



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB, QUE SE EMPLEE  
EN EL ANÁLISIS NUMÉRICO Y GRÁFICO DEL ORIGEN Y  
EVOLUCIÓN DE ROCAS VOLCÁNICAS.

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**I N G E N I E R O   E N   C O M P U T A C I Ó N**  
P R E S E N T A N :  
**S I L V E S T R E   R U Í Z   S A L I N A S**  
**L U I S   A L B E R T O   V I L L A   G A R C Í A**



DIRECTOR DE TESIS  
DR. JUAN CARLOS MORA CHAPARRO

CIUDAD UNIVERSITARIA

2005

m. 344544



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.  
Luis Alberto Villa García.

Gracias a mi madre, Beatríz García, por su apoyo e inagotable amor que he recibido, a lo largo de toda mi existencia. Igualmente, agradezco a mi hermano, Juan Carlos, que por su ejemplo, apoyo y confianza, han enriquecido mi formación personal y hemos superado juntos momentos difíciles.

Agradezco también, a todos mis amigos de generación, con los cuales compartí día a día nuevas y excitantes experiencias. En particular, a Silvestre, por su sincera amistad y confianza brindada.

En especial, hago un reconocimiento a mi asesor Dr. Juan Carlos Mora, por haberme proporcionado su conocimiento, ayuda y afecto durante todo el desarrollo de este trabajo. Así como también, al profesor Alejandro Velásquez Mena, quién revisó mi primer borrador, haciéndome valiosos comentarios y correcciones que contribuyeron a mejorar este trabajo en la parte de la computación. Y a mis Profesores, cuyos conocimientos y experiencias que me proporcionaron a lo largo de la carrera, hicieron posible mi formación profesional, a todos ellos, gracias.

Agradecimientos.  
Silvestre Ruiz Salinas.

Agradezco a Dios y a mis padres, Raymundo Ruíz Rosas y Romana Salinas Martínez y a mis hermanos, Oscar, Eduardo y Daniel, por su apoyo en momentos difíciles, y por compartir conmigo los mejores momentos de la vida, agradezco a mi padre por sus consejos y a mi madre por el cariño que siempre me ha brindado al igual que a mis hermanos.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por brindarme una educación académica, que me ha formado como profesionista para colaborar al desarrollo de la Nación.

Al Dr. Juan Carlos Mora Chaparro, como representante del departamento de Vulcanología del Instituto de Geofísica, le estaré agradecido por el apoyo y los conocimientos brindados durante la realización de este trabajo de tesis, por sus consejos y la confianza que depositó en mí persona.

**Dedicatoria.**  
**Silvestre Ruíz Salinas.**

Dedico esta tesis a todos mis amigos, profesores y compañeros de la Facultad de Ingeniería y del Instituto de Geofísica, especialmente dedico esta tesis a mi amigo Luis Alberto Villa por el tiempo y dedicación mostrada a lo largo de éste trabajo.

# ÍNDICE

## Introducción

### Capítulo I Rocas Ígneas volcánicas

I.1 Origen de las rocas ígneas volcánicas	1
I.2 Clasificación	3
I.2.1 Clasificación en función de su composición mineral, textura y color	4
I.2.1.1 Principales constituyentes de las rocas volcánicas	8
I.2.2 Clasificación en función de su composición química	11
I.2.2.1 Composición química	14
I.2.2.2 Elementos mayores	15
I.2.2.3 Elementos traza	18
I.2.2.3.1 Comportamiento de los elementos traza en los sistemas magmáticos	19
I.2.2.3.2 Coeficiente de Distribución o Partición de los elementos traza	21
I.3 Procesos de evolución magmática	23
I.3.1 Fases minerales	24
I.3.2 Procesos de diferenciación magmática	26
I.3.3 Modelos matemáticos de los principales procesos de evolución magmática	31
I.3.3.1 Cristalización Fraccionada (CF)	31
I.3.3.2 Asimilación más Cristalización Fraccionada (A+CF)	33
I.3.3.3 Mezcla de Magmas (MM)	34

### Capítulo II Conceptos generales de Ingeniería de Software

II.1 Introducción	36
II.2 Metodologías de desarrollo de software	39
II.2.1 Metodologías estructuradas	42
II.2.2 XP (Programación Extrema)	44
II.2.3 La Familia de Cristal de Cockburn	46
II.2.4 El Desarrollo de Software Adaptable de Highsmith	46
II.2.5 Scrum	48
II.2.6 DSDM (Método de Desarrollo de Sistema Dinámico)	48
II.2.7 Proceso Unificado	49
II.3 Arquitectura de Aplicaciones	51
II.4 Tecnologías Web	56
II.4.1 Desarrollo de Aplicaciones Web del lado del Cliente	56
II.4.2 Desarrollo de Aplicaciones Web del lado del Servidor	57
II.5 Servidores de Aplicación (Servidores Web)	62
II.6 Conceptos generales de Bases de Datos	67

### Capítulo III Sistema de Evolución Magmática (SEM)

III.1 Introducción	74
III.2 Captura de requisitos	74
III.2.1 Descripción del sistema	74
III.2.2 Lista de características deseadas	78
III.2.3 Requerimientos funcionales	79
IV.2.3.1 Diagramas de caso de uso y sus posibles escenarios	81

### Capítulo IV. Análisis

IV.1 Diagrama de paquetes	115
IV.2 Diagrama de componentes	116
IV.3 Diagrama de clases	121
IV.4 Diagrama de secuencias	122
IV.5 Diagrama de actividades	125

<b>Capítulo V. Diseño</b>	
V.1 Introducción	129
V.1 Flujo de navegación de la GUI	131
V.2 Diagrama de instalación	132
V.3 Diseño de la base de datos	133
<b>Capítulo VI. Implementación</b>	
VI.1 Partes más importantes implementadas	134
VI.2 Interfaz gráfica de la aplicación	137
VI.3 Implantación	146
VI.4 Plan de pruebas	146
<b>Conclusiones.</b>	152
<b>Referencias.</b>	154
<b>Apéndice A. Metodología para el desarrollo del sistema</b>	156
A.1 Proceso Unificado de Desarrollo de Software	157
A.1.1 La vida del Proceso Unificado	161
A.1.1.1 Fases dentro del Ciclo de Desarrollo	163
A.1.2 Los beneficios del Proceso Unificado	165
A.2 Lenguaje Unificado de Modelado	166
A.2.1 Diagramas más importantes	167
<b>Apéndice B. Tablas de Coeficientes de Repartición.</b>	173

## Introducción

En el departamento de vulcanología del Instituto de Geofísica, se llevan acabo proyectos de investigación sobre el origen y evolución de los magmas que han sido emitidos durante distintos tipos de erupciones volcánicas en diferentes volcanes. Las investigaciones se han enfocado en entender la relación entre la evolución del magma y el tipo de actividad volcánica, con el objetivo principal de tratar de predecir la intensidad y tipo de eventos futuros.

La evolución de un magma se refiere a los diferentes tipos de rocas que pueden originarse al variar la composición química, la temperatura y presión del magma.

Actualmente para estudiar la evolución de un magma, los investigadores y estudiantes utilizan hojas electrónicas de cálculo (Excel) como medio para realizar cálculos y operaciones con ecuaciones matemáticas, para estimar así, Modelos de Evolución Magmática (MEM), principalmente Cristalización Fraccionada (CF), Asimilación más Cristalización Fraccionada (A+CF) y Mezcla de Magmas (MM), dado que éstos se consideran como los procesos más dominantes durante la evolución de un sistema magmático.

El uso de las hojas de cálculo ha sido de fundamental importancia para el desarrollo de estas investigaciones, pero actualmente por la gran cantidad de información que se va utilizando, comienza a ser muy lento el avance del mismo.

Por ejemplo, en cada hoja de Excel se realiza parte de los cálculos de un proceso, esto es, cada hoja de Excel arroja resultados parciales, que a su vez son utilizados como datos de entrada en otras hojas de cálculo, esto conlleva a estar pasando por varias hojas de Excel hasta obtener el resultado final para un mismo proceso, además de tener múltiples ventanas en el escritorio de trabajo. Incluso, cuando se tenga que cambiar algunos valores de entrada a efecto de pruebas, obligaría a recalcular las operaciones en todo el proceso y consumir más tiempo. Por consiguiente, el trabajo de modelar los procesos es complicado y laborioso cuando se tienen que realizar múltiples cálculos y análisis de un mismo proceso y/o combinaciones para llegar a una evaluación final.



Cuando se modela cualquier proceso, no sólo se analizan los resultados de forma numérica, sino también de forma gráfica con la finalidad de realizar comparaciones.

Actualmente existen programas que resuelven parcialmente los problemas antes mencionados, pero son complejos en funcionalidad y uso; algunos sólo permiten obtener resultados gráficos y no numéricos, o viceversa, por lo que se dificulta la interpretación de los resultados. Otros sólo modelan algunos de los procesos magmáticos pero ninguno integra los tres principales procesos de evolución magmática, siendo éste uno de los objetivos del presente trabajo.

El objetivo principal es implementar una herramienta de cómputo especializada en modelar procesos de evolución magmática, resolviendo los problemas antes mencionados.

Proponemos desarrollar una aplicación Web que sirva a investigadores y estudiantes de Ciencias de la Tierra, implicados en el estudio y origen de las rocas magmáticas. Una aplicación en donde se puedan realizar análisis y modelado, de forma automatizada, de los procesos de Cristalización Fraccionada (CF), Asimilación más Cristalización Fraccionada (A+CF) y Mezcla de Magmas (MM), proporcionando un sistema de fácil manejo y confiabilidad.

Una de las metas es mejorar e integrar, el análisis numérico y gráfico, de los procesos magmáticos, proporcionando al investigador y/o estudiante la representación y visualización de los resultados de forma clara y dinámica para su comparación e interpretación.

Se espera que con la creación del sistema Web, éste apoye a los investigadores a estimar el proceso o los procesos magmáticos que más influyeron en la formación de las rocas volcánicas y asociarlos con el tipo de actividad volcánica. Proporcionándoles así, una herramienta software que facilite el modelar los procesos magmáticos más importantes y pueda ser usado en cualquier parte del mundo donde se realice este tipo de estudios, ya que estará disponible en Internet.

Debido a que las rocas se obtienen en depósitos que se formaron por erupciones volcánicas antiguas o recientes de un volcán, encontrar la relación entre la evolución de un sistema magmático y el tipo de actividad volcánica es de gran relevancia e interés científico, dado que se puede disminuir y prevenir riesgos volcánicos, colaborando así en la zonificación y elaboración de mapas de riesgos volcánicos.

En el Capítulo I se presenta, de forma general, los conceptos básicos acerca de las rocas ígneas volcánicas, describiendo su origen en las principales zonas de actividad magmática, además se describen las características mineralógicas y químicas que conforman las rocas ígneas, así como su clasificación en base a sus minerales y textura y en base a su composición química; esto con la finalidad de comprender los procesos que se llevan a cabo en la evolución de una cámara magmática y las variables que se toman en consideración en los modelos matemáticos de los procesos de evolución magmática.

Se presentan también los conceptos sobre elementos mayores y elementos traza y los principales elementos químicos que se utilizan en el análisis químico de las rocas ígneas.

También se presentan los modelos matemáticos de Cristalización Fraccionada y Mezcla de Magmas utilizando elementos mayores y elementos traza, y Asimilación más Cristalización Fraccionada utilizando sólo elementos traza.

En el Capítulo II se describen conceptos generales sobre Ingeniería de Software, se presenta además, un análisis de los diferentes tipos de arquitectura y una descripción de las tecnologías Web desarrolladas del lado del cliente y del lado del servidor, así como una descripción de los servidores Web Apache, Tomcat, IIS, además de conceptos generales sobre base de datos. Por último, se presentan algunas metodologías de desarrollo que se utilizan en la Ingeniería de Software, describiendo de forma general la metodología empleada en esta tesis, el proceso unificado de desarrollo de software o simplemente PU.

Todo esto como parte importante en la selección de las diferentes herramientas a utilizar en la implantación y en la programación del Software.

En el Capítulo III se presenta la etapa de análisis de requerimientos, que comprende una descripción del sistema, una lista de características deseadas, los requerimientos funcionales como los diagramas de casos de uso y la descripción de los diferentes escenarios de los casos de uso. Esto nos permite analizar y encontrar las necesidades que el usuario necesita satisfacer y que el sistema de software debe cubrir, al plantear los diferentes escenarios que se tienen en la lógica del negocio.

En el Capítulo IV se describe la etapa de análisis del sistema, en el cual se presentan los diagramas de paquetes, clases, actividades, y secuencia o interacciones, esto con el fin de obtener diferentes representaciones del sistema de software a implementar, dándonos así la posibilidad de hacer correcciones y de retroalimentar los requerimientos. Los diagramas

mostrados son el resultado del análisis de los casos de uso obtenidos en la etapa de análisis de requerimientos.

En el Capítulo V se presenta el diseño del sistema y se presentan los diagramas de navegación de la GUI y el diagrama de instalación. Se presenta además el diseño de la base de datos utilizando diagramas de entidad-relación.

En el Capítulo VI se describe la implementación, la interfaz gráfica de usuario y el plan de pruebas del sistema. En la parte de implementación se describen la programación de los modelos de Cristalización Fraccionada y Asimilación más Cristalización Fraccionada principalmente y la parte en la cual se realiza la conexión con la base de datos y la consulta a la misma.

Enseguida del capítulo VI se presentan las conclusiones del trabajo de tesis.

Por último se incluye un anexo para describir con más detalle el Proceso Unificado y el Lenguaje de Modelado Unificado.

# Capítulo I Rocas ígneas volcánicas

## I.1 Origen de las rocas ígneas volcánicas.

El término *ígneo* proviene de la palabra “ignis”, del latín que significa "fuego". Las rocas ígneas constituyen la mayor parte de las rocas de la corteza terrestre y se forman conforme se enfría y solidifica el magma. Existen diferentes tipos de rocas de acuerdo al lugar de formación, cuando se forman al interior de la corteza terrestre se denominan rocas ígneas intrusivas y cuando se forman sobre la superficie terrestre se denominan rocas ígneas volcánicas o extrusivas, éstas últimas generalmente tienen su origen debido a erupciones volcánicas ya sea de tipo efusivo o explosivo.

La actividad volcánica se manifiesta en zonas de la corteza terrestre muy bien definidas, tal como en puntos calientes o en áreas de separación y choque de placas tectónicas.

Para comprender la actividad volcánica en éstas zonas es necesario entender cómo está constituida la corteza de la Tierra y los fenómenos que en ella ocurren.

La corteza terrestre está dividida en fragmentos denominados placas tectónicas, éstas se encuentran en movimiento unas con otras y cambian continuamente de tamaño y forma. Su movimiento es provocado por corrientes de convección generadas por la distribución desigual del calor en el interior de la Tierra. Estas corrientes provocan que las placas se desplacen sobre la astenósfera, parte plástica de la Tierra que se localiza entre el manto superior y la corteza inferior.

