

República de Cuba



**ISMMM**

**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

*Facultad de Metalurgia-Electromecánica.  
Departamento de Informática.*

# Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero en Informática.

*Prototipo de Sistema Experto para Seleccionar  
Métodos y Máquinas de Perforación.*

Autor:

*Vladimir Alberto Torres Torres*

Tutores:

*Dra.C. Darlines Sánchez Muñoz*

*Dr.C. Orlando Belete Fuentes*

Moa, Holguín, 2009  
“Año 50 de la Revolución”

## *Pensamiento*

*“La esperanza que se demora  
es tormento del corazón;  
Pero árbol de vida es  
el deseo cumplido”.*

*Proverbios, La Biblia.*

# *Dedicado*

*A dos personas que especialmente significan todo para mí, no bastarían las palabras para describir la mezcla de amor, transparencia, sacrificio, compromiso e inspiración que recibo día a día de ellas;*

*Por el amor más puro de toda la vida dedico a mi hermanita Mileidis Navarro Torres (tata) y a mi maravillosa madre María del Carmen Torres Pileta (mayu) todo el empeño y esfuerzo que deposité en éste proyecto.*

*Vladimir Alberto Torres Torres.*

# Agradecimientos

*A Dios porque a él encomiando todos mis sueños para que se hagan realidad.*

*A mi tutora Dra. C. Darlines Sánchez Muñoz por su inestimable ayuda y dedicación en todo momento.*

*A mi tutor Dr.C. Orlando Belete Fuentes por toda la ayuda, guía, apoyo incondicional y empeño que me brindó para llevar a feliz término esta idea.*

*A mi hermanita del alma Mileidís (tata) porque a ti debo todo lo que soy, por ser mi gran inspiración, y hoy puedes estar orgullosa de mí. Siempre serás mi meta y mi ejemplo a seguir, eres hermana, amiga y madre de mi corazón.*

*A mi insustituible madre María del Carmen por enseñarme el riguroso camino de la profesionalidad, y de las ciencias. Por ser simultáneamente madre y padre, por demostrarme que aquí todo es posible, por confiar en mí, por luchar siempre hasta el final, creo que he cumplido contigo también y en este momento tus hijos se unen para recompensar todo dolor y sacrificio causado.*

*A mi padrastro Guillermo por su amistad y porque a ti debo gran parte de lo que hoy soy.*

*A mi padre Francisco Torres.*

*A mi novia Daykenis por brindarme su corazón, momentos alegres, apoyo, quiero sepas que sobre todas las cosas guardadas, guardo mi corazón y en él te guardo a ti. No lo dudes nunca.*

*A mi exclusiva abuelita Aída Luz porque siempre estuviste conmigo y eso nunca se me va olvidar.*

*A Manuel Vargas y su esposa Maribel por tenderme la mano cuando más lo necesitaba.*

*A Magalís y Emiliano por abrirme las puertas de su hogar.*

*A todos mis amigos de cuarto, son tantos que no puedo mencionarlos a todos.*

*A Johander Calzadilla y a Felipe Antonio por darme apoyo en el desarrollo de esta investigación.*

*A todos gracias...*

# *Declaración de Autoría*

**Moa, Holguín, de Junio de 2009**  
**“Año del 51 Aniversario del Triunfo de la Revolución”**

Yo, Vladimir Alberto Torres Torres, estudiante del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM), Dr. Antonio Núñez Jiménez, declaro que soy el único autor de la presente investigación titulada: “Prototipo de Sistema Experto para la Selección de Máquinas Perforadoras”. y autorizo a hacer uso de la misma en su beneficio al ISMM.

Para que así conste firman la presente a los \_\_\_\_\_ días del mes \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Firma del autor

\_\_\_\_\_  
Firma del Tutor (a)  
Dra.C. Darlines Sánchez Muñoz

\_\_\_\_\_  
Firma del Tutor  
Dr. Orlando Belete Fuentes

## Opinión del tutor del trabajo de diploma

Título del trabajo de diploma: \_\_\_\_\_

Tutor del trabajo de diploma: \_\_\_\_\_

Considero que el estudiante se encuentra listo para ejercer como Ingeniero Informático, y se le propone la calificación de \_\_\_\_ puntos.

Firma el presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del año \_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del tutor

## Opinión del usuario del trabajo de diploma

El trabajo de diploma titulado \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ fue realizado  
en \_\_\_\_\_. Esta entidad  
considera que en correspondencia con los objetivos trazados el trabajo de diploma le  
satisface.

- Totalmente
- Parcialmente en un \_\_\_\_ %

Los resultados de este trabajo de diploma le reportan a la entidad los beneficios  
siguientes:

---

---

---

---

---

---

Y para que así conste se firma el presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ del  
año \_\_\_\_.

Nombre del representante de la Entidad: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Firma y Cuño

## **Resumen**

La Minería es una actividad, que sin duda alguna constituye una importante fuente de obtención de riquezas que contribuye al desarrollo sostenido de los pueblos. En la zona oriental de Cuba, específicamente en el municipio Moa, existen valiosos yacimientos minerales que actualmente se encuentran en explotación.

Explotar determinado yacimiento mineral a cielo abierto, es sinónimo de poner en marcha proyectos mineros, donde los de perforación juegan un papel importante. Para ello es preciso conocer qué método y qué máquina de perforación es el más adecuado ante determinadas situaciones.

El proceso de selección de métodos y máquinas de perforación desarrollado por expertos en perforación es una tarea agotadora que puede durar semanas, cuando en determinadas ocasiones urgen los resultados en tiempos extremadamente cortos.

Con vista a agilizar este proceso se decide implementar un sistema automatizado basado en los métodos de perforación utilizados en dichos yacimientos.



# Abstract

The Mining is an activity that without a doubt some constitutes an important source of obtaining of wealth that contributes to the sustained development of the towns. In the oriental area of Cuba, specifically in the municipality Moa, exists valuable mineral locations that at the moment are in exploitation.

To exploit certain mineral location to open sky, it is synonymous of starting, where those of perforation play an important paper. For it is necessary to know what method and what perforation machine it is the most appropriate before certain situations.

The process of selection of methods and perforation machines developed by experts in perforation are an exhausting task that can last weeks, when in certain occasions they urge the results in extremely short times.

With view to speed up this process decides to implement an automated system based on the perforation methods used in this location.

# Índice

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO.....</b>	<b>5</b>
INTRODUCCIÓN. ....	5
1.1 IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA MINERA. ....	5
1.2 PRINCIPALES ACTIVIDADES DE LA MINERÍA. ....	6
1.3 APLICACIONES DE LAS (TICs) A LA MINERÍA. ....	7
1.4 OPORTUNIDADES TECNOLÓGICAS EN MINERÍA. ....	9
1.5 SISTEMAS UTILIZADOS EN MINERÍA. ....	10
1.6 ESTADO ACTUAL DE LA MINERÍA EN CUBA. ....	11
1.7 MÉTODOS DE PERFORACIÓN EN LA MINERÍA A CIELO ABIERTO. ....	12
1.7.1 <i>Clasificación y descripción de los métodos mecánicos de perforación.</i> .....	13
1.7.2 <i>Clasificación de las máquinas de perforación.</i> .....	15
1.8 PROCESO DE SELECCIÓN DE LAS MÁQUINAS PERFORADORAS. ....	16
CONCLUSIONES. ....	18
<b>CAPÍTULO II: SISTEMAS EXPERTOS.....</b>	<b>19</b>
INTRODUCCIÓN. ....	19
2.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA EXPERTO (SE)? .....	19
2.2 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS. ....	20
2.3 ¿POR QUÉ DESARROLLAR SISTEMAS EXPERTOS? .....	21
2.4 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS. ....	21
2.5 SISTEMA EXPERTO VS. SISTEMA CLÁSICO. ....	22
2.6 COMPONENTES DE UN SISTEMA EXPERTO. ....	22
2.6.1 <i>Base de conocimiento.</i> .....	24
2.6.2 <i>Base de Hechos.</i> .....	28
2.6.3 <i>Motor de Inferencias.</i> .....	28
2.6.4 <i>Interfaz de Usuario.</i> .....	30
2.6.5 <i>Subsistema de Explicación.</i> .....	31
2.6.6 <i>Adquisición de Conocimientos.</i> .....	31
2.7 METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS. ....	31
2.7.1 <i>Método GROVER.</i> .....	32
2.7.2 <i>Método de Weiss y Kulikowski.</i> .....	33
2.7.3 <i>Método BGM.</i> .....	34
2.7.4 <i>Método IDEAL.</i> .....	35
2.8 LENGUAJES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE SE. ....	38
2.8.1 <i>LISP</i> .....	39
2.8.2 <i>Prolog</i> .....	39
2.8.3 <i>Smalltalk.</i> .....	40
2.8.4 <i>CLIPS.</i> .....	40
CONCLUSIONES. ....	42
<b>CAPÍTULO III: IMPLEMENTACIÓN DEL SE. ....</b>	<b>43</b>
INTRODUCCIÓN. ....	43
3.1 FUNDAMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DESARROLLO. ....	43
3.2 FUNDAMENTACIÓN DE LA FORMA DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO. ....	44
3.3 FUNDAMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR ONTOLOGÍA. ....	44
3.3 FUNDAMENTACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS SELECCIONADAS. ....	45
3.4 FASE I. IDENTIFICACIÓN DE LA TAREA. ....	48
<i>Etapa I.1. Plan de requisitos y adquisición de conocimientos.</i> .....	48
<i>Planteamiento del problema.</i> .....	48
<i>Objetivos.</i> .....	48

<i>Alcance.</i> .....	48
<i>Participantes.</i> .....	48
<i>Requerimientos funcionales del Sistema.</i> .....	49
<i>Diagrama de caso de uso del sistema.</i> .....	50
<i>Etapa I.2. Evaluación y selección de la tarea.</i> .....	51
<i>Etapa I.3. Definición de las características del sistema.</i> .....	52
3.2 FASE II. DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS DE DEMOSTRACIÓN. ....	53
<i>Etapa II.1. Concepción de la solución.</i> .....	53
<i>Etapa II.2. Adquisición y Conceptualización de los conocimientos.</i> .....	53
<i>Formas de adquisición del conocimiento representado.</i> .....	53
<i>Etapa II.3. Formalización de los conocimientos.</i> .....	53
<i>Implementación de la base de conocimientos.</i> .....	53
<i>Proceso de desarrollo de la Ontología según la guía metodológica de la Universidad de Stanford.</i> .....	54
<i>Diagrama de clases.</i> .....	55
IMPLEMENTACIÓN DEL RAZONADOR EN CLIPS.....	60
ARCHIVOS QUE SE GENERAN Y CÓMO SE UTILIZAN.....	60
SUBSISTEMA DE EXPLICACIÓN: .....	61
IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO. ....	62
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>68</b>
<b>APÉNDICE A. ENCUESTAS APLICADAS.....</b>	<b>72</b>
<b>APÉNDICE B. ESTUDIO DE VIABILIDAD. ....</b>	<b>76</b>
<b>APÉNDICE C. PARÁMETROS DE LOS PROCESOS DE TRABAJO. ....</b>	<b>91</b>
<b>APÉNDICE D. ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE ONTOLOGÍAS. ....</b>	<b>97</b>
<b>APÉNDICE E. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA ONTOLOGÍA. ....</b>	<b>102</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las máquinas perforadoras en la explotación .....	15
Figura 2. Estructura de un Sistema Experto según De Miguel .....	24
Figura 3. Diagrama de caso de uso del Sistema. ....	51
Figura 4. Diagrama de clases. ....	56
Figura 5. Diagrama de clases (continuación). ....	56
Figura 6. Forma principal del Sistema. ....	62
Figura 7. Forma para caracterizar el yacimiento mineral según el tipo de roca.....	63
Figura 8. Forma para calcular los distintos parámetros en el método de percusión giro. ....	63
Figura 9. Forma para seleccionar la máquina perforadora a utilizar en el método. ....	64
Figura 10. Forma para realizar preguntas.....	65
Figura 11. Funciones de pertenencia de los valores lingüísticos. ....	79
Figura 12. Jerarquía de Clases de la ontología. ....	102
Figura 13. Clase tipo _ perforación con sus slots. ....	103
Figura 14. Clase método de barreno con sus slots.....	103
Figura 15. Clase método de taladro con sus slots.....	104
Figura 16. Clase métodos de perforación con sus slots. ....	104
Figura 17. Clase método mecánico con sus slots. ....	105
Figura 18. Clase método de percusión giro con sus slots. ....	105
Figura 19. Clase método de rotación con sus slots. ....	106
Figura 20. Clase método de corona de corte con sus slots.....	106
Figura 21. Clase método trépano de rodillo con sus slots. ....	107
Figura 22. Clase método de roto percusión con sus slots.....	107
Figura 23. Clase método no mecánico con sus slots.....	108
Figura 24. Clase método térmico con sus slots.....	108
Figura 25. Clases método para voladura con sus slots. ....	109
Figura 26. Clase método combinado con sus slots. ....	109

Figura 27. Clase método hidráulico con sus slots. ....	110
Figura 28. Clase método electro hidráulico con sus slots. ....	110
Figura 29. Clases método ultra acústico con sus slots. ....	111
Figura 30. Clase máquinas con sus slots. ....	111
Figura 31. Clases máquinas percusión giro con sus slots. ....	112
Figura 32. Clase máquinas de rotación con sus slots. ....	112
Figura 33. Clase máquina de corona de corte con sus slots. ....	113
Figura 34. Clase máquina de trépano de rodillo con sus slots. ....	114
Figura 35. Clase máquinas de roto percusión con sus slots. ....	115
Figura 36. Clase máquinas no mecánicas con sus slots. ....	116
Figura 37. Clase máquina térmica con sus slots. ....	117
Figura 38. Clase máquina combinada con sus slots. ....	118
Figura 39. Clase máquina para voladura con sus slots. ....	119
Figura 40. Clase máquina hidráulica con sus slots. ....	120
Figura 41. Clase máquina electro-hidráulica con sus slots. ....	121
Figura 42. Clase máquina ultra-acústica con sus slots. ....	121

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa entre un Sistema Clásico y un Sistema Experto. ....	22
Tabla 2. Clase Método_Trabajo .....	57
Tabla 3. Clase Roca .....	57
Tabla 4. Metodo_Perforación .....	57
Tabla 5. Maquina_mecanicas.....	58
Tabla 6. Clase Roca con las características de sus Slots. ....	58
Tabla 7. Definición de Intervalos Difusos correspondientes a cada valor lingüístico. ...	78
Tabla 8. Definición de Intervalos binarios correspondientes a cada valor.....	79
Tabla 9. Análisis de las Características Plausibilidad, Adecuación, Justificación y Éxito. .....	83
Tabla 10. Estudio cuantitativo para la dimensión de Plausibilidad. ....	84
Tabla 11. Estudio cuantitativo para la dimensión de Justificación.....	84
Tabla 12. Estudio cuantitativo para la dimensión de Adecuación. ....	84
Tabla 13. Estudio cuantitativo para la dimensión de Éxito. ....	84
Tabla 14. Cálculo final de la Viabilidad.....	85

## ***Introducción***

El desarrollo de la industria minera, se caracteriza por la transformación de la minería, en un proceso de producción planificada para mejorar las condiciones de vida del pueblo. Al mismo tiempo, esta industria constituye una fuente estable de divisa, necesaria para el desarrollo.

Nuestro país, en su parte oriental, específicamente en la zona Nicaro-Moa-Baracoa, cuenta con grandes yacimientos minerales. Siendo el municipio Moa el más beneficiado puesto que en el se encuentra el gran grueso de estos yacimientos.

En la actualidad se reflexiona sobre la posibilidad de automatización de los métodos de explotación de yacimientos minerales existentes, así como desarrollar nuevas máquinas perforadoras que permitan obtener un mayor volumen de masa minera, con vista a utilizar más racionalmente los recursos minerales del subsuelo.

Para seleccionar un adecuado método de perforación ante una determinada situación, realizar el cálculo de sus parámetros y posteriormente seleccionar que máquina se utilizará en dicho método, es un proceso realizado por los expertos en perforación que puede durar varias semanas, cuando en ocasiones es de vital importancia conocer los resultados.

La empresa Che Guevara, del municipio Moa, cuenta con una forma de realizar la selección, que no es la más eficiente, puesto que se realiza de forma manual y aunque en estos momentos esté en pleno uso presenta las siguientes dificultades.

- Dificultad en la toma de decisiones para seleccionar un adecuado método de perforación.
- Errores no intencionados en los cálculos de los principales parámetros de perforación.
- Dificultad en la toma de decisiones para seleccionar qué máquina perforadora debe utilizarse en el método de perforación a utilizar.
- Gran consumo de tiempo en la realización del proceso de selección.

La situación antes mencionada nos conduce al **problema científico**: *¿Cómo favorecer la toma de decisiones y celeridad del proceso de selección de métodos y máquinas de perforación en la industria del níquel Ernesto Che Guevara de Moa?*

Dicho problema se enmarca en el **objeto de estudio** *proceso de perforación en la minería a cielo abierto*.

De esta forma el **campo de acción** que abarca este trabajo, se centrará en *la selección de métodos y máquinas de perforación en La Empresa Che Guevara*.

Para dar solución a este problema se propone como **objetivo general**: Desarrollar e implementar un prototipo de Sistema Experto para automatizar la selección de los métodos y máquinas de perforación y el cálculo de los parámetros de perforación en la empresa Ernesto Che Guevara.

Nuestra investigación se sustenta de la **hipótesis**: *Un sistema informático que sea capaz de seleccionar métodos y máquinas de perforación y calcular los distintos parámetros de perforación debe favorecer a que el proceso selectivo de dichos métodos y máquinas se realice de forma más rápida y precisa.*

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

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



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

1. Realizar una revisión bibliográfica sobre:
  - El proceso de perforación en la minería.
  - Sistemas Expertos.
  
2. Definir conceptos y relaciones en el dominio del problema:
  - Entrevistar y encuestar a expertos en perforaciones.
  - Revisión bibliográfica relacionada con el tema (libros, folletos, revistas).
  - Definir conceptos que representen el conocimiento adquirido.
  - Explicar las relaciones entre los conceptos definidos.
  
3. Representar formalmente el conocimiento obtenido:
  - Estudio de las formas de representación del conocimiento.
  - Definir que forma de representación de conocimiento va utilizarse para representar el conocimiento.
  - Diseño conceptual de la ontología.
  
4. Implementar la solución propuesta:
  - Definir lenguajes y metodologías para desarrollar sistemas expertos.
  - Seleccionar la herramienta para implementar el sistema.
  - Conformar la base de conocimientos.
  - Implementar el razonador.
  - Implementar la Interfaz de usuario.

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

*En el **capítulo 1**, **Fundamentos de minería a Cielo Abierto**, se brinda información relacionada con la minería, los métodos y máquinas de perforación, su clasificación, los criterios de selección para emplear un método de perforación u otro. Además se hace un análisis sobre la vinculación de las nuevas tecnologías de la informática y las comunicaciones (TICs) con la industria minera así como algunas aplicaciones que han sido desarrolladas para esta industria.*

*En el **capítulo 2**, **Sistemas Expertos**, se presenta una descripción de los Sistemas Expertos, sus componentes, también se presentan comparaciones entre diferentes tipos de expertos y entre éstos y sistemas clásicos, sus principales aplicaciones, ejemplos y ventajas. Además se recogen algunas metodologías y lenguajes para su desarrollo.*

*En el **capítulo 3**, **Implementación del Sistema Experto** se muestra el diseño del prototipo de Sistema Experto para seleccionar métodos y máquinas de perforación así como detalles sobre los procesos de implementación de dicho sistema, las herramientas seleccionadas y la metodología seguida.*

# 1

## Capítulo

### ***Capítulo I: Fundamentos de minería a Cielo Abierto.***

#### ***Introducción.***

En el presente capítulo se ofrece una breve descripción de la importancia de la minería, su estado actual en Cuba específicamente en el Municipio Moa, así como la vinculación de ésta con las nuevas tecnologías de la informática y las comunicaciones (Tics). De igual manera se exponen los métodos y máquinas de perforación utilizados en la minería a cielo abierto, además de los criterios de selección que se tienen en cuenta para su empleo en dicha zona.

#### ***1.1 Importancia de la industria minera.***

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 utilizando 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 una actividad económica típicamente extractiva, que tiene por finalidad aprovechar los recursos metálicos y no metálicos que existen en la subsuelo. Como es obvio, la humanidad no puede prescindir de los recursos minerales ofrecidos por la naturaleza, por ello su importancia radica en ser una importante fuente de obtención de divisas, por brindar ocupación a gran número de habitantes de toda la región nacional, porque sus actividades contribuyen al desarrollo regional, es decir conlleva a la instalación de numerosas obras complementarias, entre las que se cuentan: centrales hidroeléctricas, redes de

caminos y ferrocarriles, viviendas modernas dotadas de todos sus servicios, centros educativos de los diferentes niveles, servicios hospitalarios, etc., que en conjunto, promueven el desarrollo regional. Además 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 entre las que están las plantas concentradoras, las fundiciones y refinerías de metales y crudos, etc.

Razones suficientes que demuestran el importante papel que juega la minería en el desarrollo internacional y de las regiones donde se ubica.

### ***1.2 Principales actividades 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, 02)**

- ❖ **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.
- ❖ **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.
- ❖ **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.
- ❖ **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.

❖ **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.

❖ **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. Es precisamente en esta etapa donde se seleccionan los métodos y las máquinas de perforación.

❖ **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.

### ***1.3 Aplicaciones de las (TICs) a la minería.***

En el XV Simposio de ingeniería en Minas (SIMIN) 2007 en su exposición Bernardo Reyes plantea: “*Se denominan Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), al conjunto de tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de informaciones contenidas en señales de naturaleza acústica (sonidos), óptica (imágenes) o electromagnética (datos alfanuméricos)*”. (Reyes, 07)

En muchas actividades resulta natural trabajar apoyados en las tecnologías de información. Este uso no es ajeno en el mundo minero; sin embargo, según algunos especialistas todavía no se han desarrollado soluciones específicas e integradas en este sector, abriendo oportunidades de negocios y de innovación, ya sea de equipamiento, maquinaria, aplicaciones tecnológicas especializadas o servicios.

Resultados mostrados en el XV Simposio de ingeniería en Minas celebrado en Agosto de 2007 en la universidad de Santiago de Chile aseguran que:

- La minería invierte el 0,8% de sus ingresos en TICs.
- Las TICs en minería tiene un uso principal en operaciones productivas (software) y avanza lentamente hacia un enfoque más estratégicos.
- Estima que en minería 53% del gasto es en telecomunicaciones, 22% en software, 16% en hardware y un 9% en servicios.
- US \$ 625 millones software y servicios.

Varios han sido los años por los que han transitado las tecnologías de la información y las comunicaciones, en la minería, tienen sus inicios en 1960:

### **Evolución de las TICs, en minería.**

- 1960: Estimaciones de tonelaje y ley.
- 1970: Modelamiento numérico de bloques en 3D.
- 1980: Modelamiento geométrico y visualización en 3D.
- 1989: Procesos computarizados de ingeniería para el diseño de minas, la optimización, la planificación y el manejo de flotas.
- 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, tiene esto un enorme valor.

De esta forma se brindan servicios palpables a la minería como lo son: consultorías de tecnología de la información, integraciones de sistemas computacionales, integración de sistemas de redes, automatización de oficinas, mantención de equipos, servicios de procesamientos de datos etc. (Reyes, 07)

### **1.4 Oportunidades tecnológicas en minería.**

Según lo planteado por (Reyes, 07) las TICs ofrecen a su vez oportunidades de alto valor competitivo a la minería dentro de las cuales están:

- ❖ Sistema de Planificación integrada mina y planta.
- ❖ Caracterización del yacimiento: Sistema para aumentar la certeza de la potencialidad económica y características físicas del yacimiento.
- ❖ Integración de la información que fluye entre la extracción y el procesamiento del mineral: motor de objetos mineros estandarizados.
- ❖ Sistema de monitoreo y gestión del recursos energéticos, para poder estimar mejor y ocupar mas eficientemente la energía.
- ❖ Sistema de monitoreo y gestión del recursos energéticos, para poder estimar mejor y ocupar mas eficientemente la energía.
- ❖ Plataforma de gestión del conocimiento minero.
- ❖ GIS de propiedades mineras: Aplicación Georeferenciada (GIS) que integra información de Propiedades Mineras, Derechos de Aguas, Derechos de paso y Permisos.
- ❖ Sistema de despacho a puertos y control de embarque.

Al mismo tiempo, las TICs, tienen impacto en el incremento de la producción y productividad, en la reducción de los costos derivados de un descenso en los precios y, mejoras de calidad de los bienes y servicios TICs, Afecta positivamente a la productividad total de los factores (capital más empleo). Es decir que ellas son primordiales para el crecimiento de cualquier economía.

### **1.5 Sistemas utilizados en minería.**

Como parte de las oportunidades brindadas por las Tecnologías de la Información y la Comunicaciones, la industria de software ofrece diversas alternativas mineras disponibles en el mercado internacional, desde soluciones orientadas a aplicaciones específicas, hasta productos que ofrecen servicios más integrales, que abarcan y controlan diversas áreas del negocio minero, todo ello, en pos de una mayor eficiencia, palabra clave en un negocio cada vez más competitivo como lo es la minería. Algunos ejemplos de estas bondades de la industria del software para la minería lo son:

**VULCAN**, Creado por la **Maptek**. Es un software líder en modelamiento 3D y planeación para la industria minera. Es aplicable para todas las situaciones que implican modelamiento y análisis espacial, en campos que van desde minería a manejo ambiental e ingeniería civil. Posee las herramientas necesarias para la creación del diseño, tanto para cielo abierto, como para subterráneo; permite el modelamiento de yacimientos metálicos, carboníferos y de metales industriales, y entrega las herramientas para un completo desarrollo topográfico y de geomensura. El software permite convertir los complejos datos en información visual que se reflejan en la creación de imágenes interactivas y dinámicas en 3D, facilitando su comprensión y entendimiento. Además, puede desarrollar completos estudios de factibilidad y de impacto ambiental, destacando así su capacidad de análisis de información y estimación de recursos.

**PROSPECTOR**, Documentado por Hart (1978) y Duda (1979), se ocupa de la prospección y evaluación de yacimientos de minerales, particularmente cobre y uranio. Utiliza la inferencia probabilística.

**MineSched**, creado por la **Surpac Minex**. Software de planificación minera de desarrollo y planificación de la producción desde el corto hasta largo plazo en minería subterránea y de cielo abierto. Este programa tiene interfaz directa con MS Project y Excel, permitiendo al planificador obtener flexibilidad y un mejor manejo del plan minero al analizar múltiples opciones en un corto tiempo.

**Surpac Visión**, creado por la **Surpac Minex**. Software geológico minero que cubre desde las tareas de exploración hasta la planificación de la mina. Este programa se caracteriza por tener un fácil manejo y gran potencialidad al manejar información de



distintos formatos, además de poder realizar conexiones de trabajos múltiples desde internet.

**El Sistema de Alta Precisión para Perforadoras**, creado por **Modular Mining Systems**. Está diseñado para maximizar el uso de equipo de perforación y reunir datos que puedan ser utilizados para mejorar el proceso de Trona dura y correlacionar el desarrollo de este con el sistema de acarreo de material. Permite sin la necesidad de marcar los pozos en terreno, posicionar a la perforadora en el lugar exacto donde se desea hacer la perforación. Lee directamente las coordenadas y características de cada pozo desde los sistemas de Planificación donde se diseñó la malla de perforación.

Como resultado de la minuciosa búsqueda realizada sobre sistemas disponibles en el mercado del software minero, nos percatamos que en la actualidad no existe software destinados a la selección de métodos y máquinas perforadoras para la explotación a cielo abierto.

### **1.6 Estado actual de la minería en Cuba.**

El desarrollo de la industria minera en Cuba se caracteriza por ser un proceso de producción planificado para mejorar las condiciones de vida del pueblo. Los minerales lateríticos, cuyos recursos se calculan en unos 3 000000 de t depositadas principalmente en el nordeste de la Provincia de Holguín, constituyen nuestra principal riqueza minera actual. El principal componente de las lateritas lo constituye el hierro, cuyo contenido alcanza un 48 % y más. La alumina, mineral de aluminio ( $Al_2O_3$ ), llega a alcanzar hasta un 14 %, pero además, en la laterita se encuentra níquel, cobalto, cromo, manganeso y otros metales, donde desde el punto de vista industrial, tiene gran importancia el contenido de níquel, mineral que se extrae actualmente en dicha zona y que su producción anual en las fábricas existentes en Moa ha sido de 36 000t al año.

Otro de los metales que se extrae en el país es el cromo. Actualmente se explotan los yacimientos de Amores y las Merceditas, que se benefician en una pequeña planta situada en el poblado de punta Gorda de Moa. Las reservas existentes en la zona permiten predecir el desarrollo de esta industria. Como se ve la zona nordeste de Holguín constituye un territorio de importancia minera para el país, con grandes perspectivas de desarrollo. (Belete, 02)

La extracción de los minerales útiles del subsuelo se realiza a través de dos métodos, a **Cielo Abierto** y **Subterráneo**, y del fondo del mar por el método **Submarino**. La mayor difusión la ha obtenido el primer método, a través del cual se extrae el 75 % de las menas metálicas, y prácticamente el 100 % de los materiales de construcción y no metálicos. Por tal motivo nuestra investigación está enfocada únicamente en las perforaciones realizadas a cielo abierto.

### ***1.7 Métodos de perforación en la minería a Cielo Abierto.***

En la actualidad en la ejecución de los trabajos mineros a cielo abierto, se utilizan dos métodos fundamentales para los trabajos de perforación y explosión: el método de perforación de barrenos y el método de perforación de taladros.

Según (Paul, 80) el método de perforación de barrenos se utiliza fundamentalmente, durante la realización de las labores mineras de avance (horizontal, inclinado y vertical) y se caracteriza por la poca profundidad y el pequeño diámetro de las perforaciones. La profundidad de las perforaciones raras veces sobrepasa los 2 metros y el diámetro varía entre 40 y 50 mm.

El método de perforación de taladros se caracteriza por la ejecución de perforaciones de grandes profundidades (40-45 mm) y grandes dimensiones (85-150 mm). En los últimos años se han estado llevando a cabo trabajos investigativos tendientes a disminuir los diámetros de los taladros hasta 50-70 mm, ya que esto permite el mejoramiento de muchos parámetros tecnológicos del proceso de extracción de minerales.

Dentro de estos dos métodos de perforación a cielo abierto se ejecutan otros que a continuación serán mencionados.

### 1.7.1 Clasificación y descripción de los métodos mecánicos de perforación.

A continuación se ofrece una clasificación general de los métodos de perforación utilizados en la minería a cielo abierto.

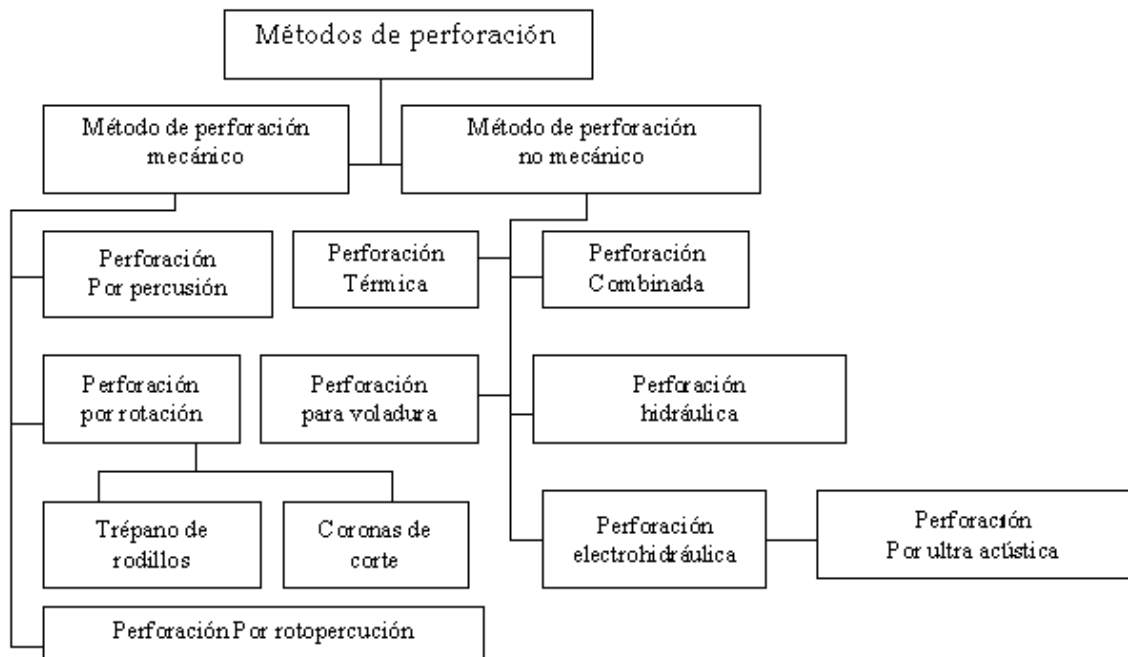


Figura1.2 Clasificación de los métodos de perforación en la explotación de los yacimientos a cielo abierto. (Belete-02)

Si bien es cierto que los anteriormente expuestos constituyen métodos de perforación; en la industria minera de hoy en día solo se emplean cuatro de ellos: *percusión y giro, rotación, rotación- percusión y el térmico*. En tal sentido en este capítulo solo se recogen los métodos anteriormente mencionados. Los tres primeros son métodos mecánicos de perforación durante los cuales la separación de las partículas de las rocas del macizo se realiza por fuerzas mecánicas generadas por máquinas perforadoras y transmitidas a las rocas por instrumentos especiales. El método térmico se utiliza en las perforaciones de rocas de base silícica, la destrucción de las rocas se efectúa debido a la acción de chorros de gases a altas temperaturas y velocidades supersónicas, los cuales provocan un calentamiento intensivo de las rocas y su posterior destrucción. (Paul, 80)

- **Perforación de percusión y giro.**

En este método, la destrucción de la roca ocurre como resultado de los golpes sucesivos del instrumento en el frente por el movimiento de avance y retroceso realizado. Antes cada golpe siguiente el instrumento gira un determinado ángulo, asegurando de esta forma, la destrucción de las rocas en toda el área del frente; este proceso se realiza de forma periódica con intervalos para el movimiento de avance y retroceso del pistón. Este método de perforación se utiliza fundamentalmente para la perforación de barrenos y talados en rocas de alta fortaleza.

- **Perforación por rotación.**

En este método el instrumento gira ininterrumpidamente alrededor de su eje, que coincide con el eje del barreno o taladro, y al unísono con determinado esfuerzo de avance hacia el frente. La cuchilla del instrumento rompe y desgasta la roca en la superficie del frente. El proceso de destrucción de la roca se realiza de una forma continua a consecuencia de lo cual se alcanza una alta velocidad de perforación. Solamente se emplea durante la perforación de rocas de fortaleza media y por debajo de media.

