



CINVESTAV-IPN
Biblioteca de Ingeniería Eléctrica



F 8020009638

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA
SECCION DE COMPUTACION

" UN SISTEMA BASADO EN CONOCIMIENTOS "

Tesis que presenta el A.U.S Osvaldo Gabriel Cairó Battistutti
para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS en la especialidad
de INGENIERIA ELECTRICA. Trabajo dirigido por la Dra. Ana Maria
Martinez Enriquez.

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

Becario de UNESCO.

México D.F., Septiembre de 1987.

XM

CLASIF.	87.22
ADQUIS.	B.F. 10798
FECHA.	6-14-88
PROCED.	Don.
	\$

AGRADECIMIENTOS

A la Sección de Computación del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. A la Dra. Ana María Martínez, por la dirección que hizo de esta tesis.

A los Dres. Guillermo Morales Luna y Josef Kolar un reconocimiento especial por el interés que mostraron en la revisión de este trabajo.

Finalmente a UNESCO, por la ayuda económica que me brindó, permitiéndome realizar la Maestría.

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

A mis padres,

María E. Battistutti de Cairó
y
José Antonio Cairó

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I. P. N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRICA

La imaginación exagera, la razón subestima, el sentido común
modera.

Marqués de Maricá

RESUMEN

El trabajo de tesis elaborado está comprendido en el área de inteligencia artificial, y más precisamente en el campo del lenguaje natural y sistemas basados en conocimientos.

El sistema lleva a cabo la comprensión de textos en lenguaje natural, aplicados al campo de la química, y concerniente a las propiedades físicas y químicas de los elementos de la tabla periódica.

El sistema hace uso de un ATN (Red de Transición Aumentada) para efectuar el análisis sintáctico y semántico del texto ingresado.

El ATN no opera analizando sintácticamente un texto, haciendo luego el análisis semántico; dichas actividades se presentan concurrentemente a lo largo de la comprensión del texto ingresado.

En este trabajo sintaxis y semántica se presentan directamente fusionadas en el tratamiento del lenguaje natural.

El mecanismo de inferencia consiste de un intérprete y un conjunto de reglas. Las reglas son el mecanismo válido de razonamiento o inferencia, no existe ambigüedad, y es el intérprete el que accesa las reglas.

La información básica con la que se dota al sistema, consiste esencialmente de las características físicas y químicas de los elementos que aparecen en la tabla periódica.

INDICE

CONTENIDO	PAG
1. INTRODUCCION.	1
2. NOCIONES BASICAS SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y QUIMICA.	4
2.1 BREVES CONCEPTOS SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.	4
2.2 EL LENGUAJE NATURAL.	7
2.3 LA GRAMATICA.	9
2.4 LA ORGANIZACION DE LA TABLA PERIODICA.	15
2.4.1 INFORMACION BASICA DE QUIMICA QUE CONTIENE EL SISTEMA.	17
2.4.2 RESULTADOS DEDUCIDOS POR EL SISTEMA.	18
3. DESCRIPCION DEL SISTEMA.	21
3.1 EL PROCESADOR DE LENGUAJE NATURAL.	24
3.1.1 EL LENGUAJE DE ESCRITURA DEL ATN.	25
3.1.2 EL DICCIONARIO DEL ATN.	35
3.2 CARACTERISTICAS DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.	48
4. EL MECANISMO DE INFERENCIA DEL SISTEMA.	52
4.1 DESCRIPCION DEL MECANISMO DE INFERENCIA.	52
4.2 FORMAS BASICAS DE INTERPRETACION DE LAS REGLAS.	54
4.3 EL LENGUAJE DE ESCRITURA DE LAS REGLAS.	57
4.4 LAS REGLAS DE INFERENCIA.	64

CONTENIDO	PAG
5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.	71
5.1 EL LENGUAJE DE PROGRAMACION UTILIZADO.	71
5.2 EL MODO DE OPERACION DEL SISTEMA.	72
6. RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA.	78
6.1 RESULTADOS DEL SISTEMA TRATANDO TEXTOS EN QUIMICA.	78
6.1.1 ERRORES QUE DETECTA EL ANALIZADOR SINTACTICO.	79
6.1.2 ERRORES QUE DETECTA EL ANALIZADOR SEMANTICO.	80
6.1.3 ACCIONES QUE MODIFICAN DIRECTAMENTE LA BASE DE HECHOS DEL SISTEMA.	81
6.1.4 INFORMACION QUE OBTIENE EL USUARIO POR MEDIO DE CONSULTAS.	83
6.2 RESULTADOS DEL PROCESADOR DE LENGUAJE NATURAL CON UNA GRAMATICA GENERAL PARA EL CASTELLANO.	92
6.2.1 TRATAMIENTO DE ORACIONES ACEPTADAS.	92
6.2.2 TRATAMIENTO DE ORACIONES RECHAZADAS.	96
7. CONCLUSIONES.	98
REFERENCIAS.	100
APENDICES.	103
A. COPIAS DE INFORMACION BASICA EN QUIMICA.	103
B. LAS REGLAS DE INFERENCIA DEL SISTEMA.	113
C. GRAMATICA UTILIZADA PARA TRATAR TEXTOS EN CASTELLANO.	123

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION

El sistema desarrollado lleva a cabo la comprensión de textos en lenguaje natural (dado el carácter de la lingüística computacional, complicado en todos sus aspectos) aplicado al campo de la química, y concerniente a las propiedades físicas y químicas de los elementos de la tabla periódica.

Funcionalmente, el sistema opera en dos fases. En la primera se hace un análisis sintáctico y semántico del texto ingresado; y en la segunda, el sistema hace inferencias para poder responder a las exigencias del usuario.

El sistema hace uso de un ATN (Red de Transición Aumentada) para efectuar tanto el análisis sintáctico como semántico.

Al igual que en SHRDLU, trabajo desarrollado por Terry Winograd [10], los análisis se presentan en forma concurrente a lo largo de la comprensión del texto ingresado.

En este trabajo, sintáxis y semántica se presentan completamente fusionadas en el tratamiento del lenguaje natural.

Para la segunda fase, citada anteriormente, el sistema hace uso de una máquina de inferencia que consiste de un intérprete y un conjunto de reglas.

Las reglas contienen la información que el experto utiliza para la resolución de sus problemas y representan el mecanismo válido de razonamiento o inferencia, no existe ambigüedad. El intérprete

es el que accesa las reglas.

En ambas fases, el sistema desarrolla dos diferentes tipos de aprendizaje : " aprendizaje por memorización ", que es la adquisición directa de nuevos conocimientos y el " aprendizaje por analogía ", que consiste en aplicar los conocimientos adquiridos en otras situaciones similares, creando así otros conocimientos y adquiriendo experiencia.

Con el objeto de dotar al sistema de una cierta flexibilidad y rapidez en el tratamiento de la información fue necesario implementar una estructura de datos en la cual se pudiera representar la información entrante de manera que se almacene en una forma recuperable.

Fue necesario imponerse ciertas metas en la construcción de esta estructura, como por ejemplo que la representación interna debe de poder expresar cualquier concepto que el hombre pueda formular o entender o que la representación debe de permitir una búsqueda relativamente eficiente. Es decir que por más que los archivos aumenten de una manera enciclopédica, la información debe de ser relativamente accesible.

Finalmente, para concluir este punto, se presenta una descripción de como se encuentra estructurada la escritura de esta tesis.

El trabajo está estructurado en siete capítulos y un apéndice. En el capítulo 2 se presentan nociones básicas sobre inteligencia artificial y algunos conceptos sobre el lenguaje natural y la gramática del castellano. También se presenta la organización de los elementos de la tabla periódica. En el capítulo 3 se hace una

descripción del sistema. En el capítulo 4 se presenta el mecanismo de inferencia del mismo. En el capítulo 5 se describen características relevantes de la implementación del sistema. En el capítulo 6 se muestra por medio de resultados las distintas opciones que el sistema ofrece al usuario y en el capítulo 7 se presentan conclusiones. Finalmente se dan las referencias utilizadas en el desarrollo de este trabajo y los apéndices. En el apéndice A se presentan copias de información básica en química, utilizada para generar las reglas de inferencia del sistema. En el apéndice B se presentan las reglas de inferencia, y en el apéndice C la gramática utilizada para tratar textos del castellano.

CAPITULO 2

2. NOCIONES BASICAS SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y QUIMICA

En este capitulo se presentan algunas nociones básicas sobre inteligencia artificial y algunos conceptos básicos sobre el lenguaje natural y la gramática del castellano.

A continuación se presenta la organización de los elementos en la tabla periódica, así como de los conocimientos con los que cuenta el sistema y algunos resultados deducidos por éste a partir de los conocimientos iniciales.

2.1 BREVES CONCEPTOS SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial se avoca a la simulación de un cierto tipo de inteligencia en máquinas. Es decir, lograr que las máquinas puedan pensar y proceder, en ciertas ocasiones, como lo haría un hombre.

Alan Turing [1], defensor de la I.A, presentó en un artículo lo que actualmente se conoce como " Verificación de Turing ".

En su artículo, Turing pretende contestar el interrogante " Las máquinas pueden pensar ? ". El modo operacional de enfocar este problema está contenido en lo que él llama el "juego de la imitación". Para presentarlo, Turing propone un juego entre tres personas (un hombre, una mujer y un interrogador), los cuales no se ven entre sí. El interrogador tratará de averiguar cual de los

otros dos es un hombre y cual es mujer. Con este propósito les hará preguntas que los otros contestarán por medio de una máquina de escribir.

Luego Turing, plantea la pregunta acerca de que pasaría en dicho juego si se cambiara a uno de los interrogados (por ejemplo, el hombre) por una computadora.

Turing sostiene que quizás el juego pueda ser criticado por que las máquinas puedan tener muchas desventajas con respecto al hombre. A pesar de eso, si se pusiera un hombre a tratar de comportarse como una máquina los resultados no serían muy satisfactorios (tendría acciones lentas e inexactitudes aritméticas).

Según Turing, si se consigue construir una máquina que practique satisfactoriamente el juego de la imitación, se tendría salvada esta objeción.

La mejor estrategia a seguir por las máquinas en dicho juego sería la que le proporcionara los medios para responder según lo haría un hombre.

Las ideas de Turing, a pesar del tiempo transcurrido, mantienen actualmente un gran valor, y desembocan en cierto modo en los principales problemas filosóficos de la inteligencia artificial. Se puede decir que la I.A existe a partir del momento en que las invenciones mecánicas toman a su cargo diversas tareas que, hasta entonces, únicamente eran realizables por la mente humana. Con el transcurso del tiempo los investigadores han ido centrando sus actividades en ciertos dominios de la I.A. Los más importantes, con sus áreas de concentración más específicas, se muestran a continuación [1] :

1- Traducción automática.

- directa (diccionario de consulta, con determinado reordenamiento de palabras).
- indirecta (a través de la intermediación de un lenguaje interno).

2- Juegos de contrincantes.

- ajedrez.
- damas.

3- Demostración de teoremas en diversas áreas matemáticas.

- lógica simbólica.
- geometría elemental.

4- Manipulación simbólica de expresiones matemáticas.

- integración simbólica.
- simplificación algebraica.
- sumatoria de series finitas.

5- Visión.

- material impreso :
lectura de textos en tipografía diversa.
- material ilustrativo :
ubicación de objetos previamente especificados en fotografías.
descomposición de una escena en objetos independientes.
identificación de objetos independientes en una escena.

6- Audición.

- comprensión de palabras enunciadas oralmente, extraídas de un vocabulario limitado.
- comprensión de lenguaje natural
 - respuesta de preguntas referidas a dominios específicos.
 - análisis de oraciones compuestas.
 - utilización de conocimientos acerca del mundo real para comprender pasajes.
 - resolución de referencias ambiguas.

7- Aprendizaje.

- adaptación de parámetros.
- formación de conceptos.

8- Generación de lenguaje natural.

- oraciones arbitrarias. párrafos o tramos de texto más extenso.
- generación de resultados a partir de representaciones internas de conocimiento.

2.2 EL LENGUAJE NATURAL

El lenguaje natural es uno de los medios utilizado por la gente para expresar ideas y emociones, permitiendo así la comunicación entre los pueblos. Dentro del lenguaje natural se encuentran idiomas como el castellano, inglés, portugués, francés, etc.

En tanto, el empleo del lenguaje es un acto por el cual los

hombres seleccionan y utilizan elementos propios de un idioma para expresarse dentro de un espacio temporal.

Ahora bien, la comunicación entre hombre y máquina puede establecerse de tres maneras :

- 1 - Oral
- 2 - Escrita
- 3 - Combinación de las dos anteriores

En este trabajo, se pretendió desarrollar un medio de comunicación hombre y máquina del segundo tipo. Para ello nos planteamos el siguiente interrogante :

Qué se entiende por expresión escrita ?

En castellano, es la representación gráfica (por medio de signos escritos) de palabras de la lengua hablada.

Es necesario que todos los que participan en la comunicación puedan entenderse, es decir que entre ellos le den el mismo sentido a los gestos, a las palabras, a los sonidos, y a todas las combinaciones que con ellos se hagan. En otra palabra que se emplee un código común.

Los habitantes de países de habla hispana, utilizamos el castellano como código común, y aunque cada quién hable a su manera no debemos apartarnos de ciertas reglas para poder ser comprendidos por los demás.

En la comunicación escrita transcribimos la entonación por signos de puntuación. Las frases deben estar completas pues no podemos

constatar si el lector (en este caso la máquina) interpretó lo que no escribimos. Además, se deben de evitar las ambigüedades.[2]

Se presenta a continuación una breve descripción de la gramática del castellano.

2.3 LA GRAMATICA

La gramática, sintáxis o estructura del lenguaje determina que una secuencia de palabras sea una frase correcta o no.

De hecho definimos la sintaxis como el conjunto de reglas o fórmulas que determinan si el conjunto de palabras es correcto o no. Pero tal conjunto de reglas no sólo debe permitir decidir si una cierta secuencia de palabras es una frase bien formada, si no que se dota a la frase de una cierta estructura que ayuda a encontrar su significado.

En toda gramática nos encontramos con :

1 - Sintaxis

Conjunto de reglas que permiten pronosticar los posibles resultados de las combinaciones de los elementos lingüísticos.

2 - Semántica

Conjunto de reglas que da el sentido a los elementos lingüísticos establecidos en la sintaxis.

3 - Fonología

Conjunto de reglas que se realizan en una sucesión de sonidos después de combinar, en forma comprensible, los elementos lingüísticos estructurados por la sintaxis.

Las reglas gramaticales permiten ordenar las palabras en oraciones gramaticales correctas. Si las oraciones expresadas por un emisor son incoherentes esas oraciones serán agramaticales.

Cuando se trata la comprensión del lenguaje natural es necesario evaluar tales características en una oración.

Con respecto a la sintaxis hay que analizar las "clases" y "subclases" de las palabras que las componen, cuales son sus "accidentes", sus "características morfológicas", etc.

En el castellano existen reglas morfológicas para generar otras palabras. Por ejemplo en el caso de pasar de singular a plural o de femenino a masculino. También existen reglas para la conjugación de verbos de acuerdo con modo, tiempo, número, persona y aspecto.

Con respecto a la semántica, podemos decir que el "sentido" o "significado" de una oración depende de :

- 1 - El sentido de las palabras que la forman
- 2 - Las relaciones gramaticales y semánticas que generan los grupos de palabras.

Cuando se trata de comprender una oración, es decir, de captar el significado de la misma, hay que evaluar aspectos tales como :

Contexto o Medio Ambiente : Todo enunciado se debe expresar en una situación espacio_temporal dada. Por ejemplo en la oración "Don Quijote pelea con los molinos de viento" tiene un sentido ambiguo tomado en forma aislada, pero si esa misma oración se analiza considerando su contexto específico adquiere significado.

Por ejemplo, en la perspectiva de Don Quijote es falsa y en la de Sancho es cierta.

Entonación Utilizada : El significado de las dos oraciones que se muestran a continuación no es el mismo y esto depende exclusivamente de la entonación con la cual fueron dadas.

Como come el niño ?

! Como come el niño !