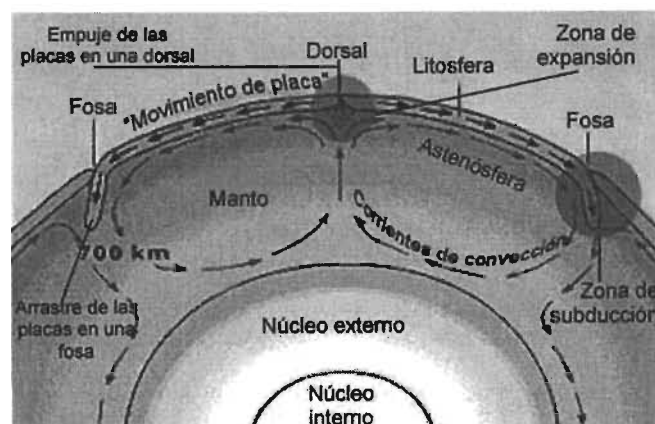
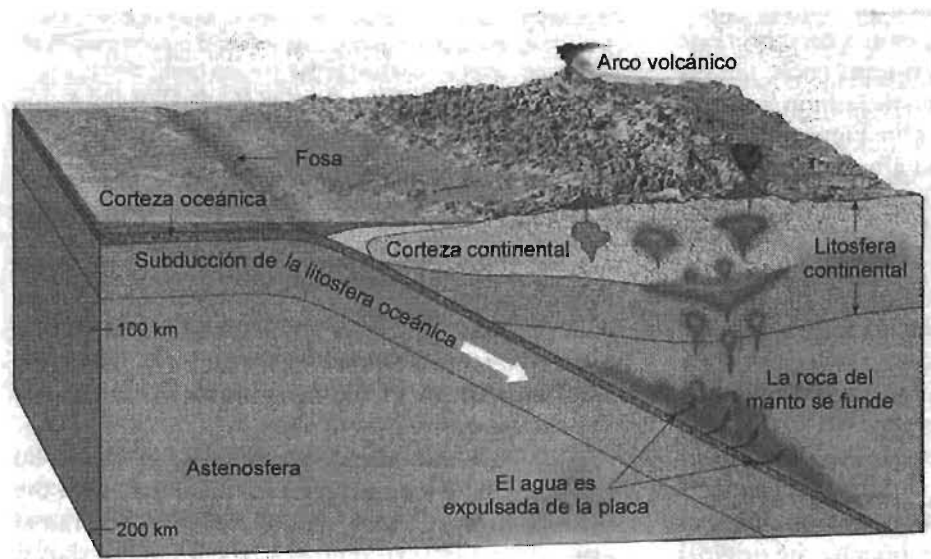


Figura I.1 Regiones de actividad ígnea y estructura interna de la Tierra.

El movimiento entre placas origina zonas de colisión (zonas de subducción), zonas de separación (dorsal oceánica) y zonas de desplazamiento (zonas de transformación) (Tarbuck *et al.*, 2002). En estas zonas se presenta la mayor actividad ígnea, que se refiere a la generación y emisión de magma (figura I.1).

Abundantes pruebas apoyan el hecho de que el magma se origina por un proceso denominado fusión parcial o total de roca preexistente. La fusión parcial se produce a varios niveles dentro de la corteza terrestre o en el manto superior (figura. I.2).

La roca fundida forma un cuerpo magmático, que asciende hacia la superficie, porque es menos denso que las rocas que le rodean y cuando llega a la superficie terrestre produce una erupción volcánica, el magma que no llega a la superficie se queda en la corteza. El lugar donde se acumula el magma antes de salir a la superficie se denomina cámara magmática. Cuando el magma alcanza la superficie de la Tierra se denomina lava. Las erupciones sucesivas se manifiesta en la mayoría de las veces a partir de una chimenea central; el material arrojado se acumula dan lugar a una estructura montañosa que se denomina volcán.



**Figura I.2** Conforme una placa oceánica desciende hacia el manto, el agua y otros compuestos volátiles desaparecen de las rocas de la corteza subducida. Estos volátiles disminuyen la temperatura de fusión de las rocas del manto lo bastante como para generar fusión. (Figura tomada de Tarbuck *et al.*, 2002)

Un volcán puede expulsar el magma con violencia “actividad explosiva” o con tranquilidad “actividad efusiva”. Los principales factores que influyen en el tipo de actividad que presenta un volcán son principalmente la composición química del magma, la temperatura,

la cantidad de gases disueltos que contiene y la densidad. Un magma más viscoso está asociado a una erupción explosiva, que puede ser cinco veces mayor que la de un magma expulsado de manera tranquila.

El magma es una mezcla muy compleja de silicatos fundidos, a temperaturas muy elevadas, entre 700° y 1200°, con una proporción de agua y otros compuestos volátiles que a grandes presiones se encuentran diluidos en el magma.

El magma se puede definir como un sistema compuesto de una fase líquida, que contiene todos los elementos químicos en solución, una fase sólida en forma de cristales en suspensión y una fase gaseosa.

La mayor parte del magma se compone de iones móviles de los ocho elementos más abundantes de la corteza terrestre, silicio (Si), oxígeno (O), aluminio (Al), potasio (K), calcio (Ca), sodio (Na), hierro (Fe) y magnesio (Mg), (Tarbuck et al., 2002), los cuales también son principales constituyentes de los silicatos.

Conforme se enfría un magma, los movimientos aleatorios de esos iones disminuyen de velocidad y tienden a formar estructuras cristalinas ordenadas, son generalmente los átomos de silicio y oxígeno los primeros que se enlazan para formar tetraedros de silicio-oxígeno, la estructura básica de los silicatos. Conforme el magma sigue perdiendo calor hacia su entorno, los tetraedros se unen entre sí y con otros iones para formar embriones de núcleos de cristales, los núcleos crecen lentamente conforme los iones pierden su movilidad y se unen a la red cristalina.

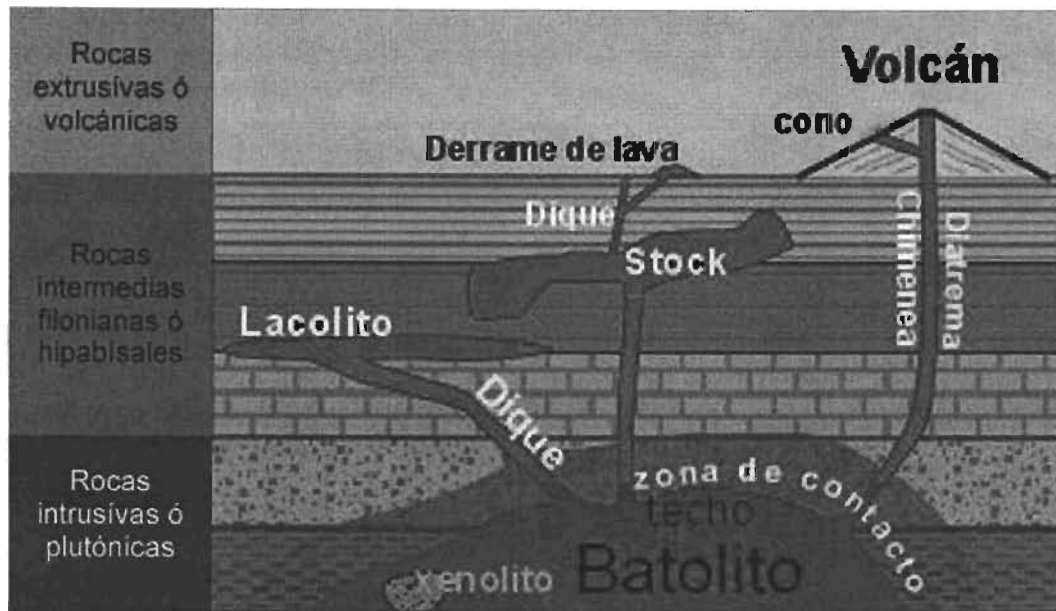
Los primeros minerales que se forman tienen espacio para crecer y tienden a tener caras cristalinas mejor desarrolladas que los últimos que rellenan el espacio restante. Por último, todo el magma al enfriarse forma la roca ígnea.

## **I.2 Clasificación.**

La Petrología, en su rama de petrología ígnea, se encarga de estudiar la composición, estructura, génesis, emplazamiento e historia natural de las rocas ígneas que se dividen en tres grupos: plutónicas (rocas ígneas que se forman en profundidad), volcánicas (rocas ígneas que se forman cuando se solidifica la roca fundida en la superficie terrestre) y filonianas (rocas ígneas intermedias que se constituyen a poca profundidad, también llamadas hipabisales; figura I.3).

Las rocas ígneas se clasifican en base a:

- Su modo de formación.
- Color.
- Composición mineral y textura.
- Composición química.








**Figura I.3** Clasificación de acuerdo a su lugar de emplazamiento.

### I.2.1 Clasificación en función de su composición mineral, textura y color.

Dado que no hay dos magmas idénticos en composición y que cada magma cristaliza en ambientes distintos, debido a procesos que pueden modificar la composición de los magmas primarios, existe una gran variedad de rocas ígneas. No obstante, es posible clasificar las rocas ígneas en función de su composición mineral y de las condiciones bajo las cuales se formaron. La textura, propiedad de la roca, permite deducir de manera aproximada, por medio del tamaño y la ordenación de los granos minerales, el ambiente durante la cristalización.

La figura I.4 resume la clasificación de las rocas ígneas de acuerdo a su textura y composición mineral.

Composición Química		Félsica (Granítica)	Intermedia (Andesítica)	Máfica (Basáltica)	Ultramáfica	
Mineral Dominante		Cuarzo Feldespato potásico Feldespato plagioclasa rico en Sodio	Anfibol Feldespato plagioclasa rico en Sodio y Calcio	Piroxeno Feldespato plagioclasa rico en Calcio	Olivino Piroxeno	
Minerales Accesorios		Anfibol Muscovita Biotita	Piroxeno Biotita	Anfibol Olivino	Feldespato plagioclasa rico en Calcio	
Color de la roca (basado en % de minerales oscuros)		0% a 25%	25% a 45%	45% a 85%	85% a 100%	
TEXTURA	Fanerítica (grano grueso)		Granito	Diorita	Gabro	Peridotita
	Afanítica (grano fino)		Riolita	Andesita	Basalto	Komatita (rara)
	Porfírica		"Porfírica" procede de algunos nombres de arriba donde sea que se aprecien fenocristales			No comunes
	Vitrea		Obsidiana (vidrio compacto) Pómez (vidrio espumoso)			
	Piroclástica (fragmental)		Toba (Fragmentos menores a 2mm) Brecha volcánica (Fragmentos mayores a 2mm)			

**Figura I.4** Clasificación de los grupos mayores de rocas ígneas basado en su composición mineral y textura. Las rocas faneríticas (de grano grueso) son plutónicas, y solidifican en zonas profundas del interior de la Tierra. Las rocas afaníticas (grano fino) son volcánicas, y solidifican cerca de la superficie de la Tierra. (Figura tomada de Tarbuck *et al.*, 2002)

Las diferentes texturas de las rocas ígneas son consecuencia principalmente de distintas historias de enfriamiento, mientras que la composición mineral es consecuencia de la composición química del magma y de las condiciones bajo las cuales se formaron. En la figura I.4 se observa que, dos rocas ígneas pueden ser similares en composición mineral y, sin embargo, pueden tener texturas diferentes, de ahí que reciban nombres diferentes. Por ejemplo, el granito, roca plutónica de grano grueso, tiene una composición mineral similar que la riolita que es una roca volcánica de grano fino, la diferencia de textura es debido a que tienen historias de enfriamiento diferentes, por lo que no lucen iguales.

Conforme el magma se enfría y solidifica, se forman dos grupos importantes de silicatos, los oscuros y los claros. Los silicatos oscuros (o ferro magnesianos) son minerales ricos en hierro y en magnesio, normalmente con bajo contenido en sílice. Ejemplo de los silicatos oscuros más comunes son: el olivino, el piroxeno, el anfíbol y la biotita. Por el contrario, los silicatos claros (o no ferro magnesianos) contienen mayores cantidades de potasio, sodio y calcio que de hierro y magnesio. Como grupo, los silicatos claros son más ricos en



silíce que los silicatos oscuros. Entre los silicatos claros se cuentan el cuarzo, la muscovita y el grupo mineral más abundante, los feldespatos (figura I.5).

### Principales rocas volcánicas

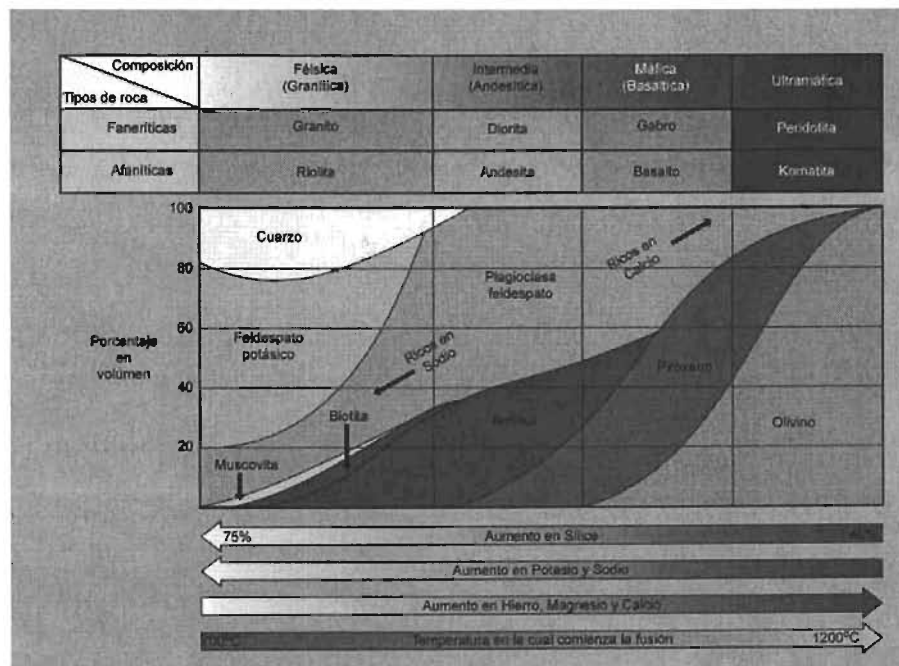
<b>Riolitas</b>	Rocas amarillentas, grises o verdosas, con clara estructura fluidal, compuestas de fenocristales de feldespato potásico (sanidina) y cuarzo. La matriz es vítrea fluidal con algunos microlitos de feldespato y biotita.
<b>Vidrios volcánicos</b>	Los magmas riolíticos producen abundantes vidrios. Pueden ser anhídros: obsidiana y piedra pómez, o hidratados: pechstein, etc.
<b>Traquitas</b>	Rocas de color gris ceniza o amarillentas, ásperas al tacto. Se componen de fenocristales de sanidina, plagioclasa y algunos piroxenos, sobre una matriz microlítica fluidal de los mismos minerales, predominando la sanidina. Yacen en forma de diques, cúpulas y domos, debido a su gran viscosidad.
<b>Andesitas</b>	Son rocas porfídicas de color gris, a veces casi negras, ásperas al tacto, compactas o algo porosas, compuestas de fenocristales de plagioclasa, andesita, anfíbol y piroxeno, que destacan sobre una matriz microlítica de los mismos elementos, con o sin vidrio. Abundan extraordinariamente en la cordillera de los Andes, de donde toman su nombre de andesitas. Después de los basaltos, son las lavas más abundantes en el Globo.
<b>Basaltos</b>	Son rocas negras, compactas y pesadas, compuestas esencialmente de plagioclasa, augita y olivino. Los fenocristales de plagioclasa son raros; pero, en cambio, son frecuentes los de augita y olivino, que dan a algunos basaltos aspecto porfídico. La matriz está compuesta de microlíticos de plagioclasa básica, augita, olivino y abundantes granillos de magnetita, con o sin sustancia vítrea. Son los más abundantes de todas las rocas volcánicas.
<b>Limburgitas</b>	Son rocas de aspecto basáltico y coloración pardo rojiza, ricas en fenocristales de augita y olivino sobre una abundante matriz vítrea, pardo amarillenta, rica en magnetita y de química alcalino, que forma más de la mitad de la roca. Son poco abundantes, y su nombre procede de la localidad de Limburg, en Alemania.
<b>Diabasas y Ofitas</b>	Comprenden las rocas volcánicas de profundidad. Sus condiciones de yacimientos más frecuentes son en forma de lacolitos y diques. Son rocas de grano grueso, o mediano, y tonos verdoso-oscuro, densas, holocristalinas y pobres en silíce (50%), con típica estructura diabásica. Están compuestos de plagioclasa, anfíbol y augita.

