con PROLOG, por tanto, consiste en insertar hechos sobre objetos y preguntar al sistema sobre sus relaciones. Este lenguaje, aún cuando se le reconocen sus bondades, no ha tenido una gran utilización (si se exceptúa Francia, Gran Bretaña y Japón con el proyecto de 5ª generación, en el que se adoptó como lenguaje de programación PROLOG) siendo su principal aplicación el manejo de bases de datos relacionales junto con lenguajes de bases de datos de 4ª generación asociados a éstas. (Walter et al, 06)

2.7.3 CLIPS

CLIPS es una herramienta que provee un ambiente de desarrollo para la producción y ejecución de sistemas expertos. Fue creado a partir de 1984, en el Lyndon B. Johnson Space Center de la NASA. Los fondos cesaron a principios de los años 1990, y hubo un mandato de la NASA para comprar software comercial.

CLIPS es un acrónimo de C Language Integrated Production System (Sistema de Producción Integrado en Lenguaje C). En la actualidad, entre los paradigmas de programación que soporta CLIPS se encuentran la Programación lógica, la Programación imperativa y la Programación Orientada a Objetos.

CLIPS probablemente es el sistema experto más ampliamente usado debido a que es rápido, eficiente y gratuito. Aunque ahora es de dominio público, aún es actualizado y mantenido por su autor original, Gary Riley. Se puede obtener la última información referente a CLIPS en la “ CLIPS home page ” cuya dirección es

<http://krakatoa/jsc/nasa/gov/~clips/CLIPS.htm>

Las características principales de CLIPS son:

- **Representación del Conocimiento:** CLIPS permite manejar una amplia variedad de conocimiento, soportando tres paradigmas de programación: el declarativo, el imperativo, y el orientado a objetos. La programación lógica basada en reglas permite que el conocimiento sea representado como reglas heurísticas que especifican las acciones a ser ejecutadas dada una situación. La POO permite modelar sistemas complejos como componentes modulares. La programación imperativa permite ejecutar algoritmos de la misma manera que en C, Java, LISP y otros lenguajes.
- **Portabilidad:** CLIPS fue escrito en C con el fin de hacerlo más portable y rápido, y ha sido instalado en diversos sistemas operativos (Windows 95/98/NT, MacOS X, Unix) sin ser necesario modificar su código fuente. CLIPS puede ser ejecutado en cualquier sistema con un compilador ANSI de C, o un compilador de C++. El código fuente de CLIPS puede ser modificado en caso que el usuario lo considere necesario, con el fin de agregar o quitar funcionalidades.
- **Integrabilidad:** CLIPS puede ser embebido en código imperativo, invocado como una subrutina, e integrado con lenguajes como C, Java, FORTRAN y otros. CLIPS incorpora un completo lenguaje orientado a objetos (COOL) para la elaboración de sistemas expertos. Aunque está escrito en C, su interfaz más próxima se parece a LISP. Pueden escribirse extensiones a CLIPS sobre C, y al contrario, CLIPS puede ser llamado desde C. CLIPS puede ser extendido por el usuario mediante el uso de protocolos definidos.
- **Desarrollo Interactivo:** La versión estándar de CLIPS provee un ambiente de desarrollo interactivo y basado en texto; este incluye herramientas para la depuración, ayuda en línea, y un editor integrado. Las interfaces de este ambiente tienen menús, editores y ventanas que han sido desarrollados para MacOS, Windows 95/98/NT, X Windows, entre otros.
- **Verificación/Validación:** CLIPS contiene funcionalidades que permiten verificar las reglas incluidas en el sistema experto que está siendo desarrollado, incluyendo diseño modular y particionamiento de la base de conocimientos del sistema, chequeo de restricciones estáticas y dinámicas para funciones y algunos tipos de datos, y análisis semántico de reglas para prevenir posibles inconsistencias.

- **Documentación:** En la página Web oficial de CLIPS se encuentra una extensa documentación que incluye un Manual de Referencia y una Guía del Usuario.
- **Bajo Costo:** CLIPS es un software de dominio público.

2.7.4 *Smalltalk*

Smalltalk fue el primer lenguaje de programación que fue diseñado para basarse exclusivamente en objetos. Fue originalmente inventado por Alan Kay en Xerox PARC en 1972, pero mucha gente le ha hecho importantes contribuciones al diseño del lenguaje. Este lenguaje se ha convertido en una opción muy popular en diversos campos como los videojuegos y la Inteligencia Artificial.

Virtualmente todo lo que existe en un sistema Smalltalk es una instancia de una clase particular de objeto y generalmente puede haber tantas instancias como se deseen. Esto significa que se pueden tener cualquier número de instancias de cualquier característica del sistema activas al mismo tiempo **(Tello, 91)**

2.8 *Shells para desarrollar S.E*

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 interprete) 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.

No existe ningún Shell para todas las aplicaciones. Los Shells permiten una manera racional y rápida para desarrollar el SE:

- Separa la base de conocimiento de los procedimientos que usan el conocimiento.

- La base de reglas y hechos deben cumplir cierto formalismo, para ser entendidos por el Shell.
- Los resultados son aceptables en el mismo dominio de aplicación.
- Disminuye el trabajo de programación.

A continuación se mencionan algunos de los principales Shells para diseñar SE:

2.8.1 Humble

Humble es un Shell orientado a objetos para SE escrito en Smalltalk que combina reglas con encadenamiento hacia delante y hacia atrás con representación de objetos, paso de mensajes y uso de objetos.

La característica principal de Humble es que las reglas operan sobre entidades. Las entidades son un importante tipo de objeto que tiene una representación específica. En las aplicaciones las entidades se categorizan en un número de tipos diferentes los cuáles son definidos por el desarrollador o por el Ingeniero de conocimientos.

(Sánchez y Beltrán , 90)

2.8.2 EMYCIN

EMYCIN es acrónimo de Empty MYCIN (MYCIN vacío); este Shell fue creado a partir de MYCIN, uno de los SE más exitosos en la época de los setentas. Se construyó con el fin de que fuera usado para otros fines, además del diagnóstico de enfermedades en la sangre (objetivo para el cual fue creado). Este Shell utiliza un lenguaje, llamado ARL, el cual es una notación de Algol y provee facilidades para monitorear el comportamiento de reglas. Sin embargo es difícil distinguir diferentes tipos de conocimiento por lo que el agregar una nueva regla también se vuelve un proceso complicado. (<http://www.fortunecity.com/skycraper/romrow/207/se/Portada.html>)

2.8.3 Gold Works II

Esta herramienta de programación creada por Gold Hill Computers Inc. se ejecuta bajo LISP y utiliza la metodología orientada a objetos. Este programa corre en computadoras IBM compatibles, Macintosh y estaciones de trabajo Sun.

Las características que realzan a este programa incluyen una herramienta dinámica de gráficos que permite la creación de imágenes activas así como también permite desarrollar interactivamente interfaces gráficas dinámicas sin tener que escribir ni una línea de código. Se integra fácilmente con C. **(Rich y Knight, 91)**

Existen otros Shell como: **ART, LOOPS, KEE, EMYCIN, KAS, ARIES** y el **CLIPS**, que además de ser un lenguaje de programación para S.E es un Shell.

2.9 Tareas que realizan los Sistemas Expertos

Según el tipo de problema a resolver, los ámbitos de aplicación en los que más se han utilizado los sistemas basados en el conocimiento son los siguientes: **Sistemas Expertos [en línea].2008**

Monitoreo

Esta es una de las más importantes aplicaciones de los S.E. Los mismos comparan observaciones para detectar situaciones esperadas. Implica el análisis continuo de señales y la puesta en marcha de acciones y/o alarmas según proceda.

Control

Los sistemas de control son complejos debido al número de funciones que deben manejar y el gran número de factores que deben considerar; esta complejidad creciente es otra de las razones que apuntan al uso del conocimiento, y por tanto de los SE. Los S.E se encargan de gobernar parcial o completamente el comportamiento de estos sistemas.

Instrucción

Un sistema de instrucción realizara un seguimiento del proceso de aprendizaje. El sistema detecta errores ya sea de una persona con conocimientos e identifica el

remedio adecuado, es decir, desarrolla un plan de enseñanza que facilita el proceso de aprendizaje y la corrección de errores.

Sistemas de ayuda a la toma de decisiones.

Se trata de sistemas que a partir de una problemática determinada sugieren la solución que consideran más idónea a partir del conocimiento incluido en el sistema. En la actualidad, en España se procede al desarrollo del Sistema de Información Normativo Aplicado al Control (SINAC) fruto de la colaboración entre la Intervención General de la Administración del Estado y la Dirección General de Informática Presupuestaria.

Diagnóstico.

Se trata de sistemas que a partir de unos "síntomas" determinan las causas que lo producen. Ejemplo de ellos son los sistemas basados en el conocimiento de diagnóstico de enfermedades o de averías.

Interpretación y Análisis.

Sirven para tratar grandes volúmenes de información, interpretarla, dar un informe explicativo y sugerir las acciones a tomar. Ejemplo de ellos pueden ser los sistemas de evaluación de resistencia de estructuras frente a terremotos o sistemas de supervisión de procesos industriales.

2.10 Ejemplos de S.E en diferentes áreas

Detallando las aplicaciones en ramas específicas del conocimiento, se han desarrollado un gran número de Sistemas Expertos que actúan en empresas, algunos simplemente en diseño teórico; otros, con aplicación real en el campo productivo de la organización.