Existen diferentes tipos de oraciones :

- Declarativas (comunica para informar)
- Interrogativas (comunica haciendo preguntas)
- Imperativas (comunica dando órdenes)
- Exclamativas (comunica expresando sentimientos)

A su vez las oraciones pueden formularse de diferentes maneras :

- Afirmativas o Negativas
- Activas o Pasivas
- Enfáticas o Neutras

Ejemplos de tipos y formas son los siguientes [3] :

Forma Afirmativa	Tipo
El perro corre al gato	declarativo
El perro corre al gato ?	interrogativa
Perro, corre al gato	imperativa
! Como corre el perro al gato !	exclamativa

Forma Negativa	Tipo
El perro no corre	declarativa
El perro no corre ?	interrogativa
Perro, no corras	imperativa
! El perro no corre !	exclamativa

Forma Activa	Tipo
Pedro maneja su automovil	declarativa
Pedro maneja su automovil ?	interrogativa
Pedro, maneja tu automovil	imperativa
! Como maneja Pedro su automovil !	exclamativa

Forma Pasiva	Tipo
El autom6vil, es manejado por Pedro	declarativa
El autom6vil, es manejado por Pedro ?	interrogativa
D3jate manejar por Pedro	imperativa
! El autom6vil es manejado por Lupita !	exclamativa

Forma Enfática	Tipo
Tu padre, 3l mismo, arregla su autom6vil	declarativa
Tu padre, 3l arregla autos ?	interrogativa
Arregle usted mismo su auto	imperativa
! Es bueno que tu padre, 3l mismo, arregle su auto !	exclamativa

Cuando una oración no es enfática, es neutra.

En la figura 2.1 se da una representación gráfica de la oración. Se ha utilizado para ello una estructura de árbol binario.

En la figura 2.2 se muestra un ejemplo para la oración "El gato come".

La oración puede dividirse en dos partes : sujeto y predicado, gráficamente se los ilustra en la figura 2.3

REPRESENTACION GRAFICA DE UNA ORACION UTILIZANDO ESTRUCTURA DE ARBOL.

FIGURA 2.1



$$\Sigma \rightarrow T + \emptyset$$

T : TIPO ORACION
Ø : ORACION

FIGURA 2.2

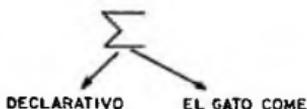
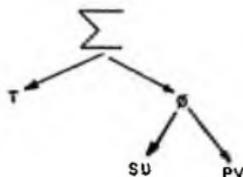


FIGURA 2.3



En el trabajo aquí realizado, se utilizan tres diferentes tipos de oraciones : declarativas, imperativas e interrogativas. Su formulación es : afirmativa y pasiva.

2.4 LA ORGANIZACION DE LA TABLA PERIODICA

Los elementos de la tabla periódica están actualmente ordenados de acuerdo al valor creciente de sus números atómicos, formando hileras horizontales llamadas periodos y columnas verticales llamadas grupos. Todos los elementos de un mismo grupo o periodo tienen propiedades similares.

A los elementos del Grupo IA, excepto el hidrógeno, se los llama metales alcalinos, estos son los más blandos y activos de todos los metales.

Los elementos del Grupo IIA, se conocen como metales alcalinotérreos y los elementos del Grupo VIIB se conocen con el nombre de halógenos.

En general, los elementos se dividen en tres grupos principales : elementos representativos (Grupos IA, IIA y del IIIB al VIIB), elementos de transición (Grupos IB, IIB y del IIIA al VIIIA) y gases nobles (Grupo VIII).

Respecto a los periodos, podemos decir que son siete. El primero, está formado por dos elementos (hidrógeno y helio), el segundo requiere de 8 átomos para completarse (empieza con el litio y finaliza con el neón), el tercer periodo también requiere de 8

átomos (comienza con el sodio y finaliza con el argón), el cuarto y quinto periodo contienen 18 elementos cada uno. el periodo 6 contiene 32 elementos (incluye a los elementos lantánidos, ubicados en la parte inferior de la tabla periódica) y el periodo 7 contiene los restantes elementos conocidos.

Si se encontrasen o sintetizasen elementos suficientes, es de suponer que el periodo 7 contendrá también 32 elementos. (incluye a los elementos actínidos, también ubicados en la parte inferior de la tabla periódica).

En la mayoría de las tablas periódicas, los lantánidos y los actínidos se separan del cuerpo principal de la tabla, para permitir una distribución ordenada de columnas verticales con elementos de características comunes.

Los metales, pertenecen al grupo elementos de transición. Estos elementos son buenos conductores de el calor y la electricidad, en general son más duros y resistentes que los no metales. Todos los metales son sólidos a temperatura ambiente, excepto el mercurio que es líquido. En la mayoría de las tablas periódicas, los metales se encuentran separados de los no metales mediante una línea gruesa en zig zag.

En los siguientes incisos se presentará la información básica que contendrá el sistema, respecto a las características de los elementos. También se presentarán resultados que obtiene el sistema a partir de inferencias realizadas sobre estas características. [4]

2.4.1 INFORMACION BASICA DE QUIMICA QUE CONTIENE EL SISTEMA

La información básica que maneja el sistema por cada elemento de la tabla periódica, se presenta en la figura 2.4

GRAFICA SOBRE LAS PROPIEDADES DE CADA ELEMENTO DE LA TABLA PERIODICA.

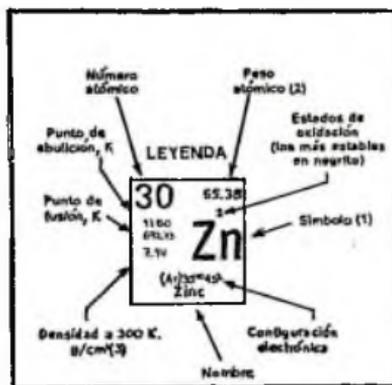
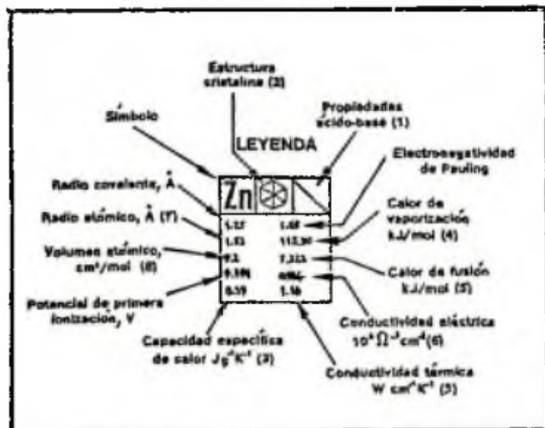


FIGURA 2.4



En base a esta información, el sistema deducirá propiedades como por ejemplo : alcalinos, alcalinotérreos, gases, líquidos, sólidos, halógenos, metales, no metales, metaloides, grupos, periodos, etc.

Se muestran a continuación resultados obtenidos por el sistema a partir de esta información básica.

2.4.2 RESULTADOS DEDUCIDOS POR EL SISTEMA

En el texto siguiente los cuestionamientos que realiza el usuario están en negritas y precedidos por los símbolos U>, en tanto que las respuestas del sistema está en tipo estándar y precedidas por los símbolos S>.

Después de cada ejemplo se presenta un comentario sobre la regla utilizada por el sistema para responder a los cuestionamientos.

U> Muestre los elementos alcalinos.

S> 1 - litio 2 - sodio
 3 - potasio 4 - rubidio
 5 - cesio 6 - francio

Comentario : En este caso el sistema aplica una regla que dice lo siguiente : " Son alcalinos , los elementos de la tabla

U)

Asigne intervalos de PE a los siguientes elementos : escandio
titanio vanadio cromo manganeso hierro cobalto níquel cobre cinc

S)

El valor inferior es : cinc -----> 1180 K

El valor superior es : vanadio -----> 3682 K

Comentario : En este caso el sistema aplica una regla que realiza una búsqueda de valores máximos y mínimos de PE (punto de ebullición) entre los elementos dados. Inicialmente se toma como valor máximo y mínimo de PE el del primer elemento, en el ejemplo : escandio.

A medida que se encuentran valores mayores al máximo o menores al mínimo éstos se redefinen, obteniendo finalmente los extremos del intervalo de PE.

En este capítulo se presentaron conceptos básicos sobre inteligencia artificial, lenguaje natural y química.

Estos conceptos son necesarios para entender el tratamiento de los siguientes capítulos.

CAPITULO 3

3. DESCRIPCION DEL SISTEMA

En este capítulo se presenta una descripción del sistema. Se muestra en detalle la implementación del procesador de lenguaje natural. También se presentan algunas características del comportamiento del sistema, y para finalizar se hacen algunas observaciones respecto al mismo.

El sistema desarrollado maneja en forma experta la tabla periódica de química.

Funcionalmente opera en dos fases. En la primera se hace un análisis sintáctico y semántico del texto ingresado, y en la segunda el sistema hace inferencias para poder responder a las exigencias del usuario.

En la figura 3.1 se muestra un diagrama de bloques de como opera el sistema.

La entrada del sistema es un enunciado y la salida del mismo es la respuesta a la interpretación semántica del texto ingresado.

La fase de procesamiento del lenguaje natural está constituida por un intérprete, una gramática y un diccionario, los cuales son independientes entre si. Es decir, que el intérprete, la gramática y el diccionario se encuentran separados, y por lo tanto cualquiera de ellos puede sufrir modificaciones sin alterar

al resto del sistema.

En el capítulo 6, se presentarán resultados obtenidos del procesador de lenguaje natural utilizando una gramática general del castellano y una gramática para tratar textos en química.

Para lograr ésto, solo hubo necesidad de definir dos gramáticas distintas que se ajustaran a los requerimientos exigidos, pero el intérprete fue el mismo para ambas.

La fase correspondiente a inferencias, se compone de una máquina de inferencia, un conjunto de reglas, y una base de hechos, las cuales son independientes entre sí.

Es decir, que la máquina de inferencia, las reglas y la base de hechos se encuentran separados, y por lo tanto cualquiera de ellas puede sufrir modificaciones sin alterar al resto del sistema.

Globalmente se compone de un procesador de lenguaje natural (ATN), una gramática y un diccionario. Como motor del sistema se encuentra un mecanismo de inferencia que hace uso de una base de conocimientos (reglas de inferencia) y base de hechos.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

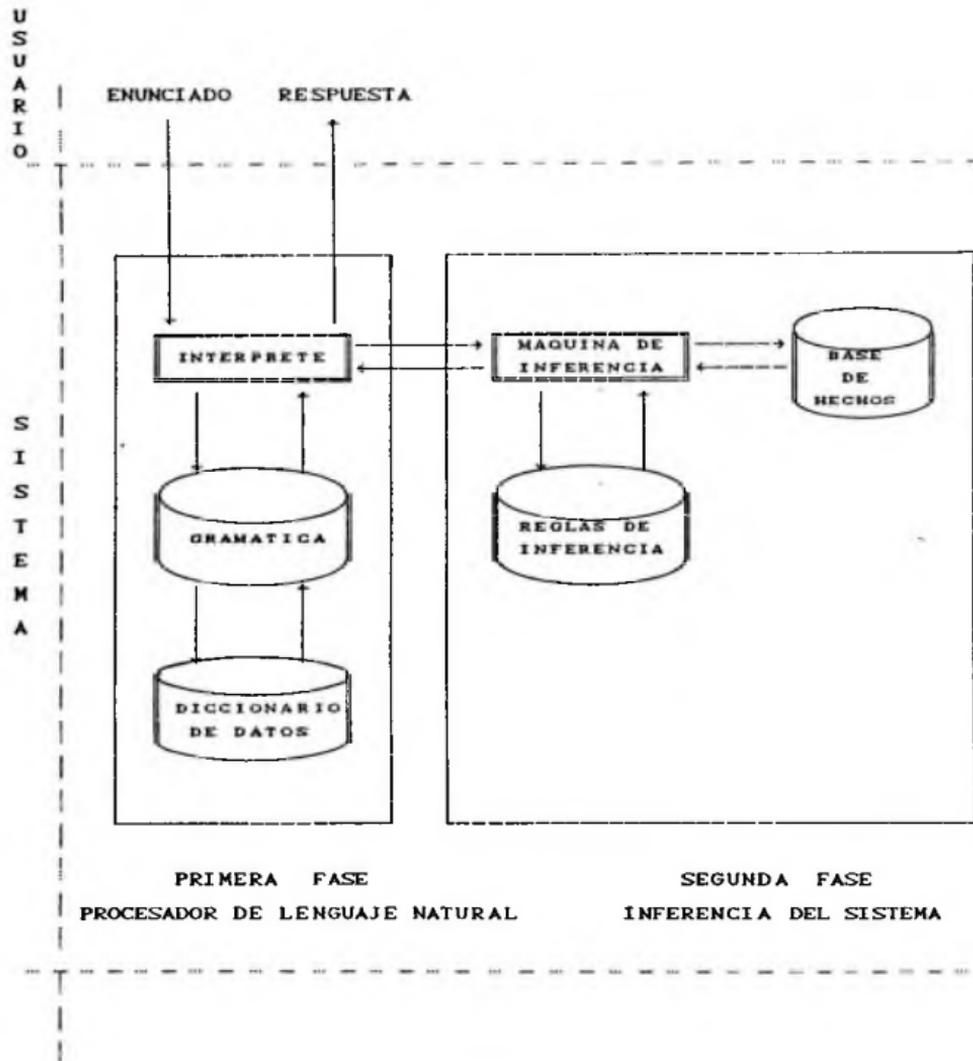


FIGURA 3.1

3.1 EL PROCESADOR DE LENGUAJE NATURAL

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, el sistema hace uso de un ATN para el procesamiento del lenguaje natural.

Un ATN es una gramática de estados finitos, la cual dada sus características se puede utilizar tanto para el análisis como para la generación de enunciados.

Es posible definirlo también como un analizador sintáctico que contiene una gramática que se aplica de manera recursiva y opera de arriba hacia abajo.

Originalmente las redes de transición aumentada fueron introducidas por Conway (1963), más tarde este método fue utilizado y mejorado denominándose Redes de Transición Aumentada. La idea básica consiste en traducir una gramática en un conjunto de estados finitos o estados de transición de la red, los cuales pueden llamarse recursivamente.

De hecho, se tiene un conjunto de gráficas de transición, las cuales pueden etiquetar sus arcos tanto con símbolos terminales como con símbolos no terminales, permitiéndose así, subgráficas independientes, las cuales pueden llamarse entre sí, dando lugar a la recursión. [5]

Cuando no existe recursión las redes se limitan a un reconocedor de estados finitos usado para lenguajes regulares en teoría de autómatas.

Una Red de Transición Aumentada (ATN) establece una condición arbitraria en cada arco de la red, que debe ser satisfecha primeramente para poder tomar ese arco, así como un conjunto de acciones que tienen por objetivo construir las estructuras en caso de que ese arco haya sido tomado.

Es posible que durante el proceso de reconocimiento algunas estructuras puedan pasar a formar parte de otras.

Para concretar la idea de los párrafos anteriores, es posible decir que mientras que una Red puede ser utilizada como un reconocedor de estados finitos para lenguajes regulares en teoría de autómatas, una Red de Transición Recursiva tiene la potencia de una gramática libre de contexto en tanto que una Red de Transición Aumentada posee la potencia de una máquina de Turing.

El ATN se diseñó e implementó como una primera etapa de este trabajo, teniendo como principal característica su flexibilidad para aceptar distintas gramáticas sin sufrir modificaciones. Debido a esto, para tratar enunciados relacionados con la química, solo se necesitó diseñar la gramática correspondiente.

3.1.1 EL LENGUAJE DE ESCRITURA DEL ATN

Se presenta a continuación el lenguaje utilizado para escribir un ATN. La especificación se da en la Forma Normal de Backus.

En la definición sintáctica, los símbolos terminales están escritos con mayúsculas y los no terminales en minúsculas y entre angulares < >.

Además :

Los corchetes [] indican que el o los términos encerrado entre ellos es opcional, es decir que puede o no aparecer.

El asterisco * junto a un término, indica que dicho término puede aparecer de 0 a n veces.

El más + junto a un término, indica que dicho término puede aparecer una o más veces.

La barra / separa las distintas alternativas para una misma palabra no terminal.

Se presenta a continuación la definición sintáctica del lenguaje del ATN realizado en este trabajo.

Definición sintáctica del lenguaje del ATN

<red tran> ::= (<nombre subred> (<subred>))+

<subred> ::= (<arco>)+

<arco> ::= <nombre categoría>+ <arc>* <estado>
<nombre subred> /
<nombre categoría>+ <arc>+ [<arco>]

<aro> ::= <estado> <acción> /
<estado> <paquete regla>

<nombre subred> ::= <identificador>

<nombre categoria> ::= <identificador>

<accion> ::= ARREGLA / COMPARA / CONTROLA / CARGA /
CARGAO

<paquete regla> ::= FAMILIA1 / FAMILIA2 / FAMILIA3 / FAMILIA4

<estado> ::= 0 / 1

<identificador> ::= <caract. alfabéticos>+ <caract. numéricos>*

Se presenta a continuación la definición semántica del lenguaje del ATN realizado en este trabajo.