- **Perforación de rotación -percusión.**

Este método es la combinación del método rotatorio y el de percusión. Se diferencia del de percusión y giro, en que al instrumento de perforación se le aplica constantemente un momento torsional con un considerable esfuerzo de avance. Si disminuimos el momento torsional y el esfuerzo de avance, y aumentamos la energía del golpe entonces la perforación de rotación-percusión se aproximará a la de percusión y giro y por el contrario, si aumentamos el momento torsional nos acercáramos al rotatorio. La posibilidad de la combinación de ambos métodos de perforación garantiza un régimen óptimo de perforación de las rocas de distintas fortaleza.

- **Perforación térmica.**

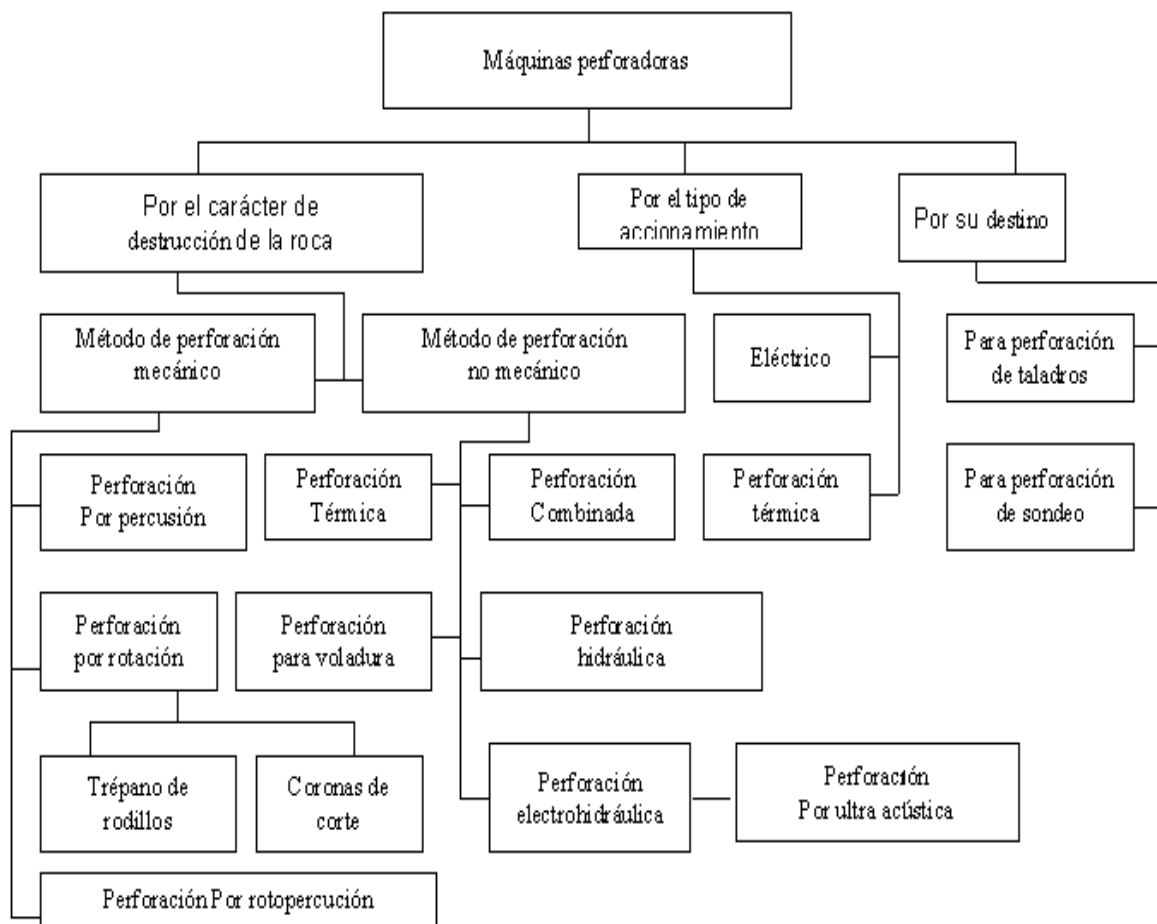
Se realiza con maquinas especiales. Los productos de la combustión a temperatura de 2500-3000 grados centígrados, a velocidades supersónicas, salen de la tobera

del quemador y caen sobre la roca. La roca, bajo la influencia de un intenso calentamiento, se quiebra y bajo la acción mecánica de un chorro de gas, se destruye. Este método se emplea en las rocas de base silícica, teniendo gran éxito en las rocas que tienen alta temperatura de fusión y baja conductividad térmica; estas rocas se quiebran antes de que comience la fusión.

**1.7.2 Clasificación de las máquinas de perforación.**

Las máquinas perforadoras se clasifican por el carácter (método) de destrucción de la roca minera, tipo de accionamiento y destino. (Belete, 02)

En la figura que a continuación se muestra, queda recogida tal clasificación.



**Figura 1. Clasificación de las máquinas perforadoras en la explotación de los yacimientos a cielo abierto. (Belete, 02)**

### **1.8 Proceso de selección de las máquinas perforadoras.**

Estas máquinas son utilizadas para la perforación en yacimientos minerales a cielo abierto, pero su uso viene dado por un proceso selectivo que determina cual de ellas es la más adecuada para trabajar sobre determinado yacimiento. Para llevar a cabo este proceso de selección es de vital importancia determinar algunos parámetros:

#### **✓ Métodos de ejecución de trabajos mineros.**

Primeramente se necesita determinar que método se utilizará en la ejecución de los trabajos de perforación, ya sea para la realización de labores mineras de avance (*método de perforación de barrenos*) o *el método de perforación de taladros*. Ello lo determina el diámetro y profundidad de las perforaciones.

#### **✓ Propiedades del yacimiento.**

Luego se procede a determinar las propiedades que presenta el yacimiento que se desea explotar, estas propiedades están relacionadas con los tipos de roca. Para esto se extraen muestras de las mismas, se llevan al laboratorio y allí se realizan pruebas que dan como resultado la resistencia a la compresión, índice y grado de perforabilidad, índice y grado de fortaleza según Protodiaconov, una vez obtenido estos resultados se procede a determinar que método de perforación ha de utilizarse.

#### **✓ Cálculos de los parámetros fundamentales del proceso de trabajo.**

Conocido el método de perforación a utilizarse en el yacimiento se continúa con la realización de los cálculos de los distintos parámetros: fuerza del golpe, número de golpes por minuto, trabajo de un golpe del instrumento perforador, velocidad técnica teniendo en cuenta el trabajo, esfuerzo axial, frecuencia de rotación, velocidad técnica de perforación, entre otros (ver Apéndice C) todos estos parámetros tributan a la productividad.

**✓ Máquinas a utilizar.**

Después que son determinados estos parámetros y en especial la productividad, se lleva a cabo el paso más importante, que sin duda es el seleccionar una máquina específica para desempeñar la labor, para esto se cuenta con un catálogo en el que vienen incluidas las características técnicas y productividad de las máquinas que comparados con los resultados obtenidos en los parámetros calculados ofrecen la selección.

Es valido destacar que este proceso en su totalidad se torna complejo y agotador para los especialistas, puesto que para llegar al resultado final de dicha selección se necesita transitar por todos los parámetros anteriormente mencionados, y ello se realiza de forma manual, esto como es evidente atenta contra la prontitud y exactitud del proceso.

Después de realizar una minuciosa búsqueda bibliográfica no se encontró ningún sistema que realice el proceso de selección de métodos y máquinas de perforación por tal razón además de analizar las posibilidades reales que nos brindan los sistemas expertos para efectuar dicha selección como: persistencia del conocimiento de muchos expertos, la posibilidad de utilizar personal no especializado para resolver problemas que requieren de especialidad , posibilidad de acumular y codificar el conocimiento tanto público como privado que poseen los expertos en perforaciones, así como obtención de soluciones más fiables, reducción de costos, eliminación de operaciones incómodas o monótonas y acceso al conocimiento a poblaciones más amplias se decide implementar un prototipo de sistema experto para dar solución a la problemática previamente seleccionada.

***Conclusiones.***

Ciertamente hemos podido comprobar que la industria minera constituye una importante fuente de riquezas que favorece considerablemente el desarrollo de los pueblos, nuestro país no está ajeno a esta realidad y están dadas todas las condiciones para emprender proyectos de ésta naturaleza.



## 2

## Capítulo

**Capítulo II: Sistemas Expertos.****Introducción.**

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

**2.1 ¿Qué es un Sistema Experto (SE)?**

El concepto de Sistema Experto (SE) ha ido evolucionando a través de los años, por lo que resulta un tanto difícil su definición, ya que, a medida que se va progresando, sus funciones se van ampliando y resulta un concepto cambiante según (Castillo, 89). **“Un Sistema Experto (SE), es básicamente un programa de computadora basado en conocimientos y raciocinio que lleva a cabo tareas que generalmente sólo realiza un experto humano” (Karman et al, 89);** es decir, es un programa que imita el comportamiento humano en el sentido de que utiliza la información que le es proporcionada para poder dar una opinión sobre un tema en especial. Otros autores lo definen como sigue: un Sistema Experto es un programa de computadora interactivo que contiene la experiencia, conocimiento y habilidad propios de una persona o grupos de personas especialistas en un área particular del conocimiento humano, de manera que permitan resolver problemas específicos de ése área de manera inteligente y satisfactoria. **(De Miguel, 05)**

La tarea principal de un SE es tratar de aconsejar al usuario. **(Schildt, 89)**

Los usuarios que introducen la información al SE son en realidad los expertos humanos, y tratan a su vez de estructurar los conocimientos que poseen para ponerlos entonces a disposición del sistema. Los SE son útiles para resolver problemas que se basan en conocimiento.

Para que un sistema experto sea herramienta efectiva según **(Vázquez, 06)**, los usuarios deben interactuar de una forma fácil, reuniendo dos capacidades para poder cumplirlo:

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

## ***2.2 Aplicaciones de los Sistemas Expertos.***

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

- ***Transacciones bancarias***: usando los cajeros automáticos que son ejemplos sencillos de sistemas expertos. **(Castillo, 97)**
- ***Control de tráfico***: se utilizan sistemas expertos que operan automáticamente los semáforos y regulan el flujo del tráfico en las calles de una ciudad y en los ferrocarriles. **(Castillo, 97)**
- ***Predicción***: Inferir las consecuencias de situaciones dadas. **(Bello, 05)**
- ***Diagnóstico médico***: se utilizan sistemas expertos para asistir a médicos en el momento que un paciente presenta un conjunto de síntomas, ¿cómo se decide qué enfermedad es la que más probablemente tiene el paciente? **(Castillo, 97)**

- **Monitoreo:** Comparar observaciones para detectar situaciones esperadas. Implica el análisis continuo de señales y la puesta en marcha de acciones y/o alarmas según proceda. **(Bello, 05)**
- **Problemas de planificación:** para que optimicen ciertos objetivos como, por ejemplo, la organización y asignación de aulas para la realización de exámenes finales en una gran universidad, la planificación de autobuses para las horas de congestión o de días festivos. **(Castillo, 97)**

### ***2.3 ¿Por qué desarrollar Sistemas Expertos?***

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

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

### ***2.4 Ventajas de los sistemas expertos.***

Las ventajas que se presentan a continuación son en comparación con los expertos humanos según **(Sánchez, 90)**.

- Están siempre disponibles a cualquier hora del día y de la noche, y de forma interrumpida.
- Mantiene el humor.
- Pueden duplicarse (lo que permite tener tantos SE como se necesiten).
- Pueden situarse en el mismo lugar donde sean necesarios.

- Permiten tener decisiones homogéneas efectuadas según las directrices que se les fijen.
- Son fáciles de reprogramar.
- Pueden perdurar y crecer en el tiempo de forma indefinida.
- Pueden ser consultados por personas o otros sistemas informáticos.

### 2.5 Sistema experto VS. Sistema clásico.

La siguiente tabla compara las características de ambos tipos de sistemas según (De Ávila, 03)

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

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

### 2.6 Componentes de un Sistema Experto.

Los dos componentes principales de cualquier Sistema Experto son una **base de conocimientos** y un **programa de inferencia**, o también llamado **motor de inferencias**. (De Miguel, 05)

1. La base de conocimientos del Sistema Experto con respecto a un tema específico para el que se diseña el sistema. Este conocimiento se codifica según una notación específica que incluye reglas, predicados, redes semánticas y objetos.
2. El motor de inferencia, que es el que combina los hechos y las preguntas particulares, utilizando la base de conocimiento, seleccionando los datos y pasos apropiados para presentar los resultados. **(Criado, 02)**

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

- **La base de conocimientos (BC).** En ella se almacena el conocimiento sobre algún dominio de aplicación mediante alguna forma de representación del conocimiento (F.R.C), por lo que podemos decir que la base de conocimientos contiene el conocimiento tanto público como privado que posee el experto para la solución de problemas en un dominio de aplicación concreto **(Bello, 05)**
- **La base de hechos (memoria de trabajo).** Se trata de una memoria temporal auxiliar que almacena los datos del usuario, datos iniciales del problema, y los resultados intermedios obtenidos a lo largo del proceso de resolución. A través de ella se puede saber no sólo el estado actual del sistema sino también cómo se llegó a él **(Bello, 05)**
- **El motor de inferencia.** Implementa algún M.S.P. que manipula el conocimiento almacenado en la B.C. e informaciones sobre estados iniciales, estados actuales de la solución del problema, etc., las cuales procesan dinámicamente en una estructura que se le llama Base de Datos (B.D.) o Memoria de Trabajo **(Bello, 05)**
- **Subsistema de adquisición del conocimiento.** controla el flujo del nuevo conocimiento que fluye del experto humano a la base de datos. El sistema determina qué nuevo conocimiento se necesita, o si el conocimiento recibido es en realidad nuevo, es decir, si debe incluirse en la base de datos y, en caso necesario, incorpora estos conocimientos a la misma **(Castillo, 97)**
- **Subsistema de explicación.** Este componente entra en ejecución cuando el usuario solicita una explicación de las conclusiones obtenidas por el SE. Esto se facilita mediante el uso de una interface. **(Sell, 89)**

- **Interfaz de usuario.** Mediante ella el usuario plantea los problemas al S.E., recibe preguntas del mismo y ofrece las explicaciones necesarias. La IU se compone de: Preguntas, Frases y Menús. Pueden incluir módulos de explicaciones asociadas a cada regla para proveer información suplementaria. Usualmente la información que procesa la IU debe suministrarse con una sintaxis estricta, formateada de alguna forma **(Bello, 05)**

Muchos investigadores hacen representaciones visuales de los componentes de un SE. Por ejemplo, De Miguel muestra su diagrama de un SE en la figura 2.

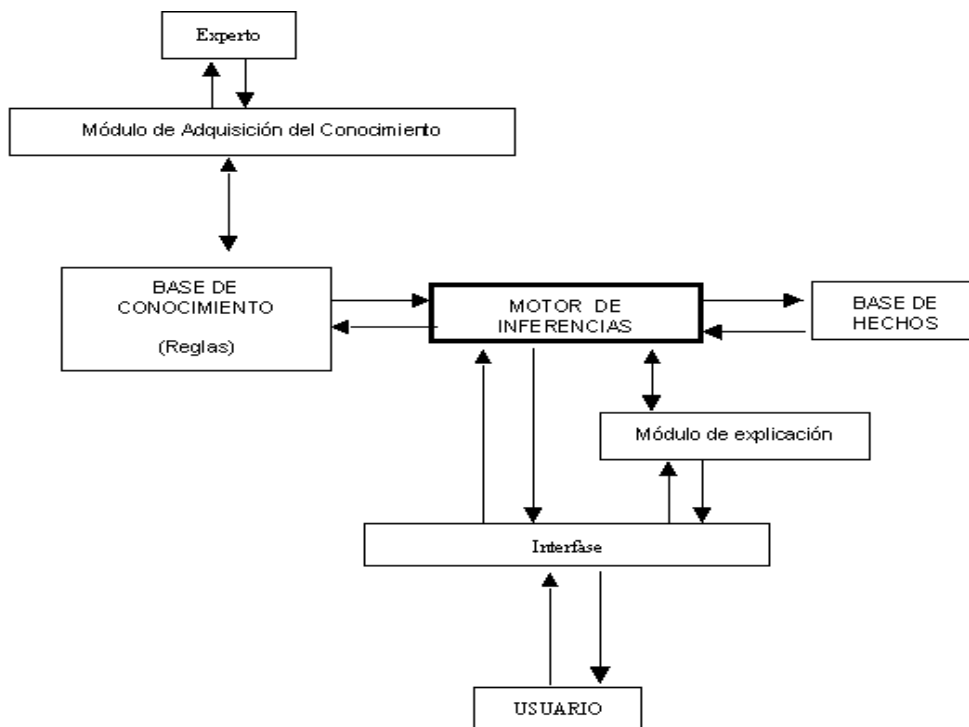


Figura 2. Estructura de un Sistema Experto según (De Miguel, 05)

### 2.6.1 Base de conocimiento.

La base de conocimientos contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja.

La base de conocimiento que un experto utiliza es la que aprendió en la escuela, de colegas y a partir de años de experiencia. Probablemente cuanto más experiencia

tiene, más grande es su conocimiento almacenado. El conocimiento le permite interpretar la información en su base de datos ayudándolo en diagnósticos, diseño y análisis.

Una base de conocimientos es similar a la suma total de los conocimientos y experiencias de los expertos humanos que se obtienen a través de años de trabajo en un área o disciplina específica. Esta base de conocimiento puede ser extremadamente eficiente y exacta desde el punto de vista de sus sugerencias y pronósticos, ya que contiene información proporcionada por diversos expertos.

Una característica muy importante es que la base de conocimientos es independiente del mecanismo de inferencia que se utiliza para resolver los problemas. De esta forma, cuando los conocimientos almacenados se han quedado obsoletos, o cuando se dispone de nuevos conocimientos, es relativamente fácil añadir reglas nuevas, eliminar las antiguas o corregir errores en las existentes. No es necesario reprogramar todo el Sistema Experto.

### ***Formas de representación del conocimiento.***

El conocimiento que ha de funcionar en un SE es el conocimiento heurístico; el conocimiento heurístico es aquel conocimiento que ayuda a las personas u ordenadores a aprender, es el uso de los conocimientos empíricos. Las reglas de pensamiento, los trucos, los procedimientos o cualquier tipo de información que nos ayuda en la resolución de problemas. **(De Miguel, 05)**

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

- Capture generalizaciones.
- Pueda ser comprendido por todas las personas que vayan a proporcionarlo y procesarlo.
- Pueda ser fácilmente modificado.

- Pueda ser utilizado en diversas situaciones aún cuando no sea totalmente exacto o completo.
- Pueda ser utilizado para reducir el rango de posibilidades que usualmente debería considerarse para buscar soluciones.

La ingeniería cognoscitiva ha adaptado diversos sistemas de representación del conocimiento que, implantados en un computador, se aproximan mucho a los modelos elaborados por la psicología cognoscitiva para el cerebro humano. Tradicionalmente la representación del conocimiento conlleva el uso de marcos (frames), redes semánticas, cálculo de predicados o sistemas de producción (De Albornoz, 06). Sin embargo, existen otros sistemas para la representación del conocimiento. Entre los principales sistemas se tienen:

#### Declarativas.

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



jerárquica. Su concepción se basa en la asociación de conocimientos que realiza la memoria humana. Las principales aplicaciones son: comprensión de lenguaje natural, bases de datos deductivas, visión por computadora y sistemas de aprendizaje. **(Angulo y Del Moral, 94)**

- **Estructuras Marcos o Frame.** Una plantilla (*frame*) es una estructura de datos apropiada para representar una situación estereotípica. Las plantillas organizan el conocimiento en objetos y eventos que resultan apropiados para situaciones específicas. Una *plantilla* representa un objeto o situación describiendo la colección de atributos que posee. Cada plantilla está formada por un nombre y por una serie de campos de información o *ranuras* (*slots*). Cada *ranura* puede contener uno o más *enlaces* (*facets*). Cada *enlace* tiene un valor asociado. Varios *enlaces* pueden ser definidos para cada *ranura*. Esto sugiere que una plantilla puede ser un medio poderoso de representación del conocimiento, especialmente si se la incorpora en una red de plantillas. **(Benchimol et al ,90)**
- **Ontologías.** Según la definición de **(Gruber, 83)** una ontología constituye "una especificación explícita y formal sobre una conceptualización compartida". En el (Apéndice D) se brindan más aspectos teóricos relacionados con la ontología.

#### Procedurales.

- **Strips.** Son los procedimientos que transforman la descripción de un estado a otro. La planificación es la generación de una secuencia de acciones para un agente. Estas acciones cambian de un estado a través de los Strips.
- **Reglas de Producción.** Es la forma más común de representar el conocimiento, debido a su gran sencillez y a que es la formulación más inmediata del principio de causalidad. Una regla consta de un conjunto de acciones o efectos (una o mas) que son ciertas cuando se cumplen un conjunto de condiciones o causas. La potencia de una regla está en función de la lógica que admita en las expresiones de las condiciones y de las conclusiones. La conclusión se suele referir a la creación de un nuevo hecho válido, o la incorporación de una nueva característica a un hecho, mientras que la acción suele referirse a la transformación de un hecho. **(Rich y Knight, 91)**

### ***Adquisición del conocimiento.***

El conocimiento necesario para el desarrollo de un sistema experto se puede adquirir desde diversas fuentes, como: estudio de casos, artículos, bases de datos, datos empíricos, libros y la experiencia personal de los expertos, siendo esta última la principal.

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

La Ingeniería del Conocimiento es el arte de diseñar y construir los sistemas expertos donde los ingenieros del conocimiento son sus médicos, es además una parte aplicada de la ciencia de la inteligencia artificial que, a su vez, es parte de la informática. Teóricamente, un ingeniero del conocimiento es un informático que sabe diseñar y poner programas en ejecución que incorporan técnicas de inteligencia artificial. **(Vázquez, 06)**

### ***2.6.2 Base de Hechos.***

La base de datos o base de hechos es una parte de la memoria del ordenador que se utiliza para almacenar los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.

### ***2.6.3 Motor de Inferencias.***

El motor de inferencias es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el Sistema Experto. Utilizando los datos que se le suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución. **(Vázquez, 06)**

La estrategia de control puede ser de encadenamiento progresivo o de encadenamiento regresivo.

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

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

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

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

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

1. Obtener las reglas relevantes, buscando la expresión E en la parte acción (éstas serán las que puedan establecer la verdad de E)

2. Si no se encuentran reglas para aplicar, entonces no se tienen datos suficientes para resolver el problema; se termina sin éxito o se piden al usuario más datos.
3. Si hay reglas para aplicar, se elige una y se verifica su parte condición C con respecto a la base de datos.
4. Si C es verdadera en la base de datos, se establece la veracidad de la expresión E y se resuelve el problema.
5. Si C es falsa, se descarta la regla en curso y se selecciona otra regla.
6. Si C es desconocida en la base de datos (es decir, no es verdadera ni falsa), se le considera como subobjetivo y se vuelve al paso 1 (C será ahora la expresión E).

A este enfoque se le llama también guiado por objetivos.

Existen también otros enfoques como:

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

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

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

#### ***2.6.4 Interfaz de Usuario.***

La interfaz de usuario permite que el usuario pueda describir el problema al Sistema Experto. Interpreta sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa, formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones. Es decir, posibilita que la respuesta proporcionada por el sistema sea inteligible para el interesado. También puede

solicitar más información al SE si le es necesaria. En algunos sistemas se utilizan técnicas de tratamiento del lenguaje natural para mejorar la comunicación entre el usuario y el SE.

### ***2.6.5 Subsistema de Explicación.***

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

### ***2.6.6 Adquisición de Conocimientos.***

El módulo de adquisición del conocimiento permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento (en la mayoría de los casos reglas) en el SE. Si el entorno es dinámico, entonces este componente es muy necesario, puesto que el sistema funcionará correctamente sólo si se mantiene actualizado su conocimiento. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen. **(Samper, 02)**

## ***2.7 Metodologías para el desarrollo de Sistemas Expertos.***

Varios autores han señalado que uno de los cuellos de botella más importantes en el proceso de construcción de un sistema informático basado en el conocimiento es el de la adquisición de conocimiento **(Greenwell, 88; Debenham, 89; Brulé y Blount, 89; Meyer y Booker, 91)**. Constituye una tendencia el mejorar al proceso de educación de conocimiento mediante el uso de técnicas de adquisición de conocimiento. En forma mas sencilla, esta cuestión consiste en el problema de hacer que el experto diga lo que sabe y un problema complementario es darle forma automáticamente

manipulable. Algunos de estos métodos de educación del conocimiento se muestran a continuación.

### **2.7.1 Método GROVER.**

La metodología de (Grover, 83), se concentra en el la definición del dominio (conocimiento, referencias, situaciones y procedimientos) en la formulación del conocimiento fundamental (reglas elementales, creencias y expectativas) y en la consolidación del conocimiento de base (revisión y ciclos de corrección). La metodología de adquisición de conocimiento tiene tres fases: definición del dominio, formulación fundamental del conocimiento y consolidación del conocimiento basal.

**Etapas 1. Definición del dominio.** Después que el problema es definido por el usuario, la primera fase de adquisición de conocimientos consiste en un cuidadoso entendimiento del dominio. El objetivo es la producción de un Manual de Definición de Dominios conteniendo: Descripción general del problema. Bibliografía de los documentos referenciados. Glosario de términos, acrónimos y símbolos. Identificación de expertos autorizados. Definición de métricas de performance apropiadas y realistas. Descripción de escenarios de ejemplos razonables.

#### **Etapas 2. Formulación fundamental del conocimiento.**

En la segunda fase de Adquisición de Conocimientos, se revisan los escenarios seleccionados por el experto. Esta revisión forma una base para determinar la performance mínima, realizar el testeo y efectuar la corrección y determinar las capacidades del sistema experto que pueden ser expandidas y sujetas a experimentación. Esta base del conocimiento fundamental debe incluir: una ontología de entidades del dominio, relaciones entre objetos (clases) y descripciones objetivas; un léxico seleccionado (vernáculo); una definición de fuentes de entrada y formatos; una descripción del estado inicial incluyendo un conocimiento estático; un conjunto básico de razones y reglas de análisis; y una lista de estrategias humanas (meta-reglas) las cuales pueden ser consideradas por los diseñadores del sistema experto como reglas a incluir en la base de conocimiento.

#### **Etapas 3. Consolidación del conocimiento Basal.**

El último paso en ese proceso es el ciclo de “revisión y mejoramiento” del conocimiento educado. En un sistema experto, esto refiere a que todos los

componentes del sistema experto operacional están desarrollados, pero sin la amplitud ni profundidad que la versión final necesitará. Se debe, sin embargo, encontrar el conjunto de estándares mínimos de performance en la definición del dominio. El conocimiento basal, entonces, es el conjunto de reglas y definiciones adecuadas para producir actividad basal.

### ***2.7.2 Método de Weiss y Kulikowski.***

Para el desarrollo de un sistema experto Weiss y Kulikowski (Weiss y Kulikowski, 84) sugieren las siguientes etapas.

**Etapas 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.

**Etapas 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.

**Etapas 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.

**Etapas 4. Elección de la herramienta de desarrollo.** Debe decidirse si realizar un sistema experto a medida utilizando lenguaje de programación.

**Etapas 5. Desarrollo y prueba de un prototipo.** Si el prototipo no pasa las pruebas requeridas, las etapas anteriores (con las modificaciones apropiadas) deben ser repetidas hasta que se obtenga un prototipo satisfactorio.

**Etapas 6. Refinamiento y generalización.** En esta etapa se corrigen los fallos y se incluyen nuevas posibilidades no incorporadas en el diseño inicial.

**Etapas 7. Mantenimiento y puesta al día.** En esta etapa el usuario plantea problemas o defectos del prototipo, corrige errores, actualiza el producto con nuevos avances, etc.

### 2.7.3 Método BGM.

El método BGM desarrollado por Blanqué y García Martínez (**García, 92**), que se describe a continuación consta de 5 etapas:

**Etapas 1: Adquisición de Conocimiento.** Esta etapa consiste en pedirle al experto de campo que hable sobre el conocimiento involucrado, recordándole al experto que el ingeniero de conocimiento es lego en el tema. El conocimiento de campo ocupa una parte del conocimiento del experto, este conocimiento tiene conexos otros conocimientos que permiten que el experto lo articule, estos conocimientos conexos no son específicos del dominio de aplicación pero tienen que ver con el, es decir, hacen al sentido común necesario para aplicar esa área de conocimiento.

**Etapas 2: Enunciación de Conceptos.** En esta etapa se debe tomar nota de los conceptos más frecuentemente utilizados. Esto se logra observando la recurrencia del experto de campo sobre determinadas ideas, en esta etapa, la experiencia ha demostrado la conveniencia de mostrar una lista de tales conceptos al experto de campo y que él realice una clasificación del tipo:

- Conceptos primarios y secundarios
- Conceptos primarios, vinculantes y secundarios.

**Etapas 3: Parametrización de Conceptos.** Parametrizar los conceptos involucrados. Estos parámetros suelen estar asociados a valores tales como:

- Presencia / Ausencia
- Mucho / POCO / Nada
- Alto / Bajo / Medio
- Verdadero / Falsa
- Valores de confianza
- Valores Estadísticos, Probabilísticos
- Resultados numéricos de expresiones aritméticas o lógicas.

**Etapas 4: Planteo de Causalidades.** Establecer relaciones de causalidad entre los conceptos mencionados y redactar las reglas asociadas. Una de las reglas que suelen aparecer con más frecuencia en el trabajo del ingeniero de conocimiento, tiene la siguiente forma:

**Si antecedente ENTONCES consecuente.**



**Etapa 5: Verificación.** Verificar la aceptabilidad de las reglas con el experto de campo. Esto se realizará usando casos de testeo que sean considerados típicos, se compararán los resultados con los dados para esos mismos casos por los expertos humanos, y en base a esa comparación, se decidirá si modificar, eliminar, o aceptar las reglas involucradas.

#### ***2.7.4 Método IDEAL.***

Este método fue desarrollado por Pazos (**Pazos, 96**) en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid y consta de las siguientes fases:

##### ***Fase I. Identificación de la tarea.***

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

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

Etapa I.3. Definición de las características del sistema.

##### ***Fase II. Desarrollo de los prototipos.***

Etapa II.1. Concepción de la solución.

Etapa II.2. Adquisición y Conceptualización de los conocimientos.

Etapa II.3. Formalización de los conocimientos y definición de la arquitectura.

Etapa II.4. Selección de la herramienta e implementación.

Etapa II.5. Validación y evaluación del prototipo.

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

**Nota.** Las etapas II.1 a II.6 se repiten por cada iteración del prototipo.

##### ***Fase III. Ejecución de la construcción del sistema integrado.***

Etapa III.1. Requisitos y diseño de la integración.

Etapa III.2. Implementación y evaluación del sistema integrado.

Etapa III.3. Aceptación del sistema por el cliente.

##### ***Fase IV. Actuación para conseguir el mantenimiento perfectivo.***

Etapa IV.1. Definir el mantenimiento del sistema global.

Etapa IV.2. Definir el mantenimiento de las bases de conocimiento.

Etapa IV.3. Adquisición de nuevos conocimientos.

##### ***Fase V. Lograr una adecuada transferencia tecnológica.***

Etapa V.1. Organizar la transferencia tecnológica.

Etapa V.2. Completar la documentación del SBC construido.

Se verá en detalle las que contienen etapas de educación del conocimiento (Fases I y II).

### **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:

#### **Etapa 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.

#### **Etapa 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.

#### **Etapa 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**

Concierno 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 obtenidos en la fase anterior y, en base a ellos, 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 modelizar 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.

#### **Etapa 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:

#### **Etapa 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.

**(Pazos, 96)**

### ***2.8 Lenguajes utilizados para la construcción de SE.***

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

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

### **2.8.1 LISP**

LISP Acrónimo de lenguaje de Procesamiento de Listas, fue inventado por John McCarthy y su equipo en la Universidad de Stanford a finales de 1950. Originalmente fue creado como un modelo computacional de procesos matemáticos, reflejando el rigor de las propias matemáticas. **(Hasemer y Jhon, 89)**

LISP actualmente está diseñado para manejar símbolos matemáticos (variables), por lo que es utilizado perfectamente para la investigación en IA, donde un símbolo puede representar cualquier cosa. LISP tiene dos características principales que lo hacen sobresalir de entre los demás lenguajes para IA; primero, es altamente flexible, es decir, es posible escribir un programa LISP para producir cualquier comportamiento deseable de la computadora; segundo, es indefinidamente extensible, lo que significa que si como programador siente que a LISP le falta alguna característica, puede escribir un programa LISP que provea dicha característica y hacer que ese programa forme parte de su LISP personal.

Además un sistema LISP abarca bastante más que el solo intérprete del lenguaje LISP. Consta de algunos cómodos módulos que ofrecen ayuda en el desarrollo y control del progreso en programas, como son el Editor, el File-System y el Trace. Por supuesto estos módulos sólo están en versiones de LISP que contengan la conocida interfaz gráfica IDE (entorno de desarrollo integrado) típica de los modernos lenguajes visuales.

### **2.8.2 Prolog**

Prolog nació en Europa, y fue implementado primeramente para dar soporte al Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN). Prolog trabajaba (y sigue haciéndolo hasta nuestros días) esencialmente con la lógica matemática **(Walker et al, 90)**. Es un lenguaje de programación que se centra alrededor de un conjunto pequeño de mecanismos, incluyendo reconocimiento de patrones, estructuras de datos basadas

en árboles y backtracking (retroceso) automático. Este conjunto pequeño constituye una estructura de programación sorprendentemente poderosa y flexible. Prolog es ideal para resolver problemas que involucren objetos en particular objetos estructurados y relaciones entre ellos. Prolog tiene cierto vigor híbrido en el sentido de que contiene características declarativas de la lógica computacional matemática y algunos aspectos procedurales de la programación convencional. En vez de escribir un procedimiento con una secuencia de pasos, un programador Prolog escribe un conjunto declarativo de reglas y hechos con sus respectivas relaciones.