❖ SPACEMED

Este es un Sistema Experto para asistencia en emergencias médicas que sucedan durante un vuelo espacial o abordaje de una estación espacial en órbita. La principal característica de este SE es una diagnóstico rápido en casos de envenenamiento, resultado de la inhalación de contaminantes tóxicos liberados en la cabina o en la nave

espacial. Este sistema provee indicaciones para el tratamiento de cualquier tipo particular de envenenamiento. **(Tello, 91)**

❖ **ETT**

Clasifica pacientes con problemas de arterias coronarias. Identifica varios factores que determinan los diagnósticos que emite como la edad, las condiciones actuales del paciente, su historial médico, entre otros factores. **(Kandel, 99)**

❖ **DENDRAL**

El objetivo de DENDRAL fue estudiar un compuesto químico. El descubrimiento de la estructura global de un compuesto exigía buscar en un árbol las posibilidades, y por esta razón su nombre es DENDRAL que significa en griego “árbol”.

2.13 Conclusiones del Capítulo

En este capítulo se analizaron aspectos importantes de los sistemas expertos, su estructura, sus aplicaciones, las metodologías y herramientas que existen para su desarrollo. En el próximo capítulo se va a explicar en detalles el diseño e implementación del sistema siguiendo cada una de las fases que componen la metodología seleccionada.



Capítulo 3: Implementación de la Solución

Introducción:

En este capítulo mostramos como se implementó el Prototipo de Sistema Experto para seleccionar Máquinas de Excavación-Carga, 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.

Justificación de la metodología de desarrollo seleccionada

Para desarrollar este sistema elegimos como metodología 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, 01)**

Justificación de la Forma de Representación del Conocimiento elegida

Se escogió como forma de representación del Conocimiento la Ontología ya que estas nos facilitan el estudio de entidades que existen o pueden existir en un dominio de interés.

Además estas permiten también:

- **Compartir entendimiento común de la estructura del conocimiento, entre personas:** La ontología pone a disposición de los expertos mineros, los términos y conceptos del dominio de excavación-carga, lo cual permitirá a estas personas extraer y agregar información según sus necesidades.
- **Permitir reutilizar el dominio de conocimiento:** Es posible que en otras áreas se necesite utilizar conocimiento del dominio de excavación-carga, si este conocimiento está constituido en una ontología podrá ser reutilizado por aquellos individuos que la necesiten sin necesidad de desarrollar una ontología propia.

Fundamentación de la Metodología escogida para desarrollar la Ontología

Para el desarrollo de la Ontología escogimos la Guía Metodológica propuesta por la Universidad de Stanford por ser una de las más recientes y modernas para

desarrollar ontologías, y dada su flexibilidad y la amplia documentación de que se dispone.

Esta guía está compuesta por siete fases:

Fase 1. Determinar el dominio y alcance de la ontología.

Definir el dominio y el alcance de la ontología, respondiendo preguntas como:

¿Cuál es el dominio que la ontología cubrirá? ¿Para qué se desarrolla la ontología?
¿Quién usará la ontología?, ¿Qué tipo de información proporcionará la ontología?

Fase 2. Considerar reutilizar ontologías existentes.

Chequear si es posible usar y extender fuentes de conocimientos ya existentes, que puedan ser de utilidad para el dominio del problema.

Fase 3. Enumerar términos importantes en la ontología.

Elaborar una lista de los términos proporcionados por el usuario, indicando propiedades de cada uno. El contenido de la lista debe ser preciso y carente de ambigüedades.

Fase 4. Definir clases y jerarquías de clases.

De la lista creada en el paso 3, seleccionar aquellos términos independientes para constituir las clases. A partir de éstas organizar la jerarquía.

Fase 5. Definir propiedades de las clases.

Describir la estructura interna de los conceptos, por lo general los términos que no fueron seleccionados en el paso 4 pasa a considerarse propiedades de las clases (comúnmente denominados slots).

Fase 6. Definir las características (facets) de los slots.

Definir los diferentes tipos de valores que describan a los slots, tales como, tipo de valor asociado, cardinalidad, valores permitidos (rangos), etc.

Fase 7. Crear Instancias

Crear instancias de las clases de la jerarquía, de la siguiente manera: Seleccionar una clase, crear una instancia, llenar los slots con los valores posibles.

Fundamentación de las Herramientas escogidas

Como herramienta para diseñar la Ontología se escogió el editor **Protégé**, por ser de los editores de Ontologías el que más éxito posee. (En el **apéndice A** se puede encontrar información sobre otros editores.) Podemos decir además que **Protégé** es un editor de ontologías y bases de conocimiento desarrollado por la división de informática médica de la Universidad de Stanford. La estructura de cualquier proyecto de Protégé está formada por clases, propiedades e instancias que se organizan jerárquicamente. Se puede encontrar más información de este editor en la siguiente dirección <http://www.stanford.edu/>

Protégé ofrece un entorno visual para definir de forma sencilla estos elementos de la ontología, facilitando el proceso de desarrollo y mantenimiento.

Protégé permite realizar las siguientes tareas:

- **Modelado de clases.** Protégé proporciona una interfaz gráfica para definir clases, atributos y relaciones.
- **Edición de instancias.** Protégé genera automáticamente formularios asociados a las clases para permitir que el ingeniero del conocimiento o el experto pueda introducir cómodamente instancias.

Como razonador de la Ontología y como Shell se seleccionó el CLIPS versión 6.24, debido a que esta herramienta posee características que se adecúan para nuestro problema, como son las siguientes:

- ❖ **Representación del conocimiento:** Esta característica nos permitió representar el conocimiento para conformar la base de conocimientos.
- ❖ **Portabilidad:** Como este software posee alta portabilidad nos permitió utilizarlo en el Sistema Operativo Windows Xp., pero de igual manera nos hubiese servido en otro sistema como LINUX.
- ❖ **Integridad/Extensibilidad:** Como la versión del CLIPS que utilizamos no tiene interfaz gráfica fue necesario invocar código CLIPS en Java para el desarrollo de la interfaz visual.
- ❖ **Completamente documentado:** posee una extensa documentación incluyendo un Manual de Referencias y una Guía de Usuario, que hemos podido utilizar para desarrollar el sistema.
- ❖ **Bajo costo:** En nuestro país se está trabajando para en un futuro no muy lejano, se realice una migración al software libre, es por ello que nosotros decidimos utilizar esta herramienta, ya que si se produce la migración que se espera, nuestra aplicación podrá correr sobre el Linux, debido a que está desarrollada en un software libre al igual que dicho sistema operativo.

Para desarrollar la Interfaz Visual se empleo como lenguaje de programación Java, y como herramienta de desarrollo el Eclipse versión 3.1.

Se escogió Java por la razón de que CLIPS posee interfaces con este lenguaje, además Protégé está implementado en Java, así como por las propiedades a las que hacemos referencia a continuación:

Java según **(Herbert, 01)** es:

Simple: Ofrece toda la funcionalidad de un lenguaje potente. Java se diseñó para ser parecido a C++ y así facilitar un rápido y fácil aprendizaje. Elimina muchas de las características de otros lenguajes para mantener reducidas las especificaciones del lenguaje y añadir características muy útiles como el reciclador de memoria dinámica.

Orientado a objetos: Con el objetivo de mantener la simplicidad del lenguaje. Java trabaja con sus datos como objetos y con interfaces a esos objetos. Soporta las

tres características propias del paradigma de la orientación a objetos: encapsulación, herencia y polimorfismo.

Robusto: Realiza verificaciones en busca de problemas tanto en tiempo de compilación como en tiempo de ejecución.

Seguro: El código Java pasa muchos tests antes de ejecutarse en una máquina.

Fases de la Metodología I.D.E.A.L

Fase I: Identificación de la Tarea

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

3.1.1 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 las Máquinas de Excavación – Carga teniendo en cuenta un conjunto de parámetros de selección, para determinar cual es la máquina más adecuada según las condiciones y características que posea la reserva mineral que se va explotar.

3.1.2 Objetivos

El Prototipo de S.E que se desarrolló tiene como propósito asistir al Ingeniero en Minas en la tarea de la correcta elección del equipamiento de excavación – carga, según las condiciones del yacimiento, para ser empleado en un proceso de explotación concreto, teniendo en cuenta el conjunto de indicadores de selección que mostramos seguidamente:

- Tipo de yacimiento.
- Tamaño de la reserva.
- Angulo de buzamiento.
- Condiciones climáticas.

- Plazo de vida útil del yacimiento.
- Potencia del yacimiento.
- Profundidad de yacencia del yacimiento.

3.1.3 Alcance

El sistema afrontará el proceso de selección de las máquinas de excavación-carga de la siguiente manera, primeramente seleccionará el grupo de máquinas a emplear, nos referimos al grupo de excavadoras de una cuchara o el de muchas cucharas. Una vez conocido el grupo, se procederá a seleccionar el tipo dentro del grupo escogido, para ello se van a estudiar parámetros al igual que en el paso anterior, y posteriormente se determinará el modelo más indicado, que será elegido a partir del cálculo de la productividad de el tipo de máquina seleccionada. El sistema además se va a encargar de calcular una serie de parámetros de trabajo de la máquina seleccionada, y será capaz también de responder al usuario preguntas como:

¿Por qué se seleccionó un determinado grupo de máquinas excavadoras?

¿Por qué se seleccionó un tipo determinado de máquinas excavadoras?

¿Por qué se eligió un determinado modelo de máquina?

3.1.4 Participantes

Expertos:

Inicialmente se seleccionaron los participantes, los cuales resultaron ser 9 expertos en Minas; de los cuales 6 son pertenecientes al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM) y 3 de la Emp. Ernesto Che Guevara.

3.1.5 Requisitos funcionales del Sistema

El sistema se encarga de:

R.1 Seleccionar un grupo de máquinas excavadoras.