Definición semántica del lenguaje del ATN

En la primera línea de la definición sintáctica, se establece que una <red tran> está formada por una o más ocurrencias de : un paréntesis abierto seguido de un <nombre subred>, otro paréntesis abierto seguido de una <subred> y finalmente dos paréntesis cerrados.

La <subred> constituye el cuerpo de una subgráfica, y está formada por una o más ocurrencias de : un paréntesis 'abierto

seguido de un <arco> y de un paréntesis cerrado.

Por medio de los <arco> se especifica qué elementos constituyen el lenguaje de escritura del ATN.

Se establece que un <arco> está formado por : una o más ocurrencias de un <nombre categoría>, seguido de cero o más ocurrencias de un <arc> y finalmente de un <estado> precediendo a un <nombre subred>.

Otro modo de definir un <arco> es : una o más ocurrencias de un <nombre categoría> seguido de una o más <arc> y opcionalmente de un <arco>.

Un <arc> se define como un <estado> seguido de una <acción> o bien, de un <estado> seguido de un <paquete regla>.

Los <arc> son usados para especificar acciones que deben ejecutarse durante el análisis de un texto, y para especificar el llamado a <paquete regla>.

Un <nombre subred> indica el nombre de una subred o subgráfica. Está constituida por un <identificador>.

Un <nombre categoría> indica el nombre de una categoría o clase gramatical. Está constituido por un <identificador>.

Por medio de los <nombre categoría> se establece que clases gramaticales son permitidas para definir el ATN.

Las clases gramaticales tratadas en este trabajo son presentadas detalladamente en la sección 3.1.2, cuando se describe el diccionario del ATN.

Una <acción> indica el nombre de una función. Las acciones se ejecutan durante el análisis de enunciados. Si al ejecutar una <acción> se detecta un error, el proceso de análisis se detiene y se emite el correspondiente mensaje de error. Las acciones a ejecutarse son : ARREGLA, COMPARA, CONTROLA, CARGA, CARGAO. Las mismas se describen detalladamente cuando se presenta la red QUIMICA.

Un <paquete regla> indica el llamado a un paquete de reglas. Los paquetes de reglas son usados como medio de selección de reglas. Cada paquete está formado por varias reglas que comparten ciertas características. Los utilizados en la red QUIMICA son : FAMILIA1, FAMILIA2, FAMILIA3, FAMILIA4.

FAMILIA1 : Este paquete de reglas incluye a las reglas utilizadas para determinar qué elementos de la tabla periódica son líquidos, sólidos, gaseosos, alcalinos, metales, metaloides, del grupo 1, etc.

FAMILIA2 : Este paquete de reglas incluye a las reglas utilizadas para : determinar posibles combinaciones entre elementos, establecer intervalos de propiedades, obtener elementos con propiedades transmisibles (electricidad, calor) y clasificar una lista de elementos de acuerdo a ciertas propiedades.

FAMILIA3 : Este paquete de reglas incluye a las reglas utilizadas para obtener : fórmulas que se originan al combinarse dos elementos, nombres de fórmulas y probabilidades de que ocurran estas combinaciones.

FAMILIA4 : Esta familia se utiliza para eliminar propiedades de los elementos de la tabla periódica.

Un <estado> puede definirse como un 0 o un 1. El estado 0 se utiliza para preceder a una <acción>, e indica que la misma debe ejecutarse para poder continuar con el análisis sintáctico y semántico de la oración. También el <estado> 0 se usa para preceder a un <paquete regla>, en este caso está especificando el llamado a un <paquete regla>. El <estado> 1 se utiliza para preceder a un <nombre subred> e indica que el control debe pasarse a la subgráfica especificada por <nombre subred>.

Por último, un <identificador> está constituido por uno o más <caract. alfabéticos>, seguido de cero o más <caract. numéricos>.

Se presenta a continuación la red QUIMICA de acuerdo con el ATN anterior, que se utilizó en esta tesis para tratar oraciones en castellano sobre química.

La gramática general de la red química

```
(QUIMICA ( (PRON_INT1 1 FRA1)
           (PRON_INT2 1 FRA6)
           (VERB_3 0 ARREGLA 1 FRA2)
           (PREP_2 PRON_INT2 SUSCOM_1 PRON_ACUS 0 CONTROLA
            VERB_5 0 COMPARA VERB_6 ARTDET 0 COMPARA
            SUSCOM_1 0 COMPARA X 0 CARGA 0 FAMILIA2)
           (VERB_7 0 ARREGLA *SUSCOM_5 PREP_1 X4 0 CARGA0
            PREP_3 ARTDET 0 COMPARA ADJIND 0 COMPARA
            SUSCOM_1 0 COMPARA CONE 1 FRA7)
```

(VERB_8 0 ARREGLA ARTDET ADJIND 0 COMPARA
SUSCOM_1 0 COMPARA PREP_4 X2 0 CARGAO CONEC
X2 0 CARGAO CONE 1 FRA7)

(VERB_9 0 ARREGLA 1 FRA8)))

(FRA1 ((VERB_1 0 COMPARA 1 FRA2)))

(FRA2 ((ARTDET 0 COMPARA 1 FRA3)))

(FRA3 ((SUSCOM_1 0 COMPARA 1 FRA4)

(ADJCAL_1 0 COMPARA SUSCOM_1 0 COMPARA
SUSCOM_2 0 COMPARA 0 CONTROLA PREP_1 ARTDET
0 COMPARA X1 0 CARGAO 0 FAMILIA2)

(SUSCOM_3 0 COMPARA PRON_REL1 1 FRA5)

(SUSCOM_4 0 COMPARA PREP_1 SUSCOM_3 0 COMPARA
PRON_REL1 1 FRA5)))

(FRA4 ((X2 0 CARGAO 0 FAMILIA1)

(ART_CON1 X3 0 CARGAO 0 FAMILIA1)))

(FRA5 ((VERB_4 ART_CON2 VERB_6 ARTDET 0 COMPARA
SUSCOM_1 0 COMPARA X 0 CARGA CONEC X 0
CARGA 0 FAMILIA3)))

(FRA6 ((SUSCOM_3 1 FRA5)

(SUSCOM_4 1 FRA5)))

(FRA7 ((X 0 CARGA 1 FRA7)

(NIL 0 FAMILIA2)))

```
(FRAB      ( (DETIND 0 COMPARA ARTDET 0 COMPARA SUSCOM_6
              0 COMPARA 0 CONTROLA ART_CON1 SUSCOM_1 0
              COMPARA X 0 CARGA 0 FAMILIA4)

              (ARTDET 0 COMPARA SUSCOM_6 0 COMPARA X4 0
              CARGA0 ART_CON1 SUSCOM_1 0 COMPARA X 0 CARGA
              0 FAMILIA4) ))
```

Se presenta a continuación una descripción de las acciones utilizadas en la red QUIMICA.

Descripción de las acciones utilizadas en la red QUIMICA

ARREGLA : Esta es una acción que obligatoriamente debe ir después de verbos imperativos. La flexibilidad de la gramática permite que estos verbos puedan ingresarse en 2da y 3era persona, sin embargo esto nos puede llevar a rechazar un texto por no concordar con la sintáxis especificada.

Por ejemplo en el siguiente enunciado :

" Muestra los elementos alcalinos "

En este enunciado " Muestra " es un verbo en segunda persona y " los " es un artículo en tercera persona del plural. Si luego de estas palabras se aplica una comparación de números, el resultado será negativo ya que los mismos no coinciden.

ARREGLA tiene como objetivo solucionar estos inconvenientes.

COMPARA : Esta es una acción destinada a comparar género, número y persona de los estados analizados. Si COMPARA detecta un error

se detiene el análisis del enunciado y se da un aviso de error.
Por ejemplo en el siguiente enunciado :

" Cuales son el elementos líquidos ? "

En este enunciado existe un error de concordancia entre el número del verbo (3era. persona del plural) y el número del artículo (3era. persona del singular). COMPARA detecta este error y emite el siguiente mensaje :

" Por Favor Revise Género, Número y Persona, Hay un Error en su Oración "

CONTROLA : Esta acción tiene por objetivo evitar conflictos de concordancia de números entre ciertas palabras.

Dada la flexibilidad de la gramática, se puede llegar a tener que comparar, en un determinado momento, el número de una palabra en tercera persona del plural con el número de una palabra en tercera persona del singular.

Sin embargo, en ciertos casos esto no significa que exista error en la construcción de la oración.

Por ejemplo en el siguiente enunciado :

" Muestre los principales elementos conductores de la electricidad "

En este enunciado, luego de la palabra " conductores " (sustantivo, 3era. persona del plural) sigue la palabra " de " (preposición, neutra). Al existir una palabra con número neutro

se ignora, y la comparación se efectúa con la siguiente palabra, en este caso " la " (artículo, 3era. persona del singular). CONTROLA evita que el proceso de análisis se interrumpa, ya que aunque no existe concordancia de números entre estas dos palabras, la oración es sintácticamente correcta.

CARGA : Es una función que tiene por objetivo cargar en una pila los elementos de la tabla periódica que se mencionan en el texto ingresado. Esta pila luego será utilizada en el análisis semántico del mencionado texto.

Por ejemplo en el siguiente enunciado :

" Clasifique los siguientes elementos en líquidos y sólidos : mercurio cesio francio oro plata cobre. "

Durante el análisis la acción CARGA irá almacenado en una pila (pila1), los elementos de la tabla periódica que se encontraron en el texto. Al finalizar el análisis pila1 tendrá la siguiente información :

pila1 : (cobre plata oro francio cesio mercurio)

CARGAO : Es una función que tiene por objetivo cargar en una pila las propiedades de los elementos de la tabla periódica que se mencionan en el texto ingresado. Esta pila luego será útil en el análisis semántico del texto ingresado.

Por ejemplo en el siguiente enunciado :

" Clasifique los siguientes elementos en líquidos y sólidos : mercurio cesio francio oro plata cobre. "

Durante el análisis la acción CARGAO irá almacenado en una pila (pila2), las propiedades de los elementos de la tabla periódica que va encontrando en el texto. al finalizar el análisis pila2 tendrá la siguiente información :

pila2 : (sólidos líquidos).

Se presenta a continuación el diccionario de datos del ATN realizado en este trabajo.

3.1.2 EL DICCIONARIO DEL ATN

Si bien el lenguaje utilizado es restringido, la cantidad de verbos, sustantivos, preposiciones, adjetivos, etc empleados, hace necesario dividir estas categorías gramaticales en subcategorías para poder diferenciar el significado que las mismas representan.

Se muestran a continuación las categorías y subcategorías gramaticales a las que pertenecen las palabras utilizadas en este trabajo.

Se presentarán las categorías gramaticales, y por cada categoría se mostrarán las subcategorías que la conforman. A su vez, dentro de cada subcategoría se presentarán los <nombre categoría> que la integran.

En cada <nombre categoría> se dan las palabras terminales que instancia, y un ejemplo del uso de las mismas.

CATEGORIA GRAMATICAL : PRONOMBRE

Esta es una palabra que se utiliza para sustituir a otro o a otros términos. Un pronombre puede sustituir a un nombre, a un adjetivo, a un grupo del nombre o a toda una oración.

SUBCATEGORIA : INTERROGATIVO

Estos indican que se hace una pregunta sobre un ser u objeto.

<PRON_INT1> ::= Cual / Cuales
Ejemplo de su uso : Cuales son los elementos alcalinos ?

<PRON_INT2> ::= Qué
Ejemplo de su uso : Qué fórmulas originan al combinarse los elementos cloro y sodio ?

SUBCATEGORIA : RELATIVO

Son los que hacen referir una frase a un ser o cosa mencionada anteriormente.

<PRON_REL1> ::= que
Ejemplo de su uso : Muestre las fórmulas que originan al combinarse los elementos sodio y cloro

SUBCATEGORIA : PERSONAL

Son los que reemplazan a cualquier persona gramatical.

<PRON_ACUS> ::= se
Ejemplo de su uso : Con qué elementos se puede combinar el elemento sodio ?

CATEGORIA GRAMATICAL : VERBOS

Es la palabra que designa existencia, esencia, proceso, acción, pasión o estado, indicamos un modo dentro de un tiempo y con referencia a una persona.

SUBCATEGORIA : IMPERATIVO

Expresa la significación del verbo en forma de mandato o ruego, independiente de otro verbo expresado o sobreentendido.

<VERB_3> ::= Dé / Diga / Dá / Di / Muestre / Muestra / Obtén / Obtenga / Mencione / Menciona / Escribe / Escriba
Ejemplo de su uso : **Muestre** los elementos líquidos.

<VERB_7> ::= Asigne / Asigna
Ejemplo de su uso : **Asigne** intervalos de PE a los siguientes elementos : Sodio Potasio Cloro.

<VERB_8> ::= Clasifica / Clasifique / Agrupe / Agrupa /
Ejemplo de su uso : **Clasifique** los siguientes elementos en líquidos y sólidos : Cesio Francio Oro Plata Cobre.

<VERB_9> ::= Borre / Borra / Elimine / Elimina
Ejemplo de su uso : **Borre** todas las propiedades del elemento Magnesio.

SUBCATEGORIA : INDICATIVO

Expresa la significación del verbo de una manera absoluta, sin dependencia necesaria de otro verbo.

<VERB_1> ::= son
Ejemplo de su uso : **Cuales** son los elementos alcalinos ?

<VERB_2> ::= es
Ejemplo de su uso : Cual es el principal elemento conductor de la electricidad ?

<VERB_4> ::= originan / constituyen / forman
Ejemplo de su uso : Qué fórmulas originan al combinarse los elementos sodio y cloro ?

<VERB_5> ::= puede
Ejemplo de su uso : Con qué elementos se puede combinar el elemento Sodio ?

SUBCATEGORIA : INFINITIVO

Expresa la idea del verbo de un modo abstracto, sin indicar ni número ni persona.

<VERB_6> ::= combinar / juntar / unir / ligar
Ejemplo de su uso : Con qué elementos se puede combinar el elemento sodio ?

CATEGORIA GRAMATICAL : SUSTANTIVO

Es una palabra que representa y nombra a los seres y a las cosas.

SUBCATEGORIA : COMUN

Se aplican a seres o cosas que poseen elementos comunes semejantes.

<SUSCOM_1> ::= elemento / elementos / átomo / átomos
Ejemplo de su uso : Muestre los elementos sólidos.

<SUSCOM_2> ::= conductor / conductores / transportador / transportadores / transmisor / transmisores
Ejemplo de su uso : Cual es el principal elemento conductor de la electricidad ?

- <SUSCOM_3> ::= fórmula / fórmulas
 Ejemplo de su uso : Qué fórmulas originan al combinarse los elementos sodio y cloro ?
- <SUSCOM_4> ::= nombre / nombres
 Ejemplo de su uso : Cuales son los nombres de fórmulas que originan al combinarse los elementos Sodio y Cloro ?
- <SUSCOM_5> ::= intervalo / intervalos
 Ejemplo de su uso : Asigne intervalos de PE a los siguientes elementos : oro sodio potasio plata.
- <SUSCOM_6> ::= propiedad / propiedades
 Ejemplo de su uso : Borre todas las propiedades del elemento magnesio.

CATEGORIA GRAMATICAL : PREPOSICION

Es una clase de palabra que denota dependencia, espacio-temporal entre dos palabras u oraciones.

SUBCATEGORIA : SEPARABLE

- <PREP_1> ::= de
 Ejemplo de su uso : Muestre los nombres de fórmulas que originan al combinarse los elementos sodio y cloro.
- <PREP_2> ::= Con
 Ejemplo de su uso : Con qué elementos se puede combinar el elemento sodio ?
- <PREP_3> ::= a
 Ejemplo de su uso : Asigne intervalos de PF a los siguientes elementos : oro plata.
- <PREP_4> ::= en
 Ejemplo de su uso : Clasifique los siguientes elementos en líquidos y sólidos : potasio berilio calcio.

CATEGORIA GRAMATICAL : DETERMINANTE

Es un elemento que forma parte del nombre, anteponiéndose a él para determinarlo en varios aspectos.

SUBCATEGORIA : INDEFINIDOS

Son palabras que se juntan al sustantivo determinándolo en un sentido vago de cantidad, número, totalidad o identidad.