Tabla I.1 Principales rocas volcánicas. (Tarbuck et al., 2002)

Las rocas ígneas pueden estar compuestas mayoritariamente por silicatos oscuros o claros, o por miembros de los dos grupos combinados en varias proporciones y cantidades. Pese a su gran diversidad en su composición, las rocas ígneas pueden clasificarse en base al color que a groso modo esta en función de la proporción de minerales oscuros y claros (figura I.4). En la tabla I.1 se presenta el resume las principales rocas volcánicas.

Es importante mencionar que en la textura típica de las rocas volcánicas se advierten dos tiempos de cristalización: un primer tiempo, de cristalización lenta en profundidad, da lugar a la formación de grandes cristales idiomorfos que se denominan fenocristales, y un segundo tiempo, de cristalización rápida, ligada a la efusión del magma en superficie que da lugar a la formación de cristales microscópicos finos y alargados, microlitos envueltos por una pasta vítrea amorfa.

En la figura I.5, se distingue la clasificación en las rocas mostrando relación entre la composición química y mineral, tomando en cuenta su contenido en sílice, así como otros indicadores importantes en las composiciones ígneas.



**Figura I.5** Mineralogía de las rocas ígneas comunes y de los magmas del cual se formaron. (Figura tomada de Tarbuck et al., 2002).

### 1.2.1.1 Principales constituyentes de las rocas volcánicas.

Los principales constituyentes de las rocas son los minerales, actualmente se conocen casi 4000 minerales y se identifican cada año 40 ó 50 minerales nuevos, pero sólo una docena de minerales son los más abundantes en las rocas.

Los minerales son compuestos químicos que tienen forma y estructura cristalina y están compuestos principalmente por ocho elementos químicos. Estos elementos químicos constituyen la mayor parte de las rocas de la corteza terrestre (Tabla I.2).

Los dos elementos más abundantes son el silicio y el oxígeno, que se combinan para formar la estructura del grupo mineral más común, los silicatos.

*Los silicatos* además del oxígeno y silicio contienen uno o más elementos necesarios para establecer la neutralidad eléctrica, esos elementos adicionales dan lugar a la gran variedad de silicatos y a sus diversas propiedades. Todos los silicatos tienen el mismo componente básico fundamental, el tetraedro silicio-oxígeno. Esta estructura consiste en 4 iones de oxígeno que rodean a un ion de silicio mucho menor. El tetraedro silicio-oxígeno es un ion complejo  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  con una carga de -4. Esto quiere decir que la mayoría de las estructuras silicatadas no son compuestos químicos neutros. En el tetraedro individual los cationes (iones con carga positiva) que más a menudo enlazan para formar las estructuras silicatadas son el hierro (Fe), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), aluminio(Al), calcio (Ca), entre otros (Tarbuck et al., 2002).

<u>Elemento</u>	<u>Porcentaje aproximado en peso</u>
Oxígeno (O)	46.6
Silicio (Si)	27.7
Aluminio (Al)	8.1
Hierro (Fe)	5
Calcio (Ca)	3.6
Sodio (Na)	2.8
Potasio (K)	2.6
Magnesio (Mg)	2.1
Todos los demás	1.7
<hr/>	
Total	100



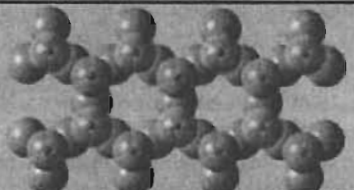
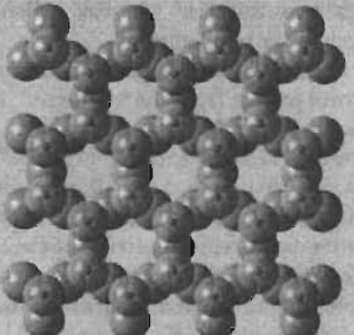
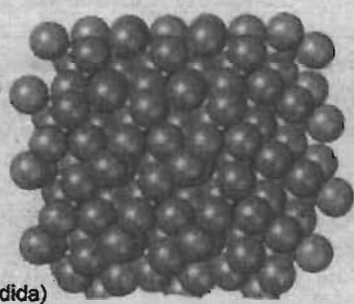
**Tabla I.2** Abundancia relativa de los elementos más comunes en la corteza terrestre. (Tarbuck et al. 2002).

En general, los iones de aproximadamente el mismo tamaño son capaces de sustituirse libremente entre sí. Por ejemplo, los iones de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) son casi del mismo tamaño y se sustituyen sin alterar la estructura del mineral. Lo mismo pasa con los iones calcio y sodio. Además, el aluminio (Al) a menudo sustituye al silicio en el tetraedro silicio-oxígeno.

Dada la capacidad de las estructuras de silicio para acomodar con facilidad diferentes cationes en un sitio de enlace determinado de su estructura cristalina, cada mineral puede contener cantidades variables de uno o varios elementos. Un mineral puede expresarse mediante una fórmula química y se escribe entre paréntesis los componentes químicos variables. Un buen ejemplo es el olivino,  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ , que es el silicato de magnesio/hierro. Como puede verse en la fórmula, son los cationes de hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) del olivino los que se sustituyen libremente entre sí, llegando a cristales enriquecidos en magnesio (forsferita  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) o enriquecidos en hierro (fayalita  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ). Por tanto, el olivino, así como muchos otros silicatos, es en realidad una familia de minerales con un espectro de composición comprendido entre dos miembros finales.

En la estructura cristalina de los minerales bajo ciertas condiciones físicas y químicas los iones se intercambian provocando variaciones en su composición química de los minerales. Por ejemplo, cuando el sodio ( $\text{Na}^{1+}$ ) sustituye al calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), la estructura gana una carga positiva. En el grupo de minerales del aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) sustituye al silicio ( $\text{Si}^{4+}$ ). Estas particulares sustituciones se producen en el grupo mineral de los feldespatos y principalmente en plagioclasas. Este grupo de minerales es el más abundante de los minerales encontrado en la corteza terrestre. Los miembros finales de esta serie son el silicato de calcio-aluminio (anortita,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) y un silicato de sodio-aluminio (albita,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ).

Los silicatos son el grupo mineral más abundante y tienen como componente básico el ion silicato ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ). En la figura 1.6 se muestran los principales grupos de silicatos y minerales comunes. Los feldespatos son con mucho el silicato más abundante, que comprende más del 50% de la corteza terrestre. El cuarzo, el segundo mineral más abundante de la corteza continental, es el único mineral común compuesto completamente por silicio y oxígeno.

Mineral		Fórmula idealizada	Exfoliación	Estructura de silicatos
Olivino		$(Mg,Fe)_2SiO_4$	Ninguna	Tetraedro simple 
Grupo de los piroxenos (augita)		$(Mg,Fe)SiO_3$	Dos planos en ángulos rectos	Cadenas sencillas 
Grupo de los anfíboles (hornblenda)		$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	Dos planos a $60^\circ$ y $120^\circ$	Cadenas dobles 
Micas	Biotita	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$	Un plano	Láminas 
	Muscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$		
Feldespatos	Ortosa	$KAlSi_3O_8$	Dos planos a $90^\circ$	Redes tridimensionales 
	Plagioclasea	$(Ca,Na)AlSi_3O_8$		
Cuarzo		$SiO_2$	Ninguna	(Vista expandida)

**Figura 1.6** Silicatos comunes. Observar que la complejidad de la estructura del silicato aumenta hacia abajo del diagrama. (Figura tomada de Tarbuck et al. 2002)

La mayoría de los silicatos cristalizan conforme el magma se va enfriando. Este enfriamiento puede producirse en la superficie terrestre, cerca de ella (temperatura y presión bajas) o a grandes profundidades (temperatura y presión elevadas). El ambiente durante la cristalización y la composición química de la roca fundida determinan en gran medida qué minerales se producen. Por ejemplo, el silicato olivino cristaliza a temperaturas elevadas, mientras que el cuarzo cristaliza a temperaturas mucho más bajas.

Cada mineral tiene una estructura y una composición química que indican las condiciones bajo las cuales se formó.

### 1.2.2 Clasificación en función de su composición química.

Todas las rocas ígneas pueden ser clasificadas en base a su composición química, aunque este criterio es especialmente apto para aquellas de grano muy fino (afaníticas) o vítreas (figura I.4), para las cuales la mineralogía es imposible de definir.

Se sabe que los silicatos están constituidos por ocho elementos químicos, entre los que se encuentran el oxígeno y el sílice como los más abundantes, de ellos dos, la sílice es el elemento químico más abundante, por ello y porque se encuentra como el principal componente químico en los minerales tanto de alta como de baja temperatura, es considerado como un indicador de diferenciación respecto al grado de evolución del magma y con base al contenido en sílice en las rocas estas se pueden clasificar como: rocas ácidas (>63%), rocas intermedias (63-52%), rocas básicas (52-45%) y rocas ultrabásicas (<45%), (Le Maitre et al., 2002 ; Tabla I.3).

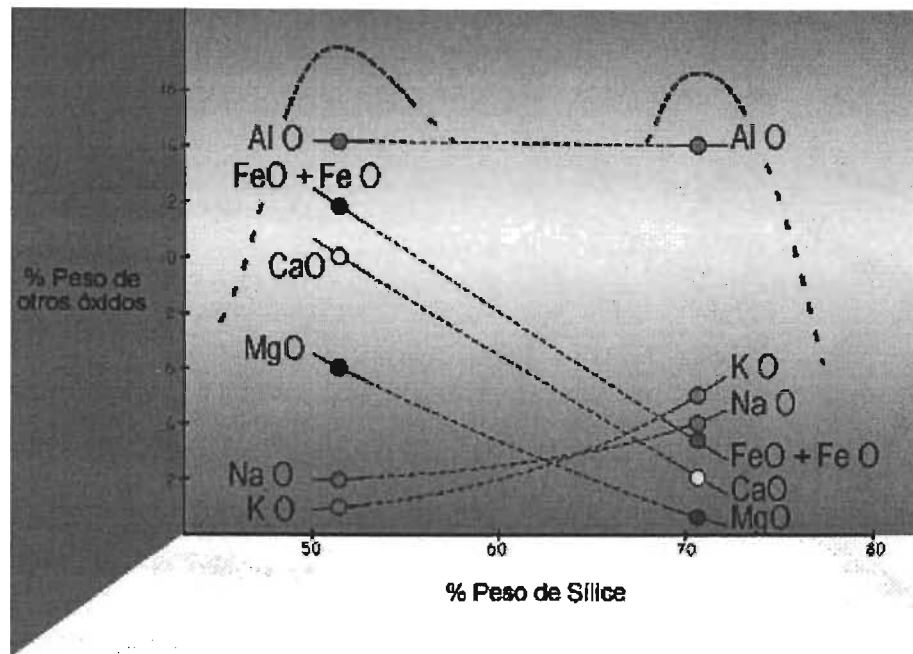
Se dice que un magma con alto contenido en sílice es un magma más evolucionado y con un índice de diferenciación mayor; cuando un magma tiene bajo contenido en sílice se dice que es un magma menos evolucionado y con un índice de diferenciación menor.

De acuerdo a lo anterior, el aspecto más importante en la composición química de las rocas ígneas es su contenido en sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Y en base al contenido en  $\text{SiO}_2$  las rocas ígneas se pueden agrupar para su clasificación química como rocas ácidas (con alto contenido de sílice) y rocas básicas (con bajo contenido de sílice), comprendiendo los siguientes tipos: Riolitas y Basaltos, respectivamente. (Le Maitre et al., 2002).

<b>ROCA</b>	<b>% de <math>\text{SiO}_2</math></b>
<b>ácidas:</b>	<b>&gt;63%</b>
<b>intermedias:</b>	<b>63 – 52%</b>
<b>básicas:</b>	<b>52 – 45%</b>
<b>ultra básicas:</b>	<b>&lt;45%</b>

**Tabla I.3** Clasificación según contenido en sílice. (Le Maitre et al., 2002)

La razón por la cual se ha tomado a la sílice como índice de diferenciación, es debido a que cada uno de los demás elementos químicos no se encuentran siempre en la estructura cristalina (figura I.7).



**Figura I.7** Comportamiento de los óxidos respecto a la sílice.

En la figura I.7 se observa que:

El porcentaje de los óxidos de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), presentan una correlación positiva con respecto al aumento del óxido de silicio. Esto se ve reflejado en la mineralogía de las rocas ácidas, ricas en feldspatos potásicos y plagioclasas sódicas.

1. Los óxidos de hierro ( $\text{FeO}$ ), calcio ( $\text{CaO}$ ) y magnesio ( $\text{MgO}$ ) disminuyen proporcionalmente al aumentar el contenido en sílice ( $\text{SiO}_2$ ). De allí que en las rocas básicas presenten un contenido mayor en minerales ferro magnesianos como los piroxenos, anfíboles, olivinos y que las plagioclasas sean más cálcicas.
2. El aluminio, sin embargo, permanece aproximadamente constante (14% en peso) al aumentar la sílice.

La cantidad de sílice presente en el magma influye fuertemente en su comportamiento y determina la naturaleza de una erupción volcánica. La viscosidad de un magma está directamente relacionada con su contenido en sílice, cuanto más sílice tenga un magma, mayor será su viscosidad; la viscosidad de un magma durante una erupción explosiva puede ser cinco veces mayor que la del magma expulsado de una manera tranquila.

El magma granítico, el cual tiene alto contenido en sílice, es muy viscoso (espeso) y permanece como líquido a temperaturas tan bajas como 700°C. Por otro lado, los magmas basálticos son bajos en sílice y generalmente más fluidos, se solidifican a temperaturas más altas que los magmas graníticos y se solidifican completamente a temperaturas de hasta 900°C. (tabla I.4).

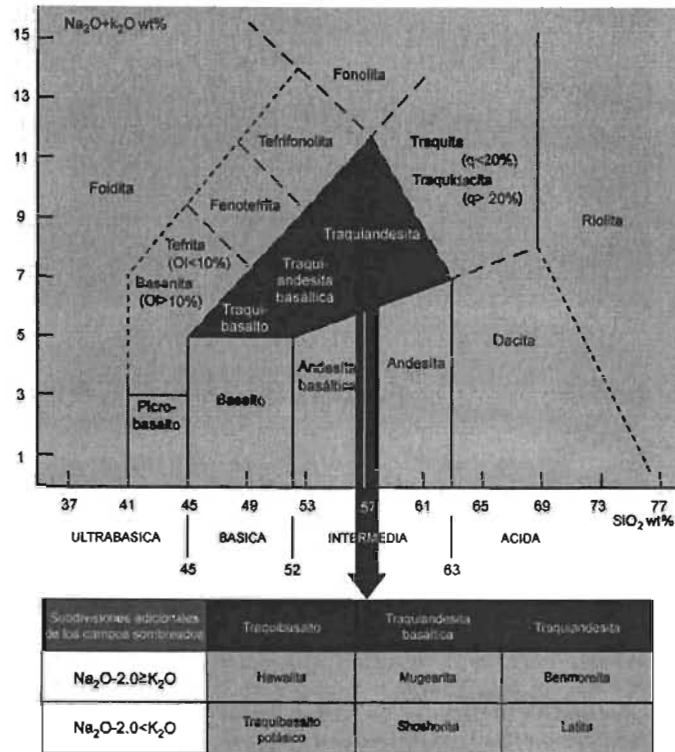
Composición	Contenido en sílice	Viscosidad	Contenido gaseoso	Tendencia a formar elementos piroclásticos	Forma volcánica
Magma máfico (basáltico)	Aprox (~50%)	Menor	Menor (1-2%)	Poca	Volcanes en escudo Llanuras basálticas Conos de ceniza
Magma intermedio (andesítico)	Aprox (~60%)	Intermedia	Intermedio (3-4%)	Intermedia	Conos compuestos
Magma félsico (granítico)	Aprox (~70%)	Mayor	Mayor (4-6%)	Grande	Domos volcánicos Coladas piroclásticas

**Tabla I.4** Características físicas y químicas de los magmas (Tarbuck et al., 2002)

Uno de los diagramas más utilizado para la clasificación química de las rocas volcánicas es el diagrama Alcalis Total vs Sílice (TAS; por sus siglas en inglés). La versión actual del diagrama TAS (Le Maitre et al., 2002) fue hecha en base a un juego de análisis de 24000 muestras volcánicas frescas y los límites de los campos se definieron de acuerdo al mínimo traslape entre los mismos.