- R.2 Justificar la selección del grupo de excavadoras escogido.
- R.3 Seleccionar un tipo de máquina excavadora.
- R.4 Justificar la selección del tipo de excavadoras escogido.
- R.5 Calcular la productividad del tipo de excavadora seleccionada.
- R.6 Seleccionar modelo de excavadora.
- R.7 Justificar la selección del modelo de excavadoras elegido.
- R.8 Calcular parámetros de trabajo principales de la máquina excavadora seleccionada:

Cálculos para las Palas:

- Calcular resistencia de la roca al corte.
- Calcular el esfuerzo y potencia del motor de elevación durante el corte.
- Calcular la potencia.
- Calcular el giro de la cuchara vacía para la carga.

Cálculos para las Dragalinas:

- Calcular el esfuerzo del cable de ascenso en el momento de la separación de la cuchara del frente.
- Calcular la potencia en el momento de la separación de la cuchara.
- Calcular el esfuerzo en el cable de tracción durante el ascenso de la cuchara cargada.
- Calcular la potencia durante el giro de la plataforma con la cuchara cargada en el lugar de descarga.
- Calcular la potencia media ponderada del mecanismo de tracción.

Calculo para las Excavadoras de Rotor:

- Calcular la potencia de transmisión de la rueda del rotor durante el corte.
- Calcular la resistencia al corte en el rotor.
- Calcular el esfuerzo lateral en el rotor.
- Calcular el momento de la resistencia lateral de giro.
- Calcular la potencia de transmisión del giro de la parte superior de la excavadora de rotor.

Actores del sistema

Nombre del Actor	Descripción
Usuario	<p>Se denomina usuarios a aquellas personas que van a interactuar con el Sistema, en nuestro caso son:</p> <p>Ing. Minas del ISMM Ing Minas de la Emp. Che Guevara Estudiantes de Minas del ISMM</p>

Tabla 4. Definición del Actor del Sistema

3.1.6 Diagrama de Casos de Uso del Sistema

Para una mejor comprensión del funcionamiento del sistema, creamos un Diagrama de Casos de Uso del Sistema, donde se reflejan los requisitos funcionales que debe cumplir el S.E.

Figura

2.

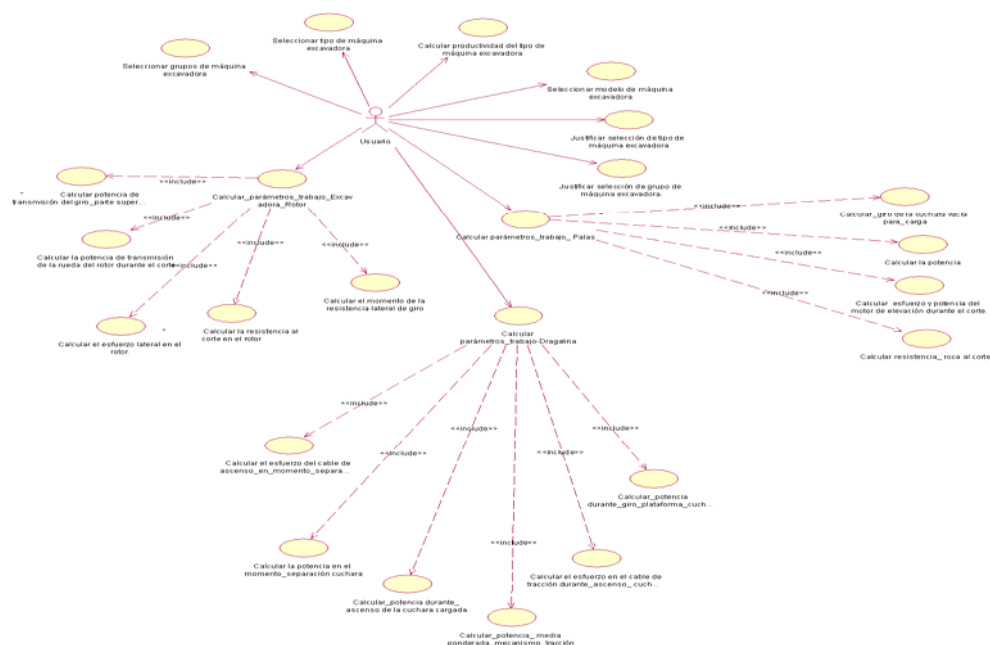


Diagrama de Casos de Uso del Sistema

3.2 Etapa I.2. Evaluación y selección de la tarea

3.2.1 Estudio de Viabilidad

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 INCO.

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

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

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 da 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 D** se pueden ver los demás resultados del Test de viabilidad.

3.2.2 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 minería y especialmente en el campo de la selección de las máquinas mineras excavadoras.

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 con que trabajamos poseen muchos años de trabajo en la rama minera y algunos son doctores reconocidos que han escrito artículos y folletos sobre el tema que nos ocupa, 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:

- Selección de los grupos de excavadoras (una cuchara o muchas cucharas).
- Selección de los tipos de excavadoras una vez conocido el grupo a que pertenece.
- Calcular productividad del tipo de maquina seleccionada.
- Determinación del modelo de la excavadora a partir de la productividad calculada.
- Justificar la selección del grupo de excavadora designado.
- Justificar la selección del tipo de excavadora seleccionado.
- Justificar la selección del modelo de excavadora elegido.
- Calcular parámetros de trabajo del tipo de maquina seleccionada.

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 mineros en su trabajo, que va a permitir que un proceso manual se automatice y en solo unos instantes se tenga una selección precisa y adecuada a las condiciones existentes, además va a contar con cálculos bastante exactos y confiables eliminando así un alto porcentaje de incurrir en errores. Además permitirá la disponibilidad de conocimientos y experiencia.

Valor: Mucho

Característica J2: Hay escasez de experiencia humana.

Análisis: No es frecuente encontrar expertos en la selección de máquinas mineras de excavación - carga. Se requieren personas que posean mucha experiencia en el trabajo minero y especialmente el la interacción con las excavadoras.

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 la Empresas del níquel del municipio de forma favorable.

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 la empresa minera ya sea por jubilación o por muerte, 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 mineros en los trabajos que ellos realizan, sin embargo no existe una herramienta automatizada que permita seleccionar las máquinas mineras de excavación carga, puesto que el método que se utiliza es el manual.

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 experto en la selección de las máquinas excavadoras dándole a este mayor seguridad y confiabilidad en su trabajo.

Valor: Poco

Característica A2: La tarea requiere experiencia

Análisis: La actividad de selección de las máquinas de excavación requiere que la persona que la realiza posea una gran experiencia y haber trabajado en muchos proyectos mineros.

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 del grupo de excavadoras según los parámetros planteados, el proceso de seleccionar tipos una vez conocidos los grupos, la selección del modelo según el tipo escogido entre otros.

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 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 yacimiento que se va a explotar, para poder determinar los parámetros que se van a medir en la selección.

Valor: Si

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

Análisis: El proceso de selección máquinas de excavación-carga se realiza de forma manual desde que se introdujeron estas máquinas en nuestra industria minera, 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 se hace necesaria su presencia simultánea a la hora de realizar la selección.

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 la industria minera.

Análisis:

La solución de este problema tiene significativa importancia para la industria minera y principalmente para nuestro país ya que este renglón constituye hoy por hoy uno de los primeros en la economía cubana, y las máquinas de excavación-carga son esenciales

para la extracción de los recursos minerales. Además se espera que se sigan ampliando los horizontes de explotación de los recursos minerales en nuestro país.

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 en minas. 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 desarrollo. 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: El experto resuelve el problema en la actualidad

Análisis:

El experto en la actualidad resuelve el problema pero de forma manual, lo que le hace trabajoso su labor de selección.

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.

3.3 Etapa I.3. Definición de las Características del Sistema

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

- ◆ Para seleccionar un grupo de máquinas es necesario caracterizar el yacimiento en que se va a trabajar.
- ◆ Para conocer un tipo de máquina es obligatorio conocer el grupo de excavadoras al que pertenece.

- ◆ No se puede seleccionar un modelo sin anteriormente haber seleccionado el grupo y el tipo de máquina excavadora al que pertenece.
- ◆ El usuario no podrá realizar cálculos de productividad sin antes haber seleccionado un tipo de máquina.
- ◆ El usuario no realizará cálculos de parámetros de trabajo si no ha seleccionado el tipo de máquina.
- ◆ El sistema no brindará explicaciones al usuario si no ha efectuado el proceso selectivo.

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

3.4.1 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.

3.4.2 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 aplicaron tipos de encuestas a los 9 participantes (ver resultados **Apéndice C**).

- ✓ **Encuesta # 1:** Determinar variables para seleccionar grupo de máquinas Excavadoras.

- ✓ **Encuesta # 2:** Determinar las variables para seleccionar tipos una vez conocido el grupo.

La información que fue brindada al sistema, es la relacionada con: Yacimientos Metálicos así como las, características de estos; además los conocimientos sobre máquinas Excavadoras de una Cuchara, máquinas Excavadoras de Muchas Cucharas, tipos de máquinas excavadoras incluyendo las características técnicas de cada uno de estas entidades.

Modelar los conocimientos

Los conocimientos representados en la B.C fueron modelados mediante una Ontología como hemos explicado con anterioridad. Inmediatamente mostraremos como está estructurada la ontología según los pasos seguidos en su diseño.

3.5 Etapa II.3. Formalización de los conocimientos.

3.5.1 Implementación de la Base de Conocimiento

En el capítulo anterior expusimos que la metodología que seleccionamos para desarrollar la Ontología, fue la guía metodológica de la Universidad de Stanford.

A continuación será descrito el proceso de desarrollo de la Ontología por cada una de las fases que componen la metodología empleada.

Proceso de desarrollo de la Ontología.

Fase 1: Determinar el alcance de la ontología

El dominio que trata esta ontología se enmarca en las máquinas excavadoras y su proceso de selección. Con ella se representó el conocimiento relacionado con dicho dominio, los conceptos importantes y sus relaciones.