<DETIND> ::= todo / toda / todos / todas
Ejemplo de su uso : Borre todas las propiedades del elemento sodio.

SUBCATEGORIA : ARTICULO

Es el determinante del nombre más simple, lo precede para anunciar su género y número. Antepuesto cualquier otra palabra la convierte en nombre.

SUB_SUBCATEGORIA : DEFINIDOS

Determinan cosas que se suponen son conocidas.

<ARTDET> ::= el / la / los / las
Ejemplo de su uso : Mencione los elementos líquidos.

SUBCATEGORIA : CONTRACTOS

Quando las preposiciones "a" o "de" preceden al artículo "el" se hace una contracción.

<ART_CON1> ::= del
Ejemplo de su uso : Muestre los elementos del Primer Periodo.

<ART_CON2> ::= al
Ejemplo de su uso : Qué fórmulas originan al
combinarse los elementos sodio y cloro ?

CATEGORIA GRAMATICAL : ADJETIVO

Palabra utilizada para calificar a un sustantivo.

SUBCATEGORIA : CALIFICATIVO

Expresa una cualidad del sustantivo a que se refiere.

<ADJCAL_1> ::= principal / principales / mejor / mejores
Ejemplo de su uso : Cual es el principal elemento
conductor de la electricidad ?

SUBCATEGORIA : INDEFINIDO

Estos limitan de manera vaga la significación del sustantivo.
pero sin referirse a ningún individuo en lo particular.

<ADJIND> ::= siguiente / siguientes
Ejemplo de su uso : Asigne intervalos de PE a los
siguientes elementos : berilio sodio calcio.

CATEGORIA GRAMATICAL : CONJUNCION

Es una palabra o grupo de palabras que se utilizan para conectar
dos oraciones o dos partes o miembros de la misma oración.

SUBCATEGORIA : COORDINACION

Vinculan dos términos cuya función es idéntica.

<CONEC> ::= y
Ejemplo de su uso : Clasifique los siguientes
elementos en alcalinos y alcalinotérreos : sodio
plata oro.

<CONE> ::= ;
Ejemplo de su uso : Asigne intervalos de PE a los
siguientes elementos : magnesio mercurio cloro.

Fue necesario definir además, categorías gramaticales que
permitieran instanciar elementos de la tabla periódica.

El nombre dado a cada una de estas categorías, fué elegido
arbitrariamente.

La definición sintáctica y semántica de las mismas se dan a
continuación :

<X> ::= sodio / plata / oro / magnesio / cobre / berilio.....

Un <x> permite instanciar nombres de elementos de la tabla
periódica.

<X1> ::= electricidad / calor

Un <X1> permite instanciar propiedades transmisibles de elementos
de la tabla periódica.

<X2> ::= líquidos / sólidos / alcalinos / alcalinotérreos.....

Un <X2> permite instanciar atributos de los elementos de la
tabla periódica.

<X3> ::= primer_periodo / grupo_1 / grupo_2b /

Un <X3> se utiliza para denotar propiedades de pertenencia de los elementos de la tabla periódica, los que necesitan de el articulo contrato " del " para poder referirlos.

<X4> ::= NA / PE / PF / DEN / PA / EO / SIM / EP / CE / CT

Un <X4> se utiliza para denotar atributos generales de los elementos de la tabla periódica.

En donde :

NA	----->	Número Atómico
PE	----->	Punto de Ebullición
PF	----->	Punto de Fusión
DEN	----->	Densidad
PA	----->	Peso Atómico
EO	----->	Estado de Oxidación
SIM	----->	Símbolo
EP	----->	Electronegatividad de Pawling
CE	----->	Conductividad Eléctrica
CT	----->	Conductividad Térmica

A continuación se presentará un ejemplo para ilustrar como efectúa el ATN, los análisis sintáctico y semántico de una oración.

Sea la oración :

Muestre los elementos líquidos.

El análisis se efectúa palabra por palabra.

Primero, el intérprete del ATN busca en el diccionario de datos las características gramaticales de " Muestre ", que son :

Clase Gramatical	:	VERB_3
Modo	:	Imperativo
Tiempo	:	Presente
Persona	:	3era. singular

Una vez obtenida la clase gramatical se comienza a recorrer la red de transición. Se empieza a partir de la red principal QUIMICA.

Cuando la clase gramatical VERB_3 se instancia con el primer elemento de algún arco, el análisis continuará a través de dicho arco.

En este caso, se trata del arco :

(VERB_3 0 ARREGLA 1 FRA2)

El análisis continuará con el estado 0, que indica que lo que tiene a su derecha es una acción que debe ejecutarse.

El verbo " Muestre " es un verbo imperativo en 3era. persona del singular, que en este caso puede estar seguido de una palabra en 3era. persona del singular o del plural.

La acción ARREGLA permite que la palabra que siga a " Muestre " , pueda estar tanto en 3era persona del singular, como en 3era. persona del plural.

Una vez ejecutado ARREGLA se indica, por medio de un estado 1, que el control debe pasarse a la subred FRA2.

El análisis continúa a partir de la siguiente palabra del enunciado, en este caso " los ", cuyas características gramaticales son :

Clase gramatical	:	ARTDET
Género	:	M (masculino)
Número	:	P (plural)
Persona	:	3era. plural

Con la clase gramatical de " los " se comienza a recorrer la subred FRA2, hasta que el primer elemento de un arco se instancia con ARTDET.

En este caso se trata del arco :

(ARTDET 0 COMPARA 1 FRA3)

El análisis continuará con el estado 0, que indica que lo que tiene a su derecha es una acción que debe ejecutarse (COMPARA). Esta acción compara las características gramaticales de " los " con las de la palabra anterior. En este caso, la comparación resulta exitosa.

La parte final del arco indica, por medio del estado 1, que el control debe pasarse a la subred FRA3.

El análisis sigue a partir de la siguiente palabra del enunciado, en este caso " elementos ", cuyas características gramaticales son :

Clase gramatical : SUSCOM_1
Género : M (masculino)
Número : P (plural)
Persona : 3era. plural

Con la clase gramatical de " elementos " se comienza a recorrer la subred FRA3, hasta que el primer elemento de un arco se instancie con SUSCOM_1.

En este caso se trata del arco :

(SUSCOM_1 0 COMPARA 1 FRA4)

El análisis continúa con el estado 0 y la acción COMPARA.

En este caso, la acción, compara las características gramaticales de " elementos " con las de la palabra anterior. La comparación resulta exitosa y el análisis continúa.

Luego el control se pasa, por medio del estado 1 a la subred FRA4.

Se analiza la siguiente palabra del enunciado. " líquidos ", cuyas características gramaticales son :

Clase gramatical : X2
Género : M (masculino)
Número : P (plural)
Persona : 3era. plural

Con la clase gramatical de " líquidos " se comienza a recorrer la subred FRA4, hasta que el primer elemento de un arco se instancie con X2.

En este caso se trata del arco :

(X2 0 CARGA0 0 FAMILIA1)

El análisis continúa con el estado 0 y la acción CARGA0.

Esta acción tiene el objeto de cargar la palabra " líquidos " en una variable de trabajo.

Luego el análisis continúa con el llamado al paquete de reglas FAMILIA1. En este paquete se hace uso de la variable de trabajo mencionada anteriormente, para llevar a cabo el proceso de inferencia. Según el contenido de dicha variable se decidirá qué regla debe aplicarse. En este caso, la variable contiene a la palabra " líquidos " y por lo tanto se ejecutará la REGLA4. Esta regla se utiliza para determinar qué elementos de la tabla periódica son líquidos. (La REGLA4 es descrita en el capítulo 4, sección 4.4).

Una vez que se ejecuta la REGLA4, el sistema presenta los resultados obtenidos : los nombres de los elementos líquidos de la tabla periódica.

Para que el sistema pueda proporcionar resultados, el enunciado debe estar bien formado. Un enunciado está bien formado, si durante su análisis sintáctico y semántico no se detectan errores y se llega finalmente a un llamado a un paquete de reglas.

Se presentan a continuación algunas características del comportamiento del sistema.

3.2 CARACTERISTICAS DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

El proceso de aprendizaje comprende la adquisición de nuevos conocimientos, así como su aplicación.

El sistema desarrollado muestra una forma de aprendizaje aplicado al campo de la química y concerniente a las propiedades físicas y químicas de los elementos de la tabla periódica.

La memorización de nuevos datos y hechos es considerada por algunos autores como un proceso de aprendizaje. En este trabajo también se describirá como " aprendizaje " a la tarea que desarrolla el sistema para adquirir nueva información.

Dentro del aprendizaje que muestra el sistema se señala el " aprendizaje por memorización ", que es la adquisición directa de nuevos conocimientos.

El proceso de aprendizaje, en este sistema, consiste en memorizar nuevos hechos, nuevos datos. Sin embargo, solo si puede utilizar estos datos o hechos en casos similares se puede afirmar que el sistema ha adquirido conocimientos o ha aprendido.

En este caso el sistema permite, en forma dinámica, almacenar información tanto en el diccionario de datos como en la base de hechos del sistema.

Esto significa que se puede comenzar con un diccionario de datos y una base de hechos vacíos e ir incorporando información a medida que se necesite.

Para aclarar estos conceptos, se presenta el siguiente ejemplo :

" Muestre los elementos liquidos "

Si " Muestre " es una palabra que aún no existe en el diccionario de datos, el usuario tiene la posibilidad de ingresar la misma junto con sus características gramaticales.

El sistema presenta el siguiente mensaje :

" Muestre ", es una palabra desconocida en el diccionario de datos. Desea ingresarla ? (S / N).

Si el usuario oprime la tecla " S " el sistema pedirá las siguientes características gramaticales :

Clase gramatical	:	VERB_3
Modo	:	Imperativo
Tiempo	:	Presente
Persona	:	3era. singular.

Al almacenar esta información, el intérprete podrá continuar con los análisis sintáctico y semántico.

La mayoría de los sistemas no cuentan con estas facilidades, lo que los hace muy rígidos a pesar de la información relevante que en ciertos casos pueden manejar.

Es posible señalar también el " aprendizaje por analogía ", entendiéndolo por analogía aplicar los conocimientos adquiridos en otras situaciones similares, creando así otros conocimientos y adquiriendo experiencia.

Para aclarar mejor este concepto, se presenta el siguiente ejemplo.

Dado el texto :

" Cuales son los elementos alcalinos ? "

El sistema luego de hacer los análisis sintáctico y semántico y las inferencias correspondientes presentará el siguiente resultado :

1 - litio	2 - sodio
3 - potasio	4 - rubidio
5 - cesio	6 - francio

Al aplicar este aprendizaje, " alcalinos " pasa a ser un nuevo ítem de la base de hechos del sistema y litio, sodio, potasio, rubidio, cesio y francio son sus propiedades.

Se presentan a continuación algunas características del comportamiento del sistema.

- 1- El sistema puede adquirir información en forma dinámica e incremental. Es decir, se puede comenzar con un " diccionario de datos para el ATN " y una " base de hechos " vacíos, e ir incorporando información a medida que se la necesita.
- 2- El sistema cuenta con un procesador de lenguaje natural muy flexible, lo que permite que cambiando la gramática y el

diccionario (de ser necesario) se puedan tratar textos relacionados a diferentes materias.

3- La gramática diseñada e implementada para este trabajo proporciona cierta riqueza en la expresión del usuario, ya que una misma orden o pregunta puede ser formulada de diferentes maneras.

CAPITULO 4

4. EL MECANISMO DE INFERENCIA DEL SISTEMA

En este capítulo se presenta una descripción del mecanismo de inferencia del sistema. Posteriormente, se muestran las formas básicas que existen para la interpretación de las reglas de inferencia. A continuación se presenta el lenguaje de escritura de reglas utilizado y alguna de las reglas implementadas en este trabajo.

Finalmente se hacen algunas observaciones respecto a los puntos tratados en este capítulo.

4.1 DESCRIPCION DEL MECANISMO DE INFERENCIA

La parte medular en el sistema, es el mecanismo de inferencia. Este, está formado por una máquina de inferencia, un conjunto de reglas que constituyen la base de conocimientos y una base de hechos.

Las reglas de producción o las reglas de inferencia del sistema son los mecanismos más populares para representar la información en la base de conocimientos. Estos conocimientos que contienen las reglas surgen de la experiencia y el saber de la persona que las expresa (el experto).

En el sistema desarrollado, las reglas son el mecanismo válido de " razonamiento " o " inferencia ", no existe ambigüedad, cada

regla consta de un par ordenado de símbolos identificados, como miembro izquierdo (antecedente) y como miembro derecho (consecuente).

El acceso a estas reglas es llevado a cabo por medio de un intérprete.

El sistema aquí presentado utiliza reglas como su mecanismo válido de razonamiento. Se opera con : una memoria de trabajo, una base de conocimientos, una base de hechos y una máquina de inferencia que aplica las reglas pertinentes a la resolución del problema en curso.

La memoria de trabajo contiene la información (datos o conclusiones) inferida hasta el momento.

La base de conocimientos está constituida por el conocimiento específico y procedimental acerca de la clase de problemas en los que el sistema es experto.

Es de destacar la naturaleza variada de este conocimiento, a veces una regla establece una relación lógica entre hechos que será utilizado por un razonamiento formal clásico. Sin embargo, otras reglas capturan criterios que el experto ha sintetizado a lo largo de su experiencia profesional y que sin carácter de certeza le guían para buscar una solución a un problema dado.

La máquina de inferencia es el conjunto de programas y estructuras de control que hacen deducciones a partir de la selección, interpretación y aplicación de las reglas a la información presente en la memoria de trabajo.

Para que una regla pueda aplicarse es necesario que parte del

contenido de la memoria de trabajo coincida (sea igual o pueda hacerse igual mediante sustitución) con parte de la regla. Este proceso se describe en la siguiente sección.

Se muestran a continuación las formas básicas de interpretación de las reglas.

4.2 FORMAS BASICAS DE INTERPRETACION DE LAS REGLAS

Existen dos formas básicas de interpretación de una regla : encadenamiento hacia atrás y encadenamiento hacia adelante. Estos tipos de encadenamientos son llevados a cabo en el sistema desarrollado, la explicación de los mismos se presentará en los párrafos siguientes.

Veamos cada uno :

1. Encadenamiento hacia atrás

Las reglas tienen la forma :

Si < antecedente > ENTONCES < consecuente >

Esto es posible leerlo como lo siguiente : " Para establecer < consecuente > es suficiente verificar si se cumple el < antecedente > .

Para ejemplificar el encadenamiento hacia atrás se presenta, expresada en lenguaje natural, una de las reglas manejadas por el sistema.

Dada la regla :

SI un elemento tiene su punto de fusión comprendido entre los valores 234.279 y 302.90 ENTONCES es un líquido.

Cuando se le cuestiona al sistema : Mencione los elementos líquidos, la hipótesis del sistema es " verificar que el elemento X es un líquido ".

Para afirmar que X es un líquido, mediante esta regla, solo habrá que probar que el punto de fusión de X está comprendido entre los valores 234.279 y 302.90.

Verdejo [7], expresa que el razonamiento por encadenamiento hacia atrás de las reglas se dice orientado por los objetivos. El sistema comienza estableciendo una hipótesis (objetivo a demostrar), en este caso la hipótesis es demostrar que X es líquido, y busca las reglas que permitan concluirlo, dichas reglas establecen sus antecedentes como nuevos subobjetivos que o bien son verdades afirmadas o bien pueden derivarse como conclusiones de otras reglas.

El proceso continúa hasta que todas las hipótesis se hayan probado o hasta que la regla no pueda aplicarse más.

2. Encadenamiento hacia Adelante

Las reglas tienen la forma :

SI < situación > ENTONCES < acción >

Esto es posible leerlo como : " Si la situación descrita en la memoria de trabajo coincide con la situación de la regla, entonces se realiza la acción indicada ".

Para ejemplificar el encadenamiento hacia adelante se presenta el siguiente ejemplo.

Dado el enunciado :

Cuales son los elementos gaseosos ?

y la regla expresada en lenguaje natural :

**SI el contenido de la memoria de trabajo es igual a gaseosos
ENTONCES ejecute la REGLA5.**

Esta regla dice que son gaseosos aquellos elementos cuyo punto de ebullición (PE) está comprendido entre los valores 3.99 y 240. (La REGLA5 se describe en la sección 4.4).

(Durante el análisis sintáctico y semántico del enunciado, la palabra " gaseosos ", se almacenó en la memoria de trabajo)

El mecanismo de inferencia del sistema procederá de la siguiente manera :

Primero, verificará si la situación descrita en la parte izquierda de la regla coincide con el contenido de la memoria de trabajo. En caso de éxito en la comparación, se ejecutará la REGLA5, expresada en la parte derecha de la regla.