El diagrama TAS (figura I.8) divide las rocas en ultrabásicas (<45% en peso), básicas (45-52% en peso), intermedias (52-63% en peso) y ácidas (>63% en peso) en base al contenido de sílice. Para utilizar este diagrama es necesario que las rocas a analizar no presenten metamorfismo o alteración.





**Figura I.8** Clasificación química de las rocas volcánicas usando TAS (diagrama sílice-alcalis total). Abreviaciones: ol= olivino normativo, q= cuarzo, an= contenido de anortita de plagioclasa, or= álcalis feldespato, ab = albite ;  $q = 100 \cdot Q / (Q + or + ab + an)$  normativo. (Figura tomada de Le Maitre et al., 2002)

### I.2.2.1 Composición química.

Las rocas ígneas contienen elementos químicos que por su abundancia se dividen en elementos mayores en cantidades mayores al 1%p (uno por ciento en peso), elementos menores, en cantidades entre 1.0 - 0.1%p y elementos traza, que para ciertos autores los consideran como elementos menores, donde se tienen en cantidades menores al 0.1%p y se definen en partes por millón (ppm).

El criterio que se utiliza es el tradicional, tomando como mayores los mas abundantes, a pesar de que en la roca estén en pequeña proporción. Ya que aproximadamente el 99% de nuestro planeta está constituido solamente por 14 elementos que son Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, C, O, H, N los cuales se les llamaron elementos mayores (que para efectos de análisis de la roca no tiene caso incluir los elementos C, O, H, N (Rollinson et al., 1989). Los otros elementos naturales (más de 70), los cuales se les llamaron elementos

traza (Rollinson et al., 1989), son tan escasos que prácticamente no intervienen en la caracterización de los materiales.

La concentración en elementos mayores y traza en las rocas poseen un comportamiento distinto, los elementos mayores formarán minerales propios y los elementos traza, sin embargo, sustituyen a otros elementos en la estructura cristalina, tal es el caso del Mg que es sustituido por Ni en olivinos.

Aunque los elementos traza no determinan las características que definen a las rocas y minerales, sí son utilizados para determinar los procesos físico-químicos durante la evolución de un magma.

### 1.2.2.2 Elementos mayores.

La combinación de elementos mayores forman los minerales más comunes y abundantes (olivino, piroxeno, anfíbol, micas, plagioclasas y cuarzo; Tarbuck, 2002; Rollinson et al., 1989).

En general, los análisis de los elementos mayores se utilizan principalmente en tres casos:

- a) Para la clasificación de rocas.
- b) En la construcción de diagramas de variación.
- c) Como una medida de comparación de las composiciones de rocas determinadas experimentalmente con aquellas previamente conocidas.

Los diagramas de construcción sirven para mostrar la interrelación entre los elementos de un grupo de rocas y permiten inferir cuál o cuáles procesos originaron a esas rocas.

La utilización de elementos mayores, como medida de comparación de las composiciones de roca con magmas de composición similar bajo un rango de condiciones físicas, permite hacer inferencias acerca de las condiciones de fusión y cristalización.

Los elementos mayores en rocas ígneas, como se mencionó anteriormente se expresan como óxidos, así tenemos:

#### Óxidos (Rollinson et al., 1989)

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> O	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
------------------	------------------	--------------------------------	--	--------------------	-----	-----	-------------------	------------------	-------------------------------

Se destaca que el Fe puede aparecer como FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o bien, como FeO total o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> total. Todos los elementos se expresan en porcentaje en peso y la suma de los óxidos en porcentajes en peso de la composición química de una roca volcánica debe ser alrededor del 100%.

En la utilización de los elementos mayores existen algunos aspectos importantes que se deben considerar.

Las rocas volcánicas, pueden verse afectadas por procesos de alteración (intemperismo) y pueden sufrir un proceso de hidratación y/u oxidación, por ejemplo, el óxido ferroso (FeO) pasa a ser óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Normalmente, una roca posee un mayor contenido en óxido ferroso que férrico, pero cuando está alterada, las proporciones son casi las mismas.

Durante el análisis de gráficas de una serie de rocas, para poder establecer comparaciones entre ellas, se debe eliminar el contenido de H<sub>2</sub>O aunque se hayan formado en distintos ambientes.

Cuando se mandan a analizar la composición química de las rocas en algunos laboratorios sólo obtienen el dato de FeO\* o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* como fierro total y no reportan en %p de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y de FeO por separado.

Cuando no se cuenta con las concentraciones de FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> éstas se pueden calcular utilizando la relación  $Fe_2O_3 / FeO = 0.15\dots (1)$  (Green et al., 1974).

El cálculo puede efectuarse de la forma siguiente.

Cuando se tiene Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> como fierro total se debe reportar como Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub>, la cual está determinada por la siguiente ecuación:

$$Fe_2O_3 + 1.1113 * FeO = Fe_2O_{3t} \dots (2)$$

Cuando se tiene FeO como fierro total se debe reportar como FeOt. Y es determinada por la ecuación:

$$Fe_2O_3 * 0.8998 + FeO = FeOt \dots (3)$$

La solución del sistema de ecuaciones descrito anteriormente proporciona los valores para FeO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Por ejemplo, para la muestra 66A98, si se desea calcular el FeO teniendo a  $Fe_2O_3^* = 14.23$  como dato (obtenido del laboratorio). De la ecuación (1) tenemos que:

$$Fe_2O_3 = FeO * 0.15 \dots (4)$$

Sustituyendo en la ecuación (2),

$$(FeO * 0.15) + 1.113 * FeO = Fe_2O_3^*$$

Y despejando la variable de nuestro interés, tenemos que

$$Fe_2O_3^* = FeO (0.15 + 1.113)$$

$$FeO = Fe_2O_3^* / (1.2613) \dots \dots (R1)$$

Sustituyendo  $Fe_2O_3^* = 14.23$ .

$$FeO = 11.282$$

Para calcular  $Fe_2O_3$ , la despejamos de la ecuación (2)

$$Fe_2O_3 = Fe_2O_3^* - 1.1113 * FeO \dots \dots \dots (R2)$$

Sustituyendo  $Fe_2O_3^* = 14.23$ .

$$Fe_2O_3 = 1.6923$$

Y finalmente los resultados los podemos comprobar sustituyéndolos en la ecuación (1).

$$Fe_2O_3 / FeO = 0.15$$

### I.2.2.3 Elementos traza.

En los magmas existen elementos que están presentes en muy bajas concentraciones, éstos son los elementos traza, los cuales se presentan en concentraciones menores al 0.1%p. Estos elementos al no poder formar sus propios minerales entran en la retícula cristalina de los silicatos principales, ya sea como elementos isomorfos o como inclusiones en los “huecos” de las celdas de aquellos.

El conocimiento del contenido de elementos mayores en las rocas ígneas permite la especulación acerca de su posible origen e historia, sin embargo, el contenido de los elementos traza puede ser más significativo que el contenido de los elementos mayores. La determinación del contenido de elementos traza en un grupo de rocas relacionadas genéticamente, proporcionan más información sobre los procesos que le dieron origen.

Un elemento traza se puede definir como aquel elemento que está presente en una roca en concentraciones menores al 0.1% (en peso), esto es, menor que 1000 partes por millón (ppm), algunas veces los elementos traza, por sí mismos, formarán tipos de minerales pero en su mayoría se sustituyen por elementos mayores en los minerales que forman las rocas.

Los elementos traza normalmente se estudian en grupos (Rollinson et al., 1989). Las desviaciones de comportamiento del grupo o los cambios sistemáticos respecto al comportamiento dentro del grupo, se usan como un indicador de los procesos petrogenéticos. Los elementos traza normalmente son clasificados, ya sea, en base a su posición en la tabla periódica o acorde a su comportamiento en sistemas magmáticos, como se verá mas adelante.

Varios grupos de elementos en la tabla periódica son de particular interés en la geoquímica (figura I.9). Los elementos con número atómico que van del 57 al 71, se conocen como lantánidos o elementos de tierras raras (REE, por sus siglas en inglés). Otros grupos son el grupo de elementos platino (PGE; por sus siglas en inglés), números atómicos del 44 hasta 46 y del 76 hasta 79, también son conocidos como metales nobles si es que incluyen al Au, y los metales de transición, números atómicos del 21 al 30. En geoquímica, este último término se restringe a las primeras series de transición e incluyen dos elementos mayores, Fe y Mn.

1																	2	
H																	He	
3	4											5	6	7	8	9	10	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
11	12	Metales de transición										13	14	15	16	17	18	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	Elementos del grupo platino				47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc					44	45	46	Ag	Cd	In	Sn	Sb
55	56	57	72	73	74	75	Elementos de tierras raras				80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re					76	77	78	79	Hg	Tl	Pb	Bi
87	88	89																
Fr	Ra	Ac																
			58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Bk	Es	Fm	Md	No	Lw		

**Figura I.9** Tabla periódica de los elementos. Muestra los grupos de elementos traza, primero las series de transición, los elementos del grupo platino y tierras raras. Los elementos sombreados son también importantes en geoquímica.

Los elementos en cada uno de estos respectivos grupos tienen propiedades químicas similares y por esta razón, se espera que muestren comportamientos geoquímicos similares.

Así, una de las tareas dentro de los estudios petrogenéticos es descubrir cuál es el comportamiento de los elementos traza en la evolución de un sistema magmático y cuantificar el alcance que puede tener un proceso en particular.

### I.2.2.3.1 Comportamiento de los elementos traza en los sistemas magmáticos.

Cuando el magma comienza a cristalizar, los elementos traza muestran una preferencia ya sea por la fase fundida (líquido) o por la fase sólida (mineral). Los elementos traza cuya preferencia es la de la fase sólida son denominados compatibles, mientras que los

elementos cuya preferencia es el líquido son denominados incompatibles, es decir, son incompatibles dentro de la estructura del mineral y se quedan en la fase fundida. Como se verá más adelante, la incompatibilidad o compatibilidad de un elemento viene determinada por el coeficiente de distribución ó partición  $K_d$ .

En detalle, existen grados de compatibilidad e incompatibilidad, y los elementos traza variarán su comportamiento en el líquido y en el sólido, dependiendo de su composición química. Por ejemplo, el fósforo (P) es incompatible en una mineralogía del manto y durante la fusión parcial estará concentrado rápidamente en el líquido. Sin embargo, es compatible en el sólido en rocas ácidas porque se encuentra acomodado en la estructura del apatito.

#### *Selección de elementos traza.*

La mayoría de las rocas ígneas presentan una historia compleja de equilibrio sólido-líquido durante su formación, desde su fuente o lugar de origen hasta su sitio de emplazamiento. El problema entonces se convierte en la selección de los elementos traza que indiquen cuales fueron los mecanismos que predominaron durante la formación de una roca. Los elementos más útiles son los que nos ofrecen un comportamiento extremo, como los altamente incompatibles y sus opuestos, los altamente compatibles.

La relación de un par de elementos altamente incompatibles no varía en el curso de la cristalización fraccionada o procesos similares. Es importante saber la relación de concentración de dichos elementos en la fuente. Para procesos de fusión en el manto, los siguientes elementos son de utilidad: Cs-Ba-Rb; U-Nb-Ta-K; Ce-Pb, Pr-Sr, P-Nd, Zr-Hf-Sm, Eu-Ti, Ho-Y.

Diagramas inter-elementos pueden darnos una idea de la composición de la fuente, como: Y-Tb, La-Ta, La-Nb, Ta-Th, Ti-Zr y Ti-Y, cualquier variación refleja heterogeneidad de la fuente como resultado de mezcla de magmas o de contaminación.

Los diagramas de relaciones de elementos altamente incompatibles minimizan los efectos de fraccionamiento y permiten examinar el carácter de la fuente. Saunders (et al., 1988) propone utilizar Th, U, Pb, K, Ba, Ce, Nb y pares como Th-Ce-K-Ce, U-Pb y Ba-Ce, cada uno dividido por Nb.

La utilización de elementos mayores y traza es debido a que existen aparatos que los miden. Una de sus características importantes es que los elementos traza se comportan de forma

distinta a los mayores y además varían más en cantidad. Por ejemplo, puede haber 10.000ppm al principio del proceso de evolución magmática y al final sólo 1.

#### I.2.2.3.2 Coeficiente de distribución o partición de los elementos traza.

Los estudios realizados sobre elementos traza se han convertido en parte fundamental en la petrología moderna porque los elementos traza son más útiles en la discriminación entre procesos petrológicos que los elementos mayores. Actualmente, se han desarrollado modelos matemáticos para estimar la distribución de los elementos traza, permitiendo estimar de manera cuantitativa el proceso de evolución magmática predominante.

Los elementos traza más utilizados en rocas ígneas son: Rb, Ba, Sr, Zr, Y, Nb, Th, Ni, Cr, V y tierras raras. En la tabla I.5 se muestran los elementos traza utilizados en modelos de procesos petrogenéticos.

La distribución de los elementos traza en una estructura mineral durante su formación está regida principalmente por la sustitución entre elementos en el arreglo cristalino; un elemento traza sustituirá a otro con mayor facilidad si posee un tamaño semejante y una misma carga iónica.

La distribución de los elementos traza entre las diferentes fases minerales se puede describir utilizando un coeficiente de distribución o de partición. También se le conoce como Coeficiente de Distribución Nernst (NDC; por sus siglas en inglés) y describe la distribución al equilibrio de un elemento traza entre un mineral y el fundido. El coeficiente de distribución (Nernst) se define como:

$$K_d = \frac{C_{\text{mineral}_{\text{elemento}_i}}^{\text{mineral}}}{C_{\text{elemento}_i}^{\text{fundido}}} = \frac{C_s}{C_l}$$

Donde  $K_d$  es el coeficiente de distribución del elemento traza (i), C es la concentración del elemento traza (i) expresado en partes por millón (ppm). El coeficiente de distribución nos indica la preferencia de un elemento traza para ocupar un espacio en la estructura cristalina por cierta fase mineral esto depende de la composición química del mineral y del fundido.

Cuando el valor del coeficiente de distribución es mayor que uno ( $K_d > 1$ ) indica que el elemento traza (i) tiene preferencia por la fase mineral y, por lo tanto, se comporta como un



elemento compatible. Un valor del coeficiente de distribución menor que uno ( $K_d < 1$ ) indica que el elemento traza (i) tiene una preferencia por el fundido y, por lo tanto, se comporta como un elemento incompatible donde cristaliza.

Al realizar el estudio de una roca ígnea es necesario calcular el coeficiente de distribución total ( $D_T$ ) que es el valor del coeficiente de distribución de un elemento en todas las fases minerales que la constituyen.  $D_T$  es un coeficiente de partición calculado para una roca para un elemento específico a partir de los coeficientes de partición  $K_d$  (NDC; Nernst Distribution Coefficient) calculados para cada uno de los minerales que lo componen.