Preguntas de Competencia:

La ontología debe responder las siguientes preguntas:

1. ¿Es G una excavadora de una cuchara?
2. ¿Es Y una máquina excavadora de muchas cucharas?
3. ¿Cuales son las firmas que producen excavadoras de cadena?
4. ¿Cuál es la presión del modelo W de Dragalina?
5. ¿Cuáles son las firmas que producen palas directas?
6. ¿Qué características tiene la pala inversa T?
7. ¿Qué minerales contiene un yacimiento ferroso?
8. ¿Cuales son los tipos de maquinas excavadoras de una cuchara que existen?
9. ¿A que tipo de yacimiento pertenecen los metales P; K; F?
10. ¿Qué grupo de excavadoras se emplea en un yacimiento con condiciones X, Y, A, L, M, N?
11. ¿Qué tipo de excavadoras se debe emplear si se conoce que pertenece al grupo G y que el modo de arranque del Frente es S?
12. ¿Qué modelo de excavadoras se debe emplear si se desea que la productividad de la máquina sea P?

La Ontología será utilizada por los Especialistas en Minas de la Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara y por los estudiantes de la carrera de Ing. en Minas del ISMM y será mantenida por el Ingeniero en Conocimiento.

Fase 2: Considerar el uso de ontologías existentes

Después de realizar una profunda búsqueda y revisión no encontramos elementos sobre la existencia de alguna Ontología que contenga conocimiento relacionado con las máquinas de excavación-carga, ni tampoco con su proceso de selección, es por ello que no tuvimos en consideración el uso de alguna otra Ontología.

Fase 3: Enumerar los términos importantes de la Ontología

Consideramos como conceptos importantes en el dominio del problema los siguientes:

- ❖ Yacimiento Metálico.
- ❖ Máquinas de Excavación – Carga.
- ❖ Excavadora una Cuchara.
- ❖ Excavadora de Muchas Cucharas.
- ❖ Palas.
- ❖ Palas directas.
- ❖ Palas inversas.
- ❖ Excavadoras Dragalinas.
- ❖ Excavadoras de Rotor.
- ❖ Excavadoras de Cadena.

Fase 4: Definir las clases y la jerarquía de clases

Existen varias aproximaciones a la construcción de la jerarquía de clases en una Ontología:

- **Un enfoque de arriba a abajo (top-down)** comienza definiendo en primer lugar los conceptos más generales y posteriormente especializando estas definiciones.
- **El enfoque de abajo a arriba (bottom-up)** es contrario al anterior y comienza definiendo las clases más específicas (las hojas de la jerarquía), que después agrupa para formar clases más generales.
- **Es posible utilizar un enfoque intermedio**, de forma que primero se definen las clases que se corresponden con los principales conceptos identificados en el dominio y, a continuación, se generalizan y especializan estos conceptos hasta donde sea necesario.

Para la definición de nuestra Ontología se utilizó el enfoque de arriba a abajo.

Se definió en primer lugar:

La clase Yacimiento Metálico, después se definió la clase Máquinas de Excavación-

Carga, que relacionada con el tema de las máquinas, es la más general, esta a su vez se dividió en Excavadoras de una Cuchara y Excavadoras de Muchas Cucharas. A su vez Excavadoras de una Cuchara, se estructuró en Palas, Dragalinas, Excavadoras de Greifer y, y así sucesivamente con las demás clases.

En el siguiente diagrama mostramos la jerarquía de clases que fue especificada.

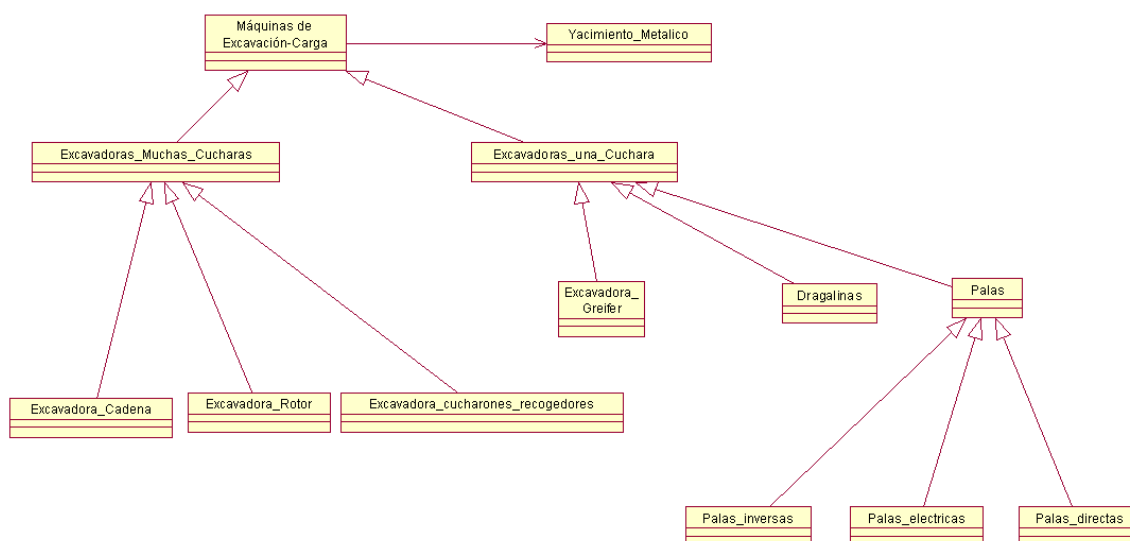


Figura 3. Diagrama de Clases de la Ontología.

Fase 5: Definir las propiedades de las clases

Las propiedades de las clases de una ontología se suelen dividir en varios tipos:

Propiedades intrínsecas, ligadas íntimamente al concepto.

Propiedades extrínsecas, asignadas externamente.

Partes, cuando el objeto está estructurado; puede referirse a partes físicas o abstractas.

El tipo de propiedades que nosotros asociamos a las clases de nuestra Ontología fueron: propiedades intrínsecas, es decir propiedades que se encuentran ligadas

profundamente al concepto que abordan.

Una de las clases definidas con las propiedades establecidas fue la siguiente:

Clase Palas inversas	
Capacidad_Cuchara	Se refiere a la capacidad que tiene la cuchara de la excavadora en metros cúbicos.
Firma	Se indica la firma a que pertenece la pala
Largo_pluma	Se indica el largo que posee la pluma de la excavadora
Modelo	Se detalla el modelo que posee la máquina.
Nombre_excavadora	Se indica el nombre que posee la máquina.
Nro_cuchara	Se especifica el número de cucharas que posee la excavadora.
Peso	Se especifica el peso que posee la máquina.
Presión	Se refiere la presión que tiene la máquina.
Tipo_acción	Se especifica la forma en que la máquina arranca el mineral.
Cuchara_girable	Se refiere a su se puede mover la cuchara en varias direcciones

Figura 4. Clase Palas_inversas con sus Slots.

Las demás clases serán mostradas en el **Apéndice B**.

Fase 6: Definir las características (facets) de los slots

En esta fase se relacionaron con cada propiedad, restricciones, es decir el tipo de valores que la misma podía tomar. La primera restricción que asignamos a las propiedades fue el dominio, es decir las clases a las que se puede aplicar, y la segunda restricción el rango, en este caso estamos hablando del tipo de dato, clase o conjunto de clases que puede asignarse a la propiedad.

<u>Yacimiento Metálico</u>	
Tipo_yacimiento	cadena de caracteres
Tamano_reserva	número
Profundidad_yacencia_y	cadena de caracteres
Plazo_vida_util	cadena de caracteres
Condiciones_climaticas	cadena de caracteres
Angulo_buz	cadena de caracteres
Maquina_emplea	cadena de caracteres

Tabla 5. Clase Yacimiento Metálicos con los tipos de datos de sus Slots

El dominio de las propiedades de la clase **Yacimiento Metálico** es la clase Yacimiento Metálico.

En el **Apéndice B** se detallarán las demás clases definidas en Protégé.

Fase 7: Crear instancias.

El último paso en la construcción de la ontología fue crear los individuos que serán instancias de las clases de la jerarquía.

Definir un individuo requiere elegir una clase, crear una instancia para esa clase y rellenar los valores de propiedades. Puede suceder que para asignar las propiedades sea necesario crear nuevas instancias, por lo que este proceso se repite recursivamente.

A continuación se listan por cada clase la cantidad de instancias que aparecen en la Ontología:

- Clase Yacimiento Metálico: posee 31 instancias.
- Clase Palas_d: posee 43 instancias.
- Clase Palas_e: posee 20 instancias.
- Clase Palas_i: posee 29 instancias.
- Clase Dragalinas: posee 21 instancias.
- Clase Excavadora_Rotor: posee 9 instancias.
- Clase Excavadora_Cadena: posee 7 instancias.

3.6 Archivos que se generan y cómo se utilizan

El editor de ontologías Protégé genera, diferentes archivos entre ellos se encuentra un archivo de extensión pins que contiene todas las instancias creadas en el proyecto y otro archivo de extensión pont que contiene todas las clases y sus relaciones.

La información de estos archivos fue tomada para crear en CLIPS los archivos siguientes:

- ❖ **Clases.CLP:** Contiene todas las clases y las relaciones entre ellas.
- ❖ **Instancias.CLP:** Contiene las instancias de todas las clases definidas.
- ❖ **Preguntas de competencia.CLP:** Contiene todas las funciones que razonaran sobre la Ontología.

Para utilizar estos archivos, es necesario cargarlos desde Clips, mediante de instrucción Load.