Antes de explicar con detalle las reglas utilizadas y la semántica de las mismas, se presenta el lenguaje de escritura de las reglas.

4.3 EL LENGUAJE DE ESCRITURA DE LAS REGLAS

A continuación se presenta la sintaxis del lenguaje de escritura de reglas en la Forma Normal de Backus.

```
<paquete regla> ::= <regla>+

<regla> ::= (DEFUN <nombre regla> ( <arg1> [<arg2>] )
           <cuerpo regla>

<cuerpo regla> ::= (( <oper> <premisa>+ ) <alternativa1>
                   <alternativa2> /
                   ( <predicado> <alternativa1> <alternativa2>

<premisa> ::= ( <oper> <predicado> <predicado>+ ) /
              <predicado> <predicado>+

<alternativa1> ::= <cuerpo regla> / <acción> )
```

<alternativa2> ::= <cuerpo regla> / <acción>)

<oper> ::= AND / OR

<predicado> ::= (MIEMBRO <op1> <op2>) /
 (IGUAL <op1> <op2>) /
 (MAYOR <op1> <op2>) /
 (MENOR <op1> <op2>) /
 (NEGATIVO <op1> <op2>) /
 (POSITIVO <op1> <op2>)

<acción> ::= (REGRESA <nombre regla>) /
 (AGREGA <nombre regla>) /
 (INICIA <nombre regla>) /
 (ALMA_MIN <nombre regla>) /
 (ALMA_MAX <nombre regla>)

<nombre regla> ::= REGLA1 / REGLA4 / REGLAS /...../REGLAn

<op1> ::= NA / PE / PF / DEN / PA / EO / SIM / EP /
 CE / CT / <nombre variable>

<op2> ::= <números reales> / <nombre variable>

<nombre variable> ::= <identificador>

<identificador> ::= <caracteres alfabéticos>*

⟨arg1⟩ ::= LST

⟨arg2⟩ ::= SEN / ATOMO

Se presenta a continuación la definición semántica del lenguaje de escritura de las reglas.

Definición Semántica del Lenguaje

En la primera línea de la definición sintáctica, se establece que un ⟨paquete regla⟩ está formado por una o más reglas.

Luego se establece que una ⟨regla⟩ está formada por un paréntesis abierto, una palabra terminal DEFUN, un ⟨nombre regla⟩, otro paréntesis abierto, un ⟨arg1⟩ seguido opcionalmente de un ⟨arg2⟩, un paréntesis cerrado y finalmente de un ⟨cuerpo regla⟩. De esta manera se establece como debe formarse una regla, de tal manera que pueda ser reconocida.

En el ⟨cuerpo regla⟩ se dan las especificaciones que establecen qué hace la regla. Es aquí donde el usuario, por medio de predicados y operadores, establece el objetivo de la regla.

Un ⟨cuerpo regla⟩ puede estar constituido de dos maneras. La primera establece que un ⟨cuerpo regla⟩ está formado por dos paréntesis abierto, un ⟨oper⟩, una o más ocurrencias de una ⟨premisa⟩, un paréntesis cerrado, una ⟨alternativa1⟩ y una

⟨alternativa2⟩.

La segunda alternativa establece que un ⟨cuerpo regla⟩ está formado por un paréntesis abierto , un ⟨predicado⟩, una ⟨alternativa1⟩ y una ⟨alternativa2⟩.

Una ⟨premisa⟩ está formada por un paréntesis abierto , un ⟨oper⟩, un ⟨predicado⟩ seguido de una o más ocurrencias de un ⟨predicado⟩ y de un paréntesis cerrado. También una ⟨premisa⟩ puede estar formada por un ⟨predicado⟩ seguida de una o más ocurrencias de otro ⟨predicado⟩.

Una ⟨alternativa1⟩ está formada por un ⟨cuerpo regla⟩, o bien por una ⟨acción⟩ seguida de un paréntesis cerrado.

Una ⟨alternativa2⟩ está formada por un ⟨cuerpo regla⟩, o bien por una ⟨acción⟩ seguida de un paréntesis cerrado.

La ⟨alternativa1⟩ se ejecuta cuando en el cuerpo de la regla resulta verdadero el cumplimiento de las premisas o predicados, en caso contrario se ejecuta la ⟨alternativa2⟩.

Un ⟨oper⟩ está formado por un símbolo terminal que indica un operador del tipo lógico, como AND (conjunción) y OR (disyunción).

Un ⟨predicado⟩ está formado por un paréntesis abierto, un nombre nemotécnico que indica la relación existente entre los argumentos ⟨op1⟩ y ⟨op2⟩, y finalmente por un paréntesis cerrado.

Los predicados definidos por las reglas tratadas en este sistema son : MIEMBRO, IGUAL, MAYOR, MENOR, NEGATIVO y POSITIVO.

MIEMBRO : Se utiliza para verificar si <op1> pertenece a <op2>. Cuando una ocurrencia de <op1> aparece en <op2>, el valor de verdad de este predicado es TRUE. En caso contrario es FALSE.

IGUAL : Se utiliza para comparar <op1> con <op2>. Si los operandos son iguales, entonces el valor de verdad del predicado es TRUE. En caso contrario es FALSE.

MAYOR : Se utiliza para comparar <op1> con <op2>. Si <op1> es mayor que <op2>, entonces el valor del predicado es TRUE. En caso contrario es FALSE.

MENOR : Se utiliza para comparar <op1> con <op2>. Si <op1> es menor que <op2>, entonces el valor de verdad del predicado es TRUE. En caso contrario es FALSE.

NEGATIVO : Se utiliza para verificar si <op1> tiene en <op2> algún valor negativo. En caso afirmativo, el valor de verdad del predicado es TRUE. En caso contrario es FALSE.

POSITIVO : Se utiliza para verificar si <op1> tiene en <op2> algún valor positivo. En caso afirmativo, el valor de verdad del predicado es TRUE. En caso contrario es FALSE.

Una <acción> se define como un paréntesis abierto , seguido de un símbolo terminal (que es el nombre de una función), luego de un <nombre regla> y por último de un paréntesis cerrado.

Las funciones definidas para las reglas tratadas por este sistema son : REGRESA, AGREGA, INICIA, ALMA_MIN, ALMA_MAX.

REGRESA : Se usa para provocar la bifurcación del control del sistema hacia la regla especificada por <nombre regla>. Cuando <nombre regla> especifica la regla en la cual aparece REGRESA, se produce el llamado recursivo a la regla.

AGREGA : Se usa para agregar un elemento a una lista de resultados. Luego pasa el control del sistema a la regla especificada por <nombre regla>. Implícitamente ejecuta un REGRESA.

INICIA : Se usa para asignar un valor mínimo y un valor máximo a variables, antes de iniciar la búsqueda de intervalos de valores. Luego se transfiere el control del sistema a la regla especificada por <nombre regla>.

ALMA_MIN : Se usa para asignar un valor mínimo a una variable. Luego se transfiere el control del sistema a la regla especificada por <nombre regla>.

ALMA_MAX : Se usa para asignar un valor máximo a una variable. Luego se transfiere el control del sistema a la regla

especificada por <nombre regla>.

Un <nombre regla> está formado por el nombre de una regla.

Un <op1> está formado por símbolos terminales, como NA (número atómico), PE (punto de ebullición), DEN (densidad) o por un <nombre variable>.

Un <op2> está formado por cualquier número real o por un <nombre variable>.

Un <nombre variable> está constituido por un <identificador>. Un <nombre variable> es un nombre simbólico utilizado para almacenar distintos valores según el objetivo de la regla. Cada usuario podrá definir sus propias variables que tomarán valores dependiendo de la regla en la cual se usen.

Un <identificador> está formado por uno o más <caracteres alfabéticos>.

Un <arg1> se define como una LST. Una LST es el nombre de una variable, que recibirá como valor una lista de elementos sobre los cuales se quiere aplicar una regla.

Un <arg2> se define como SEN o ATOMO. La variable SEN se utiliza como bandera. Un ATOMO es el nombre de una variable, que recibirá como valor un elemento de la tabla periódica sobre el cual se quiere aplicar una regla.

Los símbolos : angulares < >, corchetes [], llaves { }, asteriscos * , más + y barras /, tienen el mismo significado que el descrito en la sección 3.1.1

Se presentan a continuación las reglas de inferencia utilizadas.

4.4 LAS REGLAS DE INFERENCIA

Existen reglas que comparten ciertas características, tales como el tipo de información que contienen y la forma en que fueron escritas.

Debido a eso y para facilitar el trabajo del intérprete, se las ha agrupado en paquetes llamados cada uno de ellos familias.

La descripción de los paquetes de reglas fue presentada en el capítulo 3, sección 3.1.1.

A continuación se presentan las reglas de inferencia del sistema. Con el objeto de que el lector entienda el significado de las mismas precederá a cada una de ellas un texto en lenguaje natural. Es de destacar que no se presentarán todas, sino unas cuantas de ellas como para que el lector pueda lograr un entendimiento de las mismas.

Cabe aclarar, que la información sobre la que me he basado para la construcción de las reglas se encuentra en la tabla periódica de química y otras tablas de información básica de esta ciencia, copias de las mismas se presentarán en el apéndice A.

Son líquidos, los elementos de la tabla periódica, cuyo punto de fusión (PF) está comprendido entre los valores 234.279 y 302.901

```
(DEFUN REGLA4 (LST)
((AND
  (MAYOR PF 234.279)
  (MENOR PF 302.901) ) (AGREGA REGLA4) )
(REGRESA REGLA4) )
```

Son gaseosos, los elementos de la tabla periódica, cuyo punto de ebullición (PE) está comprendido entre los valores 3.99 y 240.

```
(DEFUN REGLA5 (LST)
((AND
  (MAYOR PE 3.99)
  (MENOR PE 240.01) ) (AGREGA REGLA5) )
(REGRESA REGLA5) )
```

Son ligeros, los elementos de la tabla periódica, cuya densidad es menor que 1. Esta propiedad es aplicable para sólidos, líquidos y gaseosos.

```
(DEFUN REGLA6 (LST)
((MENOR DEN 1) (AGREGA REGLA6) )
(REGRESA REGLA6) )
```

Son alcalinos, los elementos de la tabla periódica, cuyo estado de oxidación (EO) es igual a 1, su densidad (DEN) menor que 1.88 y su punto de fusión (PF) está comprendido entre los valores 299 y 453.

```
(DEFUN REGLA9 (LST)
((AND
  (MIEMBRO EO 1)
  (MENOR DEN 1.88)
  (MAYOR PF 299)
  (MENOR PF 453.71) ) (AGREGA REGLA9) )
(REGRESA REGLA9) )
```

Son metales, los elementos de la tabla periódica, cuya electronegatividad (EP) es menor que 2.2

```
(DEFUN REGLA13 (LST)
  ((MENOR EP 2.2) (AGREGA REGLA13) )
  (REGRESA REGLA13) )
```

Son metaloides, los elementos de la tabla periódica, cuya electronegatividad (EP) se encuentra comprendida entre los valores 1.8 y 2.1 y su conductividad eléctrica (CE) es menor que 0.03.

```
(DEFUN REGLA15 (LST)
  ((AND
    (MAYOR EP 1.79)
    (MENOR EP 2.10)
    (MENOR CE 0.03) ) (AGREGA REGLA15) )
  (REGRESA REGLA15) )
```

Son sólidos, los elementos de la tabla periódica, cuyo punto de fusión (PF) es mayor que 302 o menor que 234 y su punto de ebullición (PE) es mayor que 240 o menor que 4.

```
(DEFUN REGLA3 (LST)
  ((AND
    (OR
      (MAYOR PF 302.9)
      (MENOR PF 234.28) )
    (OR
      (MAYOR PE 240)
      (MENOR PE 4) ) ) (AGREGA REGLA3) )
  (REGRESA REGLA3) )
```

Son del grupo 2B, los elementos de la tabla periódica, cuyo estado de oxidación (EO) es igual a 2, su punto de fusión (PF) está comprendido entre los valores 234 y 693, su punto de ebullición (PE) entre los valores 630 y 1180 y su densidad entre los valores 7.14 y 13.53

```
(DEFUN REGLA27 (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO EO 2)
    (MAYOR PF 233.99)
    (MENOR PF 693.01)
    (MAYOR PE 629.99)
    (MENOR PE 118.01)
    (MAYOR DEN 7.139)
    (MENOR DEN 1.353) ) (AGREGA REGLA27) )
  (REGRESA REGLA27) )
```

Son el grupo 5B, los elementos de la tabla periódica, cuyo estado de oxidación (EO) es igual a 5, su conductividad térmica (CT) se encuentra comprendida entre los valores 0.000258 y 0.50 y su electronegatividad (EP) entre los valores 2.02 y 3.04

```
(DEFUN REGLA36 (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO EO 5)
    (MAYOR CT 0.000258)
    (MENOR CT 0.50)
    (MAYOR EP 2.019)
    (MENOR EP 3.04) ) (AGREGA REGLA36) )
  (REGRESA REGLA36) )
```

Se observa entonces que la sintaxis definida para las reglas permite generar frases que son en sí programas LISP para revisar si se cumple o no un predicado.

Los predicados constituyen el conocimiento que poseemos del tema. Las reglas, la formalización de ese conocimiento.

Se muestran a continuación, un conjunto de reglas cuyo sentido semántico es diferente al tipo de reglas enunciadas precedentemente. Para explicar mejor estas reglas se presentarán diferentes ejemplos.

U>

Asigne intervalos de PE a los siguientes elementos : sodio litio

```
(DEFUN REGLA65 (LST SEN)
  ((IGUAL SEN 0) (INICIA REGLA65) )
  ((MENOR VAL_ELE MINVAL) (ALMA_MIN REGLA65) )
  ((MAYOR VAL_ELE MAXVAL) (ALMA_MAX REGLA65) )
  (REGRESA REGLA65) )
```

El sentido de la regla presentada es el siguiente : Al iniciar la regla " SEN " se encuentra inicializado en " 0 ", por lo tanto en " INICIA " se le asignan valores de mínimo y máximo al primer elemento ingresado. Para el segundo elemento a probar, " SEN " ya se encuentra en "1" por lo que nunca más regresará a " INICIA ". A partir de este momento salvo que los valores ingresados sean mayores que el máximo o menores que el mínimo se almacenarán como tales.

U>

Muestre el principal elemento conductor de la electricidad

```
(DEFUN REGLA66 (LST SEN)
  ((IGUAL SEN 0) (INICIA REGLA66) )
  ((MAYOR VAL_ELE MAXVAL) (ALMA_MAX REGLA66) )
  (REGRESA REGLA66) )
```

El sentido de la regla presentada es el siguiente : Al iniciar la regla, " SEN " se encuentra inicializado en " 0 ", por lo que al ejecutar " INICIA " como valor máximo se almacenará el primer valor ingresado. A partir del segundo elemento y hasta el final,

salvo que el valor del elemento sea mayor que el máximo almacenado se guardará como tal.

U,

Con qué elementos se puede combinar el elemento potasio ?

```
(DEFUN REGLA68 (LST ATOMO)
  ((AND
    (MAYOR EP CAR_LST)
    (NEGATIVO EO CAR_LST)
    (POSITIVO EO ATOMO)) (AGREGA REGLA68))
  ((AND
    (MENOR EP CAR_LST)
    (NEGATIVO EO ATOMO)
    (POSITIVO EO CAR_LST)) (AGREGA REGLA68))
  (REGRESA REGLA68) )
```

El sentido de la regla presentada es el siguiente : Si la electronegatividad del elemento a probar es mayor que la electronegatividad del átomo ingresado (en este caso potasio), y si el elemento a probar tiene estado de oxidación negativo y el átomo ingresado tiene electronegatividad positivo, entonces es posible la combinación.

La verificación de esta regla es como se muestra a continuación : cuando las hipótesis son falsas, entonces verificamos un segundo grupo de ellas; es decir cuando la electronegatividad del elemento en curso de tratamiento es menor que la electronegatividad del átomo ingresado, y si el elemento a probar tiene algún estado de oxidación positiva, así como el átomo ingresado tiene oxidación negativa, entonces la regla se satisface y en consecuencia es posible la ligación.

En caso contrario, este grupo de hipótesis también fracasa y por lo tanto la combinación de la que habla la regla no es posible.

Se presentan a continuación algunas observaciones respecto a los temas tratados en este capítulo.