### **2.8.3 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, 89)**

### **2.8.4 CLIPS**

CLIPS (C Language Integrated Production System) es una herramienta de libre distribución para desarrollar sistemas expertos. Desarrollada por Software Technology Branch, NASA/Lyndon B. Johnson Space Center. Permite el desarrollo de sistemas de producción, encadenamiento hacia delante, escrito en C/ANSI. Cuenta con extensiones para lógica borrosa: Fuzzy CLIPS. El motor de inferencias incluye un sistema de mantenimiento de verdad, adición dinámica de reglas, y diferentes estrategias de resolución de conflictos, incluye un lenguaje orientado a objetos: COOL (Clips Object-Oriented Language). Está disponible en Java (JESS). Se puede integrar fácilmente en programas escritos en C, ADA y FORTRAN. Así, al

darle una portabilidad con programas en lenguaje C, las universidades que lo usan pueden trasladar fácilmente sus aplicaciones al entorno del agente. (Bañares, 98)

***Conclusiones.***

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



## **Capítulo III: Implementación del SE.**

### **Introducción.**

En este capítulo se exponen las herramientas utilizadas para la implementación del prototipo, además se muestra cómo se implementó la selección de métodos y máquinas de perforación. Debido a que la información que se necesita para realizar la selección y los cálculos es de considerable volumen y requieren de conocimiento usado por humanos expertos en el tema, se ha considerado necesario desarrollar un software inteligente.

### **3.1 Fundamentación de la Metodología de desarrollo.**

Teniendo en cuenta las características del sistema escogimos la Metodología **IDEAL** para su desarrollo. La misma 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 nuevos marcos compuestos, mediante nuevas técnicas de descomposición del problema, mediante nuevas formas de documentación o estándares a los que debe ajustarse. (Rizzi, 01)

### ***3.2 Fundamentación de la forma de representación del conocimiento.***

Para el diseño de la base de conocimientos del sistema se escogió como forma de representación del conocimiento Ontología.

El objetivo que se pretende alcanzar al desarrollar una ontología es estudiar las entidades que existen o pueden existir en un dominio de interés.

Algunas de las principales razones que tuvimos en cuenta para escoger esta forma de representación del conocimiento fueron:

- **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 que se está tratando, 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 métodos de perforación a cielo abierto, si este conocimiento está constituido en una ontología podrá ser reutilizado por aquellos individuos que la necesiten sin necesidad de desarrollar una ontología propia.

### ***3.3 Fundamentación de la metodología para desarrollar Ontología.***

Para el desarrollo de la Ontología se siguió la guía metodológica propuesta por la Universidad de Stanford, por ser una de las más recientes y modernas para desarrollar ontologías, además de su flexibilidad y la amplia documentación de que se dispone. Una de las bondades que ofrece esta metodología es que enfoca al desarrollador concretamente a lo que se quiere lograr con la ontología esto se debe a la capacidad organizativa de sus fases.

Las fases con que cuenta esta metodología son:

#### **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 la fase 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 la fase 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.

***3.3 Fundamentación de las herramientas seleccionadas.***

Para la implementación de la máquina de inferencia se escogió **CLISP 6.24** por el mismo contar con características determinantes como lo 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.

**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 sub-rutina, 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.

**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 estático y dinámico 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.

Se eligió **Protégé 3.1.1**, como editor de Ontologías para diseñar el conocimiento que contiene la BC. Debido que en la actualidad, de todos los editores de ontologías que existen, el que más se utiliza y tiene más éxito es Protégé.

Protégé es un editor de ontologías y bases conocimiento desarrollado por la división de informática médica de la Universidad de Stanford. Los estudios comparativos

realizados con otros entornos presentan a Protégé como una herramienta para la representación del conocimiento que no requiere mucho conocimiento previo sobre el lenguaje que se pretenda utilizar (además de ser bastante independiente), con una interfaz gráfica práctica y un funcionamiento correcto con ontologías de pequeño y gran tamaño.

La estructura subyacente a cualquier proyecto de Protégé está formada por clases, propiedades e instancias que se organizan jerárquicamente. 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.

Se escogió **eclipse 3.1** entorno de desarrollo de java para implementar la interfaz de usuario compuesta de subsistema de explicación ya que java es un lenguaje muy completo (de hecho se está convirtiendo en un macro-lenguaje: Java 1.0 tenía 12 packages; Java 1.1 tenía 23 y Java 1.2 tiene 59. La compañía Sun describe el lenguaje Java como “simple, orientado a objetos, distribuido, interpretado, robusto, seguro, de arquitectura neutra, portable, de altas prestaciones, multitarea y dinámico”.

Los programas desarrollados en Java presentan diversas ventajas frente a los desarrollados en otros lenguajes como C/C++. La ejecución de programas en Java tiene muchas posibilidades: ejecución como aplicación independiente (Stand-alone Application), ejecución como applet, ejecución como servlet, etc.

Al programar en Java no se parte de cero. Cualquier aplicación que se desarrolle “cuelga” (o se apoya, según como se quiera ver) en un gran número de clases preexistentes. Algunas de ellas las ha podido hacer el propio usuario, otras pueden ser comerciales, pero siempre hay un número muy importante de clases que forman parte del propio lenguaje (el API o Application Programming Interface de Java).

Por el tiempo de desarrollo y dado que el sistema desarrollado es un prototipo de Sistema Experto se decide desarrollar las fases I y II de la metodología IDEAL.

### ***3.4 Fase I. Identificación de la Tarea.***

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

##### ***Planteamiento del problema.***

En esta etapa primeramente se realiza un análisis del problema que se va resolver por el sistema experto, el cual resultó ser la selección de métodos y máquinas de perforación. Para llevar a cabo la misma se implementó el proceso de selección mencionado en el primer capítulo.

##### ***Objetivos.***

El Prototipo de S.E que se desarrolló tiene como propósito asistir al ingeniero en Minas en la tarea de seleccionar un método y una máquina de perforación adecuada según las condiciones del yacimiento además de calcular los parámetros de perforación que se tienen en cuenta para una correcta selección.

##### ***Alcance.***

Como resultado de los intercambios con los expertos se definió además el alcance del sistema. El cual se encarga de:

- Seleccionar métodos de trabajo.
- Explicar la selección del método de trabajo escogido.
- Seleccionar métodos de perforación.
- Explicar la selección del método de perforación escogido.
- Realizar cálculos de parámetros en cada método de perforación.
- Seleccionar tipos de máquinas perforadoras.
- Explicar la selección del tipo de máquina perforadora escogida.

##### ***Participantes.***

Inicialmente para esta etapa se seleccionaron los participantes los cuales resultaron ser 9 expertos en Minas; de los cuales 5 son pertenecientes al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM), y los 4 restantes de la Emp. Ernesto Che Guevara.

De igual forma se puntualizaron quienes serían los usuarios del sistema, ellos son:

- Ingenieros en minas de la industria del níquel Ernesto Che Guevara.
- Ingenieros en minas pertenecientes al ISMM.
- Estudiantes de la carrera de Minas del ISMM.

Para una mejor comprensión del funcionamiento del sistema queda plasmado en esta etapa una descripción de los requisitos funcionales que el SE debe cumplir. De esta misma forma se refleja en un diagrama de caso de uso del sistema las posibles acciones que el usuario puede realizar:

#### ***Requerimientos funcionales del Sistema.***

R1. Seleccionar método de trabajo.

R2. Explicar la selección del método de trabajo.

R3. Seleccionar método de perforación.

R4. Explicar selección del método de perforación.

R5. Calcular parámetros del proceso de trabajo.

#### **Cálculos para el método de percusión y giro:**

- Calcular fuerza del golpe.
- Calcular fuerzas resistentes horizontales (cuando se realiza el golpe).
- Calcular número de golpes en un minuto.
- Calcular frecuencia de rotación.
- Calcular área de los taladros y los barrenos.
- Calcular fuerzas horizontales (durante el rompimiento).
- Calcular velocidad de perforación.
- Calcular trabajo de un golpe del instrumento perforador.
- Calcular velocidad teórica teniendo en cuenta el trabajo.
- Calcular velocidad técnica de perforación.

- Calcular productividad por turno.
- Calcular cantidad de metros a perforar.
- Calcular cantidad de metros en un turno.
- Calcular cantidad de máquinas necesarias.

**Cálculos para el método de rotación:**

- Calcular profundidad de introducción de la cuchilla en el material.
- Calcular frecuencia crítica de rotación de la barrena.
- Calcular aceleración del movimiento del embolo (durante el paso de avance y retroceso).
- Calcular duración del paso de avance y retroceso.
- Calcular frecuencia de golpes.
- Calcular potencia de la máquina.
- Calcular esfuerzo axial.
- Calcular velocidad técnica de perforación.
- Calcular productividad por turno.
- Calcular cantidad de máquinas necesarias.

**Cálculos para el método de percusión rotación:**

- Calcular esfuerzo axial.
- Calcular velocidad técnica de perforación.
- Calcular potencia de la máquina.
- Calcular productividad por turno.
- Calcular cantidad de máquinas necesarias.

R6. Seleccionar el tipo de máquina que se utilizará en el método de perforación.

R7. Explicar selección del tipo de máquina que se utilizará en el método de perforación.

***Diagrama de caso de uso del sistema.***

En esta etapa también se realizó un diagrama de caso de uso que muestra las posibles acciones de los usuarios que interactúan con el sistema.



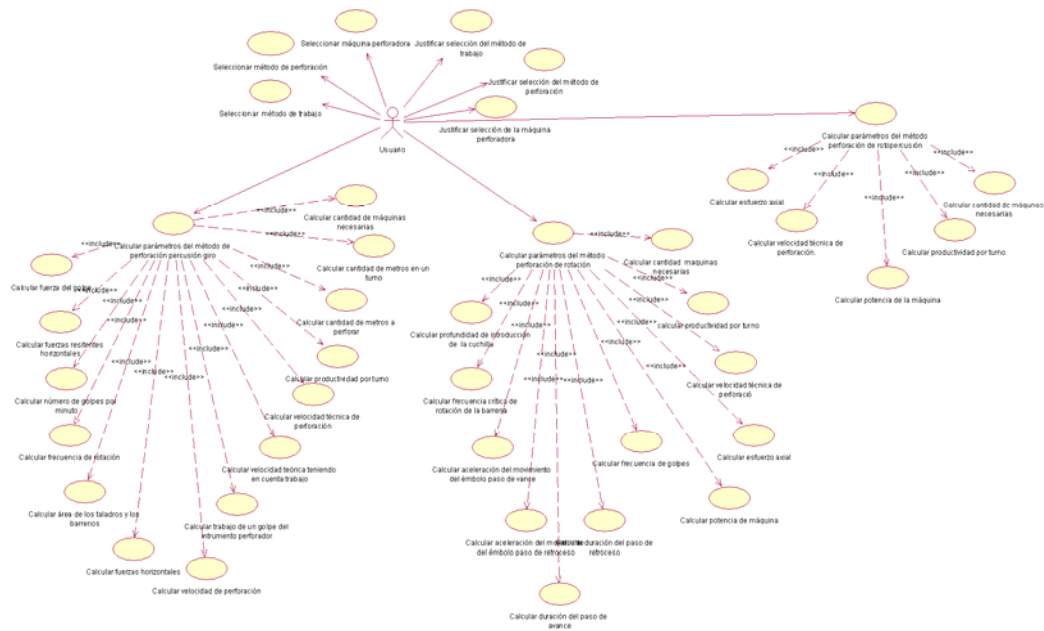


Figura 3. Diagrama de caso de uso del Sistema.

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

En esta etapa, se realizó un estudio de viabilidad el cual permite determinar si el problema planteado puede ser resuelto mediante un Sistema Experto.

En el Apéndice B se detalla el estudio de viabilidad a la vez que se puntualiza los cálculos realizados para cada una de las dimensiones.

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

Dimensión de Plausibilidad

$$Vr = (7.36, 7.36, 8.68, 9.28)$$

Dimensión de Justificación

$$Vr = (7.8, 8.8, 10, 10)$$

Dimensión de Adecuación

$$Vr = (3.392, 3.835, 4.365, 4.808)$$

Dimensión de Éxito

$$Vr = (4.559, 5.176, 5.918, 6.3)$$

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:

$$Vr = (5.51, 5.83, 6.51, 7.26)$$

Entonces:

$$(5.51 + 5.83 + 6.51 + 7.26) / 4 > 6$$

Resultado final: 6,28

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

### ***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 método de trabajo es necesario conocer el diámetro y la profundidad de las perforaciones.
- ◆ Para seleccionar un método de perforación se necesita conocer propiedades geomecánicas de las rocas o por lo menos el tipo de roca.
- ◆ El usuario no podrá calcular los parámetros de los métodos de perforación si antes no ha seleccionado un método de trabajo y un método de perforación.
- ◆ Para seleccionar un tipo de máquina perforadora se debe conocer el método de trabajo, el método de perforación y todos los parámetros de dicho método.
- ◆ El sistema no brindará explicaciones al usuario si no ha efectuado el proceso selectivo.

### ***3.2 Fase II. Desarrollo de los prototipos de demostración.***

#### ***Etapa II.1. Concepción de la solución.***

En las reuniones realizadas con los expertos para esta etapa se orientaron las bibliografías a consultar como, libros, folletos y artículos en los que se podía encontrar los conceptos y el contenido que se necesitaba para conocer a fondo el problema y comenzar a concebir la solución del mismo, como resultado de la misma se consiguió obtener el conocimiento público.

#### ***Etapa II.2. Adquisición y Conceptualización de los conocimientos.***

En la misma se logró obtener el conocimiento privado de los expertos. Es decir el conocimiento propio de cada uno de ellos adquirido en los años de experiencia por la interacción constante con este tipo de problemas. Éste conocimiento más el conocimiento público conseguido en la etapa anterior es el conocimiento que se le añadió a la base de conocimientos del sistema.

#### ***Formas de adquisición del conocimiento representado.***

Para poder tener los elementos necesarios para conformar la BC, se aplicaron 2 encuestas a los 9 participantes (ver apéndice A).

- *Encuesta # 1. Selección de propiedades de las rocas a tener en cuenta para la selección de un método de perforación.*
- *Encuesta # 2. Selección de los parámetros del proceso de trabajo de las máquinas perforadoras.*

#### ***Etapa II.3. Formalización de los conocimientos.***

##### ***Implementación de la base de conocimientos.***

Como ya explicamos anteriormente el conocimiento que posee el sistema está diseñado mediante Ontología para el desarrollo de la misma se siguió la guía

metodológica de la Universidad de Stanford a continuación será descrito el proceso de desarrollo de esta metodología.

***Proceso de desarrollo de la Ontología según la guía metodológica de la Universidad de Stanford.***

**Fase 1: Determinar el Dominio y el alcance de la ontología.**

El dominio que trata dicha ontología es el relacionado con la selección de métodos y máquinas de perforación.

La misma debe ser capaz de responder las siguientes preguntas de competencia.

- ¿Es X un tipo de roca?
- ¿Es X un método de perforación?
- ¿Es X una máquina perforadora?
- ¿Qué método de trabajo se utiliza para una profundidad X y un diámetro Y?
- ¿Cuáles son las propiedades geomecánicas del tipo de roca X?
- ¿Qué grado de fortaleza tiene el tipo de roca X?
- ¿Qué grado de perforabilidad tiene el tipo de roca X?
- ¿Qué índice de fortaleza tiene el tipo de roca X?
- ¿Qué índice de perforabilidad tiene el tipo de roca X?
- ¿Con qué método de perforación se perfora el tipo de roca X?
- ¿Cuales máquinas perforadoras utiliza el método de perforación X?
- ¿Qué método y cuál máquina debe utilizarse para perforar el tipo de roca X?
- ¿Con qué método y con cuál máquina se perfora el yacimiento con características a, b, c, e?
- ¿Cuáles características técnicas tiene la máquina perforadora X?

La Ontología será utilizada por los expertos en perforaciones de la Empresa Ernesto Che Guevara y los estudiantes de minas del ISMM y será mantenida por el ingeniero en conocimiento.

**Fase 2: Considerar el uso de ontologías existentes.**

No existe ninguna ontología que contenga conocimiento relacionado con métodos y máquinas de perforación, ni tampoco con su proceso de selección, es por ello que no podemos utilizar ninguna.

### **Fase 3: Enumerar los términos importantes de la Ontología.**

Los conceptos considerados importantes en el dominio del problema son los siguientes:

- Rocas.
- Método de trabajo.
- Método de perforación.
- Máquina perforadora.

### **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 nuestra Ontología se utilizó el enfoque top-down, a continuación se muestra un diagrama que muestra tal jerarquía.

### ***Diagrama de clases.***

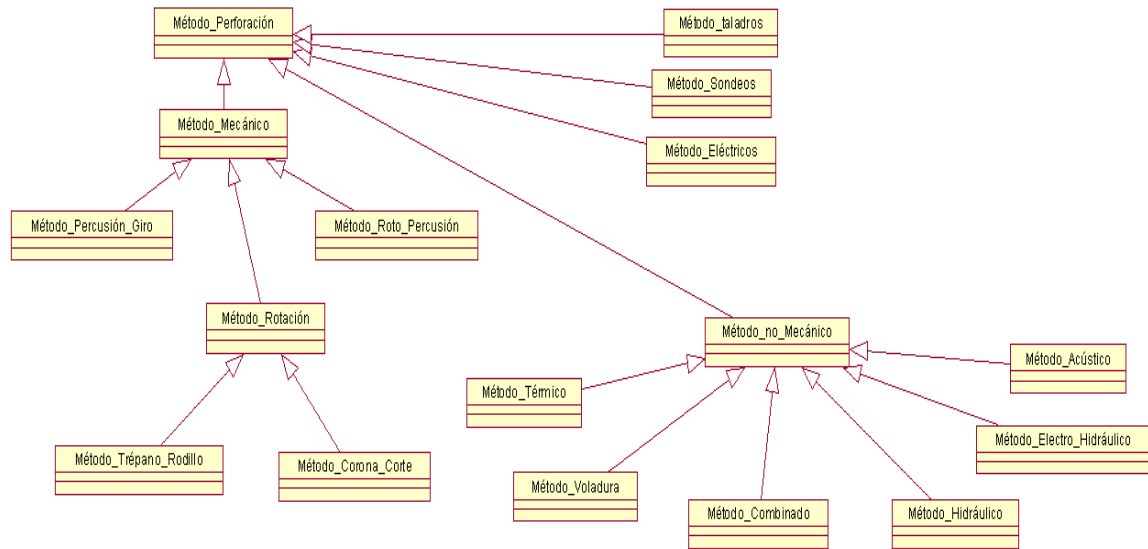


Figura 4. Diagrama de clases.

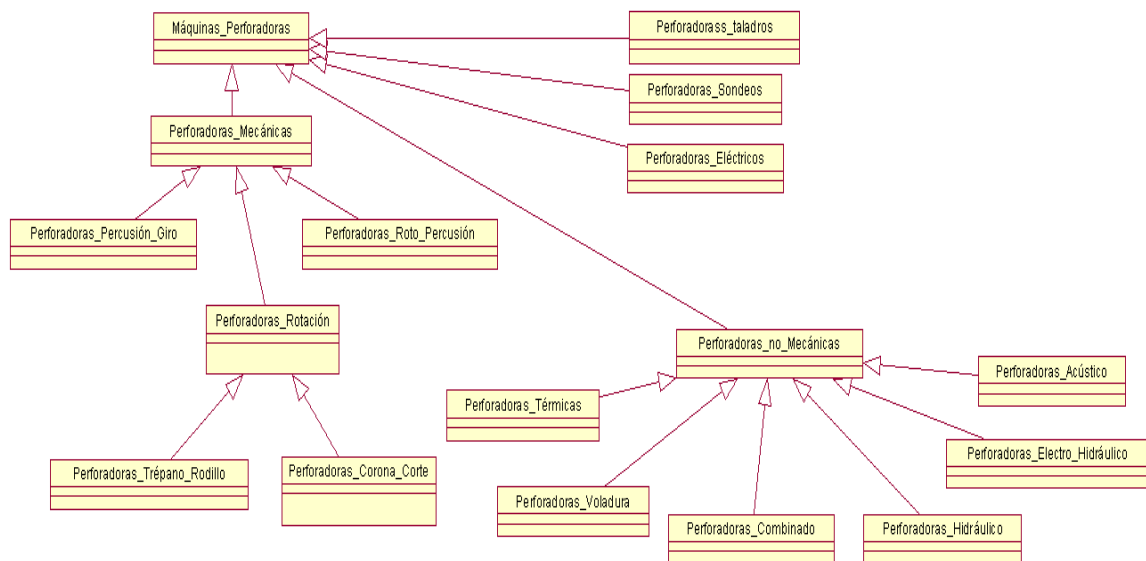


Figura 5. Diagrama de clases (continuación).

**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 definimos fueron: propiedades intrínsecas, ligadas íntimamente al concepto, esto es:

<b>Clase Método _Trabajo</b>	
Diámetro_perforación	Se especifica el diámetro de las perforaciones con que se desea trabajar.
Profundidad_perforación	Se especifica la profundidad de las perforaciones con que se desea trabajar.

Tabla 2. Clase Método\_Trabajo

<b>Clase Roca</b>	
Tipo_roca	Se indica el tipo de roca que posee un yacimiento.
Resistencia_compresión	Se precisa el valor de la resistencia a la compresión que posee el tipo de roca.
Grado_fortaleza	Se define la fortaleza teniendo en cuenta la clasificación de las mismas según Protodiaconov.
Grado_perforabilidad	Se define la perforabilidad que tiene el tipo de roca.
Índice_fortaleza	Se especifica el valor de la fortaleza según Protodiaconov.
Índice_perforabilidad	Se especifica el valor de la perforabilidad del tipo de roca.

Tabla 3. Clase Roca

<b>Clase Método_Perforación</b>	
Perfora_en	Se detalla los tipos de rocas que son perforados por un método de perforación
Máquina _ ejecuta	Se detalla las máquinas que ejecutan un método de perforación.

Tabla 4. Metodo\_Perforación

<b>Clase Máquina_mecánicas</b>	
Firma (Pais)	Se indica el país donde se fabricó lo máquina.
Marca	Se especifica la marca de la máquina perforadora.
Modelo	Se especifica la marca de la máquina perforadora.
Método de limpieza	Se especifica el método de limpieza con que se limpia la maquina perforadora.
Método de traslación	Se define qué método utiliza la máquina perforadora para trasladarse de un lugar a otro
Paso de avance	Se determina la velocidad con que se desplaza la maquina perforadora de un lugar a otro.
Profundidad de perforación	Determina la profundidad máxima de perforación de la máquina perforadora.
Diámetro del taladro	Determina el diámetro máximo de la máquina perforadora.
Presión axial al frente	Determina la presión axial que ejerce la maquina perforadora en su frente.
largo	Largo de la maquina perforadora.
Ancho	Ancho de la maquina perforadora.
Altura	Altura de la maquina perforadora.
Productividad	Se define la productividad que posee la máquina perforadora en su pasaporte.

Tabla 5. Maquina\_mecanicas

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

Luego de definir las propiedades es preciso definir los diferentes tipos de valores que describan a los *slots*, tales como, tipo de valor asociado, cardinalidad, valores permitidos (rangos), etc. Esto es:

<b>Clase Roca</b>	
<b>Tipo de roca</b>	<b>cadena de caracteres</b>
<b>Resistencia compresion</b>	<b>numero</b>
<b>Grado fortaleza</b>	<b>cadena de caracteres</b>
<b>Grado perforabilidad</b>	<b>cadena de caracteres</b>
<b>Indice fortaleza</b>	<b>número</b>
<b>Indice perforabilidad</b>	<b>número</b>

Tabla 6. Clase Roca con las características de sus Slots.



En el Apéndice E se muestran las demás clases.

### 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. Puede suceder que para asignar las propiedades sea necesario crear nuevas instancias, por lo que este proceso se repite recursivamente.

A continuación se listan las instancias con que cuenta la Ontología.

- Clase Método de trabajo: *(clase abstracta) no contiene instancias*
- Clase Roca: *(clase concreta ) tiene 191 instancias*
- Clase Método de perforación: *(clase abstracta) no contiene instancias*
- Clase Método de perforación mecánico: *(clase abstracta) no contiene instancias*
- Clase Método de percusión giro: *no contiene instancias*
- Clase Método de rotación: *no contiene instancias*
- Clase Método de rotación por trepano de rodillos: *no contiene instancias*
- Clase Método de rotación por corona de corte: *no contiene instancias*
- Clase Método roto percusión: *no contiene instancias*
- Clase Método de perforación no mecánico: *no contiene instancias*
- Clase Método Térmico: *no contiene instancias*
- Clase Método Voladura: *no contiene instancias*
- Clase Método Combinado: *no contiene instancias*
- Clase Método Hidráulico: *no contiene instancias*
- Clase Método Electro-hidráulico: *no contiene instancias.*
- Clase Método Acústico: *no contiene instancias.*
- Clase Maquina perforadora: *no contiene instancias.*
- Clase perforadora mecánica: *no contiene instancias.*
- Clase perforadora de percusión giro: *tiene 3 instancias.*
- Clase perforadora de rotación: *tiene 11 instancias.*
- Clase perforadora de rotación por trepano de rodillos: *no contiene instancias.*

- Clase perforadora de rotación por corona de corte *tiene no contiene instancias.*
- Clase perforadora de roto percusión *tiene 8 instancias.*
- Clase perforadora no mecánica.
- Clase perforadora térmica.
- Clase perforadora hidráulica.
- Clase perforadora electro-hidráulica.
- Clase perforadora acústica

### ***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.
- **Class-superclasses:** Devuelve todas las superclases 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.
- **Reset:** Se utiliza para cargar las instancias.
- **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.
- **Printout t:** Muestra una información.
- **Member\$:** Devuelve la posición del primer argumento en el segundo, o devuelve FALSE si el primer argumento no está en el segundo.

### ***Archivos que se generan y cómo se utilizan***

El editor de ontologías Protégé genera un archivo de extensión pins que contiene todas las instancias creadas en el proyecto. Se genera un 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.
- **Funciones.CLP:** Contiene todas las funciones que razonaran sobre la Ontología.

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

### ***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 métodos de trabajo el cual se estructura de la siguiente manera:

- ❖ Profundidad de perforación.
- ❖ Diámetro de la perforación.

***Fichero # 2:*** Este fichero almacena:

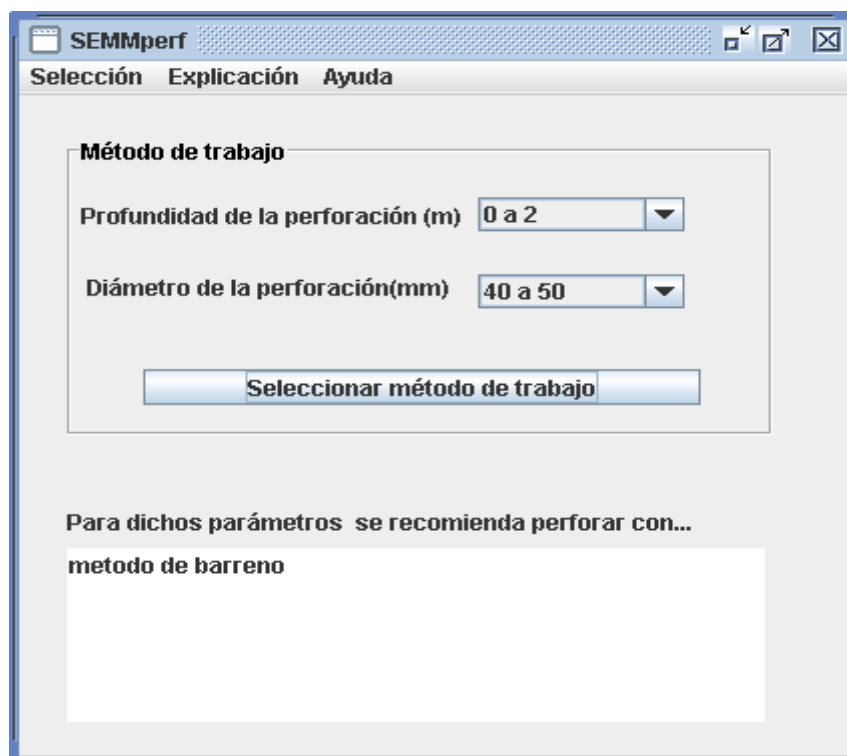
- ❖ Tipo de roca.
- ❖ Resistencia a la compresión.
- ❖ Grado de fortaleza (según Protodiaconov).
- ❖ Índice de fortaleza.
- ❖ Grado de perforabilidad.
- ❖ Índice de perforabilidad.

**Fichero # 3:** Guarda:

- ❖ Método de trabajo seleccionado.
- ❖ Método de perforación seleccionado.
- ❖ Productividad calculada.

### ***Implementación de la Interfaz de Usuario.***

La interfaz de usuario fue diseñada teniendo en cuenta el orden de los pasos a seguir por los expertos en perforaciones para realizar la selección de métodos y máquinas de perforación. En la interfaz principal es donde se escoge el método de trabajo que se utilizará en las perforaciones. Desde la misma se pueden acceder a la caracterización del yacimiento y luego al cálculo de los parámetros del método de perforación escogido.



**Figura 6. Forma principal del Sistema.**

Para la caracterización del yacimiento, se tiene una nueva interfaz donde en ella se tienen los tipos de rocas posibles a encontrar en el yacimiento.

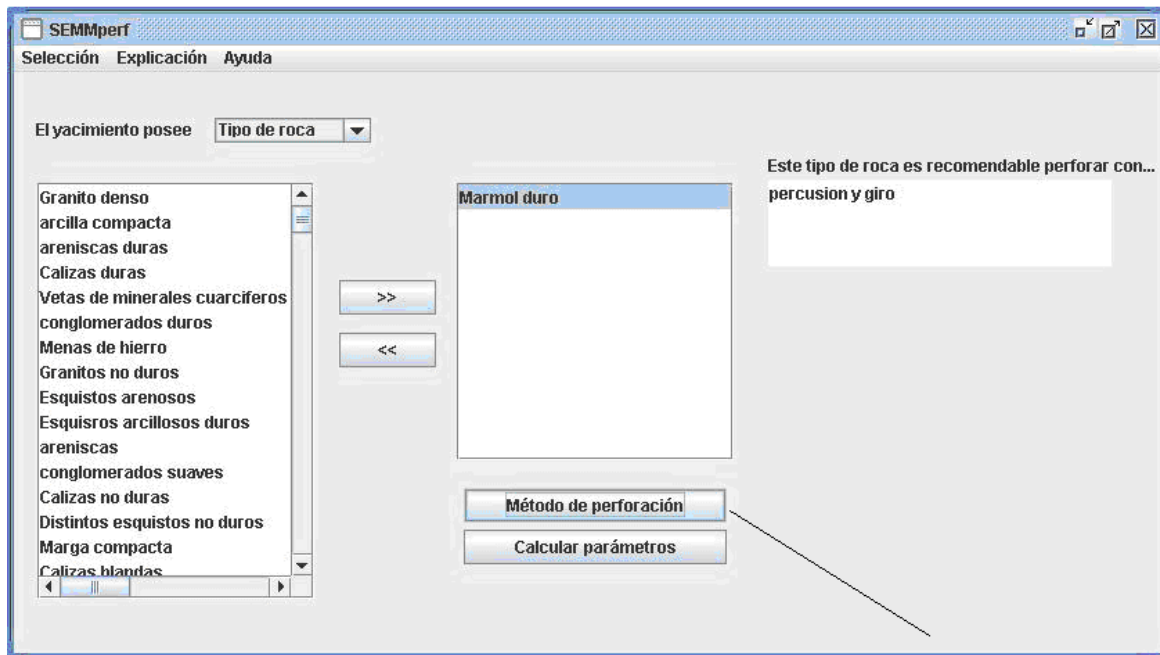


Figura 7. Forma para caracterizar el yacimiento mineral según el tipo de roca.

Los cálculos de los parámetros deben hacerse valorando el método de perforación escogido. Como cada método de perforación tiene sus parámetros propios entonces se cuenta con una interfaz para cada uno. La siguiente interfaz muestra la forma de calcular los distintos parámetros en el método de percusión giro.

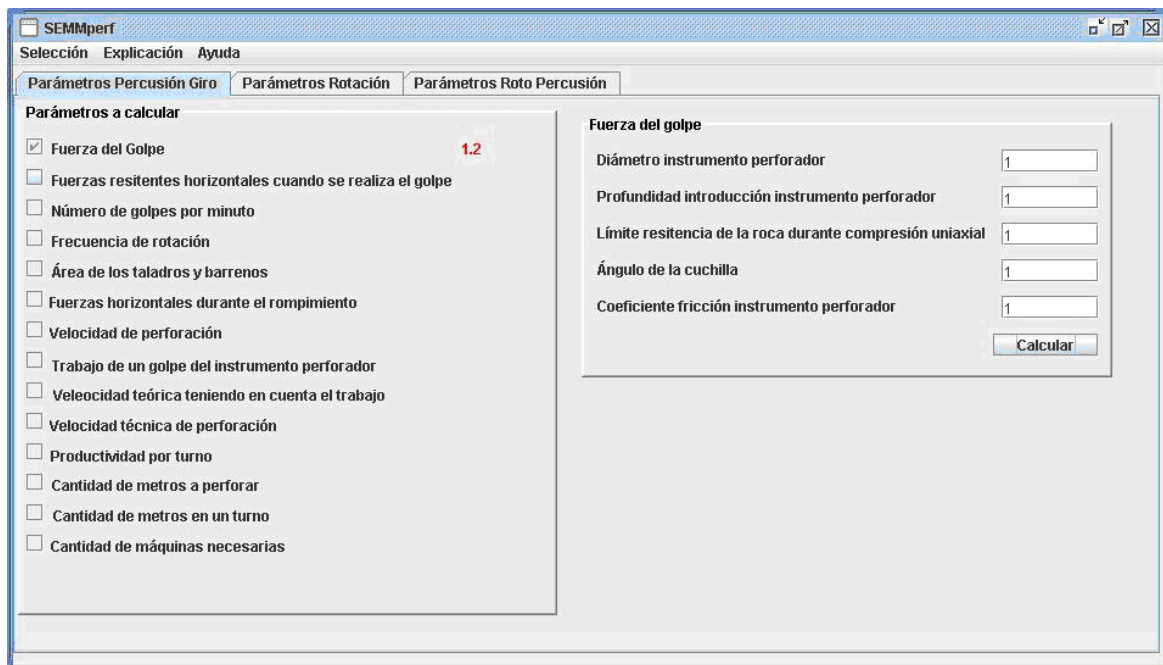


Figura 8. Forma para calcular los distintos parámetros en el método de percusión giro.

Una vez que se han calculados todos los parámetros, del proceso de trabajo en cuestión se pasa entonces a seleccionar la maquina perforadora.