Para determinar el  $D_T$  se utiliza la fórmula siguiente:

$$D_{Ti} = \sum (w_i K_{di}) = w_1 * K_{d1} + w_2 * K_{d2} + w_3 * K_{d3} + \dots$$

Donde  $D_{Ti}$  es el coeficiente de distribución total para el elemento (i), y  $w_i$  es el porcentaje en volumen de cada mineral y  $K_{di}$  es el NDC para el elemento (i) en el mineral (i). Por ejemplo, en una roca que contiene 50% olivino, 30% ortopiroxeno y 20% clinopiroxeno, el coeficiente de partición total ( $D_T$ ) para el elemento traza (i) puede ser expresado como:

$$D_{Ti} = 0.5K_{di}(\text{ol}) + 0.3K_{di}(\text{opx}) + 0.2K_{di}(\text{cpx})$$

Otro ejemplo, sería calcular el  $D_T$  del níquel, sabiendo que hay 60% (en volumen) de olivino y un 40% (en volumen) de plagioclasa. Lo que se hace es tomar los valores del olivino y el plagioclasa para el  $K_d$  del níquel: ol = 10 y pl = 0.01. A continuación se sustituyen los valores en la fórmula, siendo el resultado:

$$D_T(\text{Ni}) = 0.6 \times 10 + 0.4 \times 0.01 = 6.004.$$

## Elementos traza más útiles en la evaluación de procesos petrogenéticos

(Rollinson, 1989)

Elemento	Interpretación
Ni,Co,Cr	Valores elevados de estos elementos (Ni =250-300 ppm, Cr=500-600 ppm) son buenos indicadores de derivación de magmas que provienen de una fuente peridotítica del manto. Una baja en Ni en una serie de rocas sugiere fraccionamiento del olivino. Una baja en Cr sugiere fraccionamiento de espinela o clinopiroxeno.
V,Ti	Estos elementos tienen un comportamiento paralelo a los procesos de fusión y cristalización. Son útiles indicadores de fraccionamiento de óxidos de hierro y titanio (ilmenita o titanomagnetita). Cuando el V y el Ti muestran diferente comportamiento, pueden significar que hubo sustitución del Ti en una fase como la esfena o el rutilo.
Zr y Hf	Son los elementos incompatibles clásicos que no se sustituyen fácilmente en las fases mantélicas. Sin embargo, pueden sustituirse por Ti en fases accesorias como el rutilo y la esfena.
Ba	Sustituye al K en el feldespato potásico, hornblenda y biotita. Cambios en el contenido de Ba o K/Ba puede indicar el papel de una de estas fases minerales.
Rb	Sustituye al K en el feldespato potásico, hornblenda y biotita.
Sr	Sustituye fácilmente por Ca en la plagioclasa y al K en el feldespato potásico. Sr o Ca/Sr es un útil indicador de la presencia de plagioclasa. El Sr se comporta como un elemento incompatible bajo condiciones del manto.
REE	El granate y la hornblenda son los minerales que preferentemente contienen las tierras raras pesadas y fraccionan las tierras raras ligeras. El Eu se fracciona fuertemente en los feldespatos y una anomalía de Eu refleja la presencia de feldespato.
Y	Generalmente se comporta como un elemento incompatible muy similar a las tierras raras pesadas. Se acomoda fácilmente en fases como el granate, anfíbol y piroxenos. Las fases que concentran mayormente el Y son la esfena y el apatito.

**Tabla I.5** Elementos traza más útiles en la evaluación de procesos petrogenéticos.

### I.3 Procesos de Evolución Magmática.

Con procesos de evolución magmática nos referimos a los diferentes procesos físicos y químicos que intervienen durante la evolución de un magma y que modifican su composición. Esto se puede llevar a cabo durante el enfriamiento del magma, la interacción entre dos magmas y/o la introducción de materiales extraños al magma. Los dos últimos

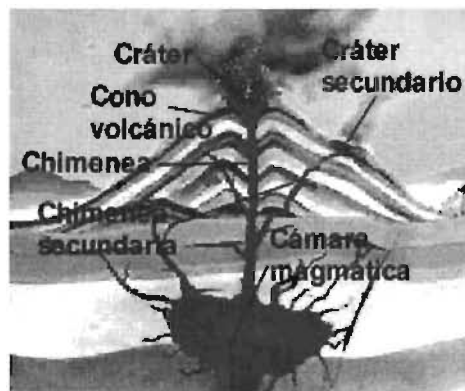
conlleven a la modificación en la composición del magma formando un magma híbrido, que después al enfriarse puede originar una gran variedad de rocas ígneas.

Durante la evolución de un magma éste varía en forma continua su composición química, lo cual se lleva a cabo principalmente por los procesos de cristalización fraccionada, mezcla de magmas y asimilación más cristalización. Cada uno o combinaciones de estos procesos, dejan evidencias físicas y químicas que ayudarán a los petrólogos a reconocer cual fue el proceso predominante.

Los magmas primarios básicos y ultrabásicos son generados por el proceso de fusión parcial del manto superior. Una vez que dichos magmas se han segregado desde su región fuente, estos pueden ser afectados por uno o varios procesos de fraccionamiento, mezcla y/o contaminación durante su camino hacia la superficie y durante su almacenamiento en cámaras magmáticas.

Estos procesos, son de fundamental importancia en la generación de una diversidad de rocas ígneas expuestas en la superficie de la Tierra.

En la figura I.10 se muestran las diferentes partes que constituyen un volcán.



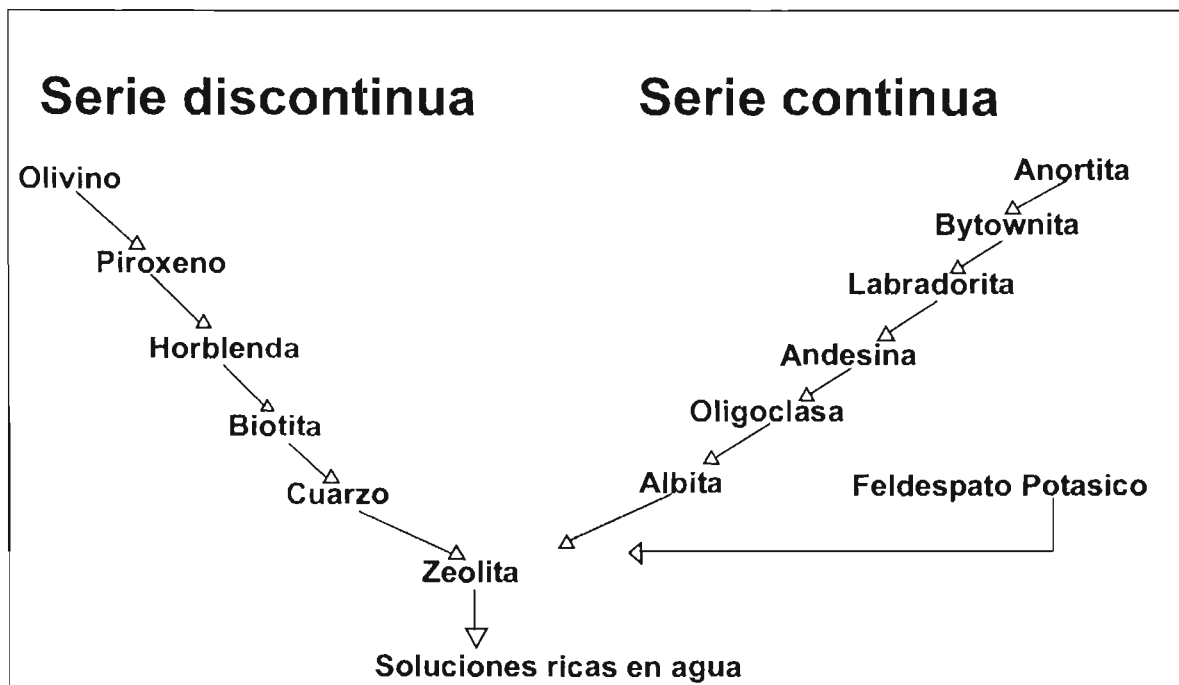
**Figura I.10** Estructura de un Volcán.

### **I.3.1** Fases minerales.

Durante el enfriamiento de un magma, se comienzan a formar cristales (minerales) en un estado termodinámico, que se puede definir como un estado físico que se forma a un cierto rango de valores de temperatura (T) y presión (P). La formación de los minerales, por lo tanto, no se dan a un solo valor de temperatura y presión sino en todo un intervalo, por lo

que ciertos grupos de minerales van a cristalizar primero que otros, por ello existen grupos o familias de minerales.

Las fases minerales, al irse formando pueden o no reaccionar con el líquido y cambiar gradualmente su composición, siguiendo una secuencia térmica conocida como la serie de reacción de Bowen:



**Figura I.11** Secuencia térmica de formación de las fases minerales, diagrama original de Bowen. (Williams et al., 1979).

A medida que el magma continúa su evolución, siempre hay una tendencia a mantener el equilibrio entre las fases sólida y líquida.

La reacción puede ser progresiva o no progresiva, de tal manera que se producen series de reacción continua de soluciones sólidas homogéneas o series de reacción discontinua (figura I.11). En el caso de los feldespatos plagioclasa, por ejemplo, los cristales formados primero son más ricos en calcio; a medida que la reacción continúa y la temperatura descende, los cristales crecen o se forman nuevos cristales progresivamente más ricos en sodio. Los cambios de esta naturaleza constituyen la serie de reacción continua. Los minerales ferro-magnesianos, por otro lado, a medida que continúa el enfriamiento reaccionan con el líquido y son transformados en otros minerales de diferente estructura

cristalina y composición. Por ejemplo, el olivino puede ser transformado en hiperstena o la augita en hornblenda. Tales cambios abruptos constituyen las series de reacción discontinua. En la figura I.11 se muestran las dos principales series de reacción, series de Bowen (Williams et al., 1979).

### I.3.2 Procesos de diferenciación magmática.

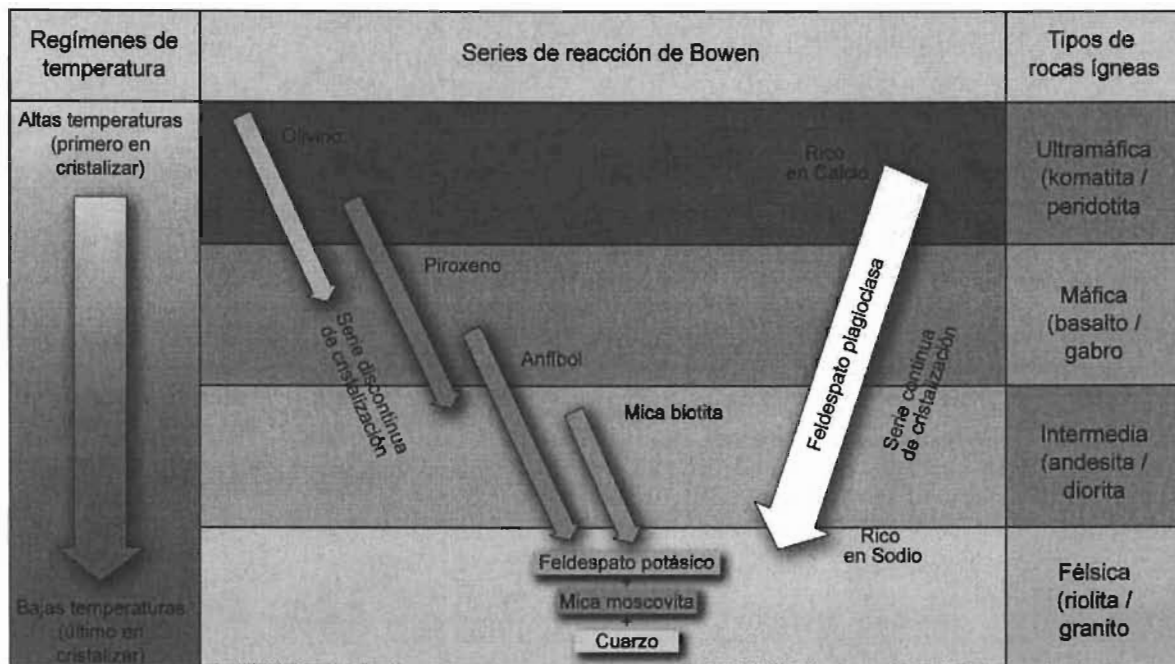
El magma se compone de iones móviles de los elementos químicos más abundantes de la corteza. Los magmas, en su ascenso a través de las fracturas de la corteza terrestre, comienzan a enfriarse. Durante el transcurso del enfriamiento de un magma, los movimientos aleatorios de esos iones disminuyen de velocidad y empiezan a disponerse en estructuras cristalinas ordenadas, a este proceso se le denomina cristalización fraccionada que da origen a los minerales conocidos como *precipitados* del fundido.

En el proceso de cristalización, el enfriamiento invierte los pasos de la fusión. La solidificación del magma, a menudo abarca un intervalo de temperatura de 200°C.

Bowen demostró que, conforme se enfría un magma basáltico, los minerales tienden a cristalizar con un determinado orden que está en función de sus puntos de cristalización. Como se muestra en la figura I.12, el primer mineral que cristaliza a partir de un magma basáltico es un ferro magnesiano, denominado olivino seguido por el piroxeno en la serie de reacción discontinua y de plagioclasa cálcica y plagioclasa sódica en la serie de reacción continúa.

Durante el proceso de cristalización, la composición del líquido cambia continuamente. Por ejemplo, en la etapa en la que alrededor de una tercera parte del magma ha solidificado, el fundido carecerá casi por completo de hierro, magnesio y calcio porque esos elementos son constituyentes de los minerales que se formaron primero. La eliminación de esos elementos del fundido hará que se enriquezca en sodio, potasio y aluminio.

Además, dado que el magma original es basáltico, contenía alrededor del 50% de sílice la cristalización del mineral formado primero, el olivino, que contiene sólo alrededor del 40% de sílice de su composición, deja el fundido restante más rico en sílice. Por tanto, la cantidad de sílice del fundido también se enriquece conforme evoluciona el magma.



**Figura I.12** Series de reacción de Bowen. Secuencia en la cual cristalizan los minerales a partir de un magma basáltico. Comparar esta figura con la composición mineral de los grupos de rocas de la figura I.5 y observar que cada grupo de rocas está definido por minerales que cristalizan en el mismo intervalo de temperaturas. (Figura tomada de Tarbuck et al., 2002)

Bowen demostró también que si los componentes sólidos de un magma permanecen en contacto con el fundido restante, reaccionarán químicamente y evolucionarán al siguiente mineral de la secuencia mostrada en la figura I.12. Por esta razón, esta disposición de minerales se conoce como series de reacción de Bowen.