- 1 - El usuario puede incorporar nuevas reglas de inferencia o modificar las ya existentes, siguiendo la sintaxis del lenguaje de escritura de reglas presentado en la sección 4.3.

- 2 - La máquina de inferencia es independiente de la base de conocimientos, es decir que fueron implementadas en forma separada. Por lo tanto, cambiando la base de conocimientos el sistema puede operar sobre otras áreas del saber.

CAPITULO 5

5. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

En la primer parte de este capitulo se hace una justificación del lenguaje de programación utilizado. Luego se presenta el modo de operar del sistema, para ello se dan varios ejemplos con el objeto de ilustrar al lector sobre las opciones que el sistema ofrece.

Finalmente, se dan algunas consideraciones respecto a estos puntos.

5.1 EL LENGUAJE DE PROGRAMACION UTILIZADO

El sistema fué implementado en LISP, ya que este es un lenguaje orientado hacia las necesidades de investigación de la inteligencia artificial.

Por qué utilicé LISP ?

- 1 - LISP es un lenguaje aplicado y recursivo que permite mediante ciertos formalismos describir conceptos matemáticos complejos.
- 2 - Es un lenguaje dinámico que automáticamente reacomoda memoria de acuerdo a los requerimientos del programa que se está ejecutando.

- 3 - Es un lenguaje extensible en el sentido que permite agregar nuestras propias estructuras de control al lenguaje.
- 4 - Es un lenguaje incremental que soporta estilos de programación de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo o estilos mezclados.
- 5 - LISP proporciona un medio ambiente poderoso e interactivo que es esencial para una comunicación inteligente entre hombre y máquina.

Estas consideraciones hacen de LISP un lenguaje ideal para el desarrollo de proyectos como el realizado.

5.2 EL MODO DE OPERACION DEL SISTEMA

A continuación se explicará como el usuario puede hacer uso del sistema y cuales son las opciones que éste ofrece.

Luego de cargar el sistema operativo, el usuario deberá introducir el disco que contenga MULISP MUSTAR.

A> MULISP MUSTAR

Una vez cargado este disco, MULISP desplegará en la pantalla un menú. El usuario deberá proceder como se describe a continuación.

ENTER CHOICE : R
FILE NAME : TESIS

Una vez leído el archivo, MULISP presentará nuevamente el mismo menú, y el usuario procederá como se describe a continuación :

ENTER CHOICE : E
\$ (MENU)

Al ejecutar la función MENU, MULISP carga de manera automática el ATN, el diccionario de datos, las reglas de inferencia y la base de hechos; y aparecerá en la pantalla un menú donde figuran las distintas opciones que el sistema presenta al usuario. El menú tiene el siguiente formato :

O P C I O N E S

A AGREGAR INFORMACION
B BORRAR ELEMENTOS
C CONSULTAR INFORMACION
P BORRAR PROPIEDAD
M MODIFICAR PROPIEDAD
I CONSULTAR PROPIEDADES

INGRESE OPCION :

Ejemplo 1

(ASIGNE INTERVALOS DE PE A LOS SIGUIENTES ELEMENTOS : POTASIO
CALCIO ESTRONCIO TITANIO VANADIO)

Ejemplo 2

(MUESTRE LOS ELEMENTOS GASEOSOS)

Ejemplo 3

(CUAL ES EL PRINCIPAL ELEMENTO CONDUCTOR DE LA ELECTRICIDAD)

4) Si el usuario desea borrar una o todas las propiedades de un
elemento procedería así :

INGRESE OPCION : P

Ejemplo 1

(BORRE TODAS LAS PROPIEDADES DEL ELEMENTO CARBONO)

Ejemplo 2

(ELIMINE LA PROPIEDAD PE DEL ELEMENTO COBALTO)

5) Para modificar la propiedad de un elemento el usuario
procederá de la siguiente manera :

INGRESE OPCION : M

(LITIO PE 1615 DEN 0\$53 CE \$108)

6) Para consultar información sobre alguna o todas las propiedades de un elemento procederá así :

INGRESE OPCION : I

Ejemplo 1

(ESCRIBA LA PROPIEDAD PF DEL ELEMENTO SODIO)

Ejemplo 2

(DE^ TODAS LAS PROPIEDADES DEL ELEMENTO SILICIO)

Se presentan a continuación algunas observaciones, respecto a la implementación del sistema.

1 - El sistema ofrece una interfase de comunicación " amigable " con el usuario. Por medio del menú y de mensajes, se va guiando al usuario a través de toda la ejecución.

2 - Fue necesario implementar una función para el manejo de números reales, debido a que la versión de LISP utilizada (MULISP '83), no tiene una primitiva que lo haga.

La mayoría de las propiedades de los elementos de la tabla periódica se expresan mediante números reales. Por ello se hizo necesario desarrollar una función que permita al usuario ingresar esta información al sistema respetando su notación.

3 - El espacio total de memoria ocupado por el sistema es de 63,146 bytes (considerando el ATN, el diccionario de datos, las reglas de inferencia y la base de hechos del sistema).

4 - El sistema desarrollado cuenta actualmente con 3520 líneas. Mil setecientos cinco, corresponden a líneas de código (ATN, mecanismo de inferencia, reglas de inferencia, menú, programas para impresión de resultados, etc). El resto, 1815, corresponden a la base de hechos del sistema y al diccionario de datos.

CAPITULO 6

6. RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SISTEMA

En este capítulo se presentan algunos resultados obtenidos por el sistema , según los distintos tipos de declaraciones, preguntas y órdenes que se le presentan.

También se muestran ejemplos de respuestas que da el sistema, en caso de detectarse algún error en el enunciado ingresado.

Con el objeto de ilustrar al lector acerca de la generalidad del procesador de lenguaje natural, se presentan resultados de una prueba que se hizo del mismo con una gramática general para el castellano.

Cabe aclarar que los textos que ingresa el usuario estarán en negritas, precedidas por los símbolos U>, en tanto que las respuestas del sistema en tipo estándar, precedidas por los símbolos S>.

6.1 RESULTADOS DEL SISTEMA TRATANDO TEXTOS EN QUIMICA

Se presentan a continuación algunos errores que detecta el analizador sintáctico, algunos errores que detecta el analizador semántico, información que obtiene el usuario por medio de consultas y finalmente una tabla de resultados que genera automáticamente el sistema.

6.1.1 ERRORES QUE DETECTA EL ANALIZADOR SINTACTICO

U>

(Cuales son los elemento gaseosos ?)

S>

POR FAVOR VERIFIQUE GENERO, NUMERO Y PERSONA, HAY UN ERROR EN SU ORACION.

NOTA : La palabra " elemento " está en singular y debe estar en plural.

U>

(Cuales son elementos gaseosos ?)

S>

LA ORACION INGRESADA NO CONCUERDA CON LA GRAMATICA, POR FAVOR REVISE SU ORACION.

Nota : La oración ingresada no concuerda con la gramática, ya que la misma exige que después del verbo " son " debe ir un artículo " los ".

U>

(Muestre el principal elemento conductor de la electricidad.)

S>

FALTA LA PALABRA SOLICITADA Y UD. HA DECIDIDO NO INGRESARLA

NOTA : Esto ocurre cuando el analizador detecta una palabra desconocida en el diccionario de datos. le dice al usuario que la ingrese y éste decide no hacerlo. Supongamos que " el " es una palabra que no se encuentra en el diccionario de datos, entonces el sistema despliega en la pantalla, el siguiente mensaje :

DESEA INGRESAR LA PALABRA SOLICITADA " el " : (S / N) ?

Si el usuario elige la opción N, el sistema muestra el mensaje presentado anteriormente.

Si el usuario elige la opción S, el sistema le pedirá las características gramaticales de la palabra desconocida. Luego incorporará la nueva palabra y sus características gramaticales al diccionario de datos.

Con esta opción, los análisis sintáctico y semántico sobre el enunciado no se interrumpen y el diccionario aumenta su volumen.

6.1.2 ERRORES QUE DETECTA EL ANALIZADOR SEMANTICO

U>

(Cual es el elemento líquido ?)

S>

SU PREGUNTA CARECE DE SENTIDO, POR FAVOR REVISELA.

NOTA : Esto se da, ya que una propiedad existe cuando por lo menos hay dos elementos que la satisfacen. Esta pregunta debe hacerse en plural para que tenga sentido.

Es de destacar que este tipo de enunciados es correcto sintácticamente y lo que falla es la semántica del mismo.

6.1.3 ACCIONES QUE MODIFICAN DIRECTAMENTE LA BASE DE HECHOS DEL SISTEMA

U>

(Borre el elemento oro.)

S>

O.K.

NOTA : Cuando se borra o elimina un elemento, se borran también todas sus propiedades.

U>

(Elimina todas las propiedades del elemento plata.)

S>

O.K

U>

(Borra la propiedad PF del elemento magnesio.)

S>

O.K

U>

(ORO PE 2836)

S>

O.K

NOTA : Esta declaración es una modificación a la base de hechos del sistema.

U>

(ARGON NA 18 PE 87\$30 PF 83\$81 DEN 1\$784 PA 39\$948 SIM Ar CT
0\$0001772 NIL) <RETURN>

S>

O.K

NOTA : Este tipo de declaraciones se utilizan para incrementar la base de hechos del sistema, éstas pueden hacerse en el momento y cuantas veces lo desee el usuario. Por ejemplo :

U>

(COBRE NA 29 PE 2836 PF 1357\$6 DEN 8\$96 PA 63\$546 EO (2 1) SIM Cu
EP 1\$90 CE 0\$143 CT 4\$01 NIL) <RETURN>

(PLATA NA 47 PE 2436 PF 1234 DEN 10\$5 PA 107\$868 EO (1) SIM Ag EP
1\$93 CE 0\$630 CT 4\$29 NIL) <RETURN>

(ORO NA 79 PE 3130 PF 1337\$58 DEN 19\$3 PA 196\$9665 EO (3 1) SIM
Au EP 2\$54 CE 0\$452 CT 3\$17 NIL) <RETURN> <RETURN>

S>

O.K

NOTA : Este es un ejemplo de multideclaración. Cada declaración es una lista constituida por el nombre de un elemento de la tabla periódica, seguido de una o más propiedades y sus respectivos valores.

El almacenamiento de esta información se hace de manera recursiva, ya que primero se guardan los datos de la primer lista y el proceso se repite por cada una de las listas hasta que el usuario pulse dos veces la tecla RETURN.

6.1.4 INFORMACION QUE OBTIENE EL USUARIO POR MEDIO DE CONSULTAS

U>

(Muestre los elementos alcalinos)

S>

- | | |
|-------------|-------------|
| 1 - Litio | 2 - Sodio |
| 3 - Potasio | 4 - Rubidio |
| 5 - Cesio | 6 - Francio |

U>

(Cuales son los elementos alcalinotérreos ?)

S>

- | | |
|-------------|---------------|
| 1 - Berilio | 2 - Magnesio |
| 3 - Calcio | 4 - Estroncio |
| 5 - Bario | 6 - Radio |

U>

(Mencione los elementos líquidos.)

S>

- | | |
|--------------|-------------|
| 1 - Cesio | 2 - Francio |
| 3 - Mercurio | 4 - Galio |
| 5 - Bromo | |

U>

(Obtenga los elementos metaloides.)

S>

1 - Boro	2 - Silicio
3 - Germanio	4 - Antimonio
5 - Bismuto	6 - Telurio
7 - Polonio	8 -Mercurio

NOTA: Es de destacar que las reglas fueron escritas en función de ciertos conceptos que establecieron diferentes autores de libros en química, en los cuales me he basado. En este caso los autores establecen que un elemento es metaloide si su electronegatividad está comprendida entre los valores 1.8 y 2.1 y su conductividad eléctrica es menor que 0.03.

Como respuesta a ésta orden aparece el elemento mercurio, ya que su electronegatividad es igual a 2 y su conductividad eléctrica es igual 0.0104, sin embargo este elemento no es un metaloide.

U)

(Cual es el principal elemento conductor de la electricidad ?)

S)

El principal elemento es : plata
 Su conductividad eléctrica es : $0.630 \cdot 10^6 / \text{ohm} \cdot \text{cm}$

NOTA : Es de destacar que este resultado surge de la aplicación de una regla dinámica, es decir que identifica a " principal " como máximo y luego se busca el elemento cuya conductividad eléctrica sea más alta.

Si por ejemplo borramos el elemento plata y nuevamente aplicamos la pregunta, la respuesta será :

El principal elemento es : cobre

Su conductividad eléctrica es : $0.596 \cdot 10^{*6}/\text{ohm}^*\text{cm}$

U)

(Muestre los principales elementos conductores de la electricidad.)

S)

<u>Elemento</u>	<u>$10^{*6}/\text{ohm}^*\text{cm}$</u>
1 - plata	----> 4.19
2 - cobre	----> 4.01
3 - oro	----> 3.17
4 - aluminio	----> 2.37
5 - berilio	----> 2.00
6 - calcio	----> 2.00
7 - tungsteno	----> 1.74
8 - manganeso	----> 1.56
9 - rodio	----> 1.50
10 - silicio	----> 1.48

NOTA: Es de destacar que en este caso se asocia la palabra " principales " con una lista de elementos que deben cumplir una determinada condición.

Para responder este enunciado se pueden establecer diferentes criterios. a fin de lograr una cierta consistencia en la información. Se establece un mínimo respecto a conductividad térmica, si no hacemos esto es posible que si no tenemos cargados los principales conductores de el calor, obtengamos como respuesta elementos que definitivamente no lo son.

U)

(Clasifique los siguientes elementos en alcalinos y alcalinotérreos : litio berilio calcio rubidio cesio oro plata bario.)

S)

Alcalinos	:	litio	-	rubidio	-	cesio
Alcalinotérreos	:	berilio	-	calcio	-	bario

NOTA : En este caso estamos en presencia de una meta_regla. Es decir que luego de analizar sintácticamente la orden hacemos un reordenamiento de la información ingresada.

En este caso la meta_regla actúa como una vía de selección para el conflicto de resolución, detectando y aplicando la regla pertinente.

U)

(Asigne intervalos de PE a los siguientes elementos : escandio

titanio vanadio cromo manganeso hierro cobalto níquel cobre
cinc.)

S)

El valor inferior es : cinc ----> 1180 K.

El valor superior es : vanadio ----> 3682 K.

NOTA : Este tipo de órdenes son muy útiles cuando queremos establecer los valores mínimos y máximos de una determinada propiedad. Por medio de estas órdenes podemos establecer cuales son los principales y cuales los menores conductores de calor y electricidad, por ejemplo.

U)

(Con qué elementos se puede combinar el elemento sodio ?)

S)

- | | |
|----------------|---------------|
| 1 - carbono | 2 - nitrógeno |
| 3 - oxígeno | 4 - flúor |
| 5 - fósforo | 6 - azufre |
| 7 - cloro | 8 - arsénico |
| 9 - selenio | 10 - bromo |
| 11 - antimonio | 12 - telurio |
| 13 - yodo | 14 - renio |
| 15 - astato | |

NOTA : Para este tipo de cuestionamientos se da como respuesta todos los elementos que satisfacen las hipótesis de la regla aplicada. Cabe mencionar que no importa la probabilidad con que estas combinaciones puedan ocurrir, así por ejemplo tenemos que el flúor con el sodio tienen una probabilidad del 90 % de ocurrir la ligación, en tanto que el renio con el sodio tienen una probabilidad del 19 % de ocurrir la ligación.

Cabe aclarar que estas probabilidades tendrán una mayor credibilidad cuando se trate de elementos con un determinado carácter iónico.

U)

(Muestre las fórmulas que originan al combinarse los elementos cloro y sodio.)

S)

Fórmula : ClNa ClNa

Probabilidad : 70 %

U)

(Muestre los nombres de fórmulas que originan al combinarse los elementos flúor y manganeso.)

S,

Nombres : Fluoruro de Manganeso VII
Fluoruro de Manganeso VI
Fluoruro de Manganeso II
Fluoruro de Manganeso IV
Fluoruro de Manganeso III

Probabilidad : 76 %

NOTA : Cabe mencionar que se da esta notación por ser la moderna y la más comunmente utilizada por los químicos en la actualidad.

Con el objeto de aclarar al lector algunos resultados que genera el sistema, se da una tabla en la que figuran el átomo generado, las propiedades o reglas que aplica para obtenerlos y los resultados.