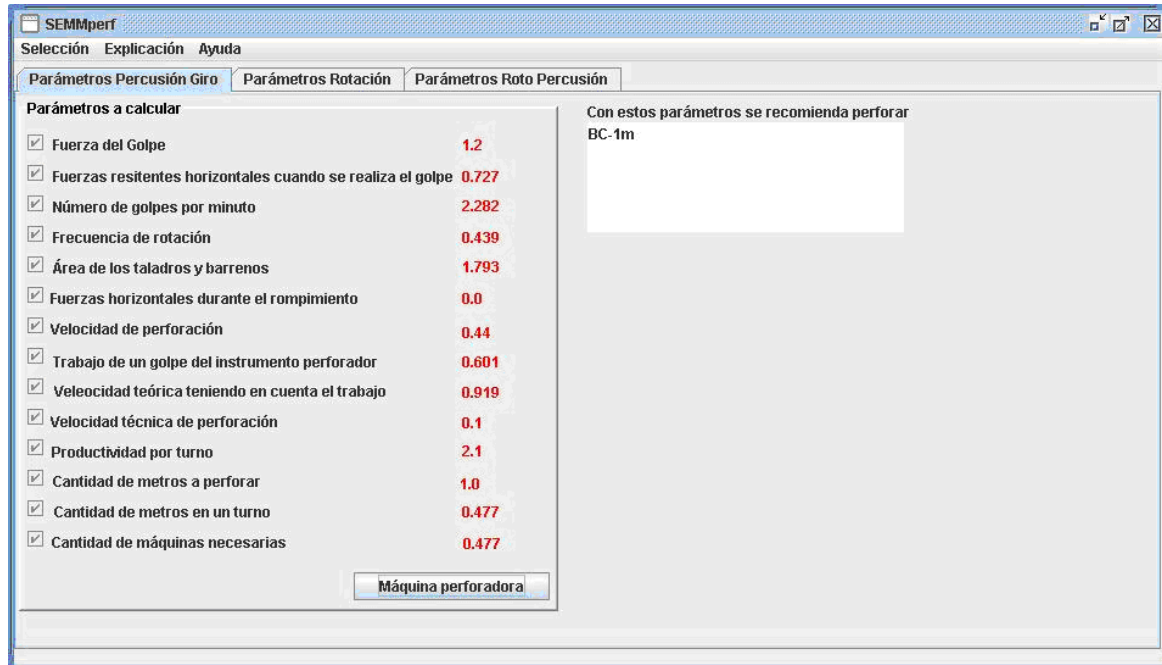


Figura 9. Forma para seleccionar la máquina perforadora a utilizar en el método.

Una vez que se selecciona la máquina perforadora a utilizar en el método de perforación se tiene una nueva interfaz donde el usuario puede obtener respuestas a sus preguntas.

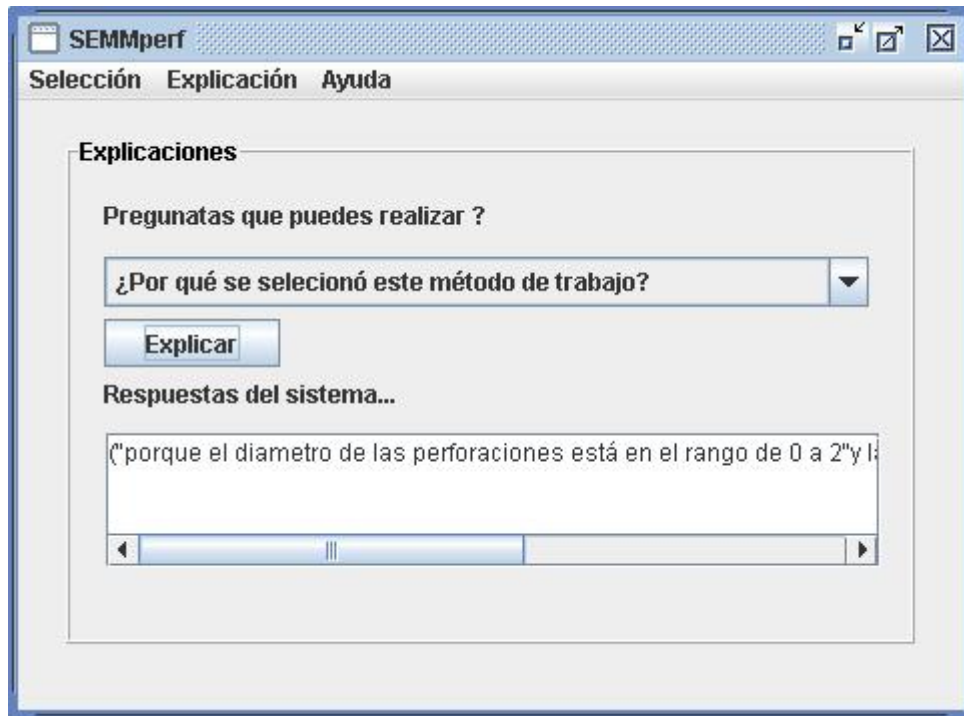


Figura 10. Forma para realizar preguntas.

**CONCLUSIONES.**

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

- ◆ El conocimiento adquirido sobre métodos y máquinas de perforación fueron formalizados mediante una ontología.
- ◆ El prototipo de Sistema Experto para seleccionar métodos y máquinas de perforación constituye una herramienta informática que facilitará el trabajo de los mineros en el proceso de selección de métodos y máquinas de perforación.
- ◆ 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.
- ◆ La interfaz de usuario tiene incorporado un subsistema de explicación que brinda respuestas a las preguntas del usuario.



**RECOMENDACIONES.**

El sistema desarrollado es un prototipo demostrativo que no cubre todos los problemas reales que presenta la selección de métodos y máquinas de perforación. Con vista al desarrollo futuro del sistema nos permitimos recomendar:

- Utilizar el sistema propuesto en la selección de métodos y máquinas de perforación en la industria Ernesto Che Guevara y en los departamentos de minería el ISMM.
- Continuar desarrollando el módulo de explicación.
- Implementar mecanismo para incluir conocimiento al sistema.
- Incluirle al sistema lógica difusa para el tratamiento de incertidumbre.
- Incorporar al sistema una interfaz para las preguntas de competencia que responde la Ontología y que no se tienen en cuenta en el sistema actual.
- Integrar en un solo sistema este prototipo con el prototipo desarrollado para seleccionar máquinas de excavación carga.
- Incluir un mecanismo para incluir conocimiento al sistema y actualizar la base de conocimientos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

ANGULO USATEGUI J.M y DEL MORAL BUENO A. “*Guía fácil de la Inteligencia Artificial*”. Editorial Paraninfo. 2 ed. Madrid, 1994.

BAÑARES J. Ál. “*Herramientas para las Asignaturas del IAIC*”. [en línea] 1998. [Consultado :2008-12-15] Disponible en <http://diana.cps.unizar.es/banares/IA/noticias.html>

BELETE FUENTES, O “*Máquinas perforadoras*”, 2002.

BELLO PEREZ R. *Curso Introductorio a la Inteligencia Artificial. Departamento de Ciencia de la Computación Universidad Central de Las Villas.* 2005

BENCHIMOL G, PIERRE L, y PROMEROL CHARLES J. *Los sistemas expertos en la empresa*. Macrobit. 1ed., México, 1990.

BRULE J y BOUNT A.” *Knowledge Acquisition.*” Editorial McGraw-Hill. New York. 1989.

CASTILLO E. “*Sistemas Expertos: aprendizaje e incertidumbre*”. Editorial Paraninfo, S.A. Madrid, 1989.

CASTILLO E., MANUEL J, HADI S.” *Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas*”. 1997

CRIADO BRIZ J.M. *Sistemas Expertos*, [en línea] 2002. [Consultado :2008-10-15] Disponible en <http://home.worldonline.es/jmariocr/>.

DEBENHAM J.” *Knowledge System Design*. Prentice Hall.” Editorial Sidney. 1989.

DE ALBORNOZ BUENO A.” *Laboratorio de Procesamiento de Imágenes*” [en línea] 2006 [Consultado 2009-03-01] Disponible en [http://www.cic.ipn.mx/organización/lab\\_de\\_int\\_art.htm](http://www.cic.ipn.mx/organización/lab_de_int_art.htm).

DE AVILA RAMOS J. “*Sistemas Expertos.*” [ en línea] 2003 [Consultado 2009-02-05]  
Disponible en [http://www.lafacu.com/apuntes/informatica/sist\\_expel/](http://www.lafacu.com/apuntes/informatica/sist_expel/).

DE MIGUEL L.J “*Técnicas de Mantenimiento Predictivo Industrial basadas en  
Sistemas Expertos.*” [en línea] 2005 [Consultado:2008-12-15] Disponible en  
<http://www.cartif.es/mantenimiento/expertos.html>

GARCIA MARTINEZ, R. “*Construcción de Sistemas Expertos*”. 154 pág. Imprenta  
del CEI-UBA. Argentina. 1992.

GREENWELL M.” *Knowledge Engineering for Expert Systems.*” Editorial Ellis  
Horwood Limited. Chichester. 1988.

GROVER, M. “*A Pragmatic Knowledge Acquisition Methodology.*” *Proceedings VIII  
IJCAI. Estados Unidos.* 1983

HASEMER T. y JOHN D. *Common LISP Programming for Artificial Intelligence.*  
2005.Addison Wesley. 1 ed. New York,1989

KAMRAN P; CHIGNELL M; KHOSHAFIAN S y WONG H. ***Intelligent Databases.***  
Editorial Wiley. Primera Edición. New York, 1989.

MEYER, M. y BOOKER, J. “*Eliciting and Analyzing Expert Judgement. A Practical  
Guide.*” Editorial Academic Press. Londres. 1991.

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>

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.

PAUL ROSE R, “*Máquinas Perforadoras*”. Editorial Oriente Santiago de Cuba.1980

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.google syndication.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).

SAMPER MARQUEZ J. J. “*SISTEMAS EXPERTOS. EL CONOCIMIENTO AL PODER*”. [en línea] 2002. [Consultado: 2008-11-04] Disponible en <http://www.psycologia.com/articulos/ar-jsamper01.htm>).

SANCHEZ y BELTRAN J. P. “*Sistemas Expertos: Una metodología de programación.*” Macrobit. Primera edición. México, 1990.

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

SELL P. “*Sistemas Expertos para principiantes.*” 1 ed. Noriega Editores México, 1989.

TELLO, E; *Object Oriented Programming for Artificial Intelligence*. Addison Wesley. Primera edición. New York, 1991.

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>

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

WEISS, S. M. and KULIKOWSKI, C. A. “*A Practical Guide to Designing Expert Systems*.” Rowman and Allanheld, Totowa, N.J. 1984

WALKER A, MICHAEL McC. JHON S. y WALTER W. “*Knowledge – Based Systems and Prolog*”. Addison Wesley. 2 ed. New York, 1990.

**APÉNDICE A. ENCUESTAS APLICADAS.**

Encuesta # 1. Selección de propiedades de las rocas a tener en cuenta para la selección de un método de perforación.

1. ¿Qué propiedades geomecánicas de las rocas tiene Ud. en cuenta para seleccionar un determinado método de perforación? Marca con una X las propiedades que usted utiliza. Evalúe la importancia que le concede a cada una de las propiedades seleccionadas con valores de 1 a 10.

Propiedades de las rocas	Selección	Valoración
Tipo de roca		
Coefficiente de fortaleza (Protodicaonov)		
Grado de fortaleza (Protodicaonov)		
Coefficiente de perforabilidad		
Grado de perforabilidad		
Resistencia a la compresión		

a) Proponga si deben considerarse otras propiedades.

Propiedades de las rocas	Valoración

3. ¿Cuáles considera Ud. sean los parámetros a tener en cuenta para determinar el método de trabajo (*perforación por barreno o perforación por taladro*) en un proyecto de perforación? Marque su selección con una X.

Parámetros	Selección
Profundidad de perforación	
Diámetro de perforación	

a) Proponga si deben considerarse otros parámetros.


Encuesta # 2. Selección de los parámetros del proceso de trabajo de las máquinas perforadoras.

1. ¿Qué parámetros toma Ud. en cuenta para los cálculos realizados en cada proceso de trabajo? Marque con una X su selección.

Parámetros	
Método <i>Percusión Giro</i>	Selección
Fuerza del golpe.	
Fuerzas resistentes horizontales (cuando se realiza el golpe)	
Número de golpes en un minuto	
Frecuencia de rotación	
Área de los taladros y los barrenos	
Fuerzas horizontales (durante el rompimiento)	
Velocidad de perforación	
Trabajo de un golpe del instrumento perforador.	
Velocidad teórica teniendo en cuenta el trabajo.	
Velocidad técnica de perforación	
Productividad por turno.	
Cantidad de metros a perforar	
Cantidad de metros en un turno.	
Cantidad de máquinas necesarias	

a) Proponga si deben considerarse otros parámetros para este método.


Parámetros	
Método <i>Rotación</i>	Selección
Profundidad de introducción de la cuchilla en el material	
Frecuencia crítica de rotación de la barrena	
Aceleración del movimiento del embolo (durante el paso de avance y retroceso)	
Duración del paso de avance y retroceso	
Frecuencia de golpes	
Potencia de la máquina	
Esfuerzo axial	
Velocidad técnica de perforación	
Productividad por turno.	
Cantidad de máquinas necesarias	

b) Proponga si deben considerarse otros parámetros para este método.


Parámetros	
Método <i>Percusión Rotación</i>	Selección
Esfuerzo axial	
Velocidad técnica de perforación	
Potencia de la máquina	
Productividad por turno.	
Cantidad de máquinas necesarias	



c) Proponga si deben considerarse otros parámetros para este método.


2. ¿Qué parámetros tiene Ud. en cuenta a la hora de seleccionar un tipo de perforadora para perforar un yacimiento mineral? Marque con una X su selección.

Parámetros	Selección
Método de perforación a utilizar	
Productividad	

a) Proponga si deben considerarse otros parámetros.


**APÉNDICE B. ESTUDIO DE VIABILIDAD.**

El estudio de viabilidad permite determinar si el problema planteado puede ser resuelto mediante un Sistema Experto. Se evalúan los aspectos de Plausibilidad, Adecuación, Justificación y Éxito que caracterizan al problema utilizando el Test de Viabilidad propuesto por la Metodología IDEAL. **(Rizzi, 01)**

Dicho 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, de los expertos, usuarios finales, colaboradores, etc. del proyecto.

El 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 esta 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.

### **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 7 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 8 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 7. 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 8. Definición de Intervalos binarios correspondientes a cada valor

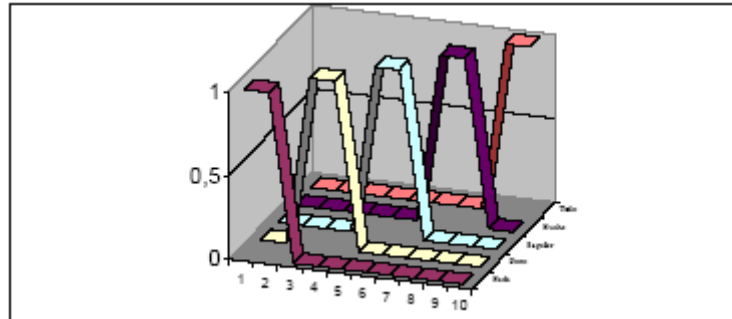


Figura 11. Funciones de pertenencia de los valores lingüísticos.

Se puede observar en la figura 11 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:

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

Donde:

$VC_i$  Valor Global de la aplicación en una dimensión dada.

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

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

$r_j$  número de la característica en la dimensión  $j$ .

La suma de intervalos se realiza de la siguiente forma:

$$(V_1, V_2, V_3, V_4) + (W_1, W_2, W_3, W_4) = (V_1 + W_1, V_2 + W_2, V_3 + W_3, V_4 + W_4)$$

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.

### **Análisis del Test de Viabilidad**

Las siguientes tablas muestran las evaluaciones realizadas para cada dimensión.

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
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 tomar decisiones en condiciones críticas o ambientales hostiles, penosos y, o, poco gratificantes.	Tarea	J3	+10	Deseable	Difusa	No	Poco
Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema	Experto	J4	+10	Deseable	Difusa	No	Mucho
Hay necesidad de distribuir los conocimientos	Tarea	J5	+10	Deseable	Difusa	No	Todo
La transferencia de experiencia entre humanos es factible	Tarea	A1	+7	Deseable	Difusa	No	Mucho



la tarea requiere "experiencia"	Tarea	A2	+10	Deseable	Difusa	No	Mucho
El experto no sigue un proceso determinista en resolución del problema	Experto	A5	+3	Deseable	Booleana	No	Sí
Es conveniente justificar las soluciones adoptadas	Tarea	A6	+3	Deseable	Difusa	No	Mucho
El experto resuelve el problema en la actualidad	Experto	E1	+4	Deseable	Difusa	No	Todo
La solución del problema es prioritaria para la institución	Directivos/usuarios	E2	+8	Esencial	Difusa	Si(mucho)	Mucho
Las soluciones son explicables	Tarea	E3	+5	Deseable	Difusa	No	Mucho
Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de individuos	Experto	E4	-7	Deseable	Difusa	No	Poco
Se dispone de experiencia en INCO	Tarea	E5	+7	Deseable	Difusa	No	Regular
Se dispone de los recursos humanos, hardware y software necesarios para el desarrollo e implantación del sistema	Tarea	E6	+4	Deseable	Difusa	No	Todo

Tabla 9. Análisis de las Características Plausibilidad, Adecuación, Justificación y Éxito.

### Cálculo de los intervalos correspondientes a cada dimensión

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	1	1	1	1
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	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
	25						184	199	217	232				
						Resultado	7,36	7,96	8,68	9,28				

Tabla 10. Estudio cuantitativo para la dimensión de Plausibilidad.

#### Dimensión de Justificación

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Aprox.Numerica
J1	8	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	44,8	52,8	62,4	70,4	57,6
J2	6	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	33,6	39,6	46,8	52,8	43,2
J3	10	Poco	1,2	2,2	3,4	4,4	12	22	34	44	28
J4	10	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	56	68	78	88	72,5
J5	10	Todo	7,8	8,8	10	10	78	88	100	100	91,5
										Máx:	91,5
						Resultado	7,8	8,8	10	10	

Tabla 11. Estudio cuantitativo para la dimensión de Justificación.

#### Dimensión de Adecuación

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Peso/Valor			
A1	7	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	39,2	46,2	54,6	61,6	1,25	1,061	0,897	0,795
A2	10	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	56	66	78	88	1,786	1,515	1,282	1,136
A3	4	Poco	1,2	2,2	3,4	4,4	-4,8	-8,8	-13,6	-17,6	-3,33	-1,82	-1,18	-0,91
A4	7	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	39,2	46,2	54,6	61,6	1,25	1,061	0,897	0,795
A5	3	Sí	10	10	10	10	30	30	30	30	0,3	0,3	0,3	0,3
A6	3	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	16,8	19,8	23,4	26,4	0,536	0,455	0,385	0,341
	26						176,4	199,4	227	250	1,792	2,572	2,581	2,457
						Resultado	3,392	3,835	4,365	4,808				

Tabla 12. Estudio cuantitativo para la dimensión de Adecuación.

#### Dimensión de Éxito

Característica	Peso	Valor	Intervalo Difuso				Peso*Valor				Peso/Valor			
E1	4	Todo	7,8	8,8	10	10	31,2	35,2	40	40	0,513	0,455	0,4	0,4
E2	8	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	44,8	52,8	62,4	70,4	1,429	1,212	1,026	0,909
E3	6	Mucho	5,6	6,6	7,8	8,8	33,6	39,6	46,8	52,8	1,071	0,909	0,769	0,682
E4	8	Poco	1,2	2,2	3,4	4,4	-9,6	-17,6	-27,2	-35,2	-6,67	-3,64	-2,35	-1,82
E5	7	Regular	3,4	4,4	5,6	6,6	23,8	30,8	39,2	46,2	2,059	1,591	1,25	1,061
E6	4	Todo	7,8	8,8	10	10	31,2	35,2	40	40	0,513	0,455	0,4	0,4
	17						155	176	201,2	214,2				
							4,559	5,176	5,918	6,3				

Tabla 13. Estudio cuantitativo para la dimensión de Éxito.

Dimensión	Peso	Valores Intervalo				Peso*Valor			
Plausibilidad	8	7,36	7,96	8,68	9,28	58,88	63,68	69,44	74,24
Justificación	3	7,8	8,8	10	10	23,4	26,4	30	30
Adecuación	8	3,392	3,835	4,365	4,808	27,136	27,136	27,136	38,464
Exito	5	4,559	5,176	5,918	6,3	22,795	22,795	29,59	31,5
	24					132,211	140,011	156,166	174,204
						Intervalo Resultado Final			
						5,51	5,83	6,51	7,26

Tabla 14. Cálculo final de la Viabilidad.

Resultado final: 6,28

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

## Justificación del análisis de Viabilidad.

### justificación dimensión de Plausibilidad

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

Análisis: Se dispone de personas con experiencia en el ámbito de la minería y en particular en el área de selección de máquinas mineras de perforación. Existen personas con experiencia interesadas en la construcción del sistema. Se dispone del recurso de internet para consultar con expertos externos.

Valor: Sí.

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

Análisis: Puesto que el experto local tiene vínculos directos con el autor se confirma que es capaz 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, puesto que se han identificado la mayoría de las funciones que el sistema debe realizar:

- Seleccionar método de trabajo.

- Explicar la selección del método de trabajo.
- Seleccionar método de perforación.
- Explicar selección del método de perforación.
- Calcular parámetros del proceso de trabajo.
- Mostrar resultados de los cálculos del proceso de trabajo.
- Seleccionar el tipo de máquina que se utilizará en el método de perforación.
- Explicar selección del tipo de máquina que se utilizará en el método de perforación.

Valor: Mucho

### **justificación dimensión de Justificación**

Característica J1: Resuelve una tarea útil y necesaria

Análisis: Dado que la selección de métodos y máquinas de perforación es una actividad intensamente engorrosa, la disponibilidad de una herramienta de asistencia a expertos mineros en el desarrollo de tal proceso sería de gran utilidad. Además permitiría la disponibilidad de conocimientos y experiencia actualizada y en permanente crecimiento.

Valor: Mucho

Característica J2: Hay escasez de experiencia humana.

Análisis: No es frecuente encontrar expertos en la selección de métodos y máquinas de perforación. Se requieren personas que hayan trabajado en una gran cantidad de proyectos de perforación.

Valor: Mucho

Característica J3: Hay necesidad de tomar decisiones en situaciones críticas o ambientes hostiles, penosos y, o, poco gratificantes

Análisis: El trabajo se realiza en ambientes preparados para el trabajo de selección, por lo que las situaciones no son críticas.

Valor: Poco

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

Análisis: El trabajo se realiza basándose parte en bibliografía, revistas, etc. Y en gran parte en expertos, dado que para la selección de métodos y máquinas de perforación se utilizan heurísticas. No obstante en cualquier organización las personas que se dedican a la selección de métodos y máquinas de perforación son escasas y existe una gran dependencia para con ellas. Si tales personas abandonan la organización, puede perderse los conocimientos.

Valor: Mucho

Característica J5: Hay necesidad de distribuir los conocimientos

Análisis: Se espera que el sistema ayude y pueda ser utilizado por toda la comunidad minera.

Valor: Todo

### **Justificación dimensión de Adecuación**

Característica A1: La transferencia de experiencia entre humanos es factible.

Análisis: Existen reglas empíricas que permiten transmitir la valoración de ciertos aspectos del dominio de la aplicación para subdividir el problema en sub problemas, para luego poder ser documentados de acuerdo a reglas también claras según el tipo de dominio del cual se trate. Esto hace factible que dicha experiencia pueda transmitirse a otras personas mediante el guiado del proceso.

Valor: Mucho

Característica A2: la tarea requiere “experiencia”

Análisis: La actividad de seleccionar de máquinas perforadoras requiere en gran medida que las personas que la realizan posean una basta experiencia.

Valor: Mucho

Característica A3: los efectos de la introducción del SE no pueden preverse.

Análisis: Se espera que la introducción del SE no depare efectos adversos en cuanto

a que la tarea que realizará será ayudar al experto en selección de métodos y máquinas de perforación, acelerando su trabajo y agregándole confiabilidad.

Valor: Poco

Característica A4: *La tarea requiere el uso de “heurísticas” para acotar el espacio de búsqueda.*

Análisis: Cuando se presenta un problema que debe analizarse para luego poder documentar los requerimientos es necesario el uso de heurísticas; las mismas permiten que el espacio de búsqueda quede acotado en el momento de aconsejar al ingeniero de software sobre los pasos a seguir.

Valor: Mucho

Característica A5: *El experto no sigue un proceso determinista en la resolución del problema*

Análisis: En absoluto. Cada proyecto a analizar es un problema diferente y su resolución demandará un nuevo análisis, el uso de diferentes técnicas según el dominio de la aplicación, el contexto, el tipo de usuarios, etc.

Valor: Sí

Característica A6: *Es conveniente justificar las soluciones adoptadas*

Análisis: Es absolutamente necesario justificar las soluciones adoptadas explicando al usuario el porqué de la sugerencia o guía para poder realizar la selección, dado que es el objetivo del SE.

Valor: Mucho

### **Justificación dimensión de éxito**

Característica E1: El experto resuelve el problema en la actualidad.

Análisis: Se encuentran en el ámbito de la minería, donde siempre que se hable de yacimientos minerales se enfrenta al problema de selección de métodos y máquinas mineras de perforación.

Valor: Todo

Característica E2: La solución del problema es prioritaria para la institución.

Análisis: Es prioritaria puesto que una correcta selección de un método como de una máquina minera de perforación garantiza mayor efectividad del trabajo y permite obtener altos índices económicos.

Valor: Mucho

Característica E3: Las soluciones son explicables.

Análisis: El sistema debe explicar cada solución adoptada de modo que el usuario pueda entender cómo se realizó el proceso y a la vez comprender como debe continuar.

Valor: Mucho

Característica E4: Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de individuos

Análisis: Si bien se cuenta con varias personas expertas en la materia, todas poseen un nivel similar de conocimientos por lo que no es necesaria su presencia simultánea.

Valor: Poco

Característica E5: *Se dispone de experiencia en INCO*

Análisis: No existe experiencia previa. Pero se dispone de material realizado por expertos con experiencia previa.

Valor: Regular

Característica E6: *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 externos.

Valor: Todo



**APÉNDICE C. PARÁMETROS DE LOS PROCESOS DE TRABAJO.****Cálculo de los parámetros principales de las máquinas perforadoras**

- Percusión – Giro.
- Rotación.
- Percusión – Rotación.

**1. Parámetro del proceso de trabajo: Método percusión y giro.**

Determinación de los parámetros del proceso de trabajo de las máquinas perforadoras de percusión – giro, si se conocen los siguientes datos:

- Fuerza del golpe.

$$P_p = 2dh\sigma_c \left( \tan \frac{\alpha}{2} + \mu_1 \right) K_z$$

Donde:

$\sigma_c$  - Límite de la resistencia de las rocas durante la compresión uniaxial.

d - Diámetro del instrumento perforador.

h - Profundidad de introducción del instrumento perforador.

$$K_z = 1,2$$

$\alpha$  - Ángulo de la cuchilla.

$\mu_1$  - Coeficiente de fricción del instrumento perforador en la roca.

$P_p$  - Fuerza de golpe.

- Fuerzas resistentes horizontales (cuando se realiza el golpe).

$$T_h = N \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{P_p}{2 \left( \tan \frac{\alpha}{2} + \mu_1 \right) K_z}, \quad N$$

- Número de golpes en un minuto

$$Z_0 = \frac{\pi d^2 \left( \tan \frac{\alpha}{2} + \mu_1 \right) K_z \sigma_R}{2P_p}.$$

Donde:

R - límite de resistencia al rompimiento

$\sigma_R$  - Resistencia temporal de la roca al rompimiento.

- Frecuencia de rotación.

$$\eta = \frac{Z}{Z_0}; \quad \text{r/min};$$

Donde:

Z - Frecuencia del golpe; golpes/min.

- Área de los taladros y barrenos

$$S_0 = \frac{\pi d^2}{4Z_0}; \quad \text{m}^2$$

- Fuerzas horizontales (durante el rompimiento).

$$T_h = S_0 \sigma_R$$

- Velocidad de perforación.

$$V = h\eta, \quad \text{m/min}$$

- Trabajo de un golpe del instrumento perforador.

$$A = 0.5P_p h; \quad \text{MN}$$

- Velocidad teórica teniendo en cuenta el trabajo.

$$V_{teo} = \frac{4AZ}{\pi d^2 \left( \tan \frac{\alpha}{2} + \mu_1 \right) K_z \sigma_R}; \quad \text{m/min.}$$

## 2. Cálculo de la productividad por turno.

$$P_{turno} = \frac{T_T K_u}{t_p + t_a} = \frac{T_T K_u}{\frac{1}{V_{tec}} + t_a}$$

$t_p$  - Tiempo de perforación en un metro de taladro;  $t_p = 1-2$  min/m.

$t_a$  - Tiempo para las operaciones auxiliares, min/m

$t_a = 2$  min/m.

$K_u$  - Coeficiente de utilización de las máquinas en el turno de trabajo.

$T_T$  - Duración del turno de trabajo, min.

## 3. Cálculo de la cantidad de máquinas perforadoras necesarias.

- Cantidad de metros a perforar.

CMP = Cantidad de taladros, por profundidad y por número de días  
Ejemplo: CMP = 300+18+15 = 8100 m/días.

- Cantidad de metros en un turno.

$$CMT = \frac{CMP}{P_{turno}}; \text{ m/turno}$$

$$\text{Por tanto } P_q = \frac{300}{15} = 20 \text{ taladros/días.}$$

$$\text{Número de máquinas} = NM = \frac{P_{ro}}{P_{turno}}.$$

Pro = P<sub>q</sub> (por la cantidad de metros perforados), m.

#### 4. Potencia del motor.

$$P_{motor} = P_a V_{tec} \eta^{-1} 10^{-3}$$

Donde:

$\eta^{-1}$  - coeficiente de rendimiento del mecanismo de entrega.

#### 5. Velocidad técnica de perforación (V<sub>tec</sub>):

$$V_{tec} = \frac{6E\eta}{10^6 K_p d_p^2 K_F}$$

Donde:

E- energía del golpe del pistón.

$\eta$  - Frecuencia de giro,  $\text{mi}^{-1}$

$K_p$  – Coeficiente que depende del índice de perforabilidad P<sub>p</sub>:

Para P<sub>p</sub> = 10 – 14,  $K_p = 1$ ; para P<sub>p</sub> = 15-17,  $k_b = 1,05$  y para P<sub>p</sub> = 18. 25,  $K_b = 1.1$

$d_p$  = Tamaño máximo de las partículas, m

$K_F$  = Coeficiente que considera la forma de la cámara: para cámara de tres cuchilla  $K_F = 1$  y en forma de cruz  $K_T = 1.1$ .

#### 6. Esfuerzo axial ( P<sub>a</sub> ) ; N

$$P_a = \frac{1+\tau}{60} \eta_p \sqrt{2Am_e} + m_{ST} \mu_1 \cos \beta + \frac{2\mu_F}{l_D} \mu_T.$$

Donde:

$\tau$  - Relación del tiempo (en vacío) del recorrido inverso del pistón con el tiempo del recorrido de trabajo (avance); para las perforadoras neumáticas de los tipos MP-3, p- 105, p-125, M32k  $\tau = 1.3 - 1,5$ .

$\eta_p$  - Frecuencia de giro,  $\text{min}^{-1}$

A - Energía del golpe del pistón; J.

$m_e$  - Masa del embolo; Kg

$m_{ST}$  - masa de la perforadora; Kg

$\mu_1$  - Coeficiente de fricción entre la máquina y la roca.

$\beta$  - Ángulo de inclinación del barreno, grado.

$\mu_F$  - Momento de fricción entre la máquina y la roca.

$l_D$  - Distancia entre las guías por donde se desplaza la placa del girador,

$\mu_T$  - Coeficiente de fricción de la placa del girador a rotador.

## 2. Parámetros del proceso de trabajo: Método rotación

- Determinación de la profundidad.

$$h_c = \frac{V_{tec}}{Z_c \eta_R}, \text{ m.}$$

Donde:

$h_c$  - Profundidad de introducción de la cuchilla en el material.

$V_T$  - Velocidad de perforación, m/s.

$t_c$  - Número de cuchillas en la corona.

$\eta_R$  - Frecuencia de rotación de la barrena perforadora.

- Cálculo de la frecuencia crítica de rotación de la barrena.

$$\eta_0 = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{(\text{sen} \alpha + \mu_1 \cos \alpha)g}{\mu_2 K_i}}$$

Donde:

$\alpha$  - Angulo de inclinación de la barrena.

$\mu_1, \mu_2$  - Coeficientes de fricción de la roca con el metal y de la roca con la roca respectivamente.

g - Aceleración de la fuerza de gravedad;  $\text{m/s}^2$ ;

$K_i = 0,7-0,8$  - Coeficiente que considera la disminución del área útil del embolo en los lados de avance y retroceso.

- Aceleración del movimiento del símbolo durante el paso de avance y retroceso del mismo (J).

$$J_A = \frac{P_{AT}}{m_e}, \text{ m/s}^2$$

Donde:

$P_A$ - Paso de avance.  
 $P_R$  – Paso en retroceso.  
 $m_e$ - masa del símbolo.

- Duración del paso de avance y retroceso (t).

$$t_A = \sqrt{2L_e C_e J_A^{-1}}; \text{ s.}$$

$$t_R = \sqrt{2L_e C_e J_R^{-1}}$$

Donde:

$C_e = 0,85-0,90$  - Coeficiente que considera la disminución del paso del embolo.

$L_e$ - Longitud del embolo; m.

- Frecuencia de golpes (Z).

$$Z = \frac{1}{t_A + t_R} = \frac{1}{T_c}; \text{ s}^{-1}$$

Donde:

$T_c$ - Tiempo de ciclo del embolo.

- Potencia de la máquina perforadora, (N)

$$N = \mu_R \omega_T \eta_R^{-1} 10^{-3}; \text{ Kw.}$$

- Esfuerzo axial ( $P_a$ )

$$P_a = (6-7)fd10^4$$

Donde:

f- Fortaleza de la roca

$\omega_T$  - velocidad angular de rotación del trépano; Rad./s.

$\mu_R$  - coeficiente de transmisión del rotor al motor.

$\eta_R^{-1}$  - Coeficiente de rendimiento de la transmisión del rotor.

f – Fortaleza de la roca.

- Velocidad técnica de perforación ( $V_{tec}$ ).

$$V_{tec} = \frac{P_a \eta_R}{4 * 10^5 P_p^2 d^2}; \text{ m/min.}$$

Donde:

$P_p$  - Índice de perforabilidad de la roca.

- Productividad por turno.

$$P_{tec} = \frac{T_T K_u}{t_p + t_a} = \frac{T_T K_u}{\frac{1}{V_{tec}} + t_a}; \text{ m/turno.}$$

La cantidad de máquinas perforadoras se calcula del mismo modo que el caso de percusión-giro.