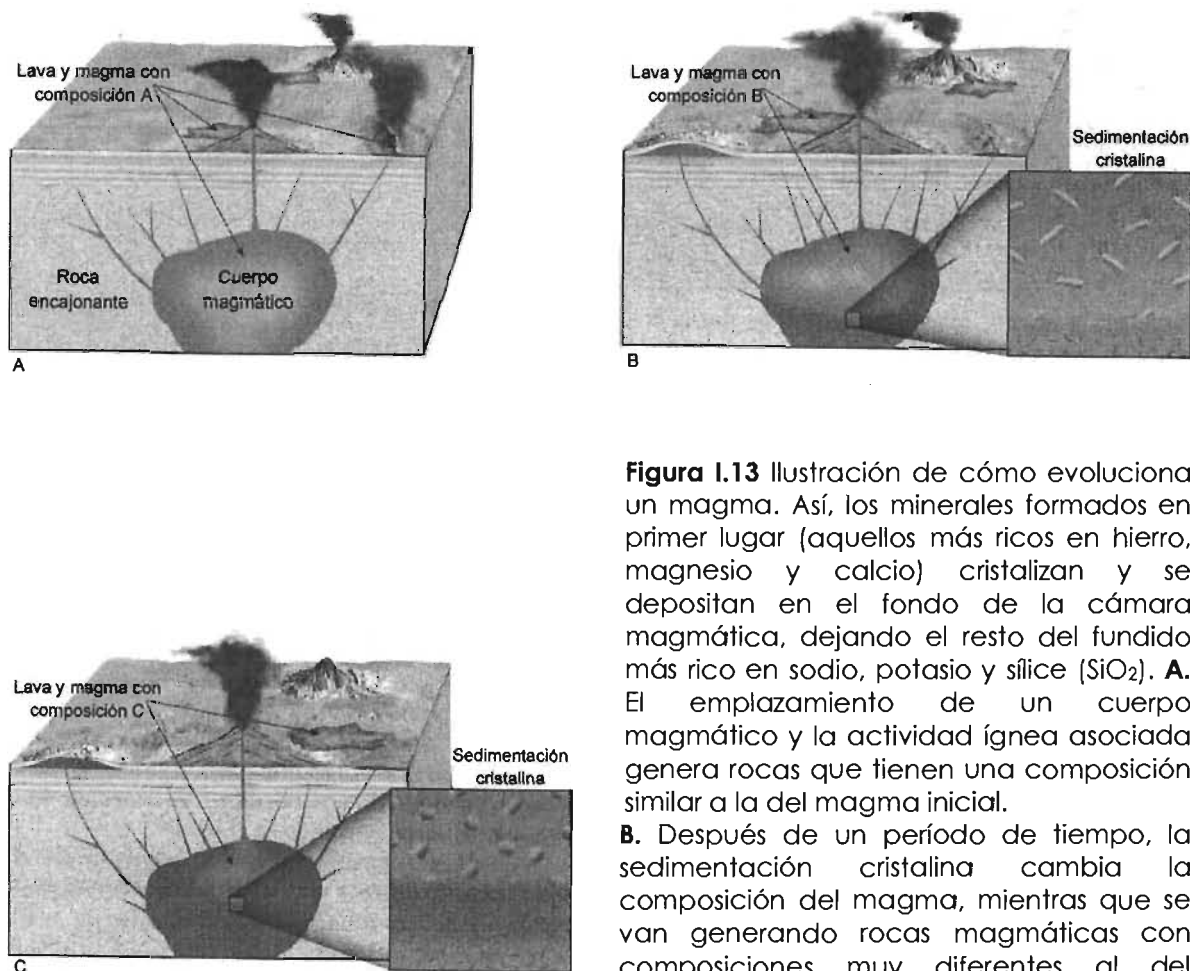
Como veremos a continuación, en algunos ambientes naturales los minerales formados en primer lugar suelen separarse del fundido, interrumpiendo así cualquier reacción química.

### *Diferenciación magmática.*

Se ha demostrado que, en una o en más etapas durante la cristalización, se produce la separación de los componentes sólido y líquido de un magma (figura I.13 A). Este proceso ocurre porque los minerales que se forman primero son más densos (más pesados) que la porción líquida y se hunden por gravedad en el fondo de la cámara magmática, como se muestra en la figura I.13 B.

Este proceso produce que en la cámara magmática se desarrolle una pseudo estratificación, donde en la parte más profunda se encuentran los primeros sólidos formados y rodeados por un líquido de mayor temperatura. Hacia la parte media y superior de la cámara se

encuentran líquidos residuales de composición diferente al magma original de menor temperatura y con mayor contenido en gases.



**Figura 1.13** Ilustración de cómo evoluciona un magma. Así, los minerales formados en primer lugar (aquellos más ricos en hierro, magnesio y calcio) cristalizan y se depositan en el fondo de la cámara magmática, dejando el resto del fundido más rico en sodio, potasio y sílice (SiO<sub>2</sub>). **A.** El emplazamiento de un cuerpo magmático y la actividad ígnea asociada genera rocas que tienen una composición similar a la del magma inicial. **B.** Después de un período de tiempo, la sedimentación cristalina cambia la composición del magma, mientras que se van generando rocas magmáticas con composiciones muy diferentes al del magma original. **C.** La diferenciación magmática adicional da lugar a otro magma más altamente desarrollado con sus tipos de rocas asociados. (Figura tomada de Tarbuck et al. 2002)

Los líquidos separados en la cámara magmática siguen su proceso de evolución al seguirse enfriando. Si durante este proceso se presenta la salida de este material hacia la superficie, las variaciones químicas de las rocas que se forman van a ser indicativo de las variaciones en la cámara magmática estratificada.

A este proceso, por el cual de un magma inicialmente homogéneo se separa en fracciones, formando magmas parciales de distinta composición, se le denomina diferenciación magmática.

Durante el proceso de cristalización, éste se puede presentar al equilibrio o en forma fraccionada. Durante la cristalización al equilibrio los cristales continuamente se reequilibran con el fundido y la composición total del sistema restante será constante, es decir, no hay oportunidad para la diferenciación magmática. Sin embargo, durante la evolución de un sistema se separan las fracciones cristal y líquido, impidiendo que se equilibren, entonces se presenta la diferenciación magmática y se le conoce como cristalización fraccionada, que en realidad, se refiere, a un grupo de procesos que ocurren dentro de los cuerpos magmáticos como fraccionamiento cristal-líquido, inmiscibilidad de líquido, transporte de vapor y difusión.

Dentro del fraccionamiento cristal-líquido, hay varios mecanismos de fraccionamiento, como sedimentación y flotación de cristales, también conocido como separación por gravedad, y también puede desarrollarse la separación por presión ocurre por fraccionamiento convectivo, diferenciación de flujo y cristalización de congelación. Pero el más importante es producido como resultado de la cristalización del magma, donde primeramente se forman los minerales más refractarios que suelen ser más densos, y por ello tenderán a concentrarse en el fondo o en las paredes, mientras que los ligeros, se concentraran en la parte superior.

Este asentamiento y flotación de cristales originará una estratificación del magma con la fase sólida predominantemente concentrada en la parte inferior y una fase líquida, gaseosa y sólida, concentrada en la parte superior. Esta separación se relaciona con los productos más evolucionados y ácidos en la parte superior y más densos, menos evolucionados y más básicos en la parte inferior.

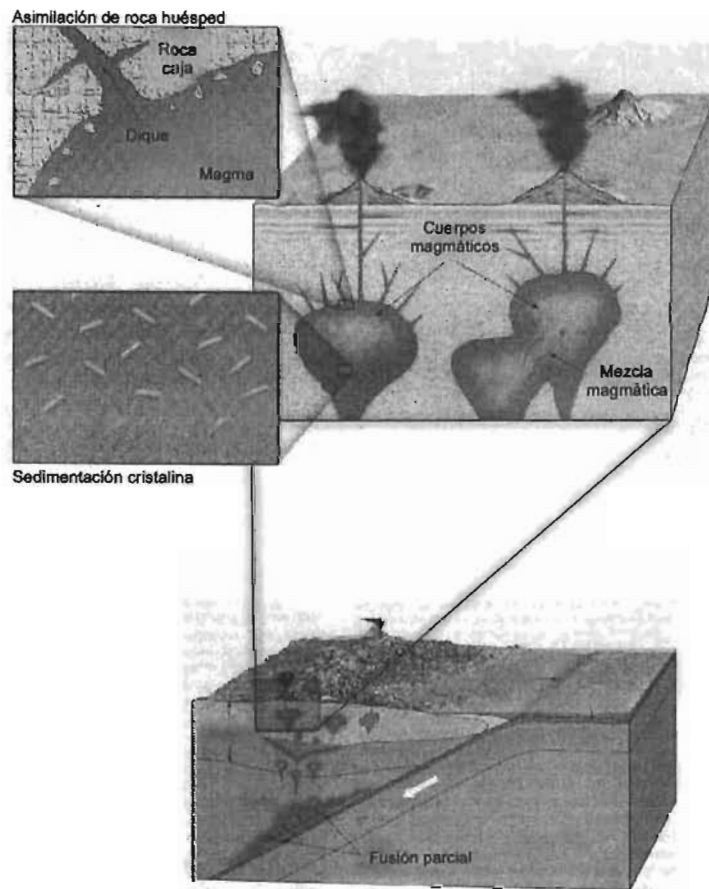
Por lo que, la diferenciación magmática, gracias a la cristalización fraccionada, es el proceso predominante en la evolución de un magma.

### *Asimilación.*

Trabajos recientes indican que el proceso de diferenciación por sí solo no puede explicar la gran diversidad de rocas ígneas, así que se han identificado más de un proceso de evolución que interviene en su origen, uno de estos procesos ha sido denominado asimilación, en el cual una vez formado el cuerpo magmático, puede cambiar su composición a través de la incorporación de material extraño conforme el magma se mueve hacia la corteza terrestre.



Este fenómeno puede ser parcial o total; en el primer caso hay una fusión parcial de la roca extraña quedando testigos de la misma roca a modo de xenolitos, la composición química del magma cambia de acuerdo a la cantidad de roca fundida y se denomina contaminación magmática (figura I.14). En el segundo, la roca extraña es fundida completamente y modifica químicamente al magma, dando origen a un nuevo magma de composición diferente al magma inicial es decir la roca fue consumida totalmente.



**Figura I.14** Esta ilustración muestra tres formas por medio de las cuales puede cambiar la composición de un cuerpo magmático: mezcla magmática, asimilación de la roca huésped y diferenciación magmática. (Figura tomada de Tarbuck *et al.* 2002)

Este proceso puede operar en un ambiente próximo a la superficie donde las rocas son frágiles, conforme el magma asciende, las presiones producen numerosas grietas en la roca encajante como para romper bloques e incorporarlos en el cuerpo magmático. En otros

ambientes, el magma puede estar lo suficientemente caliente como para simplemente fundir y asimilar algunas de las rocas de sus alrededores.

#### *Mezcla de magmas.*

Otro proceso que cambia la composición química de un cuerpo magmático se denomina mezcla de magmas. Este proceso se produce cuando un cuerpo magmático se inyecta o se introduce en otro, en estado líquido, o parcialmente cristalizado (figura I.14).

Estos dos magmas si se combinan completamente producen un magma de composición diferente a la composición de cualquiera de los dos magmas, pero si no se mezclan completamente, entonces ocurre una mezcla incompleta o mecánica “mingling” en inglés.

### I.3.3 Modelos matemáticos de los principales procesos de evolución magmática

#### I.3.3.1 Cristalización Fraccionada (CF).

Wilson (1989), define la cristalización fraccionada como un proceso magmático mediante el cual se lleva a cabo la separación de cristales y la fase líquida de un magma.

Este proceso no es instantáneo, se lleva a cabo dentro de un rango de temperaturas y en un determinado tiempo, así mismo, la coexistencia de cristales y líquido raramente tienen la misma composición y cuando los cristales llegan a separarse de la fase líquida del magma, el líquido residual diferirá en composición con respecto al magma original; el resultado es un cambio progresivo en la composición del magma, originando así una cristalización diferenciada o cristalización fraccionada (Wilson, 1989).

El modelo de Cristalización Fraccionada considerando elementos mayores fue propuesto por Spear (1982), que consiste básicamente en solucionar ecuaciones de balance de masas por medio de mínimos cuadrados, los cuales en la mayoría de los problemas petrológicos han tenido considerable aplicación. La ecuación del modelo propuesto es:

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \cdot Y$$

Donde  $A^T$  es la transpuesta de A, siendo A la matriz formada por la composición de la roca final y las composiciones de sus fases minerales; Y corresponde a la composición de la roca

inicial y X es un vector cuyo primer componente representa la cantidad de líquido residual y el resto de los componentes del vector representan a las fases que cristalizaron.

Para un sistema sobredeterminado, donde se tienen mayor número de ecuaciones que de incógnitas, matemáticamente la ecuación anterior representa la solución de mínimos cuadrados de la siguiente expresión:

$$A \cdot X = Y + R$$

Por otro lado Hall (Wilson, 1989) sugiere que la cristalización de un magma puede ser de tipo equilibrada o de tipo fraccional.

### *Cristalización en equilibrio y fraccionamiento Rayleigh.*

La cristalización en equilibrio y fraccionamiento Rayleigh son mecanismos de cristalización fraccionada considerados por Wilson (1989) y Rollinson (1992). El primer mecanismo describe un completo equilibrio entre la fase sólida y la fluida durante la cristalización. Éste puede ser aplicable en rocas máficas.

El fraccionamiento Rayleigh, sugiere que la mayoría de los cristales son removidos de su sitio de formación después de la cristalización y que la distribución de un elemento traza, no es un proceso en equilibrio, sin embargo, la superficie de equilibrio puede ser alcanzada. De esta forma la cristalización fraccionada es mejor descrita por la ley de Rayleigh. El fraccionamiento Rayleigh describe el caso extremo donde los cristales son efectivamente removidos de la fase líquida al instante en que ellos se formaron y propone una serie de ecuaciones que describen las variaciones de los elementos traza.

Si todos los productos cristalinos permanecen en equilibrio químico con el magma (cristalización en equilibrio), la concentración de un elemento traza en el líquido ( $C_L$ ) relacionado al líquido original ( $C_L^0$ ) antes de que comience la cristalización está dada por la ecuación:

$$C_L / C_L^0 = 1 / (F + D (1-F))$$

De donde se desprende que  $C_L$  es la concentración inicial de un elemento traza en el magma primario, F es la fracción remanente del líquido, en otras palabras es el porcentaje de fundido después de la cristalización, es decir, si inicialmente teníamos el 100% y ha

crystalizado un 10%, lo que nos queda al final es un 90%, y D es el coeficiente de distribución (NDC). Para el caso de la cristalización fraccional perfecta (fraccionamiento Rayleigh), la ecuación es:

$$C_L / C_L^0 = F * (D - 1)$$

La generación de modelos de elementos traza para cristalización es importante, debido a que la variación durante este proceso son muy significativos comparados con las concentraciones de elementos mayores; por ejemplo, un magma subalcalino evoluciona a uno granítico, en este último, la fase líquida y sólida tienen la misma concentración de elementos mayores, mientras que la concentración de elementos traza puede variar grandemente, por tanto, funcionan como un control importante en la determinación de la extensión de la cristalización fraccionada.

#### **1.3.3.2 Asimilación más Cristalización Fraccionada (A+CF).**

La contaminación cortical del magma es uno de los procesos importantes durante su evolución, una vez que deja su fuente el magma fundido asciende hacia la superficie encontrando paredes de roca de distinta composición, de manera que es muy común que reaccionen con este material y que se incorporen fragmentos de las rocas circundantes.

Uno de los estilos de contaminación cortical, que está acompañado por cristalización fraccionada y que se considera que su ocurrencia es en las cámaras magmáticas, donde el calor es liberado por la cristalización, permitiendo así la fusión de las rocas de las paredes de la cámara, es el fenómeno denominado Asimilación más Cristalización Fraccionada (A+CF). Este proceso consiste en la cristalización fraccionada de un grupo de minerales a partir de un magma híbrido, formado por la mezcla de líquido originado por la fusión de material de la corteza y un magma primario en ascenso, su modelo es utilizado para interpretar las variaciones de elementos traza de rocas volcánicas.

### Modelo teórico de A+CF

DePaolo y Powell (1984) han propuesto las siguientes ecuaciones para describir las concentraciones de un elemento traza en un líquido en relación a la composición del magma original en términos de los procesos A+CF. La ecuación para valores constantes de r y D es la siguiente:

$$\frac{C_L}{C_0} = f^r + \frac{r}{(r-1+D)} * \frac{C_A}{C_0} * (1-f^r)$$

Y

$$f^r = F^{-(r-1+D)/(r-1)}$$

Donde  $C_L$  es la concentración de elemento traza en el magma contaminado,  $C_0$  es la concentración de elemento traza en el magma original,  $C_A$  es la concentración del elemento traza en el contaminante, r es el rango del radio de asimilación de la cristalización fraccionada. D es el coeficiente de distribución para el conjunto fraccionado y F es la fracción del magma remanente.

Cuando  $D \ll 1$ , los elementos incompatibles llegan a ser mas fuertemente enriquecidos cuando el magma evoluciona por procesos A+CF, en comparación a la simple cristalización fraccionada, el enriquecimiento en el magma se incrementa así como la concentración de elementos traza en las paredes de roca.