3.7 Etapa II.4 Implementación

3.7.1 Implementación del razonador en CLIPS

Para la implementación del razonador se utilizaron las funciones siguientes:

- ❖ **Deffunction:** Función utilizada para la declaración de funciones.
- ❖ **Defclass:** Función utilizada para la declaración de las clases del diseño.
- ❖ **subclasssp:** Devuelve todas las subclases de la clase que se pasa por parámetro.
- ❖ **Load:** Se utiliza para cargar el archivo que se encuentra en la dirección que se le pasa por parámetro.
- ❖ **Do-for-all-instances:** Busca todas las instancias de la clase que se le pasa que cumple con determinada condición y ejecuta la acción que se le especifica.
- ❖ **Do-for- instances:** Realiza una acción sobre el primer conjunto de instancias que satisfaga una consulta.
- ❖ **Member\$:** devuelve la posición del primer argumento en el segundo, o devuelve false si el primer argumento no esta en el segundo.
- ❖ **Printout t:** Muestra una información.

3.7.2 Subsistema de explicación

Para seguir la línea de razonamiento en nuestro sistema, cuando se escoge una solución, el resultado de la trayectoria recorrida para lograr el objetivo, es guardado en un fichero (externo a la B.C) y de esa forma se lleva el rastro de la línea de razonamiento.

Se crearon 3 ficheros, los que están estructurados de la siguiente forma:

Fichero # 1: En este fichero se encuentra la información sobre los yacimientos metálicos estructurada de la siguiente manera:

- ❖ Tipo de yacimiento.
- ❖ Tamaño de la reserva.
- ❖ Condiciones climáticas.
- ❖ Angulo de buzamiento.
- ❖ Potencia.
- ❖ Profundidad de yacencia.
- ❖ Plazo de vida útil del yacimiento.

Fichero # 2: Este fichero almacena:

- ❖ Grupo que ha sido escogido.
- ❖ Método de explotación que se va a emplear.

Fichero # 3: Guarda:

- ❖ El tipo de máquina que ha sido seleccionada
- ❖ La productividad que ha sido calculada.

3.8 Implementación de la Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario fue diseñada teniendo en cuenta el orden de los pasos que realizan los expertos en Minas para realizar el proceso de selección de las Máquinas de Excavación – Carga. 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 caracteriza el Yacimiento que se va a explotar, a partir de esas características el sistema determina que Grupo de máquinas excavadoras es el que debe emplearse, una vez conocido el grupo, se determina el tipo de excavadora que debe utilizarse, para lo cual también se pide se especifique el método de explotación que se va a emplear, como próximo paso se calcula la productividad de el tipo de excavadora seleccionada para finalmente dictaminar un modelo de máquina a emplear. Además el sistema va a realizar el cálculo de los parámetros de trabajo principales del tipo de máquina seleccionada.



Figura 5. Primera interfaz del Sistema.

The screenshot shows the 'MEXC.sise' application window with a menu bar containing 'Iniciar', 'Calcular', 'Explicaciones', and 'Ayuda'. The main area is titled 'Caracterizar Yacimiento según:' and contains several input fields, each with a dropdown arrow: 'Tipo_Yacimiento', 'Tamaño_Reserva', 'Condiciones_Climáticas', 'Angulo_buzamiento', 'Potencia_yacimiento', 'Profundidad_yacencia', and 'Plazo_Vida_util'. At the bottom of this section is a button labeled 'Seleccionar Grupo de Excavadoras'.

Figura 6. Forma para caracterizar el Yacimiento a explotar.

The screenshot shows the 'MEXC.sise' application window with the same menu bar. The main area is divided into two sections. The left section, titled 'Grupo de máquinas seleccionado', contains a text box with the value 'Excavadora_una_cuchara' and a button labeled 'Siguiente >>'. The right section, titled 'Especificar parámetros de selección de tipo', contains a sub-section titled 'Métodos de Explotación' with two checkboxes: 'Metodo por Bancos' (checked) and 'Metodo de las Areas de Influencia' (unchecked). Below these checkboxes is a button labeled 'Seleccionar Tipo Excavadora'.

Figura 7. Forma para seleccionar los tipos de palas.

The screenshot shows the MEXC.sise application window with a menu bar (Iniciar, Calcular, Explicaciones, Ayuda) and three main calculation panels. The 'Productividad Teórica' panel on the top left has inputs for 'Categoría de las Rocas' (De laboreo medio superior), 'Número de cucharas descargadas(1 min)' (21), and 'Capacidad de la Cuchara(metros cubicos)' (56), resulting in a 'Productividad Teórica' of 1350.0. The 'Productividad de Explotación' panel at the bottom left has inputs for 'Duración de la Jornada Laboral' (1), 'Coeficiente_util_máq_tiempo' (4), and 'Productividad Técnica' (455), resulting in a 'Productividad de Explotación' of 1820.0. The 'Productividad Técnica' panel on the top right has inputs for 'Coeficiente de duración del ciclo de Trabajo' (65) and 'Productividad Teórica' (1350.0), resulting in a 'Productividad Técnica' of 60750.004. A 'Seleccionar Modelo de Excavadora' button is located at the bottom right.

Panel	Variable	Valor
Productividad Teórica	Categoría de las Rocas	De laboreo medio superior
	Número de cucharas descargadas(1 min)	21
	Capacidad de la Cuchara(metros cubicos)	56
Productividad de Explotación	Duración de la Jornada Laboral	1
	Coeficiente_util_máq_tiempo	4
	Productividad Técnica	455
Productividad Técnica	Coeficiente de duración del ciclo de Trabajo	65
Productividad Técnica	Productividad Teórica	1350.0
Productividad Técnica	Productividad Técnica	60750.004
Productividad Teórica	Productividad Teórica	1350.0
Productividad de Explotación	Productividad de Explotación	1820.0

Figura 8. Forma para calcular productividad.

3.9 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 como fue desarrollada la Ontología y la implementación de las funciones que van a razonar sobre la misma. Además se mostró el diseño de la interfaz de usuario.

CONCLUSIONES

En este trabajo se analizaron aspectos importantes relacionados con el proceso de selección de las máquinas de excavación-carga y los parámetros que son empleados para ello, así como temas relacionados con los Sistemas Expertos. Como resultado final de esta investigación se obtuvo un prototipo de Sistema Experto para seleccionar las máquinas mineras de excavación-carga por lo que podemos arribar a las siguientes conclusiones:

- ◆ El conocimiento adquirido sobre excavación-carga fue formalizado mediante una Ontología.
- ◆ El prototipo de Sistema Experto para seleccionar las máquinas de excavación-carga constituye una herramienta informática que facilitará el trabajo de los mineros en el proceso de selección de las máquinas de excavación-carga.
- ◆ Realiza el proceso selectivo en menor tiempo y ayuda a que el trabajo de los mineros no sea tan agotador.
- ◆ Cuenta con una interfaz sencilla, agradable, el ambiente de trabajo es cómodo y cumple los requerimientos exigidos por el cliente.

RECOMENDACIONES

El software desarrollado es un prototipo demostrativo que no cubre todos los problemas reales que presenta la selección de las máquinas de excavación – carga. Con el objetivo del desarrollo futuro del sistema recomendamos que:

1. Los mineros de la industria Che Guevara y los del ISMM empleen el sistema desarrollado como una herramienta que los asista en el proceso de selección de las máquinas de excavación-carga.
2. Los mineros de la Empresa Che Guevara en conjunto con los del ISMM realicen un estudio más profundo de este sistema en vista a perfeccionarlo en nuevas versiones.
3. Los informáticos del ISMM desarrollen un modulo o algún mecanismo para incorporarle conocimiento al Sistema y para actualizar la Base de Conocimientos.
4. Incluirle al sistema lógica difusa para el tratamiento de incertidumbre.
5. Desarrollar una interfaz gráfica para las preguntas de competencia que no estaban previstas inicialmente.
6. Implementar un modulo de seguridad.
7. Integrar en un solo Sistema este prototipo con el prototipo desarrollado para seleccionar máquinas perforadoras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIOSIA IZNAGA, J. “Libro curso de yacimientos minerales metálicos. Tipos genéticos.” Editorial Pueblo y Educación.1977
- BELETE FUENTES, O. “Máquinas e Instalaciones Mineras: Máquinas de Excavación – Carga.” Editorial Pueblo y Educación. 1999.
- BELETE FUENTES, O; MENA MONTERO J.M; y AGUIRRE REYES A. “La explotación de los yacimientos lateríticos cubanos y el desarrollo sostenible “.2002
- BELLO PEREZ R. “Curso Introductorio a la Inteligencia Artificial”. Departamento de Ciencia de la Computación Universidad Central de Las Villas.2005
- BORISOV S; KLOKOV M; GORNAVOI B. “Labores Mineras.” Editorial Pueblo y Educación.1986.
- CASTILLO E., MANUEL J, HADI S.”Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas”.1997
- CECCARONI L. “Onto WEDSS- An ontology-Based environmental decision-support system for the management of wastewater treatment plants”.[en línea]2003.[Consultado: 2008-10-26] Disponible en <http://www.angelfire.com/scfi2/technopapa/Thesis.htm>
- DE LA FUENTE G. S.: “Sistemas Expertos en Medicina”. [en línea].2006. [Consultado: 2008-04-12]. Disponible en: <http://www.cybertesis.cl/tesis/2cc50m2cingcon2006.ppt>
- “El mercado de los softwares mineros”. [en línea].2009. [Consultado: 2009-02-05].Disponible en <http://www.educaedu-chile.com/software.htm>
- FUENTES COVARRUBIAS, R: “Sistema Experto”[en línea].2003 [Consultado: 2008-12-16] Disponible en <http://www.plazacolima.com/tecnoplaza>
- GROVER, M. “A Pragmatic Knowledge Acquisition Methodology. Proceedings VIII IJCAI”. Estados Unidos. 1983
- GRUBER T. “A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge acquisition.” Vol 5 1993.