### 3. Parámetro del proceso de trabajo: Método percusión-rotación (Roto percusión).

- Cálculo de la velocidad de perforación.

$$V_{tec} = \frac{3P_a \eta_R}{10^7 P_p d^2}$$

Donde:

$P_a$  – Esfuerzo axial.

$$P_a = 7fd^2 10^4; \text{ N.}$$

La productividad, cantidad de máquinas y potencia se calculan al igual que en el caso anterior.

**APÉNDICE D. 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 metaclass.

- **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 **(Usschold 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.

APÉNDICE E. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA ONTOLOGÍA.

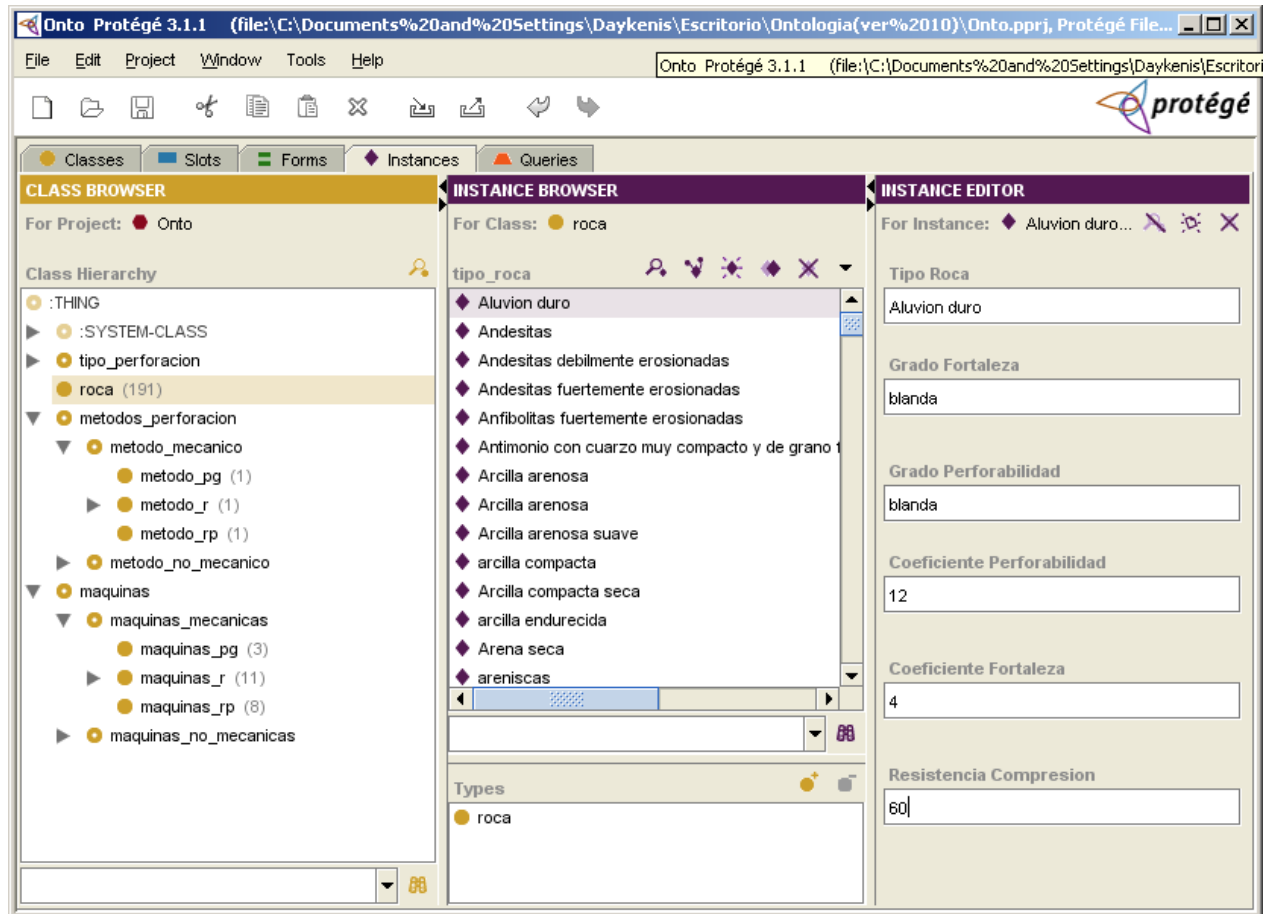


Figura 12. Jerarquía de Clases de la ontología.

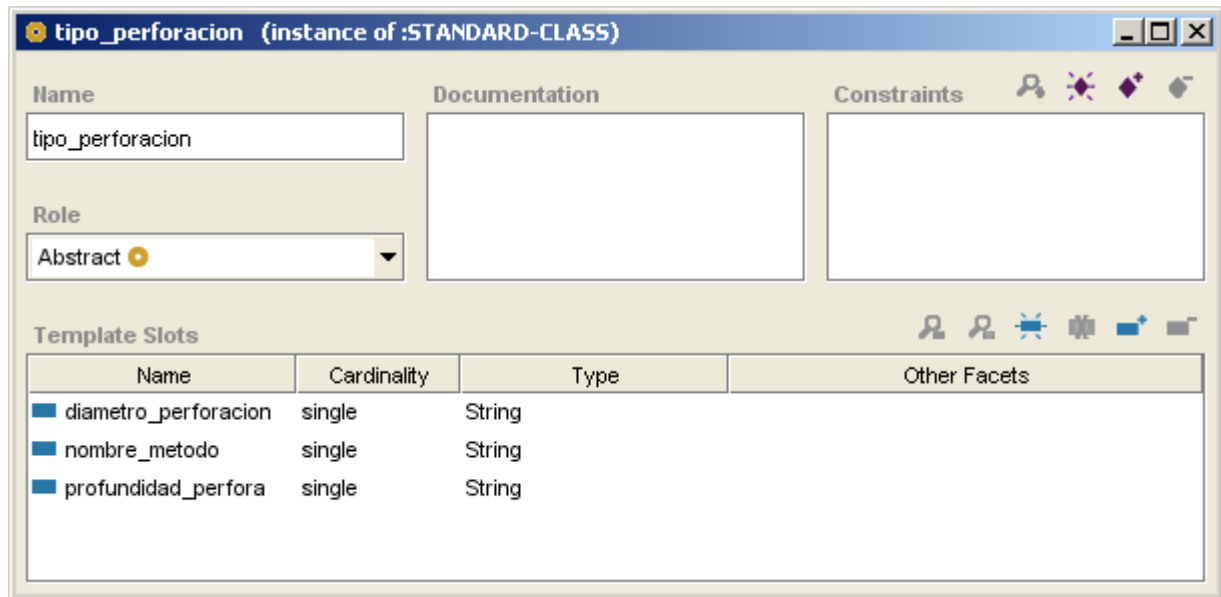


Figura 13. Clase tipo \_ perforación con sus slots.

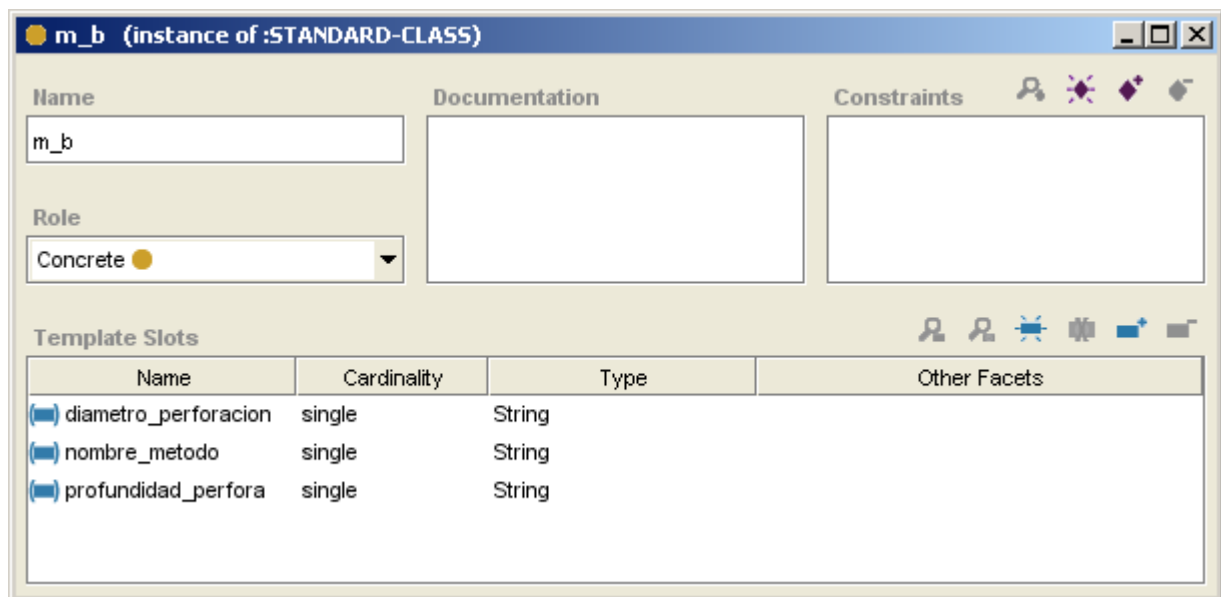


Figura 14. Clase método de barreno con sus slots.

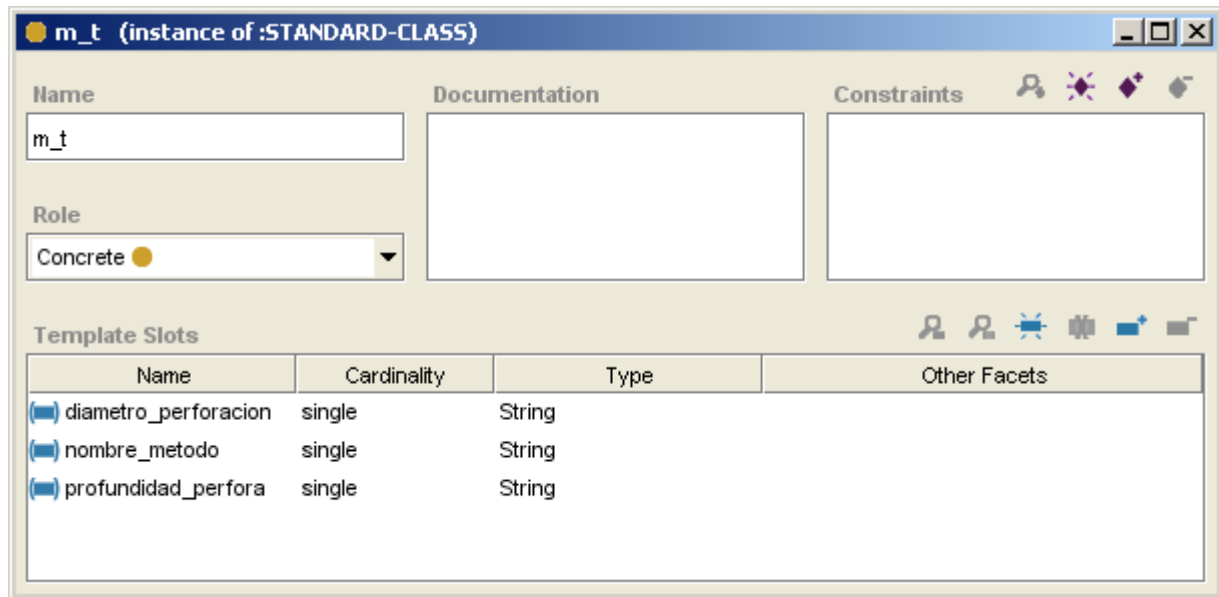


Figura 15. Clase método de taladro con sus slots.

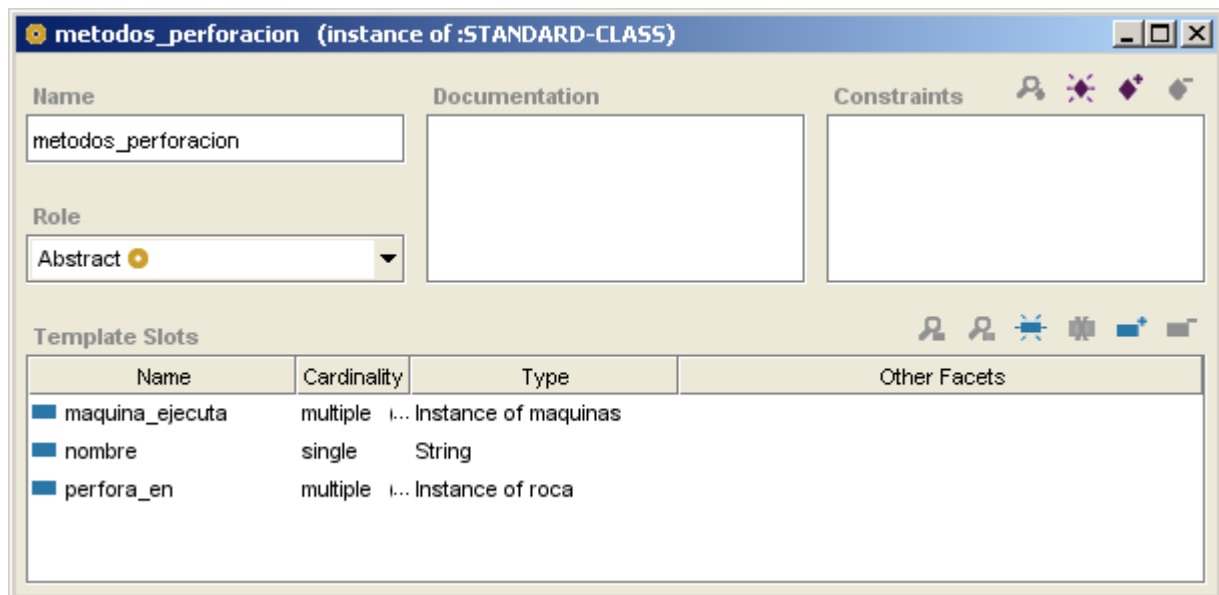


Figura 16. Clase métodos de perforación con sus slots.

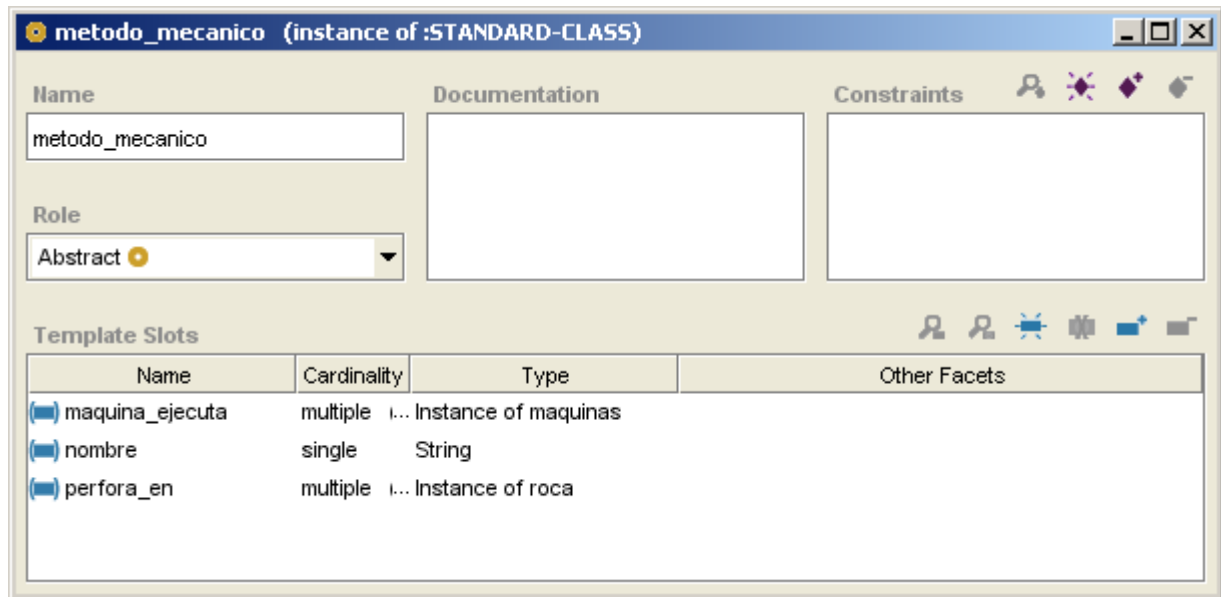


Figura 17. Clase método mecánico con sus slots.

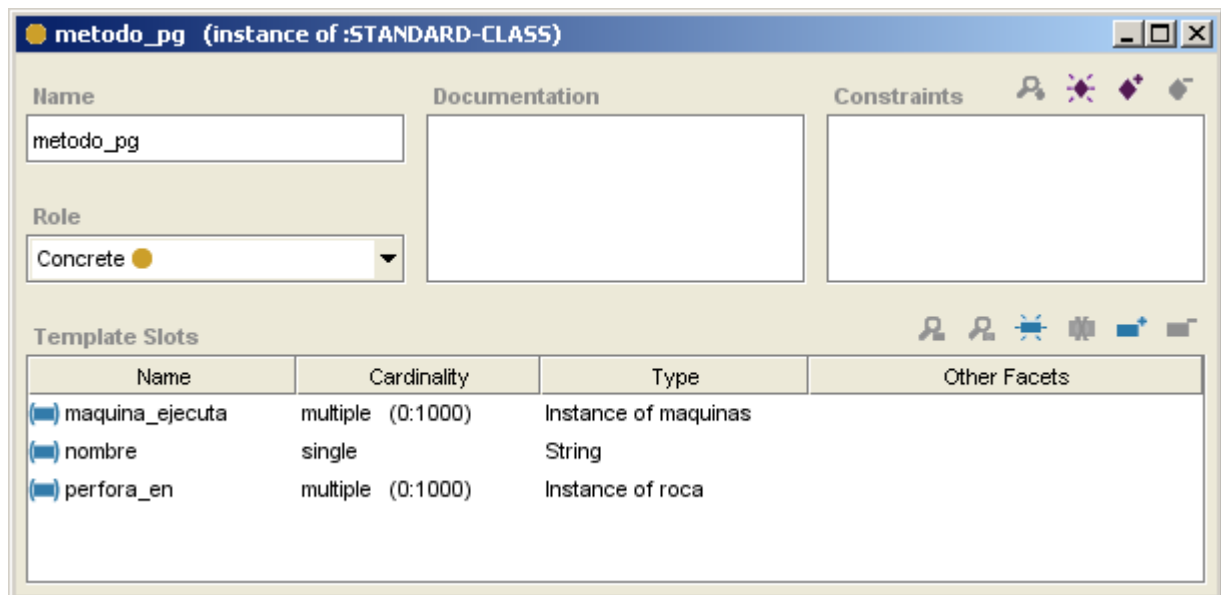


Figura 18. Clase método de percusión giro con sus slots.

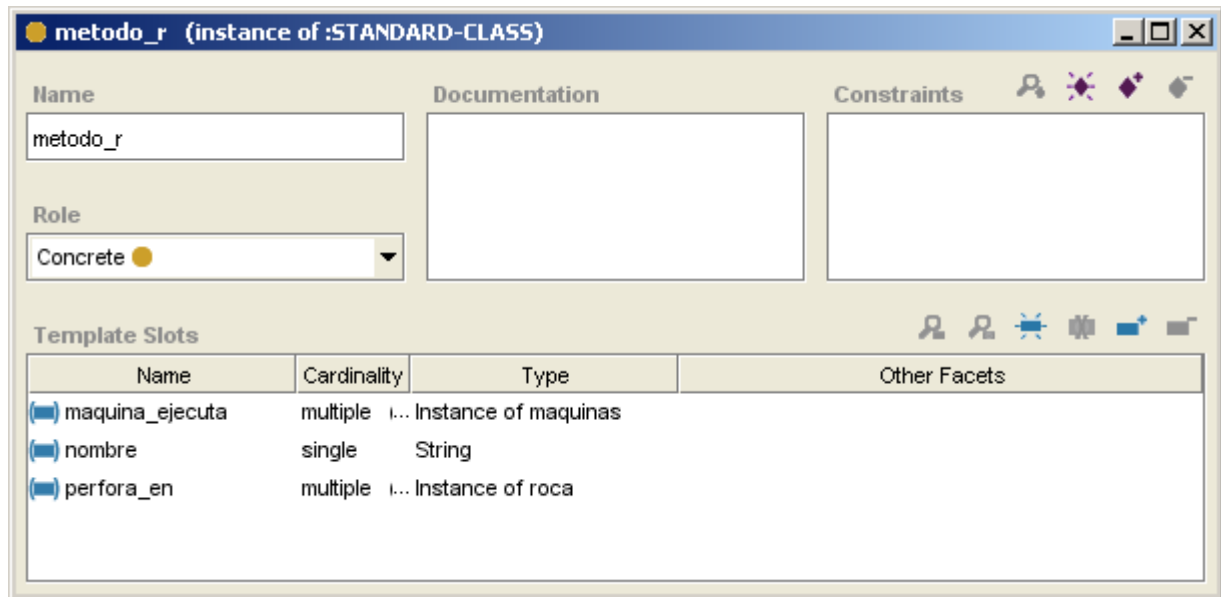


Figura 19. Clase método de rotación con sus slots.

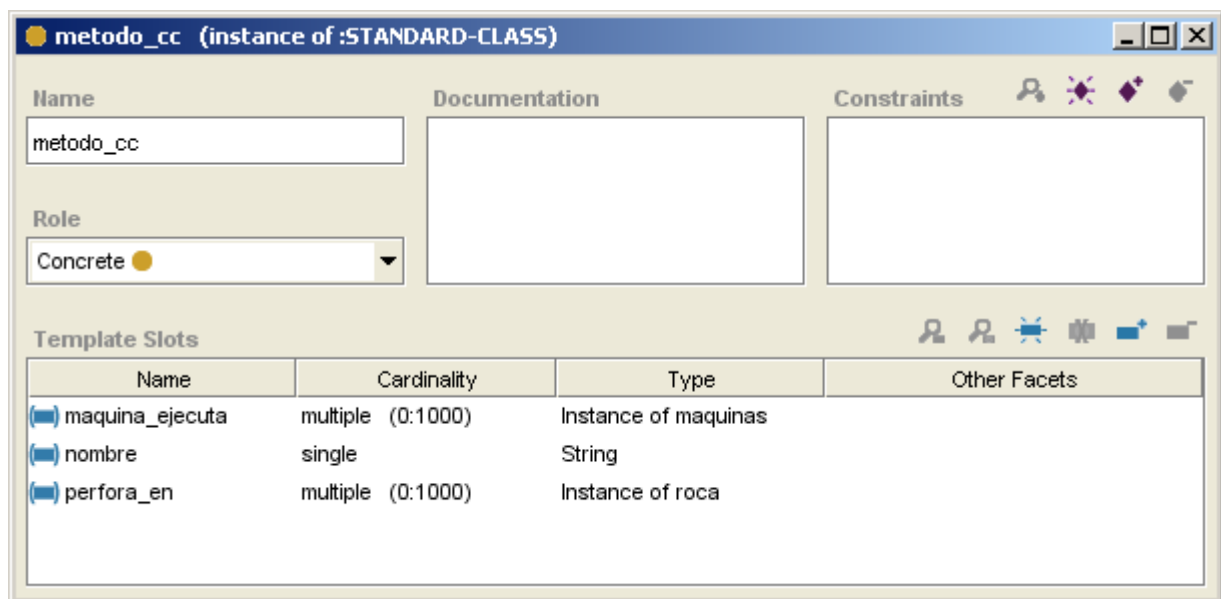


Figura 20. Clase método de corona de corte con sus slots.



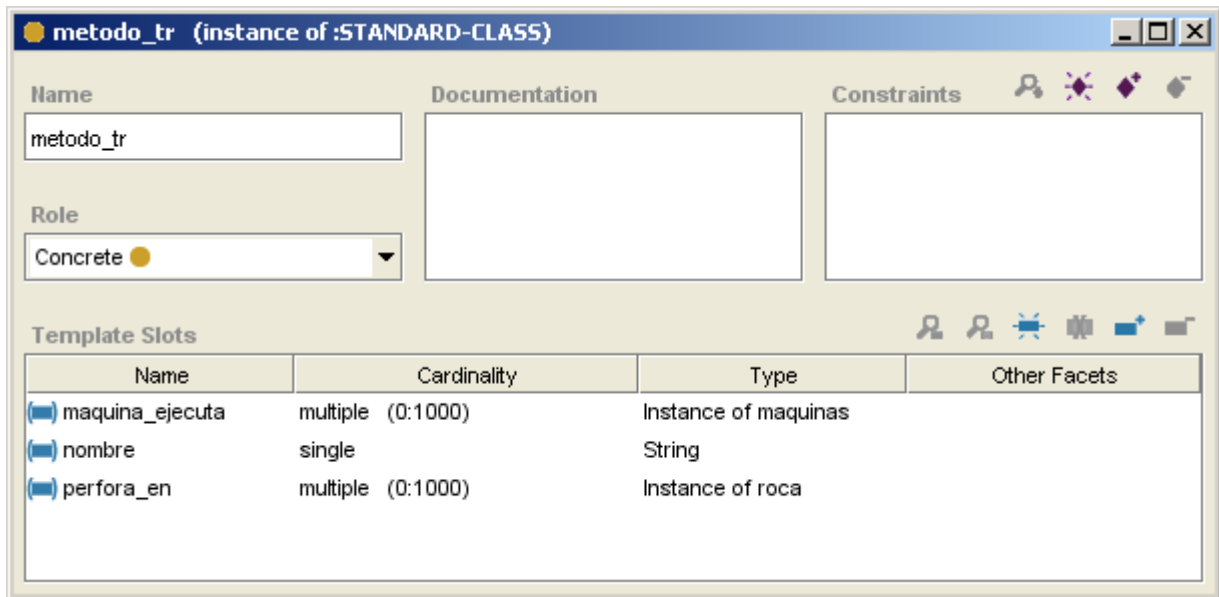


Figura 21. Clase método trépano de rodillo con sus slots.

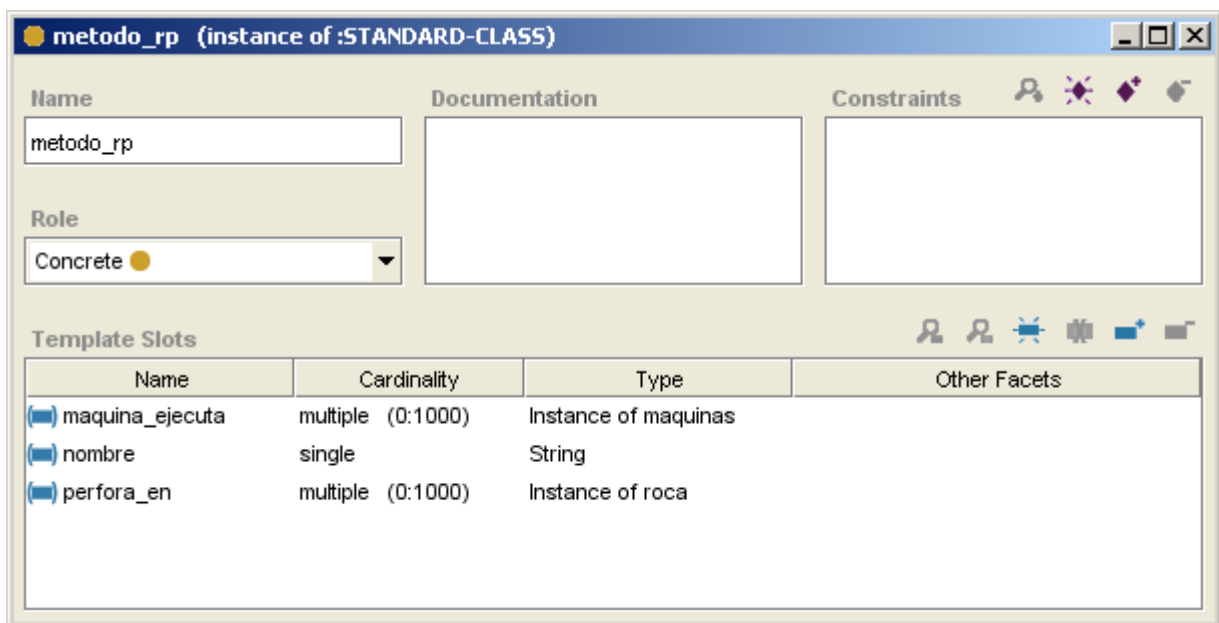


Figura 22. Clase método de roto percusión con sus slots.

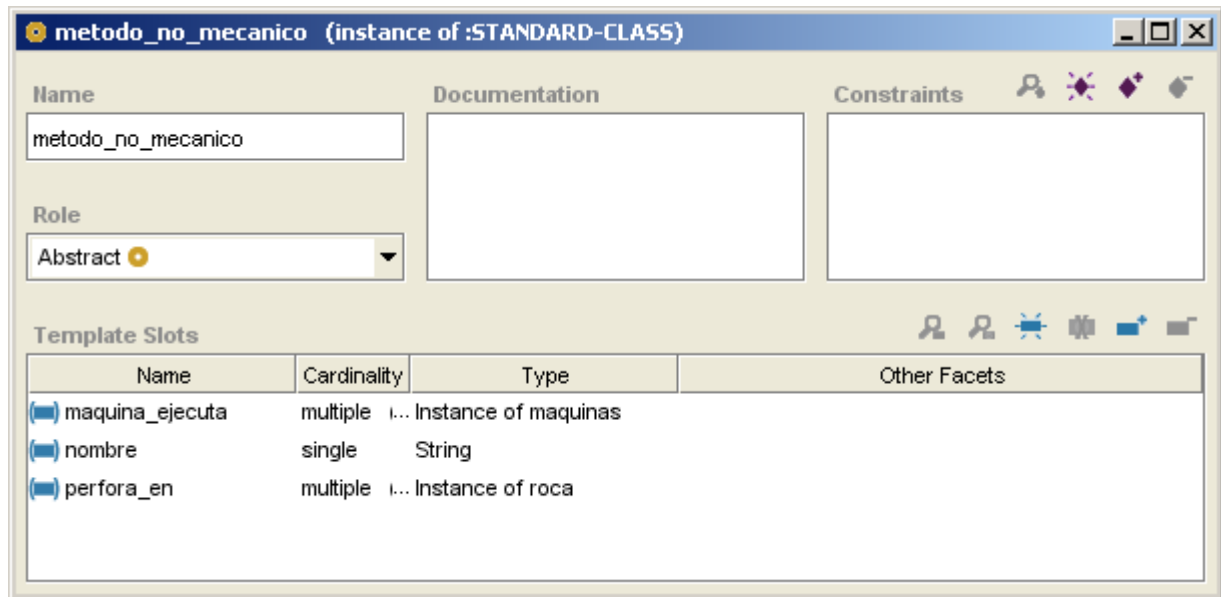


Figura 23. Clase método no mecánico con sus slots.

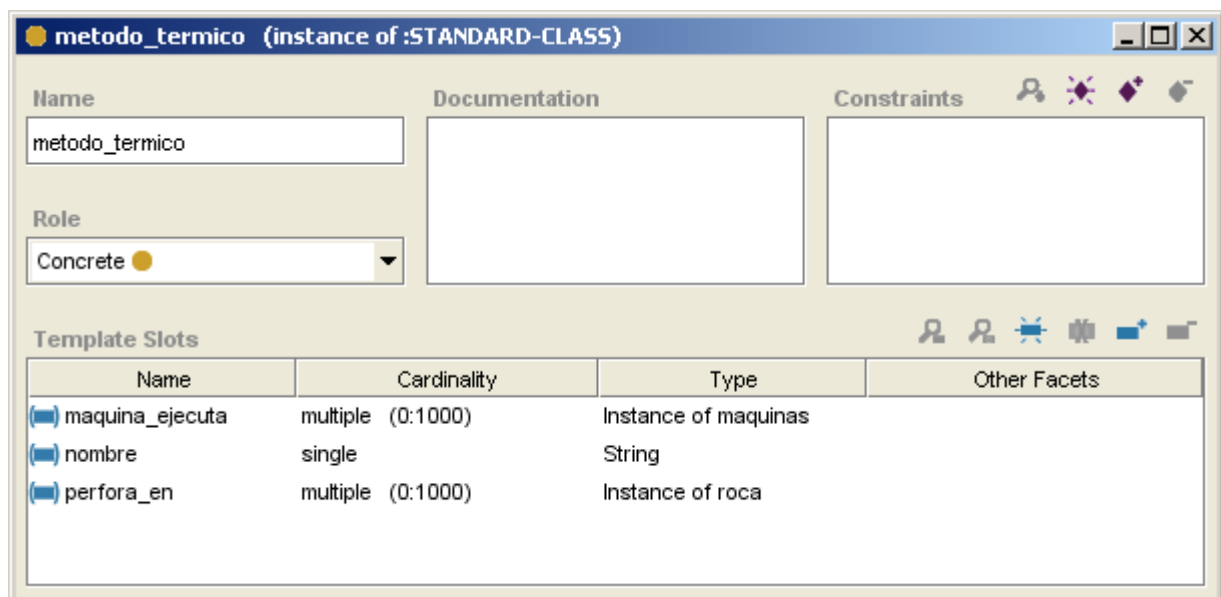


Figura 24. Clase método térmico con sus slots.

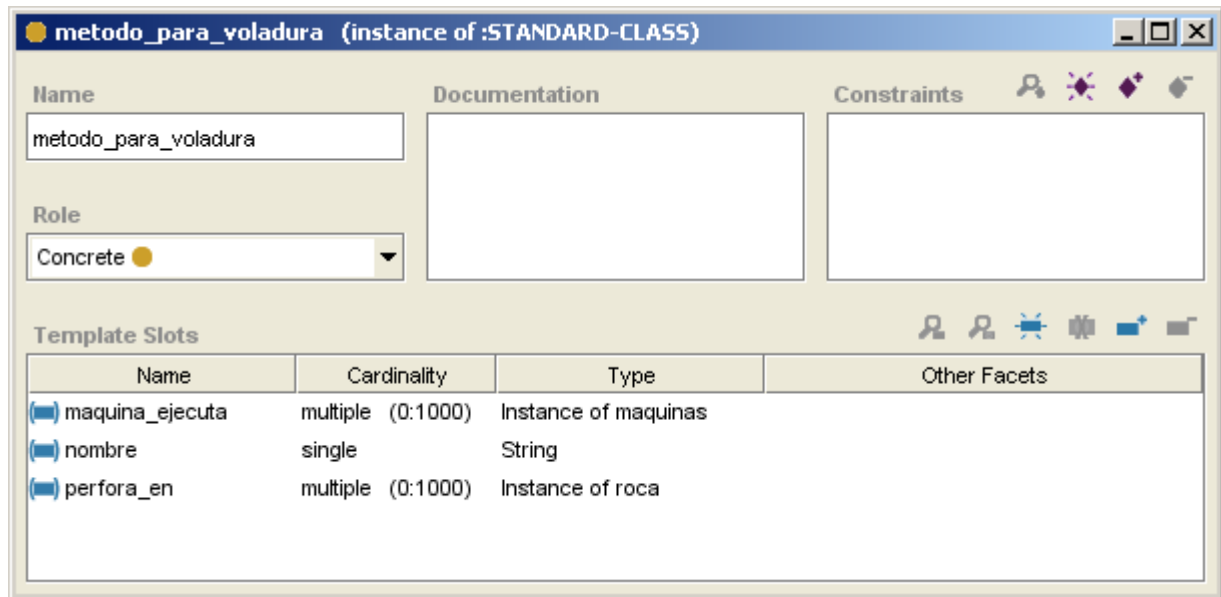


Figura 25. Clases método para voladura con sus slots.