Cuando  $D > 1$ , las concentraciones de los elementos traza compatibles alcanzan un estado estable para los procesos A+CF, dependiendo de la composición del contaminante.

### I.3.3.3 Mezcla de Magmas (MM).

En los últimos años el proceso de mezcla de magmas, ha jugado un papel importante en los modelos petrogenéticos de series de rocas ígneas generadas en diferentes ambientes tectónicos. Palacz (Wilson, 1989) sugirió que nuevos pulsos de magma entran a una cámara magmática que eventualmente **podrían mezclarse con magma residual localizado en dicha cámara.**

Este proceso resulta importante, ya que permite explicar, por ejemplo, las características geoquímicas y petrogenéticas que se presentan en los rifts oceánicos, en tal caso podría suceder que las cámaras magmáticas de los rifts sean periódicamente alimentados con nuevos pulsos de magma que se mezclan con magma fraccionado localizado en la cámara.

Dentro del proceso magmático de mezcla, existen parámetros que serán muy importantes para que se lleve a cabo dicho proceso, dentro de los cuales se encuentra la densidad, la viscosidad, la tasa de flujo, así como también la composición del magma.

Tenemos dos características en la mezcla de magmas: los magmas basálticos se mezclan eficientemente y los productos eruptivos son muy homogéneos y, por el contrario, los magmas ácidos combinados con los basaltos no alcanzan una mezcla completa, además, estudios de laboratorio han comprobado que la mezcla de magmas se inhibe cuando existen grandes diferencias de viscosidad entre los magmas.

Best y Christianse (2001), introdujeron conceptos tales como “mingled” y “mixed”. El primer concepto involucra una pronta solidificación después de una mezcla de magmas deficiente y el segundo proceso se lleva a cabo por difusión a escalas atómicas, si están disponibles tiempo y energía térmica, se podrá formar un líquido esencialmente homogéneo.

La expresión matemática para el modelo de mezcla simple es:

$$C_M^i = x * C_A^i + (1 - x) * C_B^i$$

Donde  $C_A$  es el magma estacionario,  $C_B$  es el magma que arriba y es inyectado, y  $C_M$  es el magma resultado de la mezcla, mientras que  $x$  indica la proporción de mezcla.

## Capítulo II Conceptos generales de ingeniería de software

### II.1 Introducción.

Existen diferentes definiciones sobre Ingeniería de Software y a continuación se presentan algunas.

Ingeniería de Software trata del establecimiento de los principios y métodos de la ingeniería a fin de obtener software de modo rentable que sea fiable y trabaje en máquinas reales Bauer. (Presuman, 1993).

Ingeniería de Software es la aplicación práctica del conocimiento científico en el diseño y construcción de programas de computadora y la documentación asociada requerida para desarrollar, operar (funcionar) y mantenerlos. Se conoce también como desarrollo de software o producción de software. Boehm. (Presuman, 1993).

Ingeniería de Software es el estudio de los principios y metodologías para desarrollo y mantenimiento de sistemas de software. Zelkovitz. (Presuman, 1993).

Ingeniería de Software es: 1. La aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación (funcionamiento) y mantenimiento del software, es decir, la aplicación de ingeniería al software. 2. Es estudio de enfoques como en 1. IEEE1 (Presuman, 1993).

Los principales elementos de Ingeniería de Software son: principios, métodos, técnicas, herramientas, heurísticas, estrategias (Presuman, 1993).

Los *principios* son enunciados acerca de la conveniencia, o no, de las distintas propiedades que puede poseer un producto software, y el proceso de producción correspondiente, y sobre la relación existente entre unas propiedades y otras.

Los *métodos* definen procedimientos que permiten obtener productos software, o partes de los mismos. Estos procedimientos estructuran el conjunto de tareas de producción prescritas por el método. Los métodos se basan en los principios de ingeniería y hacen uso de técnicas y herramientas.

Las *técnicas* definen procedimientos para realizar tareas de producción de software. La diferencia entre los conceptos de método de ingeniería y técnica no es substancial sino de

grado. Las técnicas suelen tener una visión más particular, unos objetivos menos ambiciosos y menor grado de entroncamiento con los principios de ingeniería.

Las *herramientas* son elementos que facilitan la realización de las tareas de producción. Se distinguen dos tipos de herramientas; las de representación o modelación y las automáticas de ayuda. Las herramientas de representación o de modelado permiten hacer notaciones gráficas o de escritura, que facilitan la representación del software o de la realidad. Las herramientas automáticas de ayuda son programas que ayudan en la realización de las tareas.

La *heurísticas* son formas concretas de realizar tareas o de resolver problemas, avaladas por la experiencia práctica, que normalmente, aunque no siempre, permiten obtener buenos resultados.

Las estrategias, en la Ingeniería de Software se usan como una acepción restringida de este término, a saber, una ordenación genérica de prioridades, a la hora de proponer objetivos, resolver problemas o realizar tareas. Los aspectos de los que se ocupa son:

- Modelos de proceso.
- Especificación de requerimientos del sistema.
- Especificación de requerimientos del software.
- Diseño de software.
- Implementación.
- Verificación y Validación (V&V).
- Mantenimiento.
- Gestión de la producción.
- Evaluación.
- Control y mejora de la calidad.

*Modelos de proceso (modelos de ciclo de vida).*

El ciclo de vida es la distribución de sucesos y actividades a lo largo del proceso de producción de Software, y durante el mantenimiento. Los modelos de ciclo de vida proponen formas de estructurar y gestionar el mismo.



### *Especificación de requerimientos del sistema.*

Los sistemas software forman parte de otros sistemas más amplios, en los que se integran y deben desempeñar su misión. Estos sistemas deben estudiarse para garantizar que el software contribuya al logro de los objetivos globales del sistema.

### *Especificación de requerimientos del software.*

Se trata de especificar las funciones que debe desempeñar el software, las exigencias que debe satisfacer en el desempeño de esas funciones y la que debe cumplir el proceso de producción.

### *Diseño de software*

El diseño consiste en la búsqueda y especificación (Especificación del Software) de una estructura para el software que satisfaciendo los requerimientos se pueda construir con los recursos disponibles.

### *Implementación.*

La instrumentación o implementación comprende la elaboración del código de programa y la creación de las estructuras de datos persistentes.

### *Verificación y Validación (V&V).*

La verificación tiene como objetivo garantizar la corrección de los productos software. Un programa correcto. La validación tiene como objetivo garantizar que los productos software satisfacen sus requerimientos.

### *Mantenimiento.*

Durante el mantenimiento se intenta eliminar fallos de los productos software, mejorarlos o adaptarlos a los cambios que hayan podido surgir en su entorno real.

### *Gestión del proceso.*

Abarca todo lo referente a la planificación, organización y control del proceso de producción de software.

### *Evaluación de software.*

Es muy útil poder valorar las cualidades de los productos software, y de los procesos de producción, mediante medidas cuantitativas en la medida de lo posible, esto con el fin de tener un control de calidad, y obtener información útil para futuros proyectos.

### *Control y mejora de la calidad.*

El mejorar la calidad de lo que se produce, ha impulsado durante los últimos años la competitividad de las empresas más prósperas de cualquier sector, no podría ignorarse en la industria del software.

Entre las metas de la ingeniería de software se encuentran el mejorar la calidad de los procesos de fabricación de software, mejorar la calidad de los productos de software y aumentar la productividad y satisfacción profesional de los ingenieros de esta disciplina.

## II.2 Metodologías de desarrollo de software.

Es necesario establecer un enfoque disciplinado y sistemático para desarrollar un proyecto de software. Las metodologías de desarrollo, que influyen directamente en este proceso de construcción, se elaboran a partir del marco definido por uno o varios ciclos de vida.

Hay que destacar, ante todo, que no hay un consenso entre los autores sobre el concepto de metodología y, por lo tanto, no existe una definición universalmente aceptada, aunque sí hay un acuerdo en considerar a la “metodología” como un conjunto de pasos y procedimientos que deben seguirse para el desarrollo del software.

De acuerdo con MADDISON (Piattini, 2004), una metodología es un conjunto de componentes que especifican:

- Cómo se debe dividir un proyecto en etapas.
- Qué tareas se llevan a cabo en cada etapa.
- Qué salidas se producen y cuándo se deben producir.
- Qué restricciones se aplican.
- Qué herramientas se van a utilizar.
- Cómo se gestiona y controla un proyecto.

Atendiendo a una definición más genérica, podemos considerar una metodología de desarrollo como un conjunto de procedimientos, técnicas, herramientas y un soporte documental que ayuda a desarrolladores a realizar nuevo software. Normalmente consistirá en un conjunto de fases descompuestas en subfases (módulos, etapas, pasos, etc.). Esta descomposición del proceso de desarrollo guía a los desarrolladores en la elección de las técnicas que debe elegir para cada estado del proyecto, así como facilita la planificación, gestión, control y evaluación de los proyectos. Una metodología, por tanto, representa el camino para desarrollar software de una manera sistemática.

Las metodologías a menudo tienen distintos objetivos y, por lo tanto, pueden diferir una de otras. Éstos pueden ser:

- Registrar los requisitos de un sistema de información de una forma acertada.
- Proporcionar un método sistemático de desarrollo de forma que se pueda controlar su progreso.
- Construir un sistema de información dentro de un tiempo apropiado y unos costos aceptables.
- Construir un sistema que esté bien documentado y que sea fácil de mantener.
- Ayudar a identificar, lo más pronto posible, cualquier cambio que sea necesario realizar dentro del proceso de desarrollo.
- Proporcionar un sistema que satisfaga a todas las personas afectadas por el mismo, ya sean clientes, directivos, auditores o usuarios.

La descomposición del proceso se realiza hasta el nivel de tareas o actividades elementales. Para cada tarea se identifica un procedimiento que define la forma de ejecutarla, y es el vehículo de comunicación entre usuarios y desarrolladores. Como resultado de seguir un procedimiento, se obtienen uno o más productos (éstos pueden ser productos intermedios, si sirven de base para realizar nuevos productos durante el desarrollo, o productos finales). El sistema deseado está constituido por un conjunto de productos finales.

Para la realización de una técnica, podemos apoyarnos en las herramientas software que automatizan en mayor o menor grado su aplicación.

Hay que aclarar una confusión existente entre los términos de metodología, método y ciclo de vida, ya que hay autores que los utilizan indistintamente. Una metodología puede seguir uno o varios modelos de ciclo de vida, esto es, el ciclo de vida indica qué es lo que hay que obtener a lo largo del desarrollo del proyecto, pero no cómo. Esto sí lo debería indicar la metodología. Una metodología es un concepto más amplio que el de método. Así, podemos considerarla como un conjunto de métodos.

Finalmente, podemos ver a través de la tabla II.1, cómo han surgido las metodologías más representativas en la historia de la Ingeniería del software.

AÑO	METODOLOGÍA
1963	Conceptos sobre la programación estructurada de DIJKSTRA, WARNIER y JACKSON
1974	Técnicas de programación estructurada de WARNIER y JACKSON
1975	Primeros conceptos sobre diseño estructurado de MYERS y YOURDON
1977	Primeros conceptos sobre análisis estructurado de GANE y SARSON
1978	Análisis estructurado: DEMARCO y WEINBERG. Nace MERISE
1981	SSADM (versión inicial) Information Engineering (versión inicial)
1985	Análisis y diseño estructurado para sistemas de tiempo real de WARD y MELLOR
1986	SSADM Versión 3
1987	Análisis y diseño estructurado para sistemas de tiempo real de HATLEY y PIRHBAY
1989	METRICA (versión inicial)
1990	SSADM Versión 4
1993	METRICA Versión 2
1995	METRICA Versión 2.1
2001	METRICA Versión 3

**Tabla II.1** Relación histórica de las principales metodologías estructuradas.

## II.2.1 Metodologías estructuradas.

### *Metodología de De Marco*

Los pasos de la metodología de DEMARCO ( Piattini, 2004) son:

1. Estudio del entorno físico actual.

Antes de estudiar las necesidades del usuario, se comienza haciendo un modelo del sistema actual en el que se muestran los procedimientos actuales estén o no automatizados. El modelo resultante será verificable por el usuario. Para ello, se realizan un conjunto de DFD (Diagrama de Flujo de Datos) físicos actuales.

2. Derivación del correspondiente modelo lógico actual.

En esta etapa se obtiene un modelo derivado del anterior pero sin connotaciones físicas (como pueden ser, por ejemplo, los lugares de la empresa donde se realiza un determinado proceso).

3. Derivación de un nuevo modelo lógico.

En esta etapa se toman en consideración las nuevas necesidades de los usuarios, estableciendo un modelo que describe aquello que hay que hacer, pero no cómo. El resultado de una especificación especificadas y estructurada, como se comentó anteriormente por los DFD. El diccionario de datos y las especificaciones de procesos del sistema.

4. Crear un conjunto de modelos físicos alternativos.

A partir del modelo lógico se establecen diferentes alternativas de las que se escogerán posteriormente la más conveniente. Aquí se analiza el enlace de los procesos con el usuario, esto es, se vuelven añadir connotaciones físicas, pero ahora del nuevo sistema.

5. Valorar cada opción.

Se estudian los costos y los beneficios de los modelos físicos obtenidos anteriormente.

6. Seleccionar una opción.

Se selecciona el modelo físico a partir de los datos derivados del paso anterior.

7. Empaquetar la especificación.

Se recopila toda la documentación en un documento de especificación.

### *Metodología de Gane y Sarson*

La metodología de desarrollo GANE y SARSON (Piattini, 2004) es el resultado de varios años de aplicación práctica, en cuanto a formación y consultaría en métodos de análisis y diseño estructurados de sistemas. Fué creada por la empresa MCAUTO/IST bajo el nombre de STRADIS SDM (Structured Analysis Design and Implementation of information Systems, System Development Methodology).

<b>Fases del análisis estructurado</b>	
<b>Método de DeMarco</b>	<b>Método de Gane y Sarson</b>
1. Construir el modelo físico actual (DFD físico actual).	1. Construir el modelo lógico actual (DFD lógico actual).
2. Construir el modelo lógico actual (DFD lógico actual).	2. Construir el modelo lógico del nuevo sistema: elaborar una especificación estructurada y construir un modelo lógico de datos en tercera forma normal que exprese el contenido de los almacenes de datos.
3. Crear un conjunto de modelos físicos alternativos.	3. Seleccionar un modelo lógico.
4. Estimar los costos y tiempos de cada opción.	4. Crear el nuevo modelo físico del sistema.
5. Seleccionar un modelo.	5. Empaquetar la especificación.
6. Empaquetar la especificación.	

**Tabla II.2** Diferencias entre las metodologías de DeMarco y Gane/Sarson

En su libro, Gane y Sarson sólo hacen una breve presentación de lo que es la metodología; la mayor parte del libro se dedica a la descripción de las técnicas que utiliza. La metodología en sí es parecida a la de DeMarco. La principal diferencia es que hay una etapa en la que se definen los contenidos de los almacenes que aparecen en el DFD en tercera forma normal (véase la Tabla II.2).

Tanto la metodología de DeMarco como la de Gane y Sarson se fueron mejorando y refinando, expandiéndose a las fases de diseño e implementación.