- HASEMER T. y JOHN D. “*Common LISP Programming for Artificial Intelligence*”.2005.Addison Wesley. 1 ed. New York,1989
- HERBERT S. *Manual de referencia java 2 cuarta edición*.
[en línea].2008[Consultado:2008-11-15] Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_de_programaci%C3%B3n_Java,
- KANDEL, A. “ *Fuzzy Expert Systems. Editorial CRC*”.1 ed., Londres, 1999.
- NOY N. AND Mc GUINNESS D. “*Ontology development 101: A Guide to creating your first ontology*”. Stanford University. Stanford knowledge Systems Laboratory
Technical Report KSL-01-05. 2001.
- OTAÑO NOGUEL, J; BLANCO TORRENS R. “*Nociones de Minería*” .Ediciones ENPES.1988
- OTAÑO NOGUEL, J; CUESTA RECIO A. “*Trabajos a Cielo Abierto*”.2001
- PAZOS SIERRA, J. *Introducción a la Ingeniería del Conocimiento. Unidad 19. Material del Magister en Ingeniería del Software*. Convenio ITBA-UPM. 1996.
- REYES CABRERA B. *TICs EN MINERÍA, XV Simposio de Ingeniería en Minas ,21-27 agosto 2007, Universidad de Santiago de Chile*. [en línea].2007. [Consultado: 2009-3-20].Disponible en
<http://www.pagea2d.googlesyndication.com/actividadeseconomicas.htm>
- 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).
- TELLO, E. “*Object Oriented Programming for Artificial Intelligence*”. Addison Wesley.
Primera edición. New York, 1991.

- SANCHEZ y BELTRAN J. P. “*Sistemas Expertos: Una metodología de programación.*” Macrobit. Primera edición. México, 1990.
- SANCHEZ LOPEZ, A. *Sistemas Expertos*. [en línea].2008 [Consultado: 2008-12-16] Disponible en http://www.wikimedia.org/Sistemas_Expertos.htm.
- Sistemas Expertos [en línea].2008. [Consultado 2008-10-04].Disponible en:
http://www.orange.es/sistemas_expertos1.html
- SMIRNOV V.I “*Geología de los yacimientos minerales.*” Editorial Mir. 1982
- Surfer Versión 8. [en línea] 2009. [Consultado: 2009-01-08] Disponible en:
http://www.goldensoftware.com/software_surfer8.htm
- USCHOLD M Y GRUNINGER M. *Ontologies: Principles, Methods and Applications*.AIAI-TR-191. [en línea].1996.[Consultado : 2008-12-10].Disponible en
<http://citeseer.nj.nec.com/uschold96ontologie.html>
- VLADIMIROVICH LEPIN O; Y ARIOSIA IZNAGA J. “*Búsqueda, Exploración y Evaluación Geólogo-Económica de yacimientos minerales sólidos.*” Primera Parte. Editorial Pueblo y Educación.1986
- WALKER Adrian, Michael Mc Cord, John Sowa y Walter Wilson. *Knowledge – Based Systems and Prolog*. [en línea].2006.[Consultado: 2008-11-12] Disponible en:
<http://www.fortunecity.com/sistexpertos.htm>
- WEISS, S. M. and KULIKOWSKI, C. A. “*A Practical Guide to Designing Expert Systems.*” Rowman and Allanheld, Totowa, N.J.1984

Apéndice A: Aspectos Teóricos sobre Ontologías.

Una Ontología está compuesta por:

- **Clases o Tipos:** Una clase es un conjunto de objetos (físicos, tareas, funciones, etc.). Cada objeto en una clase es una instancia de esa clase. Desde el punto de vista de la lógica los objetos de una clase se pueden describir especificando las propiedades que éstos deben satisfacer para pertenecer a esa clase. Las clases son la base de la descripción del conocimiento en las ontologías ya que describen los conceptos del dominio. Una clase puede ser dividida en subclases, las cuales representarán conceptos más específicos que la clase a la que pertenecen. Una clase cuyos componentes son clases, se denomina superclase o metaclase.
- **Instancias o individuos:** Son objetos, miembros de una clase, que no pueden ser divididos sin perder su estructura y características funcionales. Pueden ser agrupados en clases.
- **Relaciones:** Se establecen entre conceptos de una ontología para representar las interacciones entre estos. Definidas por lo general como el producto cartesiano de n conjuntos: $R: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$. Algunas de las relaciones más utilizadas son:
 - Instancia-de: Mapea objetos a clases.
 - Relaciones Temporales: Implican precedencia en el tiempo.
 - Relaciones topológicas: Conexiones espaciales entre conceptos.
- **Propiedades o Slots:** Los objetos se describen por medio de un conjunto de características o atributos que son almacenados en los slots. Estos almacenan diferentes clases de valores. Las especificaciones, rangos y restricciones sobre estos valores se denominan facets. Para una clase dada, los slots y las restricciones sobre ellos son heredados por las subclases y las instancias de la clase.

Funciones: Son casos especiales de relaciones donde se identifican elementos mediante el cálculo de una función, $F: C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n$.

Algunas de las principales razones que se tienen en cuenta para utilizar este tipo de representación son las siguientes:

- **Compartir entendimiento común de la estructura del conocimiento, entre personas o agentes de software.** La ontología pone a disposición de los miembros de una comunidad los términos y conceptos del dominio de interés, lo cual permitirá a las personas o agentes de software extraer y agregar información según sus necesidades.
- **Permitir reutilizar el dominio de conocimiento.** Es posible que muchos dominios hagan uso de un conocimiento específico, si este conocimiento está constituido en una ontología podrá ser reutilizado por aquellos individuos que la necesiten sin necesidad de desarrollar una ontología propia.
- **Permitir separar conocimiento de dominio del conocimiento operacional.** Una ontología expresa el conocimiento del dominio de manera general de forma tal que pueda ser utilizado y manipulado por diversas técnicas o algoritmos.
- **Analizar el dominio de conocimiento.** Esto es posible una vez que se tiene una especificación declarativa de los conceptos del dominio. **(Ceccaroni, 03)**

Tipos de Ontologías

Existen tres dimensiones sobre las cuales varían los tipos de ontologías **(Uschold y Gruninger, 96)**:

Formalidad: para referirse al grado de formalismo del lenguaje usado para expresar la conceptualización.

Los tipos de ontologías según el grado de formalidad del lenguaje usado, son los siguientes:

- **Ontología altamente informal:** expresada en lenguaje natural (Glosario de términos).

- **Ontología informal estructurada:** Utiliza lenguaje natural estructurado y restringido, que permite reducción de la ambigüedad.
- **Ontología semi-formal:** Usa un lenguaje de definición formal, como ontolingua.
- **Ontología rigurosamente formal:** La definición de términos se lleva a cabo de manera meticulosa usando semántica formal y teoremas (TOVE).

Propósito: para referirse a la intención de uso de la ontología

Los tipos de ontologías según el propósito o uso que se les vaya a dar son las siguientes:

- **Ontologías para comunicación entre personas:** Una ontología informal puede ser suficiente.
- **Ontologías para inter-operabilidad entre sistemas:** Para llevar a cabo traducciones entre diferentes métodos, lenguajes, software, etc. En estos casos la ontología se usa como un formato de intercambio de conocimiento.
- **Ontologías para beneficiar la ingeniería de sistemas:** Cuando las ontologías benefician las aplicaciones de software apoyando aspectos como la reutilización de componentes de sistemas en un dominio de interés, facilitando la adquisición de conocimiento y aumentando la fiabilidad de los sistemas al proporcionar consistencia en el conocimiento utilizado.

Materia: para expresar la naturaleza de los objetos que la ontología caracteriza.

Según los objetos o problemas que se caractericen en las ontologías, éstas pueden ser:

- **Ontologías de dominio:** Caracterizan objetos específicos, tales como medicina, finanzas, química, biología, etc.
- **Ontologías para resolver problemas:** Conceptualizan el problema o tarea a resolver en un dominio.

- **Meta-Ontologías:** El objeto que se caracteriza es un lenguaje de representación de conocimiento.

Existen diversas Metodologías para el desarrollo de Ontologías entre las que encontramos:

- Esquema metodológico para construir ontologías de Uschold & Gruninger (**Uschold y Gruninger, 96**)
- Methontology.
- Guía Universidad de Stanford (**Noy y McGuinness, 01**)

Editores para construcción de Ontologías

Los editores de ontologías, son herramientas especializadas que apoyan la construcción de estas. Las facilidades que proporcionan van desde la definición y modificación de conceptos, propiedades, relaciones, restricciones y axiomas, hasta la inspección y navegación en ontologías. Algunos de los editores más importantes se describen a continuación

Ontolingua:

Herramienta de desarrollo para navegar, crear, editar, modificar, verificar, evaluar y usar ontologías. Contiene una librería de ontologías cuyas definiciones, axiomas y términos no lógicos, pueden ser reutilizadas en la construcción de nuevas ontologías.

Chimaera:

Herramienta que permite crear y mantener ontologías en la Web, proporciona un ambiente distribuido para navegar, crear, editar, modificar y usar ontologías. Entre las facilidades que ofrece la herramienta se tienen: cargar bases de conocimiento en diferentes formatos, reorganizar taxonomías, resolver conflictos de nombres y editar términos. Destaca la capacidad para cargar datos de entrada en 15 diferentes formatos, tales como, KIF, Ontolingua, OKBC, Protegé, etc.