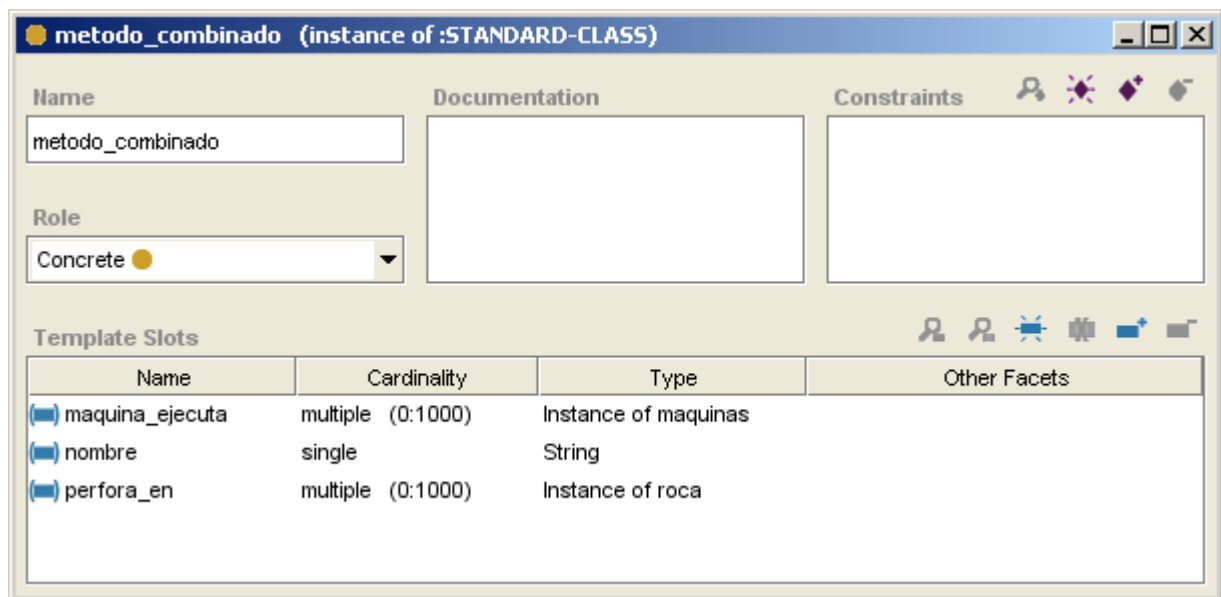


Figura 26. Clase método combinado con sus slots.

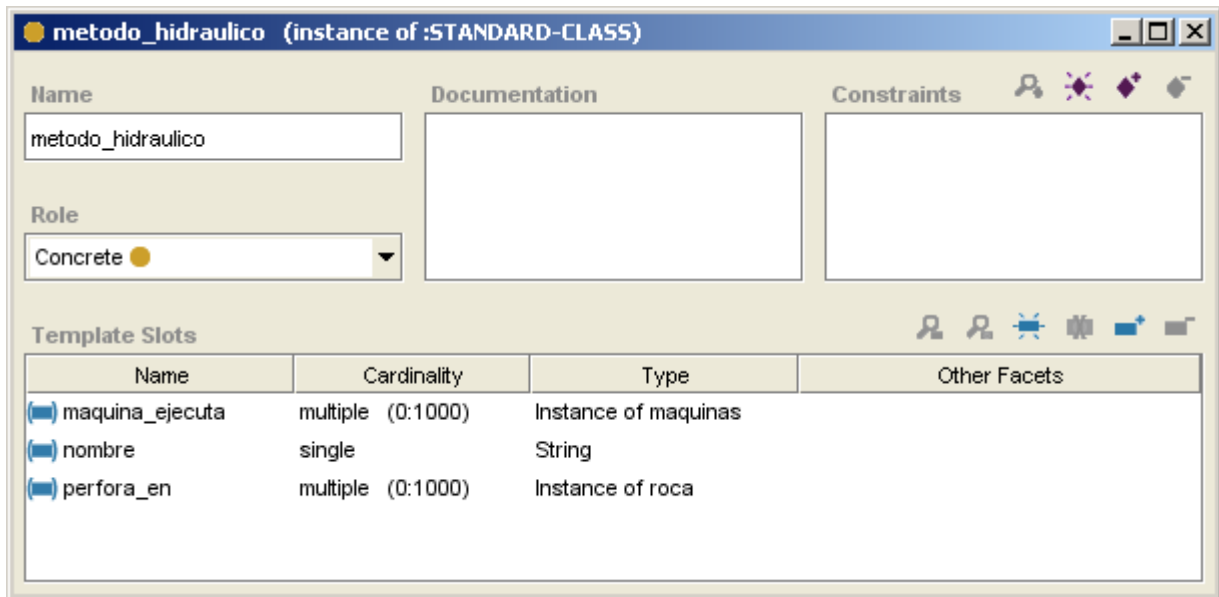


Figura 27. Clase método hidráulico con sus slots.

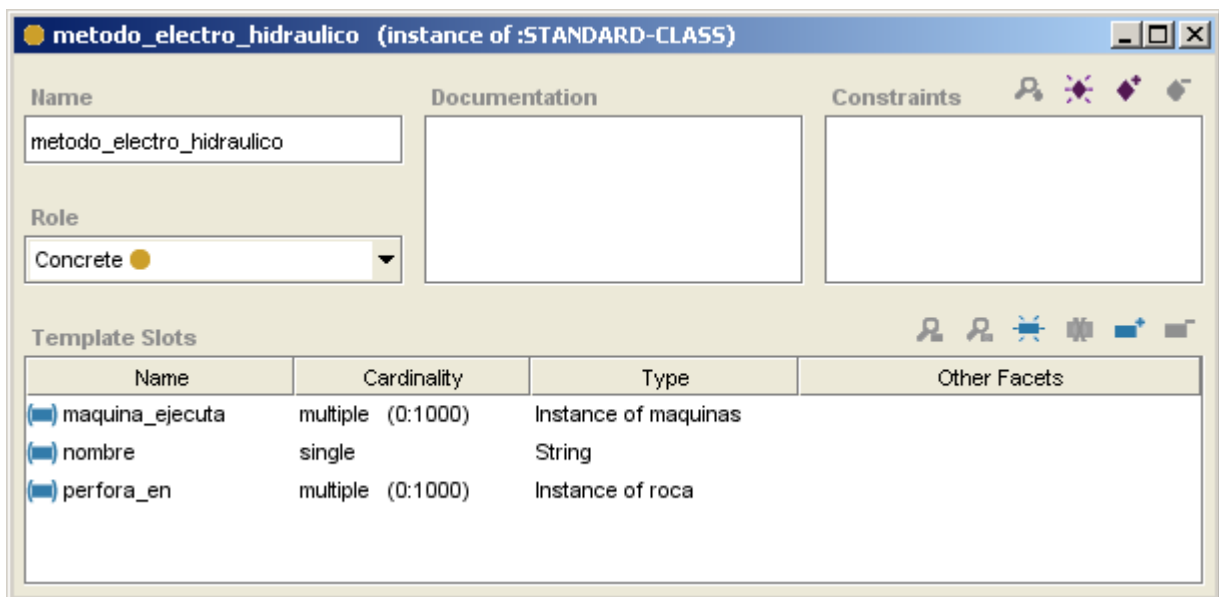


Figura 28. Clase método electro hidráulico con sus slots.

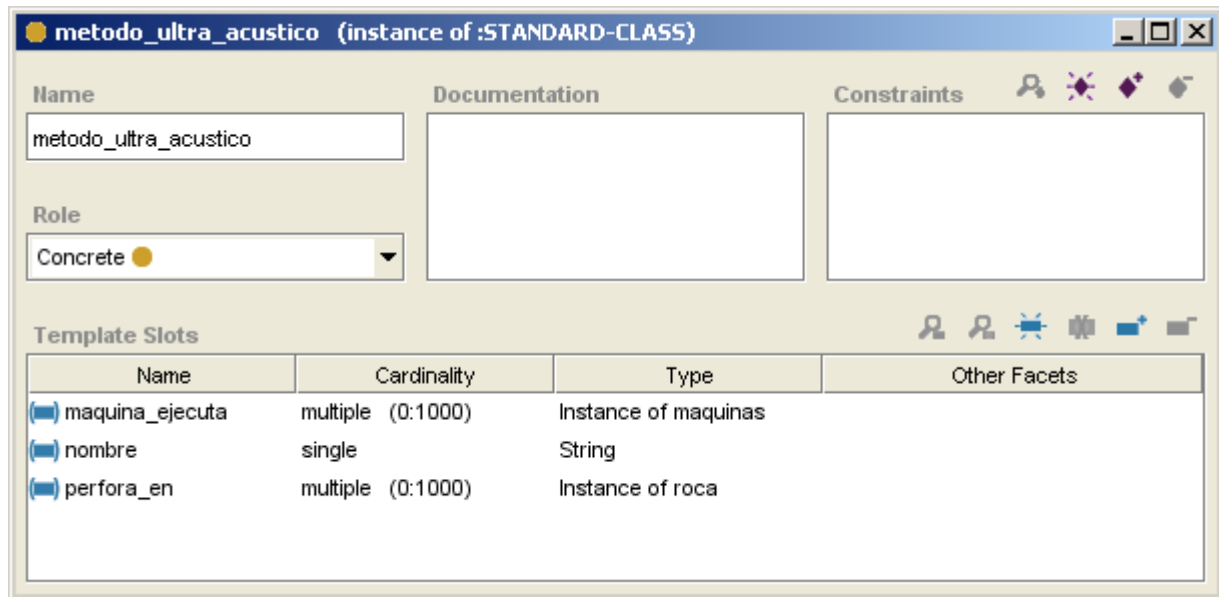


Figura 29. Clases método ultra acústico con sus slots.

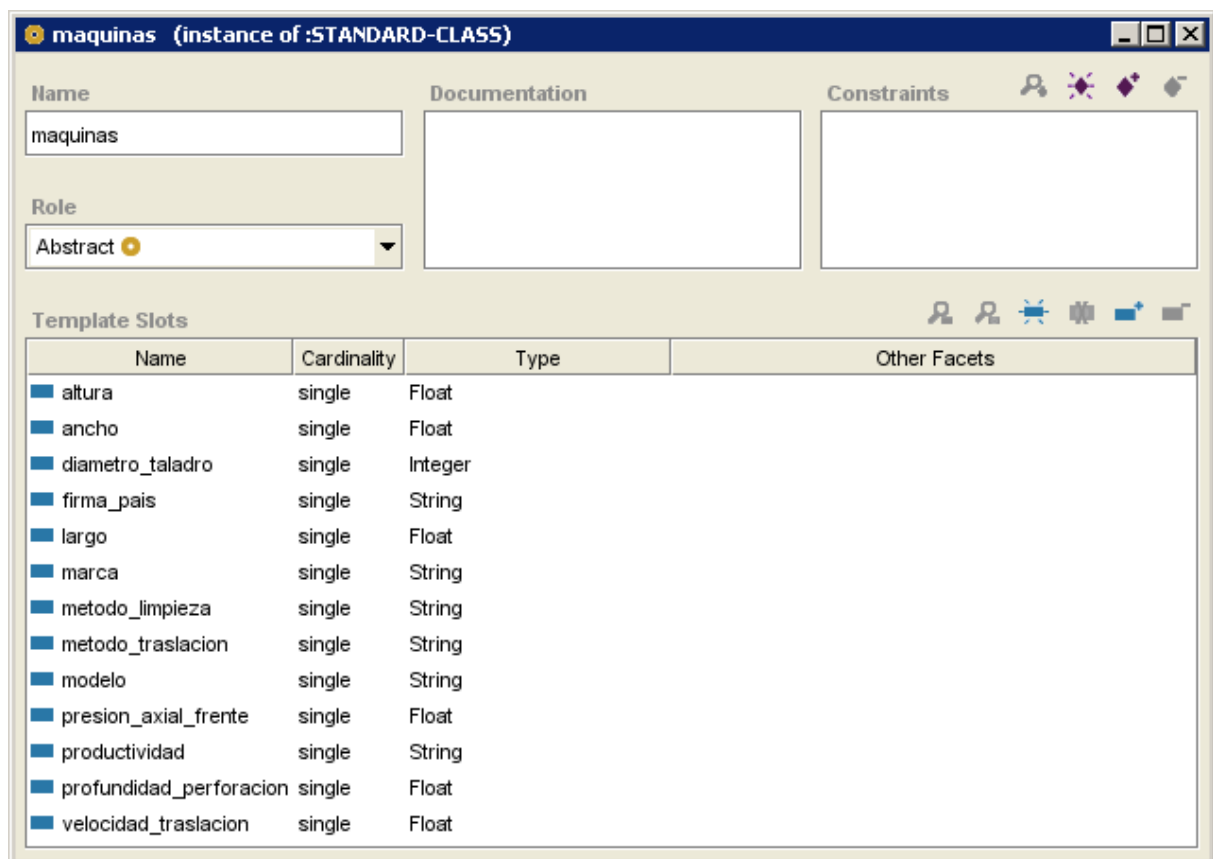


Figura 30. Clase máquinas con sus slots.

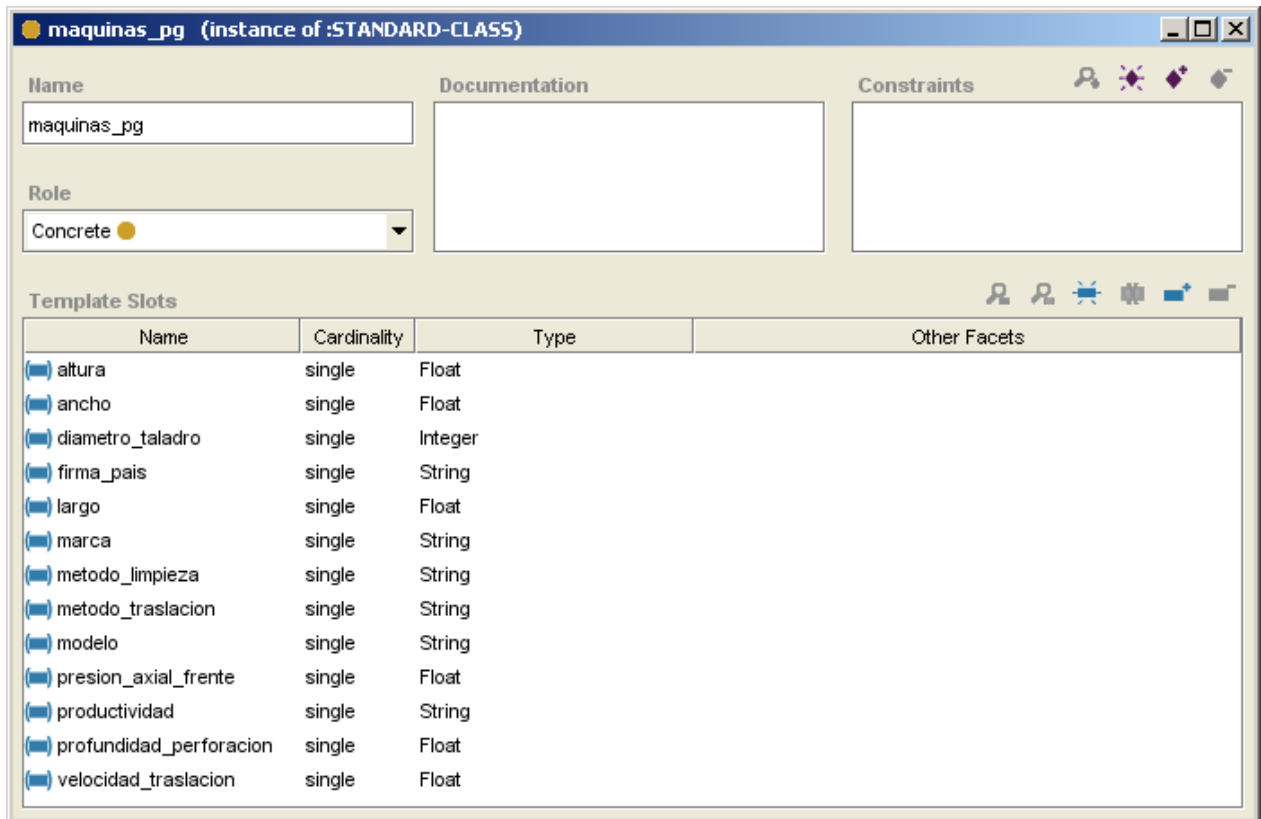


Figura 31. Clases máquinas percusión giro con sus slots.

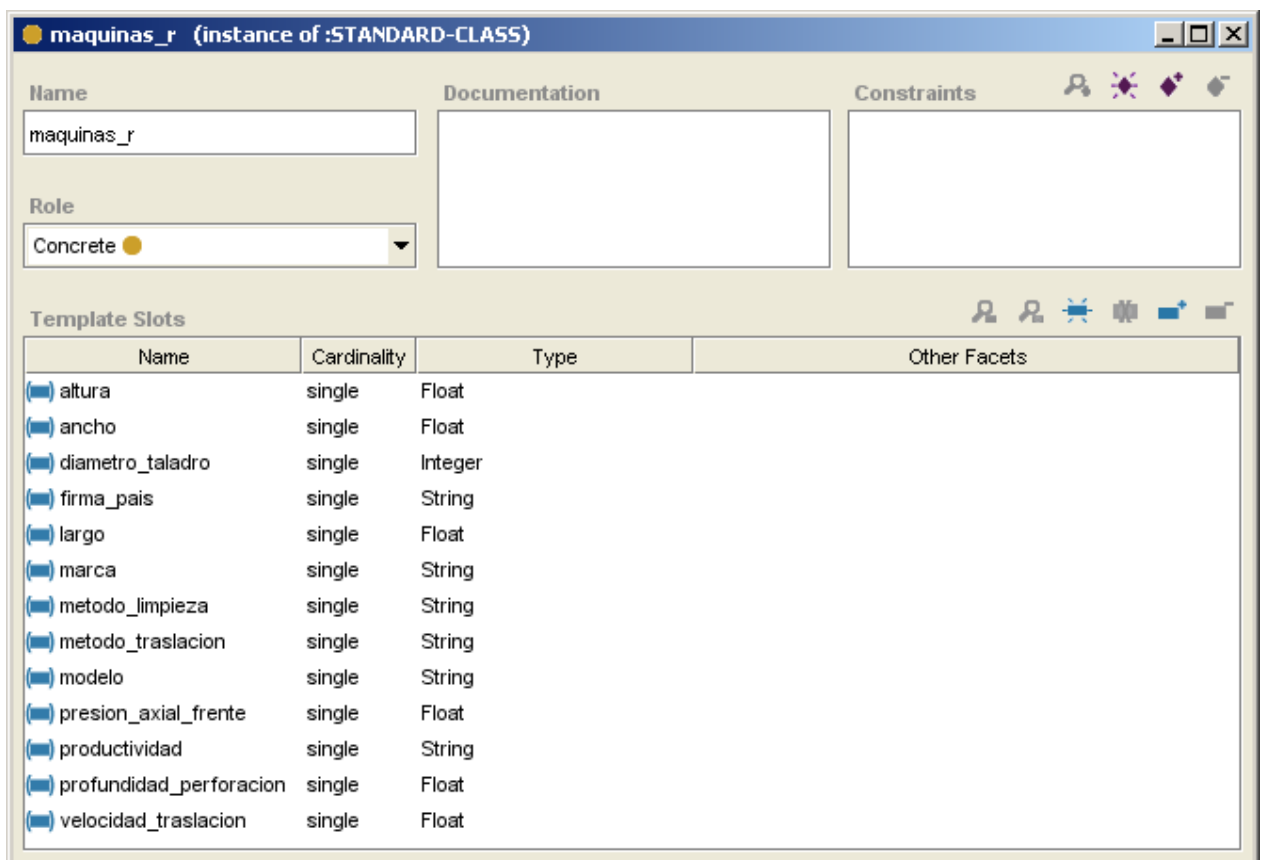


Figura 32. Clase máquinas de rotación con sus slots.

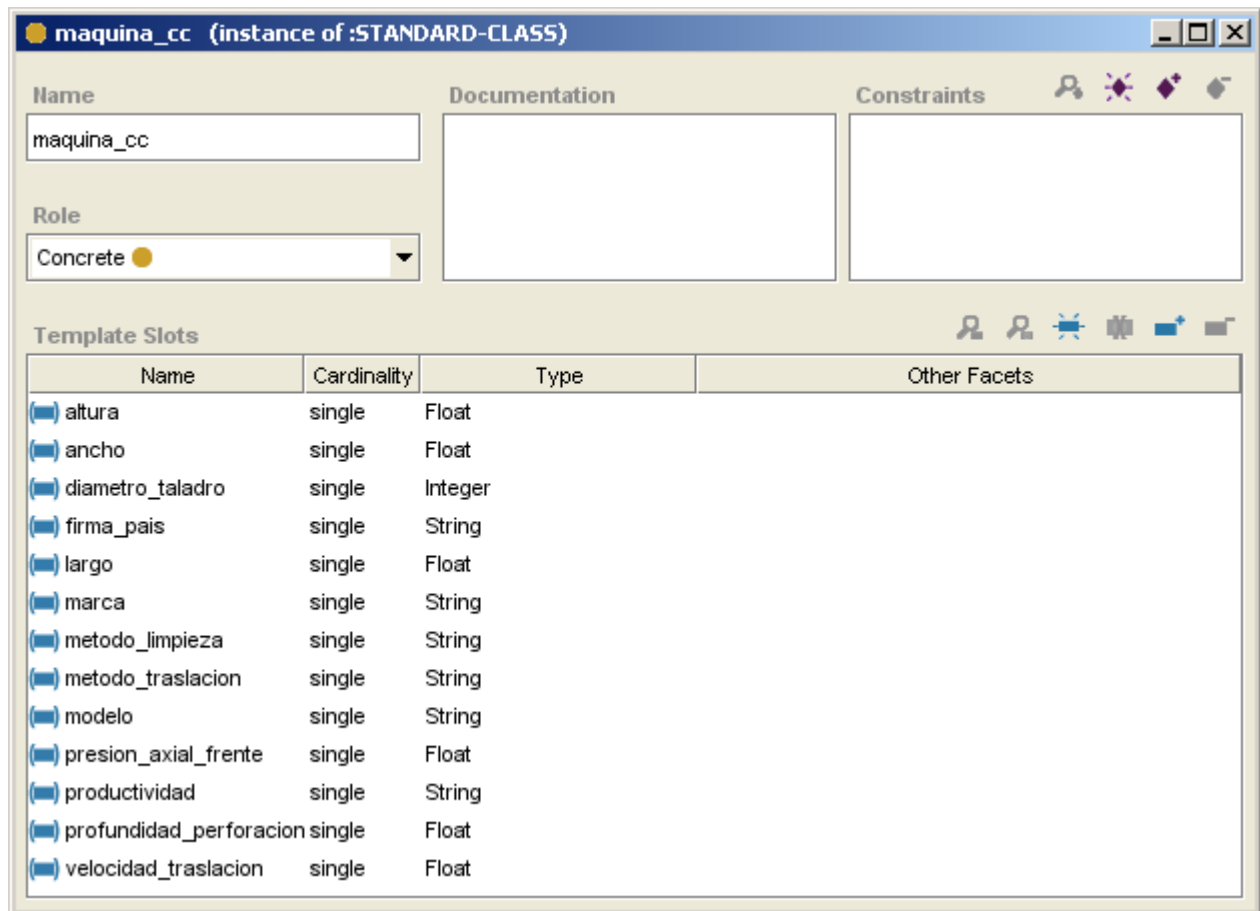


Figura 33. Clase máquina de corona de corte con sus slots.

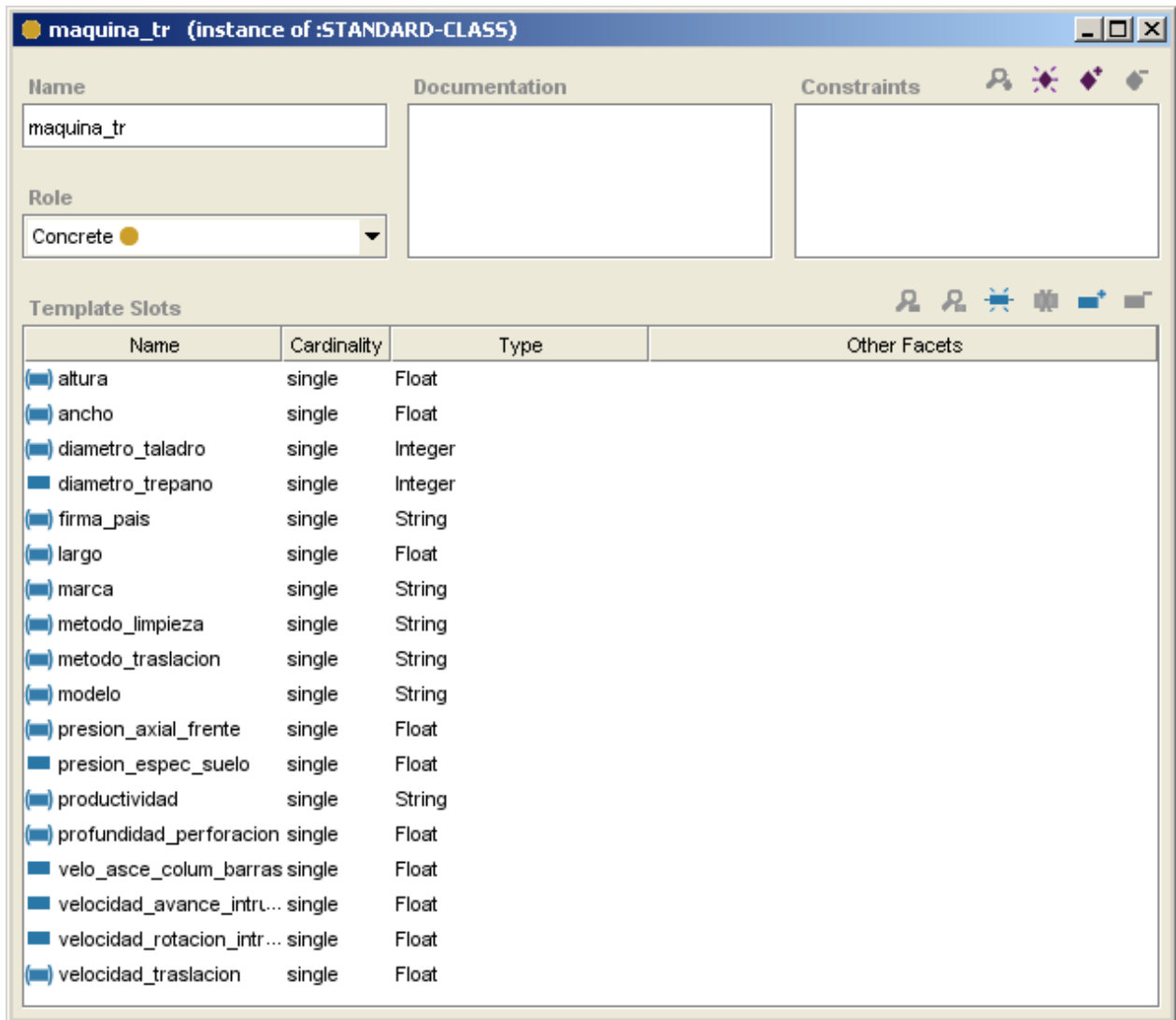


Figura 34. Clase máquina de trépano de rodillo con sus slots.



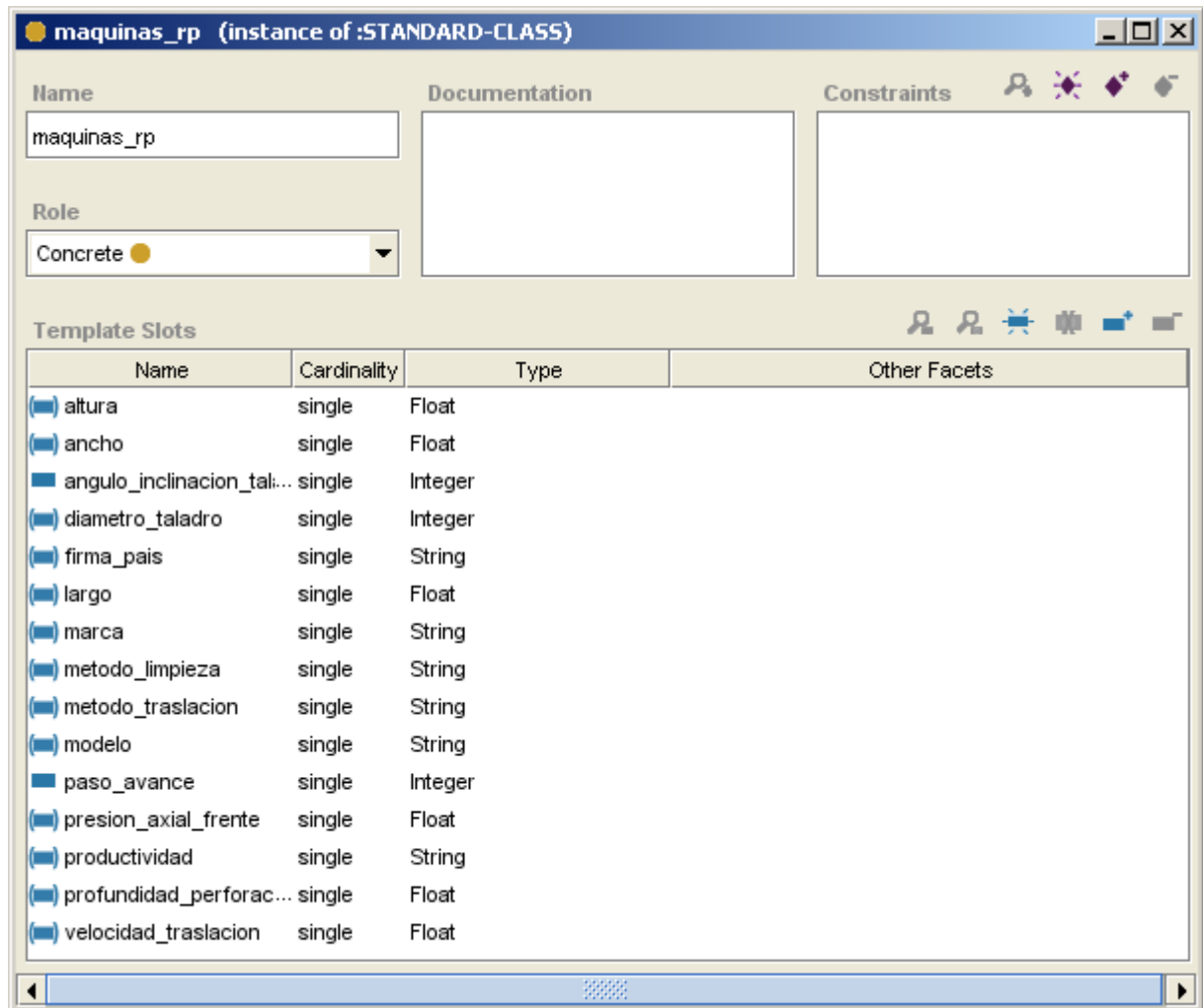


Figura 35. Clase máquinas de roto percusión con sus slots.

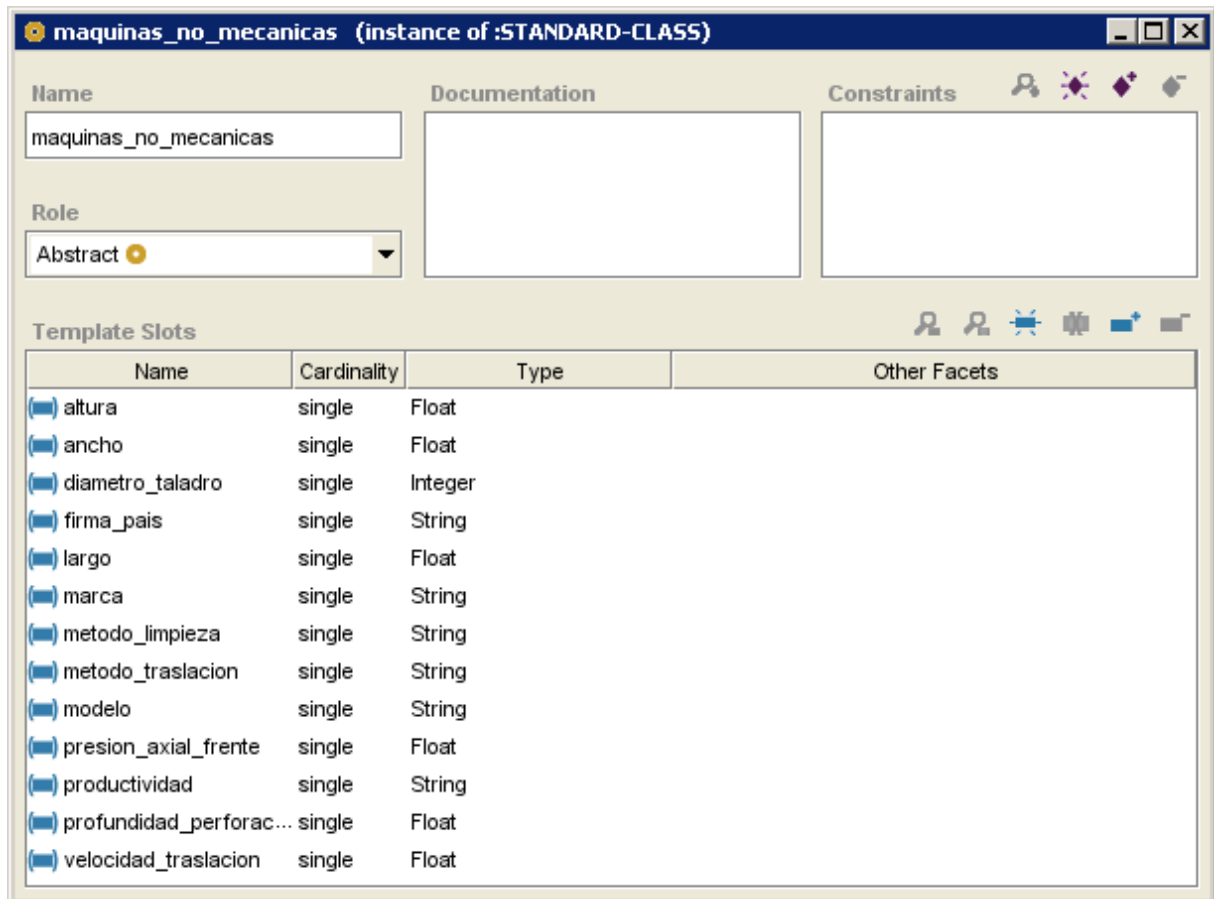


Figura 36. Clase máquinas no mecánicas con sus slots.