TABLA 1

<u>Atomo Generado</u>	<u>Propiedades Aplicadas</u>	<u>Ejemplos</u>
Liquidos	234 < P. Fusión < 303	Cesio Francio Mercurio Galio Bromo
Alcalinos	Estado Oxidación = 1 Densidad < 1.88 299 < P.Fusión < 453	Litio Sodio Potasio Rubidio Cesio Francio
Grupo IB	Estado Oxidación = 1 1234 < P.Fusión < 1358	Cobre Plata Oro

6.2 RESULTADOS DEL PROCESADOR DE LENGUAJE NATURAL CON UNA GRAMÁTICA GENERAL PARA EL CASTELLANO

Los resultados que se muestran a continuación surgen de haber utilizado el procesador de lenguaje natural (ATN) con una gramática general para el castellano.

El procesador recibe oraciones del tipo declarativas. Realiza el análisis sintáctico y semántico de la misma. Si la oración es analizada correctamente, entonces la almacena en forma de listas. En caso contrario da el correspondiente mensaje de error.

Una vez que la información contenida en las oraciones declarativas se almacena, el sistema puede contestar preguntas referidas a esa información.

6.2.1 TRATAMIENTO DE ORACIONES ACEPTADAS

Se presentan a continuación ejemplos de oraciones aceptadas por el procesador de lenguaje natural y sobre las cuales se harán cuestionamientos :

U>

(El tigre grande y ágil come la carne, el león duerme y los monos comen los plátanos.)

S>

Su oración está correcta. La información ha sido almacenada.

Puede comenzar los cuestionamientos.

U>

(Quién come ?)

S>

El tigre grande y ágil, la carne.

Los monos, los plátanos.

U>

(Quién come la carne ?)

S>

El tigre grande y ágil.

U>

(Pedro y Ana juegan, Carlos come una manzana y Yo canto.)

S>

Su oración está correcta. La información ha sido almacenada

Puede comenzar los cuestionamientos.

U>

(Quién come una manzana ?)

S>

Carlos.

U>

(Qué hacés tú ?)

S>

canto.

U>

(Quién canta ?)

S>

Tú.

U>

(Qué hacen Pedro y Ana ?)

S>

juegan.

U>

(Carlos, María y el hombre alto caminan y hablan, el perro blanco juega, el bebé llora y Pedro, Ana y Tú cantáis.)

S>

Su oración está correcta. La información ha sido almacenada
Puede comenzar los cuestionamientos.

U>

(Qué hace María ?)

S>

habla y camina.

U>

(Quién llora ?)

S>

el bebé.

U>

(Qué hacemos Pedro, Ana y Yo ?)

S>

cantáis.

El orden en que se dieron las oraciones interrogativas no significa que deban efectuarse inmediatamente después de la correspondiente oración declarativa.

Pueden darse varias oraciones declarativas seguidas, en este caso la información se vá almacenando. Luego, si se hacen preguntas la respuesta dependerá del total de información acumulada.

6.2.2 TRATAMIENTO DE ORACIONES RECHAZADAS

Se presentan a continuación ejemplos de oraciones rechazadas por el procesador de lenguaje natural por detectar errores durante el análisis sintáctico y semántico de la misma.

También se muestran cuales son los mensajes que el procesador da ante tales situaciones.

U>

(El niño comemos.)

S>

Por favor verifique género, número y persona, hay un error en su oración.

Nota : En este caso la persona del sujeto (3era. del singular) no coincide con la del predicado (1era. del plural).

U)

(El alumno y la maestra corre.)

S)

Por favor verifique género, número y persona, hay un error en su oración.

Nota : En este caso, al unificar las personas del sujeto, la persona resultante (3era. del plural) no coincide con la persona del predicado (3era. del singular).

En este capítulo se presentaron resultados obtenidos por el sistema, tratando textos de química.

Además, por medio de ejemplos, se ilustró el tratamiento de enunciados con errores sintácticos y semánticos.

Por último, con el objeto de mostrar la flexibilidad del sistema para aceptar otras gramáticas sin necesidad de cambiar el intérprete, se presentaron algunos resultados obtenidos con una gramática general para el castellano.

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES

1- En este trabajo los datos se encuentran independientes del programa. Esta característica se da en las dos fases del sistema.

En la primera fase (procesamiento de lenguaje natural), el intérprete está separado de la gramática y del diccionario.

En la segunda fase (mecanismos de inferencia), la máquina de inferencia está separada de la base de conocimientos y de la base de hechos.

Si se cambia la gramática, la base de conocimientos y la base de hechos del sistema, el mismo puede operar en otras áreas del saber.

2- El procesador de lenguaje natural (ATN) es muy general. Como se mencionó en el punto anterior, se puede cambiar la gramática y/o el diccionario sin necesidad de modificar el intérprete.

La gramática utilizada para tratar textos de química es muy diversa, permitiendo al usuario emplear diferentes modos de expresar sus enunciados.

- 3- La interfase de lenguaje natural facilita la interacción del hombre con la máquina. Esta interfase hace más amigable al sistema. El sistema, para su uso, guía al usuario por medio del menú y de mensajes.

- 4- El sistema puede arrancar sin ningún dato en el diccionario y en la base de hechos, y a medida que opera puede ir incorporando información. Por lo tanto, se puede afirmar que es dinámico.

- 5- El sistema está capacitado para aceptar nuevas reglas de inferencia. El usuario, haciendo uso del lenguaje de escritura de reglas, puede definir las de acuerdo a sus necesidades.

- 6- Puede verse como una restricción del sistema, el hecho de que debido a la versión de LISP utilizada (Mulisp '83), la capacidad de memoria del sistema queda limitada a 256 k. Si bien ya existen versiones de LISP que ofrecen mayor disponibilidad de memoria, en el momento de programar este trabajo no se contaba con ellas.

REFERENCIAS

- [1] Hofstadter, Douglas. "Gödel, Escher y Bach : Una eterna treza dorada ", Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, 1982.
- [2] Cairó, Osvaldo. Cairó, Silvia G. de. " Un Analizador de Frases en Español ". IV Congreso de Inteligencia Artificial. Cholula, Puebla. México, 1987.
- [3] Moreno, Arcadio. " Entiende la Gramática Moderna ". Ediciones Larousse, SA de CV. México, 1985.
- [4] Kask, Uno. " Química : Estructuras y Cambios de la Materia ". Compañía Editorial Continental, SA, 5ta edición, México, 1978.
- [5] Martínez, Ana M. " Redes de Transición ". Reporte Técnico. Computación. Dpto. de Ingeniería Eléctrica. CINVESTAV - IPN, México, 1986.
- [6] Martínez, Ana M. " El Aprendizaje de un Sistema Experto ". Reporte Técnico. Computación. Dpto. de Ingeniería Eléctrica. CINVESTAV - IPN, México, 1986.

- [7] Cuenca, J. Fernandez, G. Lopez de Mántaras, R. Verdejo, M. " Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos ". Alianza Editorial, España, 1986.
- [8] Guzmán, Adolfo. " Sistemas Expertos y sus Aplicaciones ". Reporte Técnico. Computación. Dpto. de Ingeniería Eléctrica. CINVESTAV - IPN, México, 1985.
- [9] Wood, Jesse. Keenan, Charles. Bull, William. " Química General ". Editorial Harla, SA de CV. México, 1974.
- [10] Winograd, Terry. " Understanding Natural Language ". Academic Press, New York, 1972.

ESTA PAGINA EN BLANCO ES INTENCIONAL

APENDICE A

COPIAS DE INFORMACION BASICA EN QUIMICA

Se presentan a continuación tablas que contienen información básica en química. Asimismo, al final del Apéndice A se anexa copia de la tabla periódica de los elementos.

Esta información ha sido utilizada en la construcción de las reglas de inferencia del sistema.

PROPIEDADES FISICAS DEL GRUPO IA DE LOS METALES (excluyendo el francio)

	Li	Na	K	Rb	Cs
Punto de fusión, °C	180	98	63	39	29
Punto de ebullición, °C	1.325	880	757	679	690
Densidad, g/ml	0,53	0,97	0,86	1,53	1,90
Distribución electrónica	2,1	2,8,1	2,8,8,1	2,8,18,8,1	2,8,18,18,8,1
Energía de ionización, eV	5,39	5,14	4,34	4,18	3,89
Radio atómico, Å	1,22	1,57	2,02	2,16	2,35
Radio iónico, Å	0,60	0,95	1,33	1,48	1,69
Electronegatividad	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7

PROPIEDADES FISICAS DE LOS METALES DEL GRUPO IIA (excluyendo el radio)

	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Punto de fusión, °C	1.280	650	850	770	704
Punto de ebullición, °C	2.970	1.120	1.487	1.384	1.638
Densidad, g/ml	1,86	1,74	1,55	2,6	3,59
Distribución electrónica	2,2	2,8,2	2,8,8,2	2,8,18,8,2	2,8,18,18,8,2
Energía de ionización, eV	9,32	7,64	6,11	5,69	5,21
Radio atómico, Å	0,89	1,36	1,74	1,91	1,98
Radio iónico, Å	0,31	0,65	0,99	1,13	1,35
Electronegatividad	1,5	1,2	1,0	1,0	0,9

PROPIEDADES FISICAS DE LOS METALES

Característicos de los metales de transición de la serie d : color y estado físico a temperatura ambiente ; densidad en g/cm³ ; puntos de fusión y ebullición en °C.

Sc Sólido grisáceo	Ti Sólido blanco plateado	V Sólido blanco plateado	Cr Sólido gris acero	Mn Sólido gris plateado	Fe Sólido blanco plateado	Co Sólido gris acero	Ni Sólido blanco plateado	Cu Sólido amarillizo-azuloso	Zn Sólido blanco con lustre gris azulado
D 3.02 PF 1539 PE 2727	D 4.5 PF 1675 PE 3260	D 6.11 PF 1900 PE 3000	D 7.1 PF 1900 PE 2665	D 7.2 PF 1215 PE 2097	D 7.85 PF 1535 PE 3000	D 8.9 PF 1193 PE 3550	D 8.9 PF 1155 PE 2730	D 8.96 PF 1083 PE 2595	D 7.14 PF 119 PE 907
Y Sólido gris	Zr Sólido blanco grisáceo	Nb Sólido blanco grisáceo	Mo Sólido gris	Tc Sólido radiactivo gris plateado	Ru Sólido blanco plateado	Rh Sólido blanco	Pd Sólido blanco plateado	Ag Sólido blanco	Cd Sólido blanco plateado
D 4.47 PF 1500 PE 2927	D 6.53 PF 1852 PE 3578	D 8.57 PF 2168 PE 4927	D 10.2 PF 2610 PE 5560	D 11.5 PF 2200	D 12.41 PF 2150 PE 3900	D 12.41 PF 1966 PE 3727	D 12.0 PF 1551 PE 2927	D 10.53 PF 961 PE 2212	D 8.65 PF 321 PE 766
La Sólido blanco	Hf Sólido blanco grisáceo	Ta Sólido gris azulado	W Sólido gris	Re Sólido blanco plateado	Os Sólido blanco azulado	Ir Sólido blanco plateado	Pt Sólido blanco plateado	Au Sólido amarillo	Hg Líquido plateado
D 6.18 PF 920 PE 4200	D 13.1 PF 2150 PE >5400	D 14.49 PF 16.6 PF 2996 PE 5125	D 19.3 PF 3410 PE 5927	D 21.02 PF 3180 PE 5900	D 22.5 PF 2700 PE 5000	D 22.65 PF 2443 PE 4500	D 21.45 PF 1769 PE 3827	D 19.2 MP 1062 PE 2966	D 13.59 PF -38.35 PE 357
Ac Sólido radiactivo									
D 10.1 PF 1050 PE 3200									

VECINOS DE LOS ELEMENTOS DE TRANSICION

	ELECTRONES	DENSIDAD, G/ML	PUNTO DE FUSION, °C	PUNTO DE EBULLICION, °C
Familia IB:				
Cobre	2,8,18,1	8,9	1.087	2.582
Plata	2,8,18,18,1	10,5	961	2.193
Oro	2,8,18,32,18,1	19,3	1.063	2.710
Familia IIB:				
Cinc	2,8,18,2	7,1	420	907
Cadmio	2,8,18,18,2	8,6	321	767
Mercurio	2,8,18,32,18,2	13,5	-39	357
Familia IIIA:				
Aluminio	2,8,3	2,7	660	2.327
Galio	2,8,18,3	5,9	30	1.983
Indio	2,8,18,13,3	7,3	157	2.000
Talio	2,8,18,32,18,3	11,8	304	1.457
Familia IVA:				
Germanio	2,8,18,4	5,3	960	2.830
Estaño	2,8,18,18,4	7,3	232	2.340
Plomo	2,8,18,32,18,4	11,4	328	1.744

PROPIEDADES FISICAS DE LOS ELEMENTOS DE LA PRIMERA SERIE DE TRANSICION.

	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Configuración electrónica	2,8, 9,2	2,8, 10,2	2,8, 11,2	2,8, 13,1	2,8, 13,2	2,8, 14,2	2,8, 15,2	2,8, 16,2
Densidad, g/ml	3,1	4,43	6,07	7,19	7,21	7,87	8,70	8,90
Punto de fusión, °C	1.400	1.812	1.730	1.900	1.244	1.535	1.493	1.455
Punto de ebullición, °C	3.900	3.277	3.377	2.642	2.087	2.800	3.100	2.800
Radio de covalencia, A	1,44	1,32	1,22	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15
Energía de ionización, eV	6,56	6,83	6,74	6,76	7,43	7,90	7,86	7,63
Electronegatividad	1,3	1,6	1,7	1,6	1,5	1,7	1,7	1,8

PROPIEDADES FISICAS DE LA FAMILIA DEL AZUFRE

	OXIGENO O	AZUFRE S	SELENO Se	TELURO Te
Aspecto a la temperatura ambiente	Gas incoloro	Sólido frágil amarillo	Sólido rojo o gris	Sólido blanco argentino
Fórmula molecular	O ₂	S ₂ , S ₄ , S ₆ , S ₈	Se ₂ , Se ₈	Te ₂ , (Te ₈ ?)
Punto de fusión, °C	-218.8	119.0	217	450
Punto de ebullición, °C	-183	444.6	685	1.087
Energía de ionización, eV	13,55 (312 kcal)	10,36 (239 kcal)	9,75 (225 kcal)	9,01 (208 kcal)
Radio del átomo, A	0,66	1,04	1,14	1,32
Radio de ion (E ²⁺), A	1,40	1,84	1,98	2,21
Estructura electrónica	2,6	2,8,6	2,8,18,6	2,8,18,18,6
Electronegatividad	3,5	2,5	2,4	2,1

PROPIEDADES FISICAS DE LA FAMILIA DE LOS HALOGENOS

	FLUOR F	CLORO Cl	BROMO Br	YODO I
Aspecto a temperatura ambiente	Gas amarillento	Gas verdoso	Líquido rojo oscuro	Sólido púrpura casi negro
Fórmula molecular	F ₂	Cl ₂	Br ₂	I ₂
Punto de fusión, °C	-218	-101	-7	114
Punto de ebullición, °C	-188	-34	59	184
Energía de ionización, eV	17,34	12,95	11,80	10,6
Radio del átomo, A	0,72	0,99	1,14	1,33
Radio del ion (X ⁻), A	1,36	1,81	1,95	2,16
Estructura electrónica	2,7	2,8,7	2,8,18,7	2,8,18,18,7
Electronegatividad	4,0	3,0	2,8	2,5

PROPIEDADES FISICAS DE LA FAMILIA DEL NITROGENO

	NITROGENO N	FOSFORO P	ARSENICO As	ANTIMONIO Sb	BISMUTO Bi
Aspecto a la temperatura ambiente	Gas incoloro	Sólido blanco cristalino, rojo (violeta) o negro	Sólido gris acerado	Sólido blanco azulado, brillo metálico	Sólido blanco rosáceo, brillo metálico
Fórmula molecular	N ₂	P ₄	As ₄	Sb	Bi
Punto de fusión, °C	-210	44° 329° (43 atm)	814 (36 atm)	630	271
Punto de ebullición, °C	-196	280	610 (sublima)	1.380	1.470
Energía de ionización, eV	14,5 (334 kcal)	11,0 (254 kcal)	9,81 (226 kcal)	8,64 (199 kcal)	7,29 (168 kcal)
Radio de covalencia, A	0,74	1,10	1,21	1,41	1,52
Radio del cristal (X ³⁻), A	1,71	2,12	2,22	2,45	2,68
Radio del cristal (X ³⁺), A	0,11	0,34	0,47	0,52	0,74
Estructura electrónica	2,5	2,8,5	2,8,18,5	2,8,18,18,5	2,8,18,32,18,5
Carácter electronegativo	3,0	2,1	2,0	1,8	

Algunas propiedades físicas de los no metales. Las densidades están en g/ml y los puntos de fusión y ebullición en C°.