OilEd:

OilEd es un editor de ontologías para OIL y DAML-OIL, desarrollado en la Universidad de Manchester. La interface del editor es orientada a *frames*. La principal característica de este editor es su capacidad para tratar con un lenguaje expresivo y el mecanismo de razonamiento lógico que usa para chequear la consistencia de las clases y las relaciones de inferencia.

OilEd permite la definición de clases, *slots* y axiomas, así como el uso de combinaciones booleanas de *frames* o clases conectadas a través de *and*, *or*, o *not*.

Protegé:

Es una herramienta implantada en java que permite la construcción de ontologías, personalizando las formas de adquisición de conocimiento y los dominios de conocimiento. Es capaz de operar como una plataforma para acceder a otros sistemas basados en conocimiento o aplicaciones integradas, o como una librería que puede ser usada por otras aplicaciones para acceder y/o visualizar bases de conocimiento. La herramienta ofrece una interfaz grafica que permite al desarrollador de ontologías enfocarse en la modelación conceptual sin que requiera de conocimientos de la sintaxis de los lenguajes de salida, como OIL o RDFS.

Se puede encontrar más información sobre estos editores en la siguiente dirección <http://www.ksl.stanford.edu/software/>

Apéndice B: Diseño Conceptual de la Ontología.

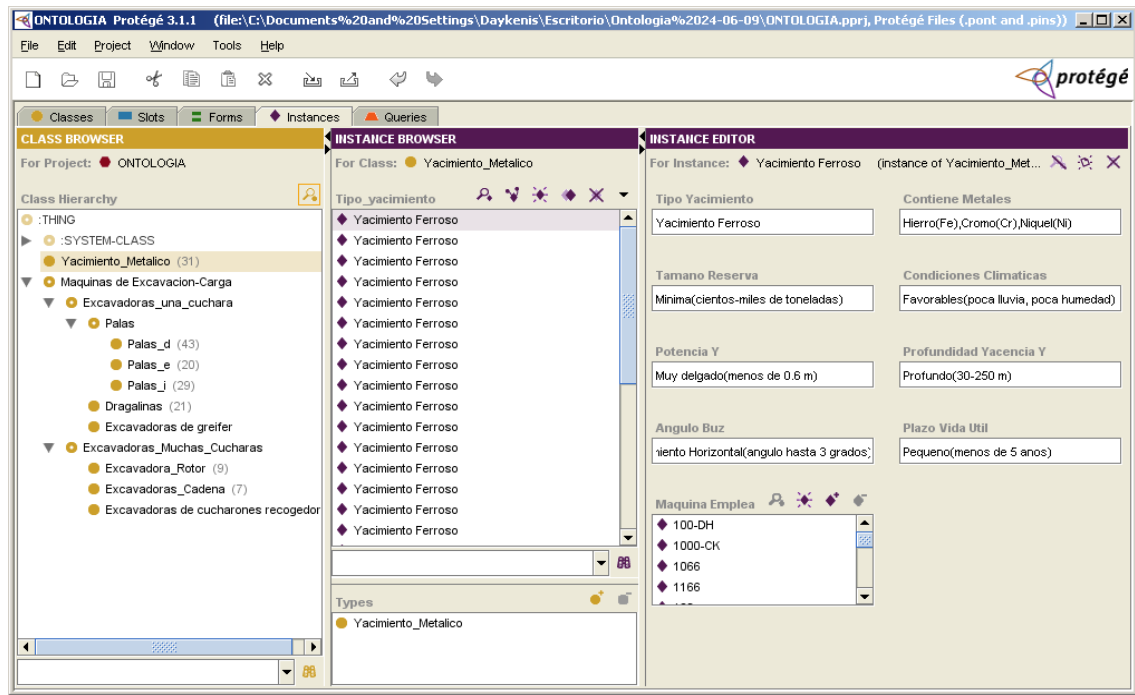


Figura 9. Jerarquía de Clases de la ontología.

Yacimiento_Metalico (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Yacimiento_Metalico

Role: Concrete

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Angulo_buz	single	String	
Condiciones_climaticas	single	String	
Contiene_metales	single	String	
Maquina_emplea	multiple	Instance of Palas_d or Pal...	
Plazo_vida_util	single	String	
Potencia_y	single	String	
Profundidad_yacencia_y	single	String	
Tamano_reserva	single	String	
Tipo_yacimiento	single	String	

Figura 10. Clase Yacimiento Metálico con sus Slots.

Maquinas de Excavacion-Carga (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Maquinas de Excavacion-Carga

Role: Abstract

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Firma	single	String	
Modelo	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	

Figura 11. Clase Máquinas de Excavación-Carga con sus Slots.

Excavadoras_una_cuchara (instance of :STANDARD-CLASS)

Name:

Role:

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Ex	single	String	
Firma	single	String	
Largo_Pluma	single	String	
Metodo_Explotacion	single	String	
Modelo	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Peso	single	Float	
POTENCIA	single	Float	
Presion	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	

Figura 12. Clase Excavadora_una_cuchara con sus Slots.

Palas (instance of :STANDARD-CLASS)

Name:

Role:

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Ex	single	String	
Firma	single	String	
Largo_Pluma	single	String	
Metodo_Explotacion	single	String	
Modelo	single	String	
Modo de arranque del frente	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Peso	single	Float	
POTENCIA	single	Float	
Presion	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	
Tipo_excavadora	single	String	

Figura 13. Clase Palas con sus Slots.

Dragalinas (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Dragalinas

Role: Concrete

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Equipo_de_marcha	single	String	
Ex	single	String	
Firma	single	String	
Largo_Pluma	single	String	
Metodo_Explotacion	single	String	
Modelo	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Peso	single	Float	
POTENCIA	single	Float	
Presion	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	

Figura 14. Clase Dragalinas con sus Slots.

Excavadoras de greifer (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Excavadoras de greifer

Role: Concrete

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Ex	single	String	
Firma	single	String	
Largo_Pluma	single	String	
Metodo_Explotacion	single	String	
Modelo	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Peso	single	Float	
POTENCIA	single	Float	
Presion	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	

Figura 15. Clase Excavadora de greifer con sus Slots.

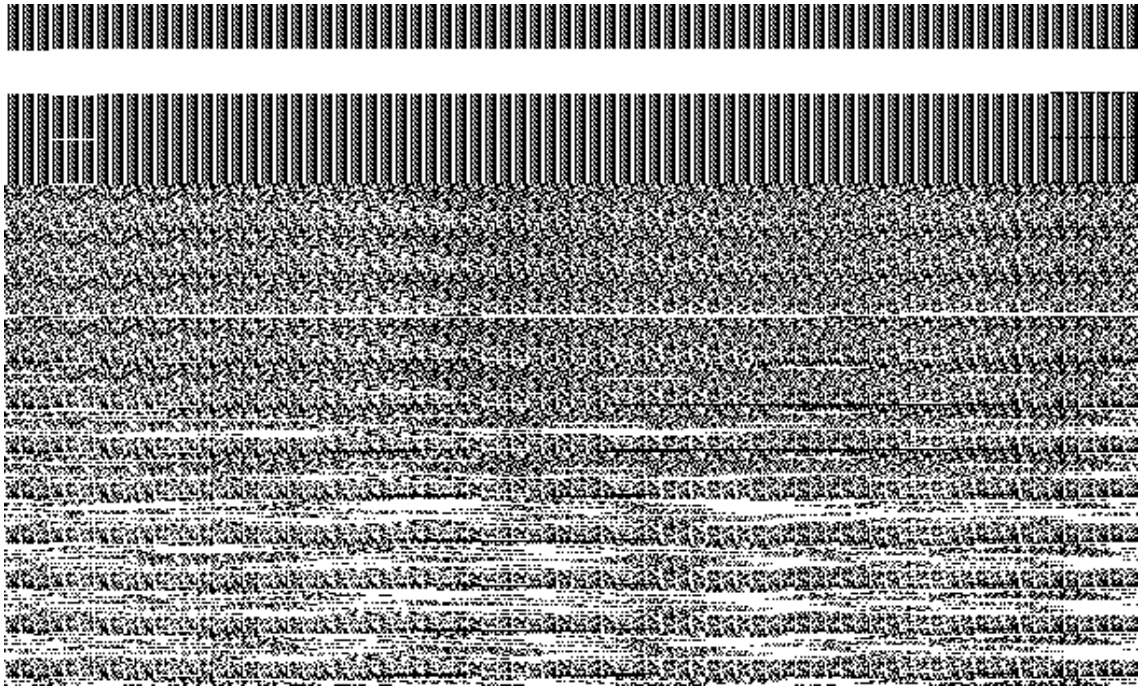


Figura 16. Clase Excavadoras_Muchas_Cucharas con sus Slots.

Excavadora_Rotor (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Excavadora_Rotor

Role: Concrete

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Alcance máximo de corte	single	Float	
Altura de corte	single	Float	
Altura máxima de descarga	single	Float	
Capacidad_cuchara	single	Float	
Diametro del rotor	single	Float	
Ex1	single	String	
Firma	single	String	
Modelo	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Numero de cucharas del rotor	single	Float	
Peso_x	single	Float	
Presion-x	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Profundidad_max_excavacion	single	Float	
Tipo accion	single	String	

Figura 17. Clase Excavadora_Rotor con sus Slots.

Excavadoras_Cadena (instance of :STANDARD-CLASS)

Name:

Role:

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Altura_excavacion	single	Float	
Capacidad_cuchara	single	Float	
Ex1	single	String	
Firma	single	String	
Masa	single	Float	
Modelo	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Numero_cucharass	single	Integer	
Potencia_p	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Profundidad_max_excavacion	single	Float	
Tipo accion	single	String	
Tipo_Marcha	single	String	

Figura 18. Clase Excavadora_Cadena con sus Slots.