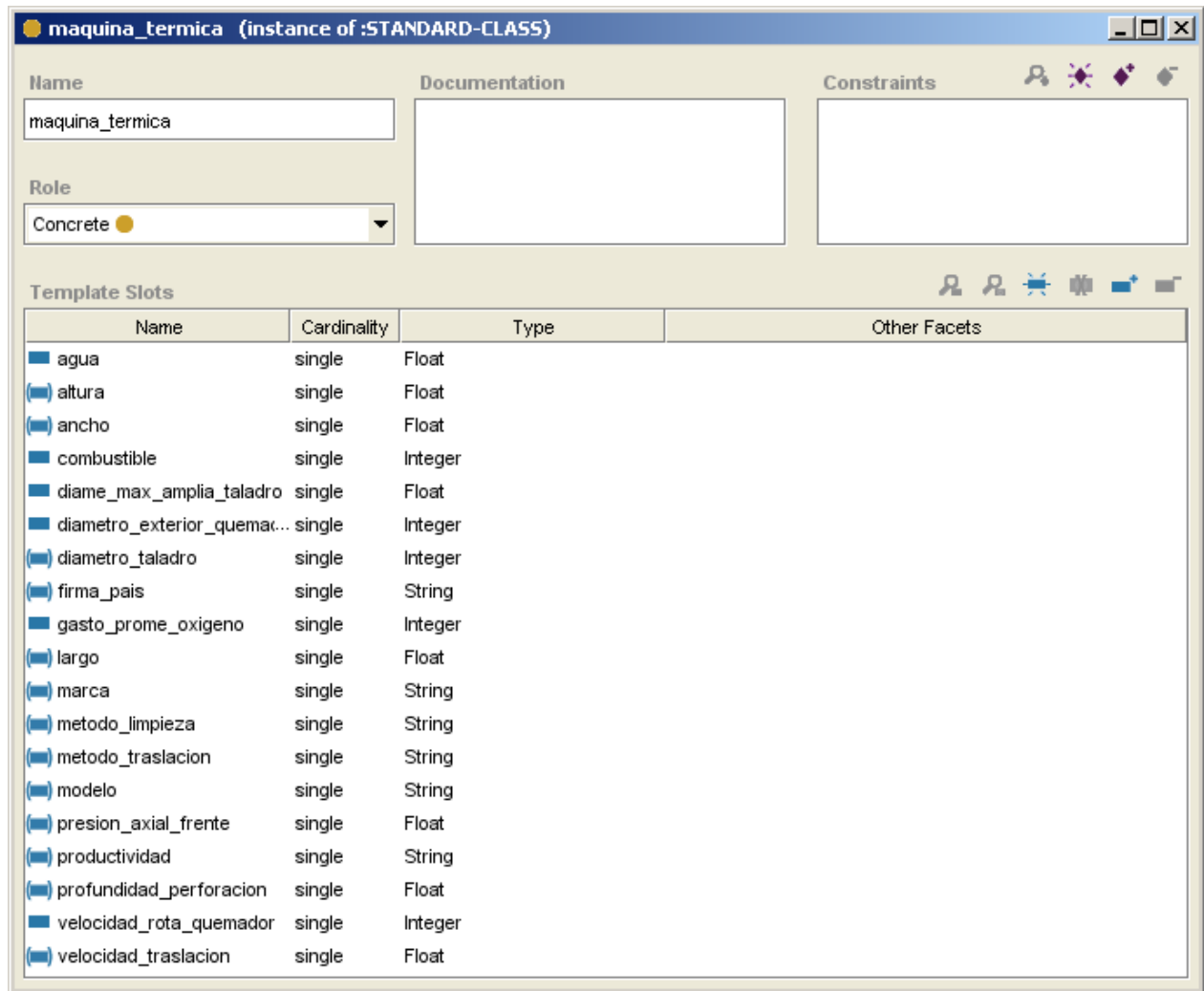


Figura 37. Clase máquina térmica con sus slots.

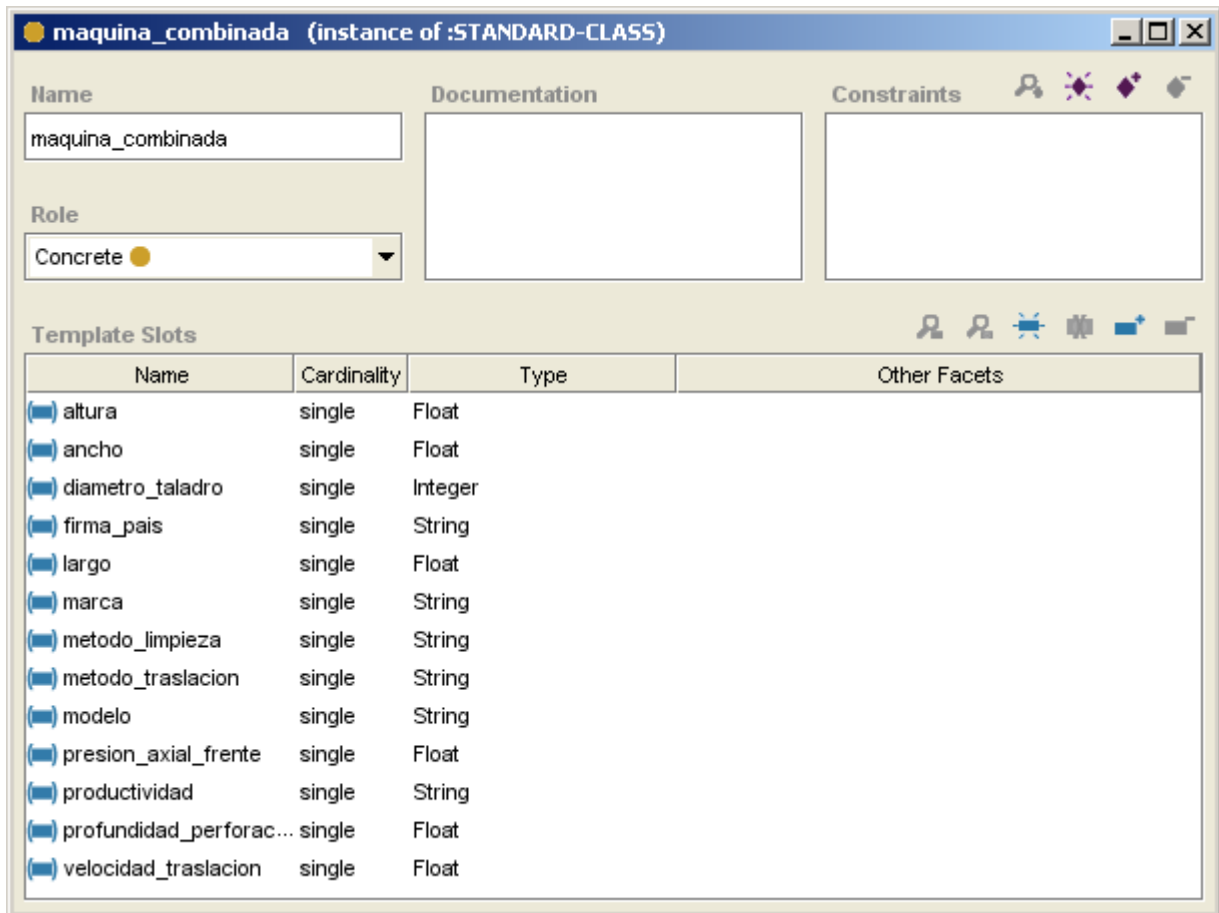


Figura 38. Clase máquina combinada con sus slots.

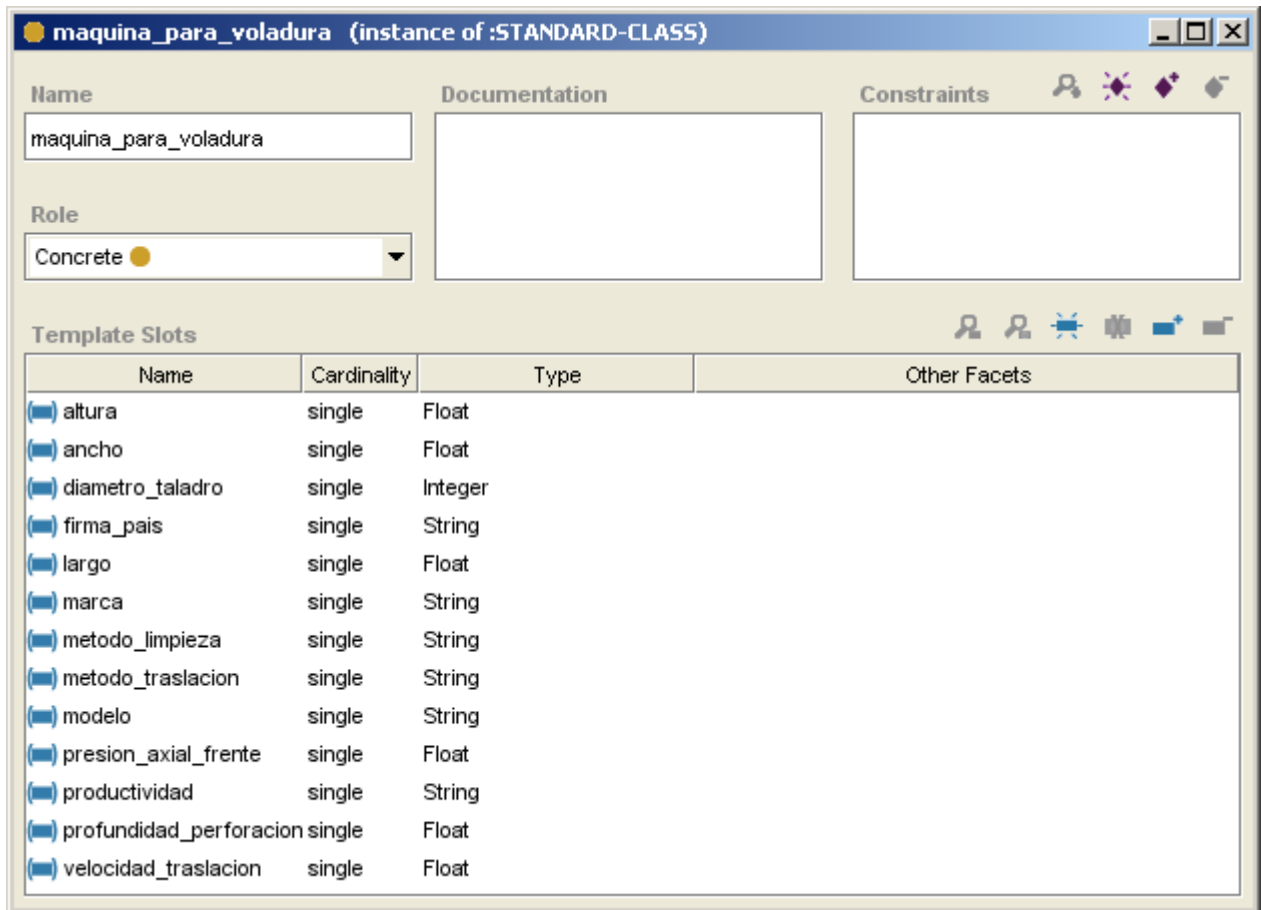


Figura 39. Clase máquina para voladura con sus slots.

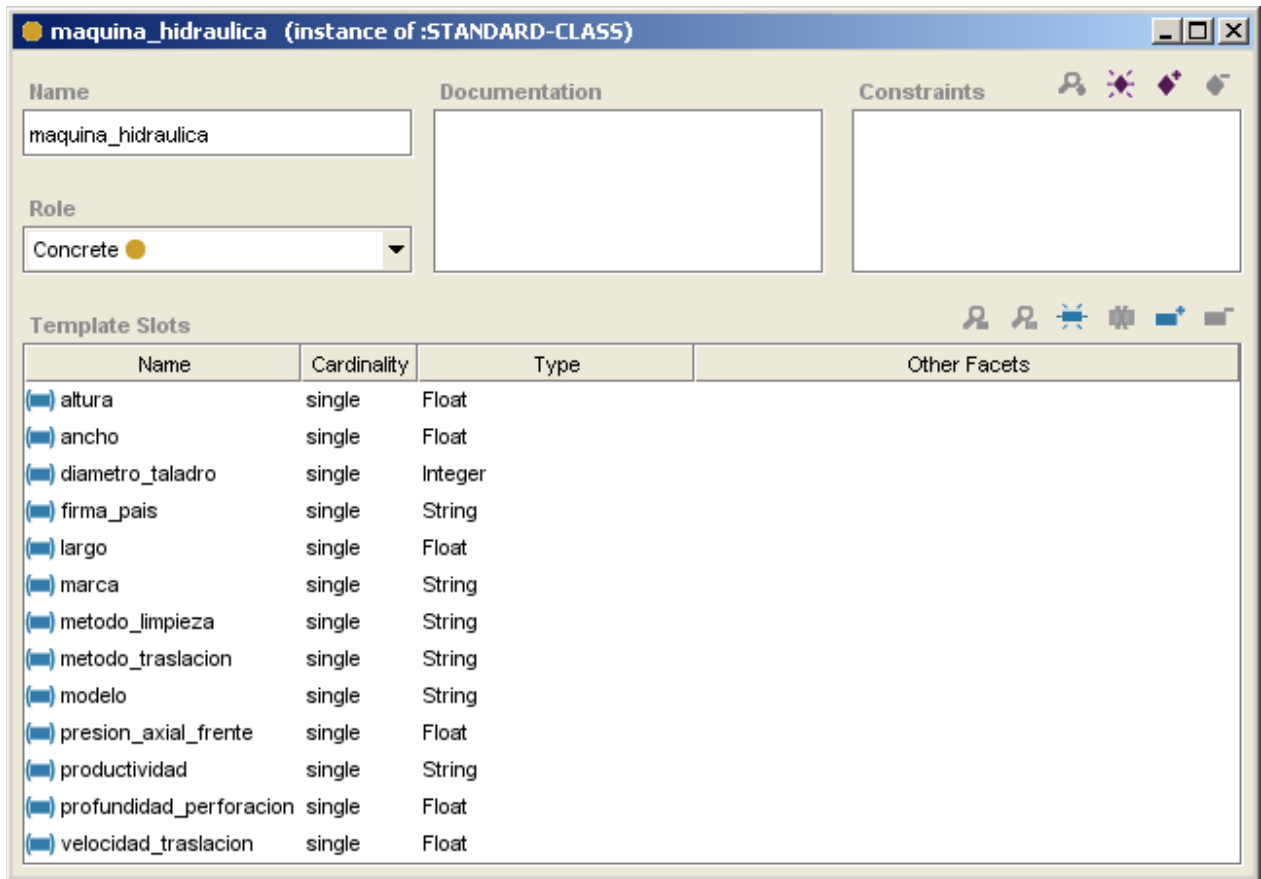


Figura 40. Clase máquina hidráulica con sus slots.

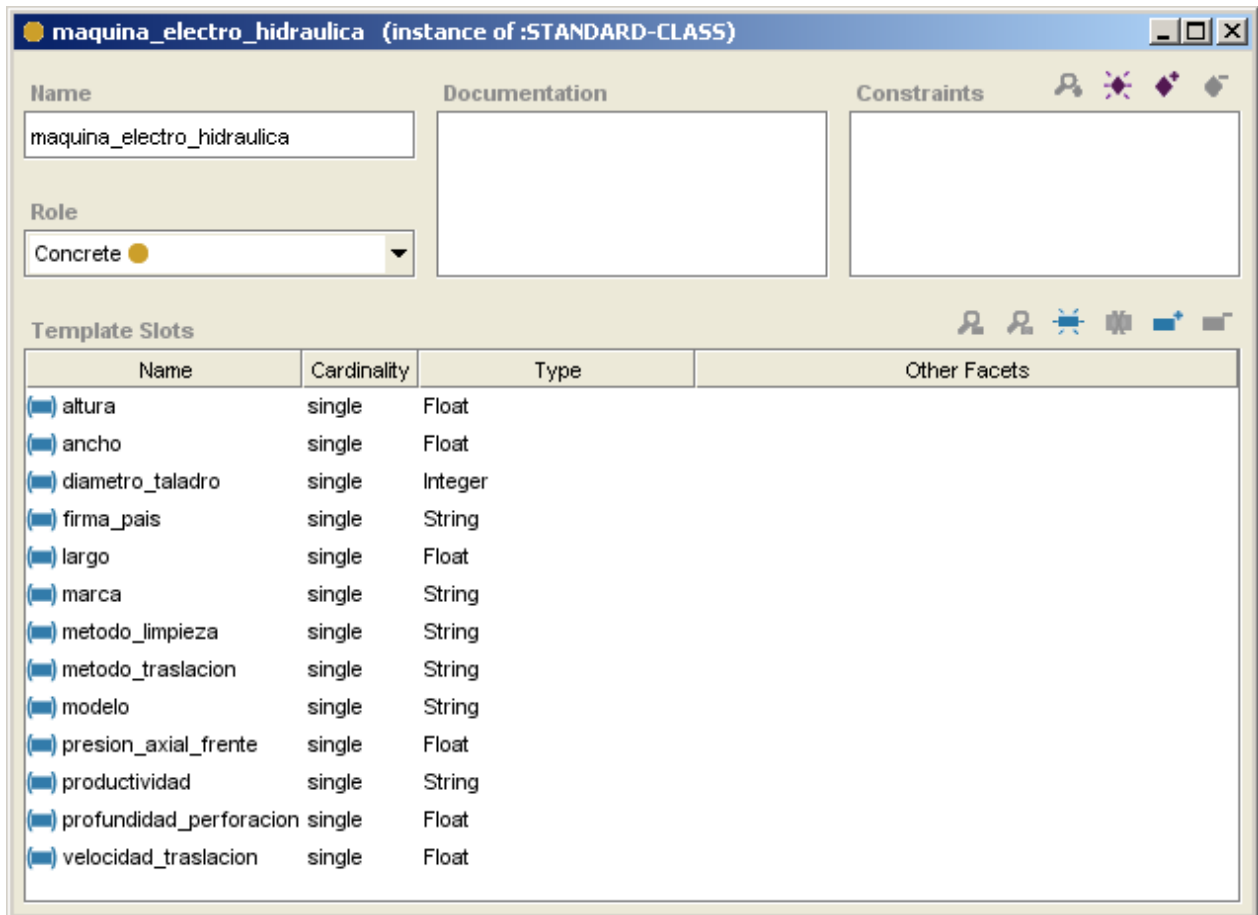


Figura 41. Clase máquina electro-hidráulica con sus slots.

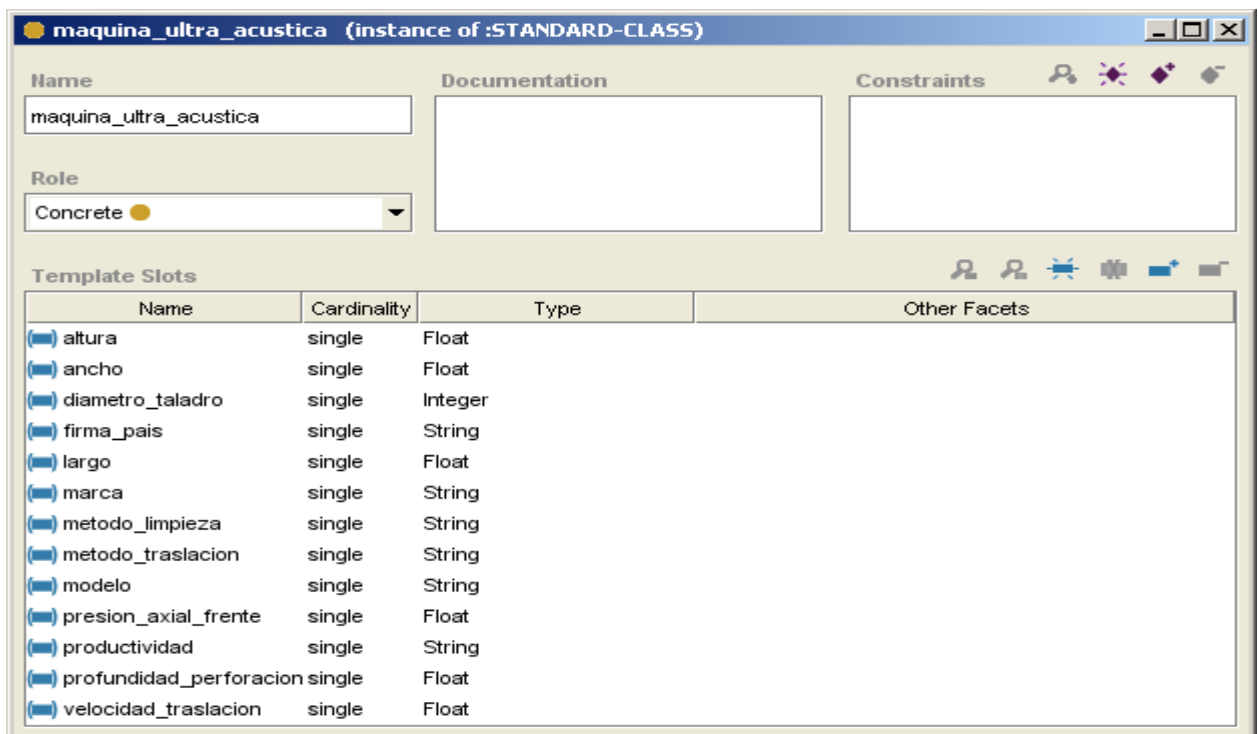


Figura 42. Clase máquina ultra-acústica con sus slots.



Instituto Superior Minero Metalúrgico  
Dr."Antonio Núñez Jiménez"  
Departamento de Informática

**<SEMMperf>**

# **Manual de Usuario**

**Versión 1.0**

08 de julio de 2009



# Índice de Materias

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
	1.1 PROPÓSITO.....	2
	1.2 ALCANCE.....	2
<b>2</b>	<b>DESCRIPCIÓN BREVE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>SEMPERF</b> .....	<b>3</b>

---

## **1 Introducción**

**SEMMperf** es un prototipo de sistema experto referente a la selección de métodos y máquinas de perforación en la minería a cielo abierto, lo cual hace partiendo de determinadas características de los tipos de rocas y de distintos parámetros de cada proceso de trabajo.

SEMMperf además brinda explicaciones tanto intermedias como finales de cómo se llega a un determinado estado (solución) permitiendo que personal con poca experiencia pueda realizar la selección.

### **1.1 Propósito**

El **Manual de Usuario de SEMMperf** persigue esclarecer algunos detalles básicos para el uso efectivo por parte de los Clientes del Software.

### **1.2 Alcance**

Su funcionalidad servirá para ser aplicada en la fábrica Cmdt. Ernesto Che Guevara del municipio de moa así como en el Instituto superior Dr. Antonio Núñez Jiménez.

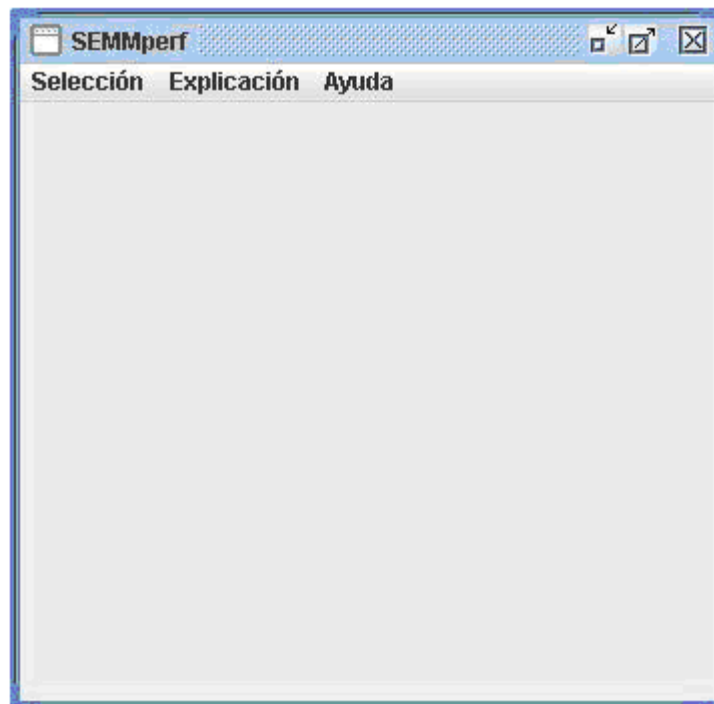
---

## 2 Descripción breve

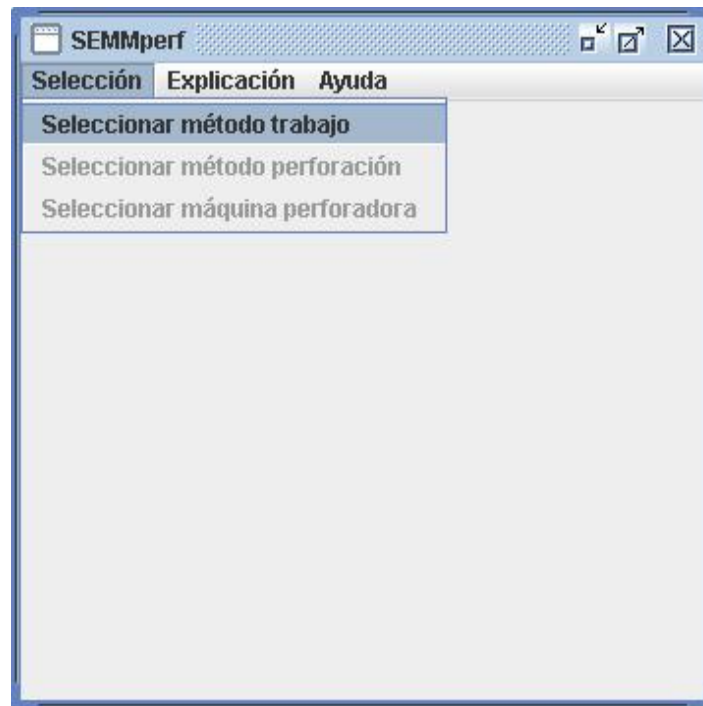
**SEMMperf** es un prototipo de sistema experto basado en técnicas de la Inteligencia Artificial que permite seleccionar métodos y máquinas de perforación a cielo abierto

## 3 SEMMperf

Una vez instalado el software en su PC, y ejecutado el mismo esta es la primera interfaz que aparecerá ante el usuario.

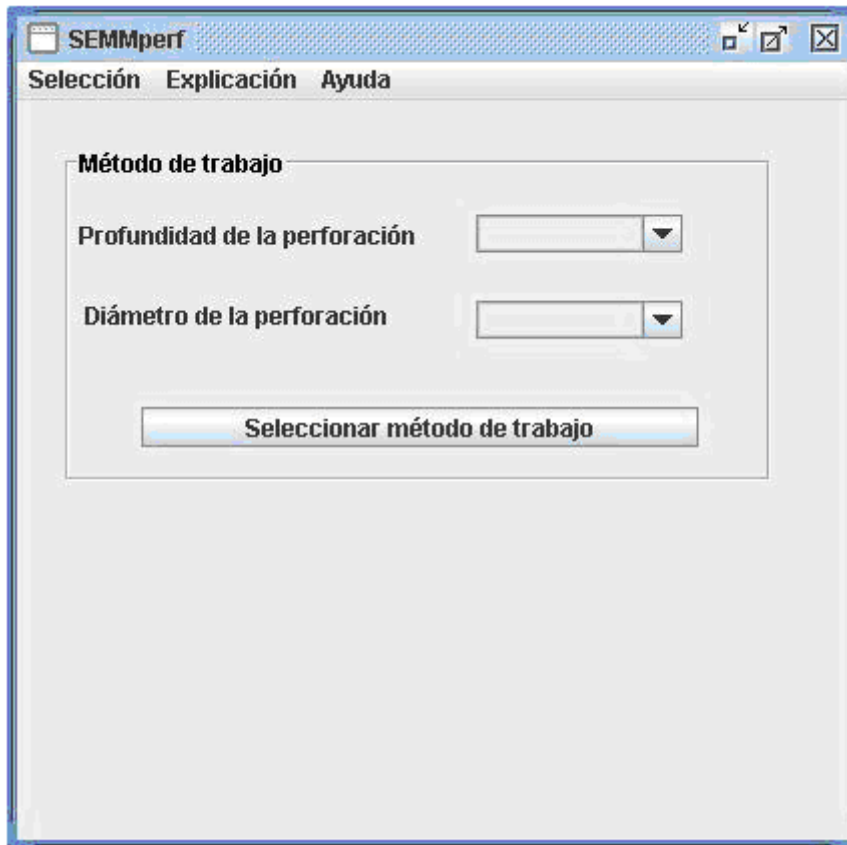


Para continuar el usuario deberá hacer clic en el menú Selección. Una vez pinchado en este aparecerá lo siguiente:

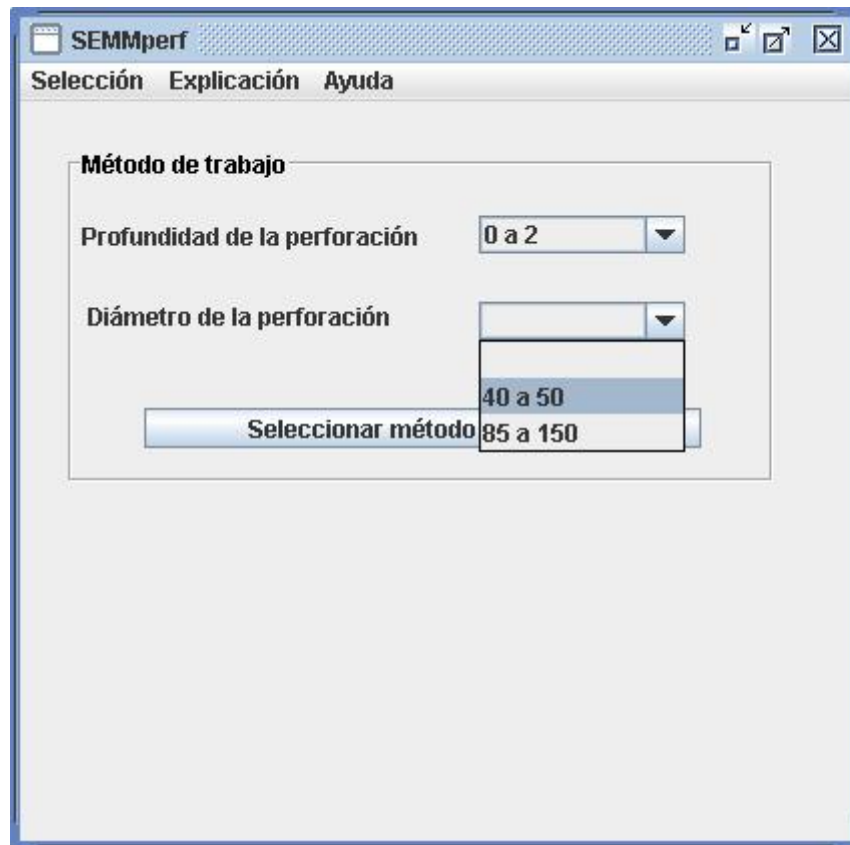


El usuario deberá clicar en el Ítem Seleccionar método de trabajo.

Inmediatamente aparecerá la siguiente ventana:



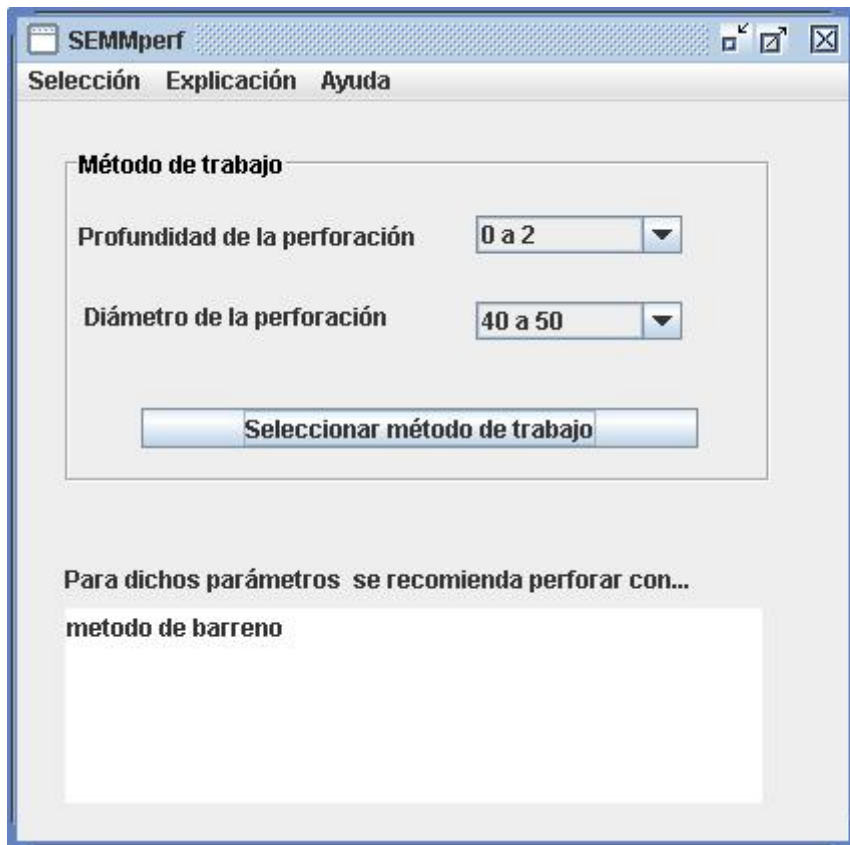
En esta ventana el usuario deberá de especificar la profundidad y el diámetro de la perforación que se quiere realizar.