H D 0.0000709 PF -259 PE -252							He D 0.000178 PF -272.2 & 2.105 PE -268.9
		B D 2.45 PF 2300 PE 2660	C D 2.2-2.3 PF Sublima a 2600 PE 6300	N D 0.00125 PF -210 PE -195	O D 5.0-5.3 PF -218 PE -182	F D 0.00170 PF -220 PE -188	Ne D 0.000800 PF -248 PE -248
			Si D 2.00-2.20 PF 1410 PE 2330	P D 1.87-2.00 PF 41.1 PE 290	S D 2 = 2.06 2 = 1.96 PF 112.8 2 = 115.1 PE 410.6	Cl D 0.00317 PF -101 Se H:204 a -101 a 1 200 PE -24.5	Ar D 0.00177 PF -182 PE -186
				As D 5.6-5.9 PF 914 Sublima a 615	Fe D 7.57 PF 2117 PE 984	Br D 3.12 PF -7.2 PE 58.8	Kr D 0.00127 PF -152 PE -152
					Ia D 4.24 PF 436 PE 990	I D 4.95 PF 113 PE 184	Xe D 0.00550 PF -112 PE -108
						At	Rn D 0.00923 PF -77 PE -62

ALGUNAS PROPIEDADES DE LOS GASES NOBLES

	Radio atómico Å	Potencial de primera ionización ev	Densidad del líquido (g/ml en el punto de ebullición)	Punto de fusión °C	Punto de ebullición °C
He	0.93	24.6	0.125	-272.2 (a 26 atm)	-268.9
Ne	1.12	21.6	1.21	-249	-246
Ar	1.54	15.8	1.40	-189	-186
Kr	1.69	14.0	2.41	-157	-153
Xe	1.90	12.1	3.06	-112	-108
Rn	2.2	10.7	4.4	-77	-62

TABLA PERIODICA DE LOS ELEMENTOS

Serie a de elementos representativos		Clave		Serie p de elementos representativos										Gases nobles		
		Número atómico →	Na 11											← Configuración de electrones de valencia		
		Peso atómico →	22.9898													
1er. periodo n = 1	IA H 1.00795														VIIA He 4.0026	
2o. periodo n = 2	IIA Li 6.939		Serie d de metales de transición										VIIA F 18.9984		VIIIA Ne 20.179	
3er. periodo n = 3	IIIA Na 22.9898		VIII										IIIA Al 26.9815		IIIA Ar 39.948	
4o. periodo n = 4	IIA K 39.102		VIII										IIIA Ga 69.723		IIIA Kr 83.80	
5o. periodo n = 5	IIA Rb 85.47		VIII										IIIA In 114.818		IIIA Xe 131.30	
6o. periodo n = 6	IIA Cs 132.905		VIII										IIIA Tl 204.38		IIIA Rn 222	
7o. periodo n = 7	IIA Fr (223)		Serie f de metales de transición										IIIA Pb 207.19		IIIA At (210)	
Lantánidos		57 Ce (140.12)	58 Pr (140.907)	59 Nd (144.24)	60 Pm (144.912)	61 Sm (150.35)	62 Eu (151.96)	63 Gd (157.25)	64 Tb (158.925)	65 Dy (162.50)	66 Ho (164.930)	67 Er (167.25)	68 Tm (168.933)	69 Yb (171.03)	70 Lu (174.967)	
Actínidos		89 Th (232.038)	90 Pa (231)	91 U (238.03)	92 Np (237)	93 Pu (244)	94 Am (243)	95 Cm (247)	96 Bk (247)	97 Cf (251)	98 Es (252)	99 Fm (257)	100 Md (258)	101 No (259)	102 Lr (260)	

APENDICE B

LAS REGLAS DE INFERENCIA DEL SISTEMA

Se presenta a continuación un listado con las reglas de inferencia del sistema. Precede a cada regla un comentario donde se expresa el objetivo de la misma.

- * Regla utilizada para determinar los elementos lantánidos de la tabla periódica *

```
(DEFUN REGLA1 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR NA 56000000)
    (MENOR NA 72000000) )
  (AGREGA REGLA1) )
  (REGRESA REGLA1) ))
```

- * Regla utilizada para determinar los elementos actinidos de la tabla periódica *

```
(DEFUN REGLA2 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR NA 88000000)
    (MENOR NA 104000000) )
  (AGREGA REGLA2) )
  (REGRESA REGLA2) ))
```

- * Regla utilizada para determinar los elementos líquidos de la tabla periódica *

```
(DEFUN REGLA4 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR PF 234279000)
    (MENOR PF 302901000) )
  (AGREGA REGLA4) )
  (REGRESA REGLA4) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos sólidos de la tabla periódica *

```
(DEFUN REGLA3 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (OR
      (MAYOR PF 302900000)
      (MENOR PF 234280000) )
    (OR
      (MAYOR PE 240000000)
      (MENOR PE 4000000) ) )
    (AGREGA REGLA3) )
  (REGRESA REGLA3) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos gaseosos de la tabla periódica *

```
(DEFUN REGLA5 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR PE 3999999)
    (MENOR PE 240000001) )
    (AGREGA REGLA5) )
  (REGRESA REGLA5) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos ligeros de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA6 (LAMBDA (LST)
  ((MENOR DEN 1000000)
    (AGREGA REGLA6) )
  (REGRESA REGLA6) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos alcalinos de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA9 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 1 EO)
    (MAYOR DEN -1)
    (MENOR DEN 1880000)
    (MAYOR PF 299000000)
    (MENOR PF 453710000) )
    (AGREGA REGLA9) )
  (REGRESA REGLA9) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos alcalinotérreos o del grupo 2A de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA10 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 2 EO)
    (MAYOR DEN 1540000)
    (MENOR DEN 5000001)
    (MAYOR PF 921999999)
    (MENOR PF 1560000001) )
  (AGREGA REGLA10) )
  (REGRESA REGLA10) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 8 o gases nobles de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA12 (LAMBDA (LST)
  ((IGUAL EO NIL)
  (AGREGA REGLA12) )
  (REGRESA REGLA12) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos metales de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA13 (LAMBDA (LST)
  ((MENOR EP 2200000)
  (AGREGA REGLA13) )
  (REGRESA REGLA13) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos no metales de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA14 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR EP 2199999)
    (MENOR EP 4000001)
    (MENOR CT 1300001) )
  (AGREGA REGLA14) )
  (REGRESA REGLA14) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos metaloides de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA15 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR EP 1799999)
    (MENOR EP 2100001)
    (MENOR CE 30001) )
    (AGREGA REGLA15) )
  (REGRESA REGLA15) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del primer periodo de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA16 (LAMBDA (LST)
  ((MENOR NA 3000000)
    (AGREGA REGLA16) )
  (REGRESA REGLA16) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del segundo periodo de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA17 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR NA 2000000)
    (MENOR NA 11000000) )
    (AGREGA REGLA17) )
  (REGRESA REGLA17) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del tercer periodo de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA18 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR NA 10000000)
    (MENOR NA 19000000) )
    (AGREGA REGLA18) )
  (REGRESA REGLA18) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del cuarto periodo de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA19 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR NA 18000000)
    (MENOR NA 37000000) )
    (AGREGA REGLA19) )
  (REGRESA REGLA19) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del quinto periodo de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA20 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR NA 36000000)
    (MENOR NA 55000000) )
    (AGREGA REGLA20) )
  (REGRESA REGLA20) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del sexto periodo de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA21 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MAYOR NA 54000000)
    (MENOR NA 87000000) )
    (AGREGA REGLA21) )
  (REGRESA REGLA21) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del séptimo periodo de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA22 (LAMBDA (LST)
  ((MAYOR NA 86000000)
    (AGREGA REGLA22) )
  (REGRESA REGLA22) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 1A de la tabla periódica.

```
(DEFUN REGLA24 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 1 EO)
    (MAYOR DEN -1)
    (MENOR DEN 1870001)
    (MAYOR PF 13999999)
    (MENOR PF 453700001) )
    (AGREGA REGLA24) )
  (REGRESA REGLA24) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 1B de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA25 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 1 EO)
    (MAYOR PF 1233999999)
    (MENOR PF 1358000001) )
    (AGREGA REGLA25) )
  (REGRESA REGLA25) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 2B de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA27 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 2 EO)
    (MAYOR PF 2339999999)
    (MENOR PF 693000001)
    (MAYOR PE 629999999)
    (MENOR PE 1180000001)
    (MAYOR DEN 7139999)
    (MENOR DEN 13530001) )
    (AGREGA REGLA27) )
  (REGRESA REGLA27) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 3A de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA29 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 3 EO)
    (MAYOR EP 1219999)
    (MENOR EP 1360001) )
    (AGREGA REGLA29) )
  (REGRESA REGLA29) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 3B de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA30 (LAMBDA (LST)
  ((OR
    (IGUAL EO (3))
    (IGUAL EO (3 1)) )
    ((AND
      (MAYOR EP 1609999)
      (MENOR EP 2040001) )
      (AGREGA REGLA30) )
    (REGRESA REGLA30) )
  (REGRESA REGLA30) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 4A de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA32 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 4 EO)
    (MAYOR CE 23399)
    (MENOR CE 31201) )
    (AGREGA REGLA32) )
  (REGRESA REGLA32) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 4B de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA33 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 4 EO)
    (MAYOR DEN 2329999)
    (MENOR DEN 11400001)
    (MAYOR PE 2022999999)
    (MENOR PE 44700000001) )
    (AGREGA REGLA33) )
  (REGRESA REGLA33) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 5A de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA35 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 5 EO)
    (MAYOR CT 306999)
    (MENOR CT 575001)
    (MAYOR PE 3681999999)
    (MENOR PE 5731000001) )
    (AGREGA REGLA35) )
  (REGRESA REGLA35) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 5B de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA36 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 5 EO)
    (MAYOR CT 258)
    (MENOR CT 500001)
    (MAYOR EP 2019999)
    (MENOR EP 3040001) )
    (AGREGA REGLA36) )
  (REGRESA REGLA36) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 6A de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA38 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 6 EO)
    (MAYOR CT 936999)
    (MENOR CT 1740001)
    (MENOR CE 190001) )
    (AGREGA REGLA38) )
  (REGRESA REGLA38) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 6B de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA39 (LAMBDA (LST)
  ((OR
    (MIEMBRO -2 EO)
    (MIEMBRO 4 EO)
    (MIEMBRO 6 EO) )
    ((AND
      (MAYOR PE 90179999)
      (MENOR PE 1261000001) )
      (AGREGA REGLA39) )
      (REGRESA REGLA39) )
      (REGRESA REGLA39) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 7A de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA41 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO 7 EO)
    (MAYOR PE 2334000000) )
    (AGREGA REGLA41) )
    (REGRESA REGLA41) ))
```

* Regla utilizada para determinar los elementos del Grupo 7B o halógenos de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA42 (LAMBDA (LST)
  ((AND
    (MIEMBRO -1 EO)
    (MENOR PF 577000000) )
    (AGREGA REGLA42) )
    (REGRESA REGLA42) ))
```

* Regla utilizada para determinar el elemento con mayor valor de una propiedad. *

```
(DEFUN REGLA66 (LAMBDA (LST SEN)
  ((IGUAL SEN 0)
    (INICIA REGLA66) )
    ((MAYOR VAL_ELE MAXVAL)
      (ALMA_MAX REGLA66) )
      (REGRESA REGLA66) ))
```

* Regla utilizada para determinar los intervalos de una propiedad de los elementos de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA65 (LAMBDA (LST SEN)
  ((IGUAL SEN 0)
   (INICIA REGLA65) )
  ((MENOR VAL_ELE MINVAL)
   (ALMA_MIN REGLA65) )
  ((MAYOR VAL_ELE MAXVAL)
   (ALMA_MAX REGLA65) )
  (REGRESA REGLA65) ))
```

* Regla utilizada para determinar los principales elementos conductores de el calor y la electricidad. *

```
(DEFUN REGLA67 (LAMBDA (LST PROP)
  ((AND
   (IGUAL PROP CE)
   (MAYOR PROP 196999) )
  (AGREGA REGLA67) )
  ((AND
   (IGUAL PROP CT)
   (MAYOR PROP 1479999) )
  (AGREGA REGLA67) )
  (REGRESA REGLA67) ))
```

* Regla utilizada para determinar si es posible la combinación entre dos elementos de la tabla periódica. *

```
(DEFUN REGLA68 (LAMBDA (LST)
  ((AND
   (MAYOR EP CAR_LST)
   (NEGATIVO EO CAR_LST)
   (POSITIVO EO ATOMO) )
  (AGREGA REGLA68) )
  ((AND
   (MENOR EP CAR_LST)
   (NEGATIVO EO ATOMO)
   (POSITIVO EO CAR_LST) )
  (AGREGA REGLA68) )
  (REGRESA REGLA68) ))
```

APENDICE C

GRAMATICA UTILIZADA PARA TRATAR TEXTOS EN CASTELLANO

Se presenta a continuación la gramática utilizada para tratar textos en castellano. En el capítulo 6, sección 6.2 se presentan resultados obtenidos del procesador de lenguaje natural utilizando esta gramática.

La definición sintáctica de la misma corresponde a la presentada en el capítulo 3, sección 3.1.1. Los símbolos terminales que aparecen en la siguiente descripción corresponden a símbolos variables en la siguiente forma :

```
<red tran> ::= SN / INT

<nombre subred> ::= FRA1 / FRA2 / FRA3 / FRA4 / FRA5
                  SV / FR1 / FR2 / FR3 / FR4

<nombre categoría> ::= ARTDET / SUSCOM / ARTIND / ADJPOS
                    / SUSPRO / PROPER / CONEC /
                    / ADJCAL / VERBO / PRON_INT1 /
                    PRON_INT2 / VACIO

<acción> ::= COMPARA / UNIFICA / SENPRE /
            ACCION_1 / ALMACENA
```

<estado> ::= 0 / 1

La gramática es la siguiente :

(SN ((ARTDET SUSCOM 0 COMPARA 1 FRA2)
(ARTIND SUSCOM 0 COMPARA 1 FRA2)
(ADJPOS SUSCOM 0 COMPARA 1 FRA2)
(SUSPRO 1 FRA3)
(PROPER 1 FRA3)))

(FRA1 ((CONEC ADJCAL 0 COMPARA 1 FRA1)
(VACIO 1 FRA3)))

(FRA2 ((ADJCAL 0 COMPARA 1 FRA1)
(VACIO 1 FRA3)))

(FRA3 ((CONEC SUSCOM 1 SN)
(VACIO 0 UNIFICA 1 SV)))

(FRA4 ((CONEC 1 FRAS)
(VACIO 0 ALMACENA)
(CONEC 0 SENPRE 1 SN)))

(FRAS ((VERBO 0 COMPARA 1 FRA4)
(VACIO 0 SENPRE 1 SN)))

(SV ((VERBO 0 COMPARA 1 FRA4)))

(INT ((PRON_INT1 VERBO 0 COMPARA 1 FR1)
 (PRON_INT2 VERBO 0 COMPARA 0 ACCION_1)))

(FR1 ((ARTDET SUSCOM 0 COMPARA 1 FR2)
 (ARTIND SUSCOM 0 COMPARA 1 FR2)
 (ADJPOS SUSCOM 0 COMPARA 1 FR2)
 (SUSPRO 1 FR3)
 (PROPER 1 FR3)))

(FR2 ((ADJCAL 0 COMPARA 1 FR4)
 (VACIO 1 FR3)))

(FR3 ((CONEC SUSCOM 1 FR1)
 (VACIO 0 UNIFICA 0 COMPARA 0 ACCION_1)))

(FR4 ((CONEC ADJCAL 0 COMPARA)
 (VACIO 1 FR3)))

El jurado designado por la Sección de Computación del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, aprobó esta tesis el 4 de septiembre de 1987.



Dr. Guillermo Morales Luna



Dr. Josef Kolar



Dra. Ana María Martínez Enriquez

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

BIBLIOTECA DE INGENIERIA ELECTRICA
FECHA DE DEVOLUCION

*El lector está obligado a devolver este libro
antes del vencimiento de préstamo señalado
por el último sello.*

09 JUN. 1988

15 JUL. 1988

29 JUL. 1988

07 DIC. 1988

24 ENE. 1989

02 JUN. 1989

10 ABR. 1990

- 5 AGO 2002

DEVOLUCION