Excavadoras de cucharones recogedores (instance of :STANDARD-CLASS)

Name:

Role:

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Ex1	single	String	
Firma	single	String	
Modelo	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Productividad_m	single	String	
Profundidad_max_ex...	single	Float	
Tipo accion	single	String	

Figura 19. Clase Excavadora de cucharones recogedores con sus Slots.

Palas_d (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Palas_d

Role: Concrete

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Ex	single	String	
Firma	single	String	
Forma de excavar las rocas	single	String	
Largo_Pluma	single	String	
Metodo_Explotacion	single	String	
Modelo	single	String	
Modo de arranque del frente	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Peso	single	Float	
Posicion de la cuchara	single	String	
POTENCIA	single	Float	
Presion	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	
Tipo_excavadora	single	String	

Figura 20. Clase Palas directas con sus Slots.

Palas_e (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Palas_e

Role: Concrete

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Ex	single	String	
Firma	single	String	
Largo_Pluma	single	String	
Metodo_Explotacion	single	String	
Modelo	single	String	
Modo de arranque del fr...	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Peso	single	Float	
POTENCIA	single	Float	
Presion	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	
Tipo_excavadora	single	String	

Create Slot

Figura 21. Clase Palas eléctricas con sus Slots.

Palas_i (instance of :STANDARD-CLASS)

Name: Palas_i

Role: Concrete

Documentation:

Constraints:

Template Slots

Name	Cardinality	Type	Other Facets
Capacidad_cuchara	single	Float	
Cuchara_girable	single	Boolean	
Ex	single	String	
Firma	single	String	
Largo_Pluma	single	String	
Metodo_Explotacion	single	String	
Modelo	single	String	
Modo de arranque del f...	single	String	
Nombre_Excavadora	single	String	
Peso	single	Float	
POTENCIA	single	Float	
Presion	single	Float	
Productividad_m	single	String	
Tipo accion	single	String	
Tipo_excavadora	single	String	

Figura 22. Clase Palas inversas con sus Slots.

Apéndice C: Encuestas Aplicadas.

Encuesta # 1: Determinar variables para seleccionar grupo de máquinas Excavadoras.

1. Las máquinas de excavación – carga atendiendo al número de cucharas se clasifican en: Excavadoras de una cuchara y Excavadoras de muchas cucharas. De los siguientes parámetros marque en la segunda columna con una X cual(es) usted tiene en cuenta para seleccionar un grupo u otro.

Nombre del parámetro	Marcar	Orden de prioridad
Tamaño de la reserva de mineral		
Profundidad de yacencia del cuerpo mineral.		
Plazo de servicio de la mina		
Condiciones climáticas		
Tipo de yacimiento		
Potencia del yacimiento mineral		
Angulo de buzamiento		
Otros		

a) En caso de otros méncionelos.

2. En el caso que emplee los indicadores anteriores, tiene usted establecido un orden de prioridad para evaluarlos? SI _____ NO _____.

a) Si la respuesta es afirmativa, marque con un número del 1-7 en la tercera columna el orden que le asigna.

3. Por la potencia del cuerpo los yacimientos según S.Borisov se clasifican en:

Denominación	Potencia (m)	Máquina que utiliza
Muy delgados	Menos de 0.6	
Delgados	0.6- 2	
Potencia mediana	2-5	
Potentes	5- 20	
Muy potente	Más de 20	

a) Utiliza usted esta clasificación: SI ___ NO ___ Otra ___.

b) En caso afirmativo marque cual grupo de excavadoras emplea para cada caso.

Escriba en el campo Máquina que utiliza, (EUC) cuando emplea las excavadoras de una cuchara y (EMC) cuando usa las excavadoras de muchas cucharas.

c) Si utiliza otra clasificación méncionela brevemente cual es.

4. José Otaño Noguel plantea en su libro “**Nociones de Minería**” , que según el ángulo de buzamiento los yacimientos se clasifican en:

Clasificación del yacimiento	Angulo de buzamiento	Grupo que emplea
Horizontales	con ángulo hasta 3	

	grados	
Suaves	con ángulo hasta 18 grados	
Inclinados	con ángulo desde 19 hasta 35 grados	
Muy inclinados	con ángulo desde 36 hasta 55 grados	
Abruptos	con ángulo mayor de 56 grados	

a) Emplea usted esta categorización. Si ___ No ___ Otras ___

b) Si la respuesta es afirmativa, marque en la tercera columna cual grupo de excavadoras es el que emplea. Escriba (EUC) cuando use las excavadoras de una cuchara y (EMC) cuando emplee las excavadoras de muchas cucharas.

c) Si emplea otra clasificación explíquela de forma breve.

5. La profundidad de yacencia del cuerpo mineral con relación a la superficie puede ser:

Clasificación	Grupo que emplea
Superficial	
Profunda	
Elevada	
Elevada y profunda	

a) Esta de acuerdo con esta clasificación ___ SI ___ NO.

b) Marque cual grupo de excavadoras emplea en cada caso. Escriba (EUC) para las excavadoras de una cuchara y (EMC) para las excavadoras de muchas cucharas.

Encuesta # 2: Determinar parámetros de selección para tipos y modelos de máquinas excavadoras.

1. Considera importante la correcta elección del equipamiento de excavación-carga para la explotación de un recurso mineral. Marque con una X el por ciento de importancia que le atribuye:

_____ 30 %.

_____ 50 %.

_____ 70 %.

_____ 100 %.

2. Utiliza usted como parámetro para seleccionar un tipo de máquina perteneciente al grupo de excavadoras de una cuchara el método de explotación del yacimiento?

_____ Sí _____ No. _____ Otro _____.

3. Si la respuesta es afirmativa, diga en que método de explotación para yacimientos lateríticos usted emplea cada uno de estos tipos máquinas.

a) Escriba A o B según corresponda en la línea situada al lado de la máquina.

➤ Dragalina. _____

➤ Pala directa. _____

➤ Pala inversa (retroexcavadora). _____

Métodos de explotación para yacimientos lateríticos:

A) Método de las Áreas de influencia.

B) Método por Bancos.

4. Usted selecciona un modelo de excavadora una vez conocido el tipo al que pertenece según:

_____ El cálculo de la productividad de ese tipo de máquina.

_____ Otro parámetro.

Marque con una X en caso afirmativo.

Apéndice D: Test de Viabilidad.

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 4.1 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 4.2 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 .

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

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 6. Definición de Intervalos Difusos correspondientes a cada valor lingüístico

En la tabla 4.1 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 7. Definición de Intervalos binarios correspondientes a cada valor lingüístico

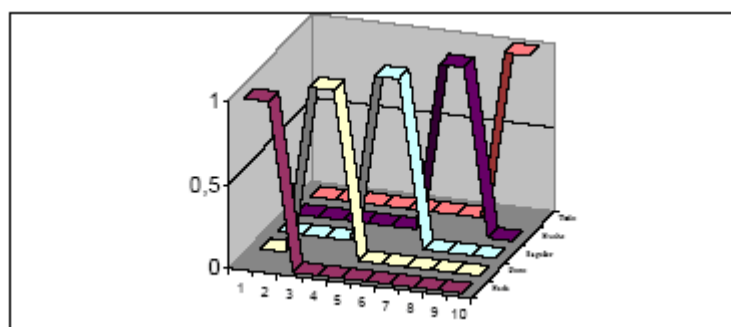


Figura 23. Funciones de pertenencia de los valores lingüísticos

Se puede observar en la figura 4.1 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:

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

Donde:

VCi Valor Global de la aplicación en una dimensión dada.

Vik Valor de la característica k en la dimensión j.

Pik Peso de la característica k en la dimensión j.

ri 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:

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

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 la característica	Categoría	Dimensión	Peso (P)	Tipo	Naturaleza	Umbral	Valor
Existen expertos, están disponibles y son cooperativos	Experto	P1	10	Esencial	Booleana	Sí (sí)	Sí
El experto es capaz de estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo	Experto	P2	7	Deseable	Difusa	No	Mucho
La tarea está bien estructurada y se entiende	Tarea	P3	8	Deseable	Difusa	No	Mucho
La tarea sólo depende de los conocimientos y no del sentido común	Tarea	P4	9	Deseable	Númerica	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	Sí (sí)	Sí
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	Sí (No)	No
Se espera que la tarea continúe sin cambios significativos durante un largo periodo de tiempo.	Tarea	A6	8	Esencial	Difusa	Sí (mucho)	Mucho
Los conocimientos están repartidos entre un conjunto 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 prioritaria para la industria minera.	Directivos/ usuarios	E3	8	Esencial	Difusa	Sí (mucho)	Mucho
La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positiva y no se sienten amenazados por el proyecto	Experto	E4	8	Deseable	Difusa	No	Mucho
Existe una ubicación idónea para el SE.	Directivos/ usuarios	E5	7	Deseable	Difusa	No	Regular
La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana	Directivos/ usuarios	E6	8	Deseable	Difusa	No	Poco
Se dispone de los recursos humanos, hardware y software necesarios para el desarrollo e implantación 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 8. 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			
P1	10	Sí	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				

Tabla 9. Estudio cuantitativo para la dimensión de Plausibilidad.

Dimensión de Justificación

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Peso/Valor				Aproximación numerica
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	1		2,386363636
J4	10	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	56	68	78	88	1,51515152	1,28205128	1,13636364		3,081293706
J5	8	Sí	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		4,867007992
						Resultado	6,962	11,829	13,676	14,89					

Tabla 10. 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				

Tabla 11. 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	5,833333333	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	0,4
	51						213	264	325,2	372,2				
							4,176	5,176	6,376	7,298				

Tabla 12. Estudio cuantitativo para la dimensión de Éxito.

Cálculo final de Viabilidad

[illegible]

Tabla 13. Cálculo final de la Viabilidad.

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