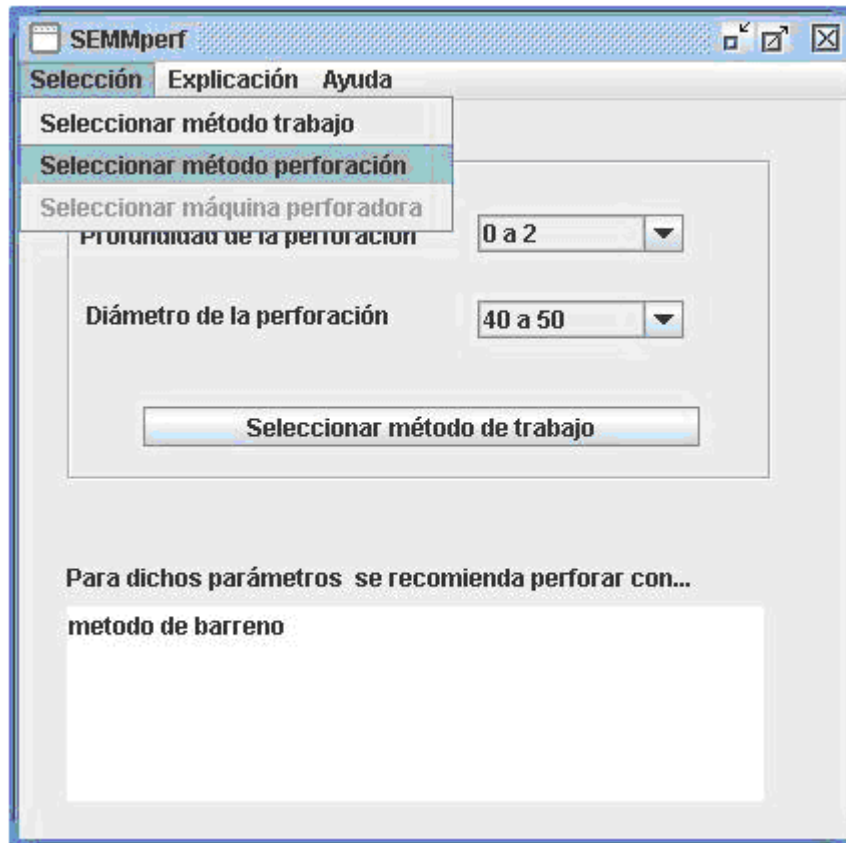
Una vez completado cada campo se debe pinchar en el botón



. Inmediatamente se mostrara cual es el método de trabajo que según esas condiciones es el que se debe emplear.

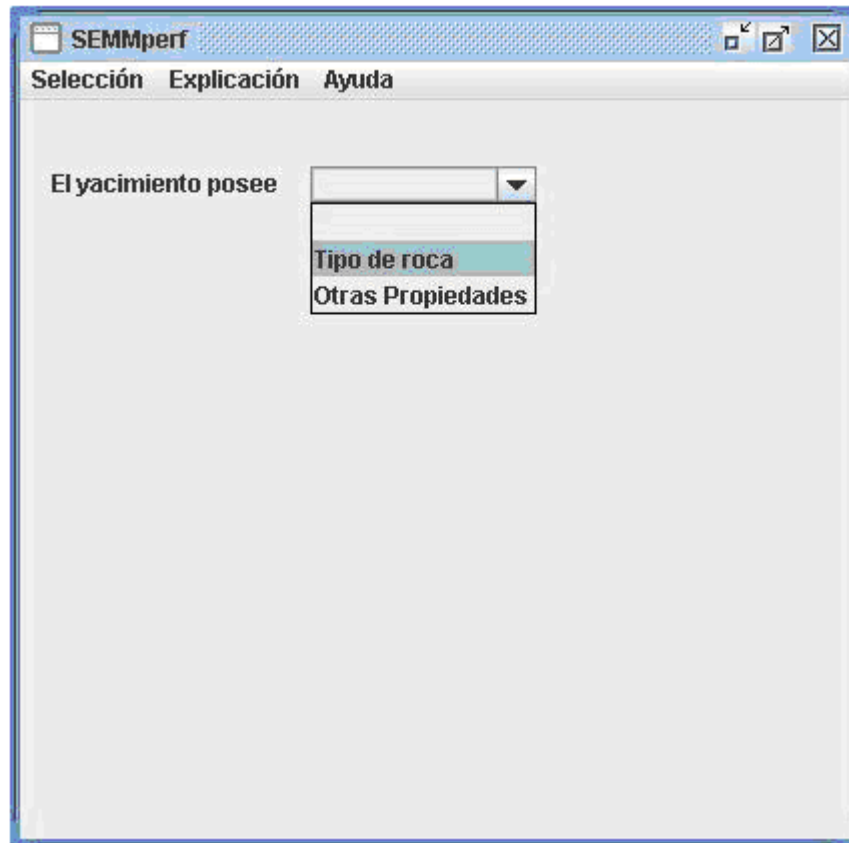


El próximo paso es clicar en el menú Selección el Ítem Seleccionar método de perforación.

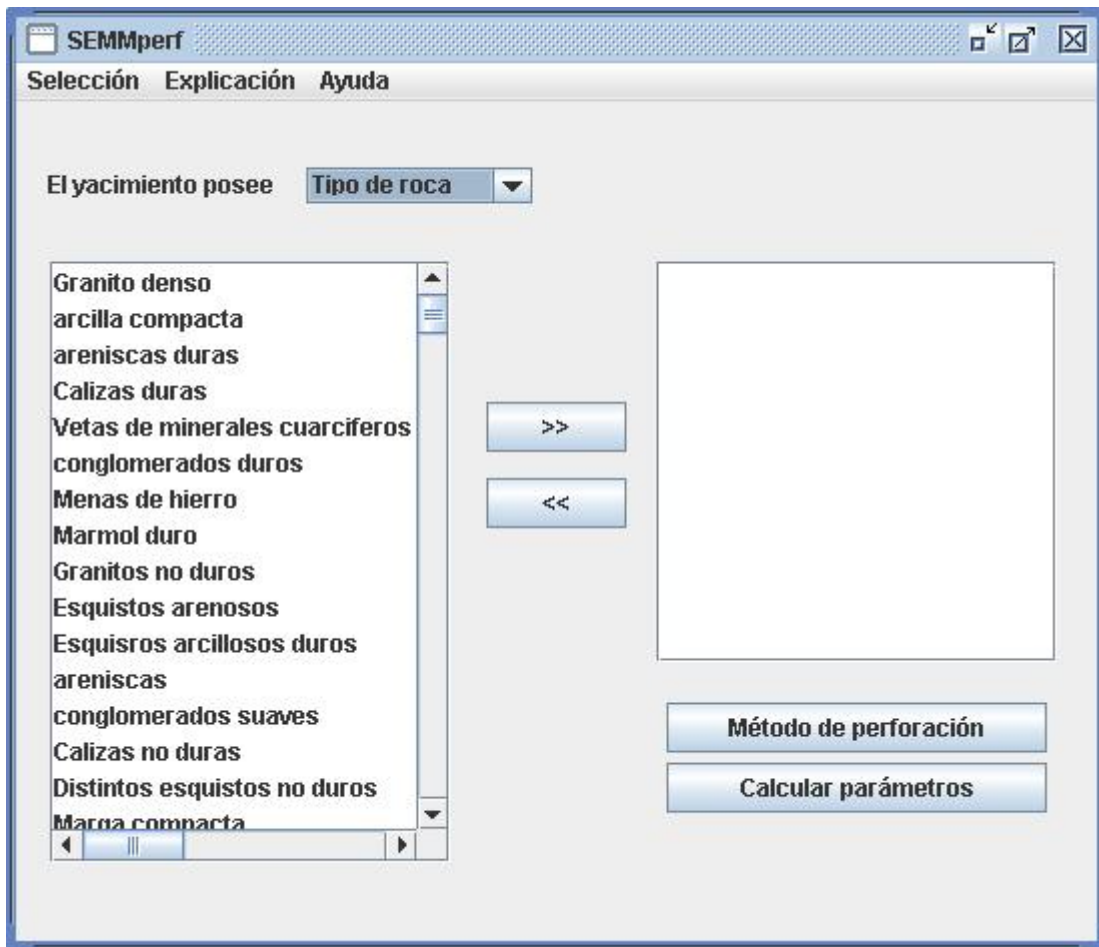


Para poder seleccionar el método de perforación es necesario caracterizar el yacimiento que se va a explotar, para ello es necesario especificar el tipo de roca que se va a perforar:

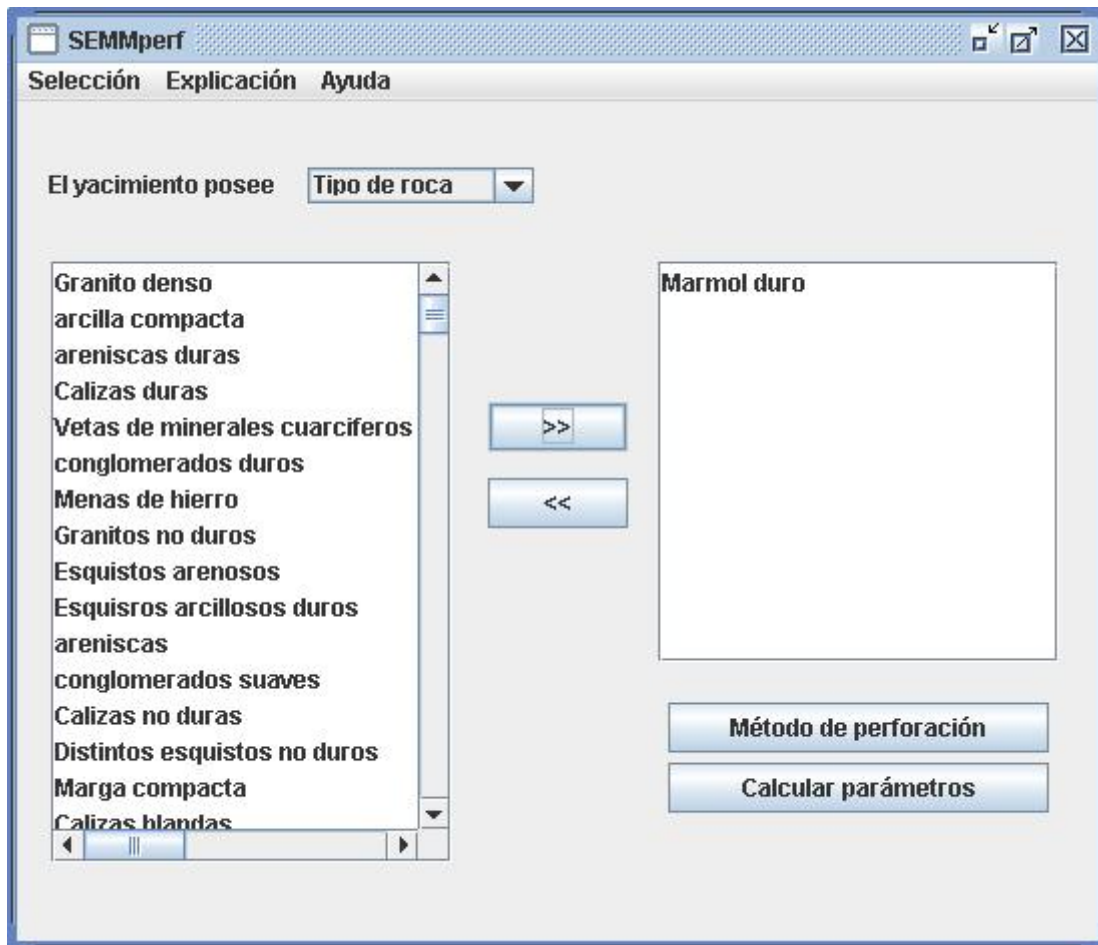




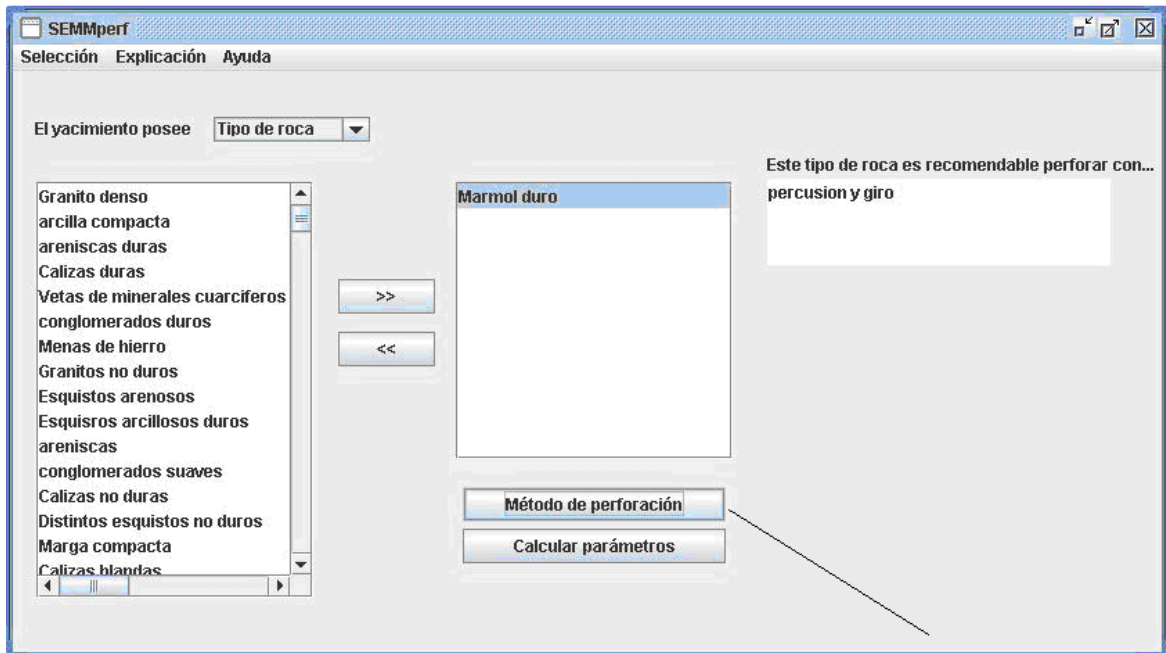
Una vez pinchado en este ítem aparecerán todos los tipos de rocas:



Para continuar con el proceso de selección se debe escoger cual es el tipo de roca que posee el yacimiento, por ejemplo:

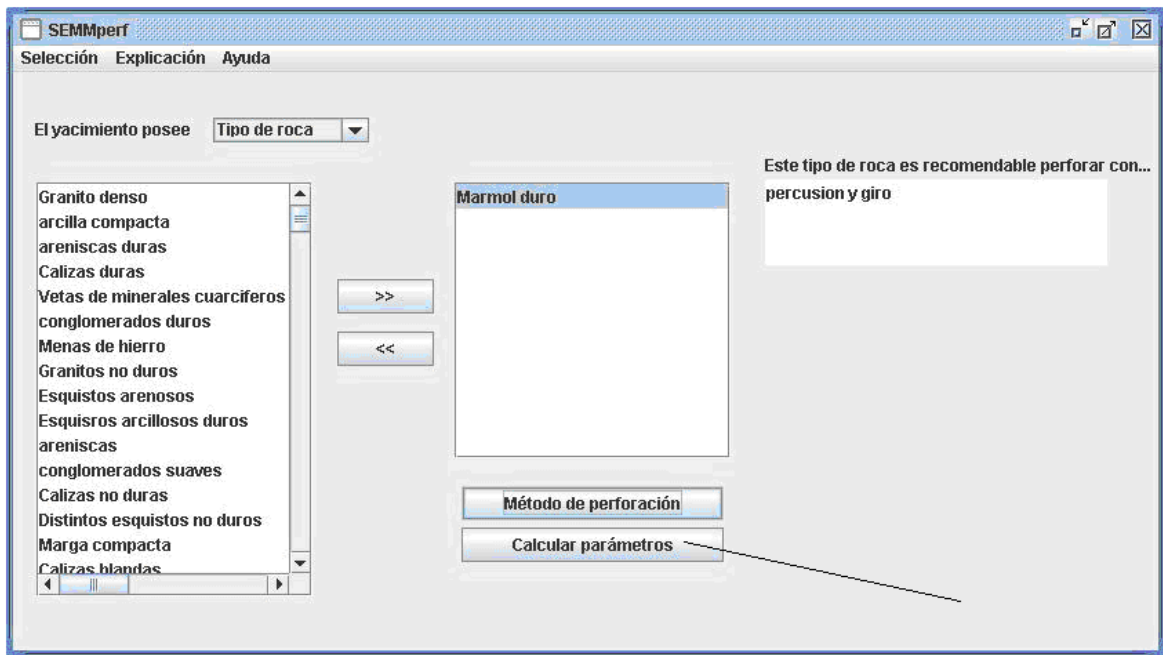


Una vez que se conoce cual es el tipo de roca que se va perforar es necesario pinchar en el botón Método de perforación

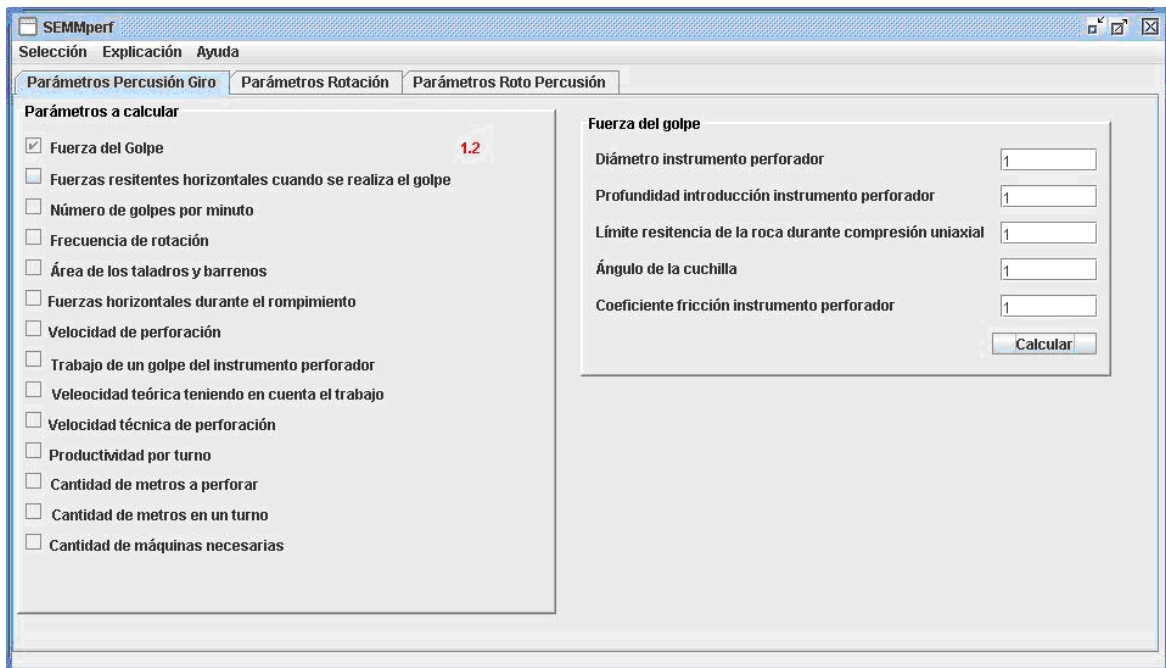


Inmediatamente aparecerá cual es la maquina perforadora que se aconseja utilizar para este caso. Para continuar el usuario deberá pasar al calculo de los parámetros de trabajo para con ese valor poder determinar cual es el modelo de maquina que se debe utilizar concretamente.

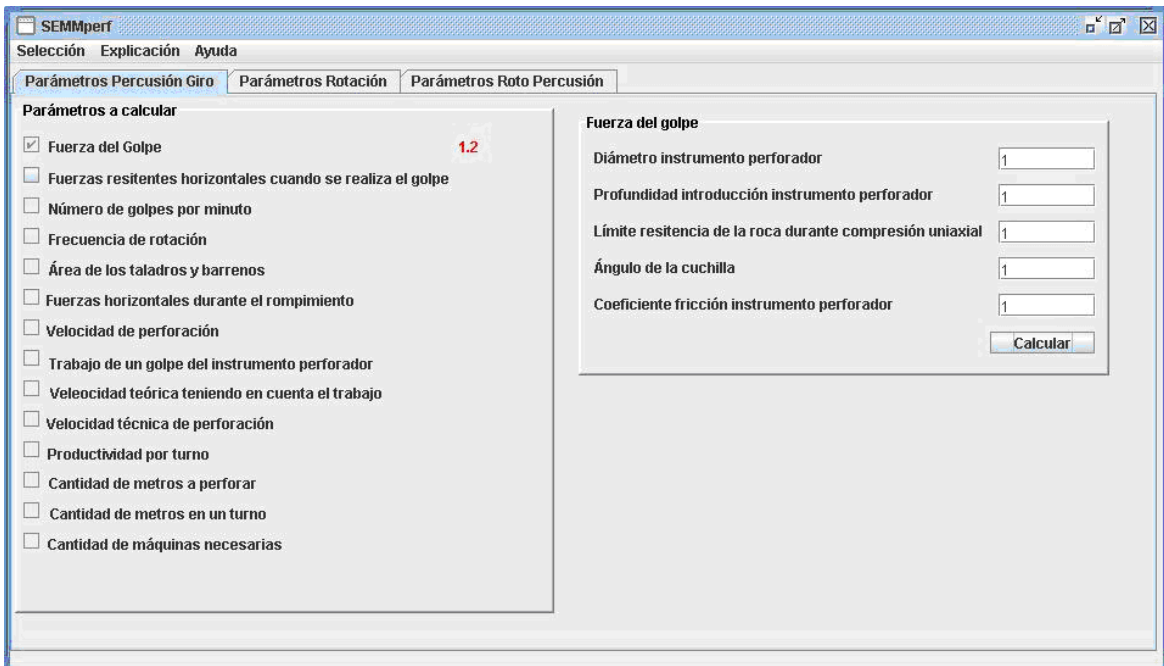
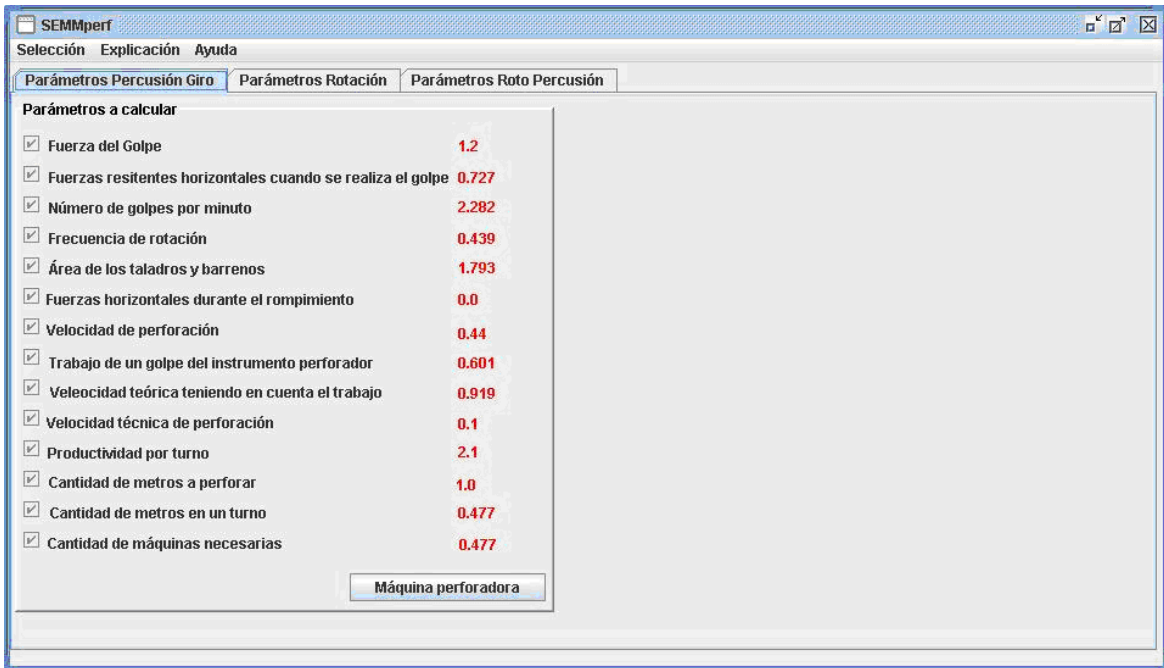
Para ello deberá hacer clic en el botón Calcular parámetros:

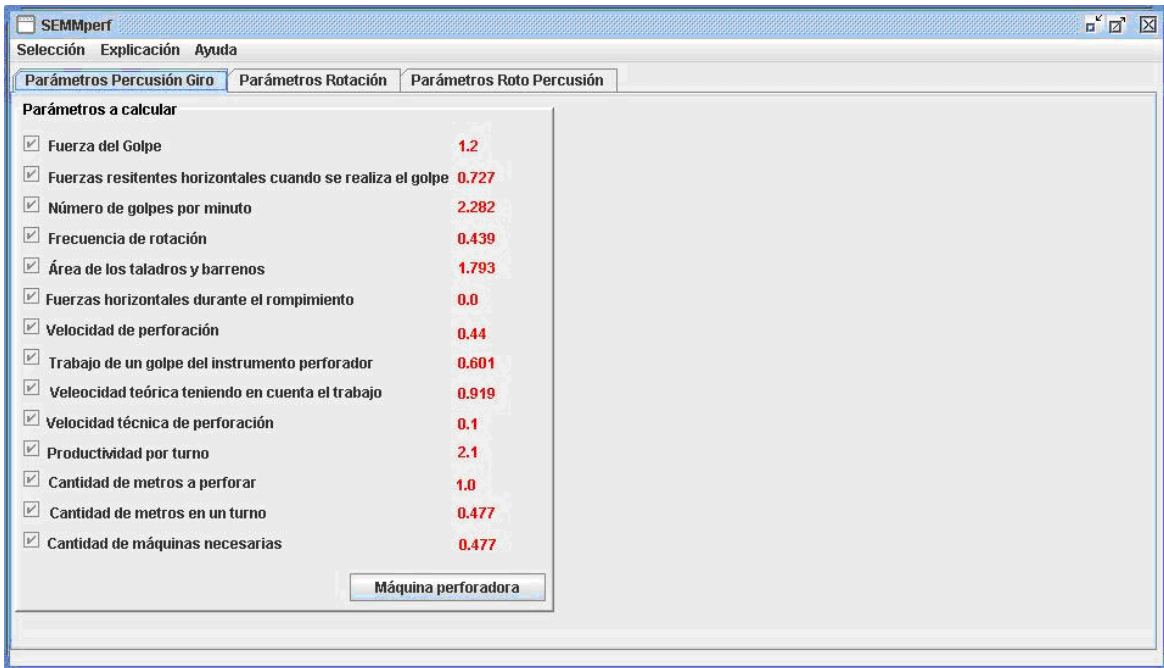


De forma seguida se mostrara el usuario una interfaz con esta apariencia:

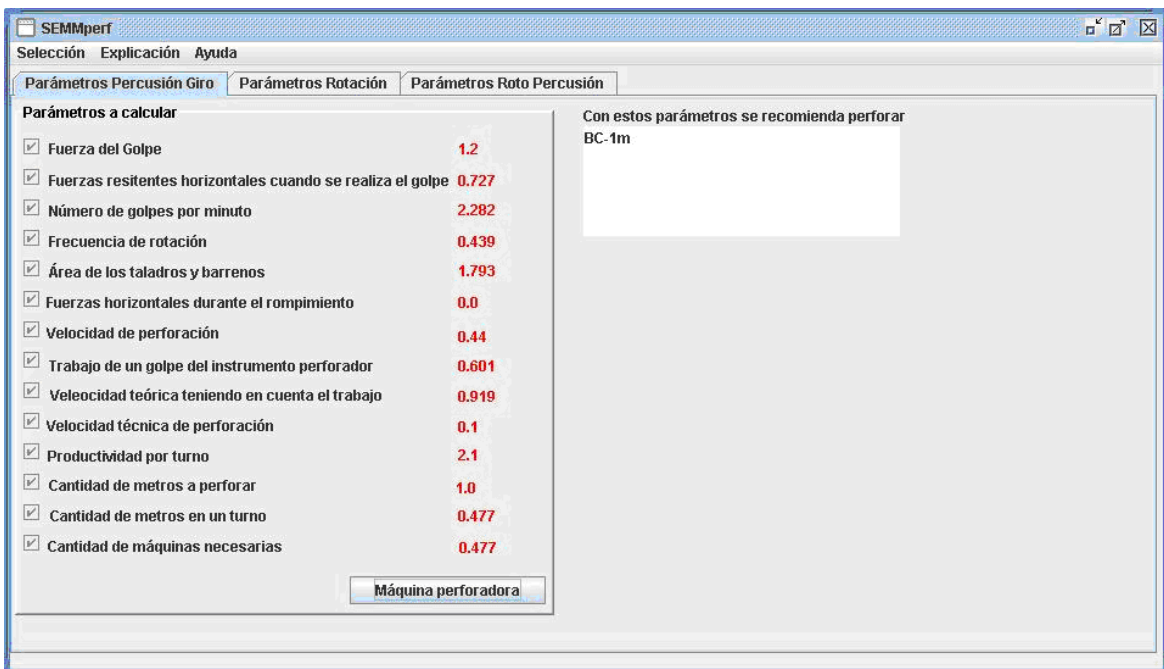


Aquí el usuario deberá pinchar en la pestaña que corresponda según el tipo de maquina que anteriormente había sido seleccionada. La siguiente ventana es para realizar los calculos de Percusión- giro.

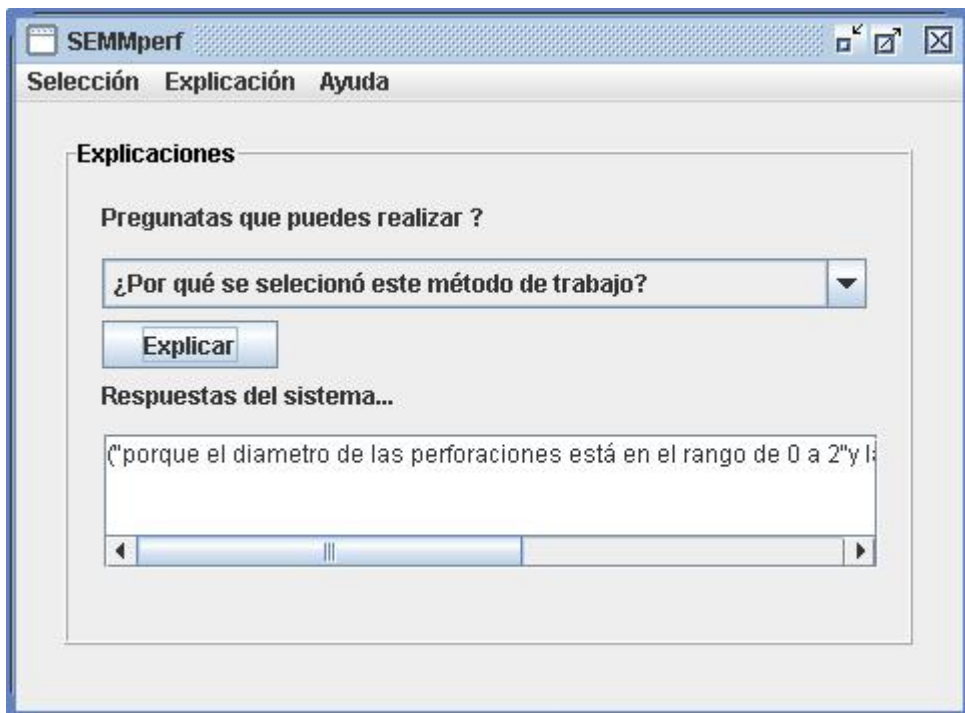
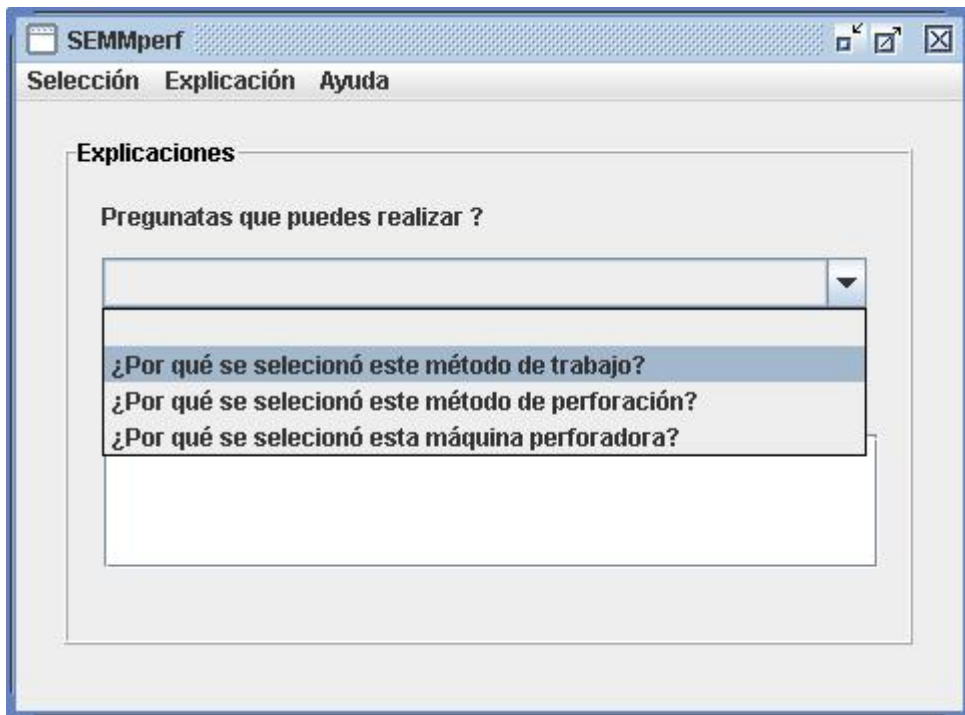




El siguiente paso es pinchar en el botón Máquina perforadora par finalmente obtener el modelo de maquina que se aconseja emplear.



Este sistema cuenta además con un modulo de explicaciones donde el usuario realiza preguntas al sistema y este le responde:





The image shows a software window titled "SEMMperf" with a menu bar containing "Selección", "Explicación", and "Ayuda". The main area is titled "Propiedades de tipo de rocas" and contains the following fields and controls:

- Resistencia a la compresión: A text input field.
- Grado de fortaleza: A dropdown menu.
- Coefficiente de Protodiaconov: A dropdown menu.
- índice de perforabilidad: A text input field.
- Grado de perforabilidad: A dropdown menu with the selected value "difilísimo de perforar".

Below these fields are two buttons: "Método de perforación" and "Calcular parámetros".

At the bottom, there is a text label: "Con estas condiciones se recomienda perforar con... percusion y giro" followed by a large empty text area.

En esta interfaz también se caracteriza en yacimiento pero atendiendo a otras propiedades.