### *Metodología de Yourdon/Constantine*

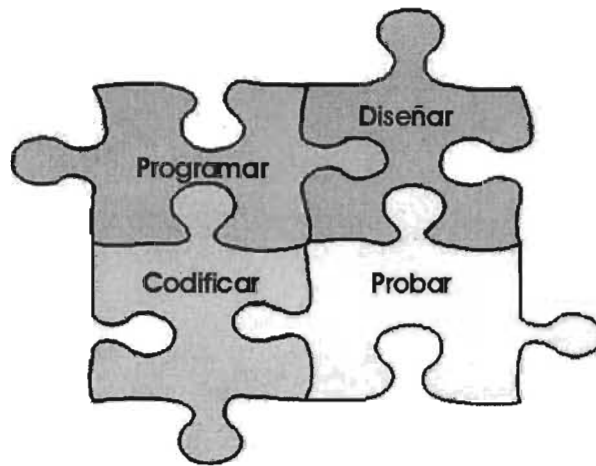
La metodología de análisis y diseño estructurado de Yourdon/Constantine (Piattini, 2004) consta de las siguientes fases:

1. Realizar los DFD del sistema.
2. Realizar el diagrama de estructuras, obteniéndolo a partir de los DFD, mediante dos técnicas: el análisis de transformación y el análisis de transacción.
3. Evaluación del diseño, midiendo la calidad de la estructura resultante mediante el acoplamiento y la cohesión.
4. Preparación del diseño para la implementación, es decir, dividirlo en unidades físicas de implantación denominadas cuadernos de cargas.

### **II.2.2 XP (Programación Extrema).**

Es una de las metodologías de desarrollo de software más exitosas actualmente utilizadas para proyectos de corto plazo, equipos pequeños y cuyo plazo de entrega era ayer. La metodología consiste en una programación rápida o extrema, cuya particularidad es tener como parte del equipo, al usuario final, pues es uno de los requisitos para llegar al éxito del proyecto.

La XP empieza con cuatro valores: Comunicación, Retroalimentación, Simplicidad y Coraje. Construye sobre ellos diversas técnicas que los proyectos XP deben seguir. Una de las técnicas más llamativas, es su fuerte énfasis en las pruebas (figura II.1). XP pone la comprobación como el fundamento del desarrollo, con cada programador escribiendo pruebas cuando escriben su código de producción. Las pruebas se integran en el proceso de integración continua y construcción lo que rinde una plataforma altamente estable para el desarrollo futuro.



**Figura II.1** Metodología Extreme Programming (XP).

En esta plataforma XP construye un proceso de diseño evolutivo que se basa en reconstruir un sistema simple en cada iteración. Todo el diseño se centra en la iteración actual y no se hace nada anticipadamente para necesidades futuras. El resultado es un proceso de diseño disciplinado. lo que es más, combina la disciplina con la adaptabilidad de una manera que indiscutiblemente la hace la más desarrollada entre todas las metodologías adaptables.

Características de XP, la metodología se basa en:

- Pruebas Unitarias: se basa en las pruebas realizadas a los principales procesos, de tal manera que adelantándonos en algo hacia el futuro, podamos hacer pruebas de las fallas que pudieran ocurrir. Es como si nos adelantáramos a obtener los posibles errores.
- Refabricación: se basa en la reutilización de código, para lo cual se crean patrones o modelos estándares, siendo más flexible al cambio.
- Programación en pares: una particularidad de esta metodología es que propone la programación en pares, la cual consiste en que dos desarrolladores participen en un proyecto en una misma estación de trabajo. Cada miembro lleva a cabo la acción que el otro no está haciendo en ese momento. Es como el chofer y el copiloto: mientras uno conduce, el otro consulta el mapa.



XP propone:

- Empieza en pequeño y añade funcionalidad con retroalimentación continua.
- El manejo del cambio se convierte en parte sustantiva del proceso.
- El costo del cambio no depende de la fase o etapa.
- No introduce funcionalidades antes que sean necesarias.
- El cliente o el usuario se convierte en miembro del equipo.

### II.2.3 La Familia de Cristal de Cockburn.

Alistair Cockburn propone la familia de metodologías Crystal. Se define una familia porque él propone que tipos diferentes de proyectos requieren tipos diferentes de metodologías. Él mira esta variación a lo largo de dos ejes: el número de personas en el proyecto, y las consecuencias de los errores. Cada metodología encaja en una parte diferente de los dos ejes, de modo que para un proyecto de 40 personas que puede perder dinero discrecionalmente tiene una metodología diferente a la de un proyecto vital de seis personas.

Alistair considera que las personas encuentran difícil seguir un proceso disciplinado. Alistair explora la metodología menos disciplinada que aun podría tener éxito, intercambiando conscientemente productividad por facilidad de ejecución. Él considera que aunque Crystal es menos productivo que una metodología más estricta, más personas serán capaces de seguirlo.

Alistair también pone mucho peso en las revisiones al final de la iteración, animando al proceso a ser auto mejorante. Su aserción es que el desarrollo iterativo está para encontrar los problemas temprano, y entonces permitir corregirlos. Esto pone más énfasis en la gente supervisando su proceso y afinándolo conforme desarrollan.

### II.2.4 El Desarrollo de Software Adaptable de Highsmith.

Jim Highsmith ha pasado muchos años trabajando con metodologías predictivas. Él, las desarrolló, instaló, enseñó, y concluyó que son profundamente defectuosas: particularmente para los negocios modernos.

Su reciente libro se enfoca en la naturaleza adaptable de las nuevas metodologías, con un énfasis particular en aplicar las ideas que se originaron en el mundo de los sistemas complejos adaptables (normalmente conocidos como teoría del caos.) No proporciona el tipo de prácticas detalladas como lo hace la XP, pero proporciona la base fundamental de por qué el desarrollo adaptable es importante y las consecuencias a los más profundos niveles de la organización y la gerencia.

En el corazón del desarrollo de software adaptable (ASD) hay tres fases solapadas, no lineales: especulación, colaboración, y aprendizaje.

Highsmith ve la planificación como una paradoja en un ambiente adaptable, ya que los resultados son naturalmente imprevisibles. En la planificación tradicional, las desviaciones del plan son errores que deben corregirse. En un el ambiente adaptable, sin embargo, las desviaciones nos guían hacia la solución correcta.

En este ambiente imprevisible se necesita que las personas colaboren de la mejor manera para tratar con la incertidumbre. La atención de la gerencia es menor en lo que tiene que hacer la gente, y mayor sobre la comunicación alentadora para que las personas puedan proponer las respuestas creativas ellos mismos.

En ambientes predictivos, el aprendizaje se desalienta a menudo. Las cosas se ponen de antemano y entonces se sigue ese diseño.

*En un ambiente adaptable, aprender desafía a todos - desarrolladores y sus clientes - a examinar sus asunciones y usar los resultados de cada ciclo de desarrollo para adaptar el siguiente. (Highsmith, 2000).*

El aprendizaje como tal es un rasgo continuo e importante, uno que asume que los planes y los diseños deben cambiar conforme avanza el desarrollo.

*El beneficio atropellado, poderoso, indivisible y predominante del Ciclo de Vida de Desarrollo Adaptable es que nos obliga a confrontar los modelos mentales que están en la raíz de nuestro autoengaño. Nos obliga a estimar con realismo nuestra habilidad. (Highsmith, 2000).*

Con este énfasis, el trabajo de Highsmith se enfoca directamente en fomentar las partes difíciles del desarrollo adaptable, en particular cómo fomentar la colaboración y el aprendizaje dentro del proyecto. Como tal su libro ayuda a dar ideas para fomentar estas áreas "suaves" que hacen un buen complemento a los acercamientos basados en una práctica aterrizada como XP, FDD y Cristal.

### **II.2.5 Scrum.**

Scrum se enfoca en el hecho de que procesos definidos y repetibles sólo funcionan para atacar problemas definidos y repetibles con gente definida y repetible en ambientes definidos y repetibles.

Scrum divide un proyecto en iteraciones de 30 días. Antes de que comience una iteración se define la funcionalidad requerida para esa iteración y entonces se deja al equipo para que la entregue. El punto es estabilizar los requisitos durante la iteración.

Sin embargo la gerencia no se desentiende durante la carrera corta. Todos los días el equipo sostiene una junta corta (quince minutos), llamada scrum, donde el equipo discute lo que hará al día siguiente. En particular muestran a los bloques de la gerencia: los impedimentos para progresar que se atraviesan y que la gerencia debe resolver. También informan lo que se ha hecho para que la gerencia tenga una actualización diaria de dónde va el proyecto.

La literatura de Scrum se enfoca principalmente en la planeación iterativa y el seguimiento del proceso.

Los autores que proponen la metodología Scrum son Ken Schwaber y Mike Beedle.

### **II.2.6 DSDM (Método de Desarrollo de Sistema Dinámico).**

El método empieza con un estudio de viabilidad y negocio. El estudio de viabilidad considera si DSDM es apropiado para el proyecto. El estudio de negocio es una serie corta de talleres para entender el área de negocio donde tiene lugar el desarrollo. También propone arquitecturas de esbozos del sistema y un plan del proyecto.

El resto del proceso forma tres ciclos entrelazados: el ciclo del modelo funcional produce documentación de análisis y prototipos, el ciclo de diseño del modelo diseña el sistema para uso operacional, y el ciclo de implantación se ocupa del despliegue al uso operacional.

DSDM tiene principios subyacentes que incluyen una interacción activa del usuario, entregas frecuentes, equipos autorizados, pruebas a lo largo del ciclo. Como otros métodos ágiles usan ciclos de plazos cortos de entre dos y seis semanas. Hay un énfasis en la alta calidad y adaptabilidad hacia requisitos cambiantes.

## II.2.7 Proceso Unificado

Rational Unified Process (RUP).

La metodología RUP, llamada así por sus siglas en inglés Rational Unified Process, divide en 4 fases el desarrollo del software (figura II.2):

- Inicio. El objetivo en esta etapa es determinar la visión del proyecto.
- Elaboración. En esta etapa el objetivo es determinar la arquitectura óptima.
- Construcción. En esta etapa el objetivo es llevar a obtener la capacidad operacional inicial.
- Transmisión. El objetivo es llegar a obtener el “release” del proyecto.

Cada una de estas etapas es desarrollada mediante el ciclo de iteraciones, la cual consiste en reproducir el ciclo de vida en cascada a menor escala. Los objetivos de una iteración se establecen en función de la evaluación de las iteraciones precedentes.

El ciclo de vida que se desarrolla por cada iteración, es llevada bajo dos disciplinas:

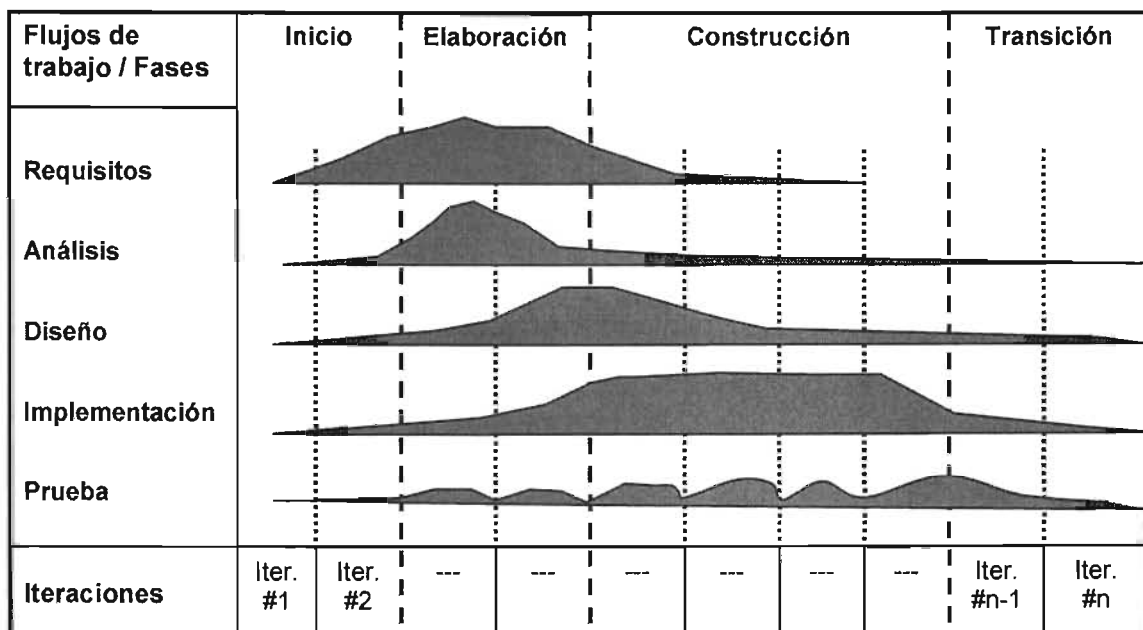
Disciplina de Desarrollo.

- Ingeniería de Negocios: Entendiendo las necesidades del negocio.
- Requerimientos: Traslado de las necesidades del negocio a un sistema automatizado.
- Análisis y Diseño: Traslado de los requerimientos dentro de la arquitectura de software.

- Implementación: Creando software que se ajuste a la arquitectura y que tenga el comportamiento deseado.
- Pruebas: Asegurándose que el comportamiento requerido es el correcto y que todo lo solicitado esta presente.

### Disciplina de Soporte

- Configuración y administración del cambio: Guardando todas las versiones del proyecto.
- Administrando el proyecto: Administrando horarios y recursos.
- Ambiente: Administrando el ambiente de desarrollo.
- Distribución: Hacer todo lo necesario para la salida del proyecto.



**Figura II.2** Fases e Iteraciones de la Metodología RUP.

Es recomendable que a cada una de estas iteraciones se les clasifique y ordene según su prioridad, y que cada una se convierte luego en un entregable al cliente. Esto trae como beneficio la retroalimentación que se tendría en cada iteración.

Los elementos del RUP son:

- *Actividades*, Son los procesos que se llegan a determinar en cada iteración.
- *Trabajadores*, Vienen hacer las personas o entes involucrados en cada proceso.
- *Artefactos*, Un artefacto puede ser un documento, un modelo, o un elemento de modelo.

Una particularidad de esta metodología es que, en cada ciclo de iteración, se hace exigente el uso de artefactos, siendo por este motivo, una de las metodologías más importantes para alcanzar un grado de certificación en el desarrollo del software.

El Proceso Unificado de Desarrollo de Software como metodología de desarrollo no ocupa herramientas de Rational necesariamente, esta metodología esta dirigida por los casos de uso, centrado en la arquitectura y es iterativo e incremental. El proceso utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) y basa gran parte del proyecto de desarrollo en componentes reutilizables, es decir en piezas de software con una interfaz bien definida.

Los casos de uso son un medio para determinar los requerimientos correctos y utilizarlos para conducir el proceso de desarrollo. (Jacobson, et, al 2000)

La arquitectura establece lo que se tiene que hacer; esquematiza los niveles significativos de la organización del software y se centra en la armazón del sistema. (Jacobson, et, al 2000).

La parte interactiva e incremental propone atacar primero las partes del sistema cargadas de riesgo obteniendo pronto una arquitectura estable y completando después las partes más rutinarias en interacciones sucesivas cada una de las cuales lleva a un incremento del progreso hasta la versión final. (Jacobson, et, al 2000)

### II.3 Arquitectura de aplicaciones.

La arquitectura de aplicaciones consta de tres partes:

- *Front end*: la presentación al usuario, con las entradas de datos y las pantallas de consulta.
- *Business Rules*: la lógica del negocio; el procesamiento de la información.
- *Back end*: el acceso a datos; el control del almacén de datos.

Los modelos de la arquitectura pueden subdividirse en dos tipos, en arquitectura centralizada y arquitectura cliente/servidor.

En el modelo de arquitectura centralizada se da en equipos de cómputo individuales y su principal problema es la actualización e integridad de los datos que maneja. Una arquitectura de cliente/servidor es una infraestructura versátil, basada en mensajes y modular con intención de mejorar la facilidad de uso, flexibilidad, interoperabilidad y escalabilidad de los sistemas.

El modelo cliente/servidor es un concepto que sirve para describir las comunicaciones entre procesos que se clasifican como consumidores de servicios (clientes) y proveedores de servicios (servidores).

Un cliente es un proceso (programa en ejecución) que envía una petición a un proceso servidor solicitándole la realización de una tarea (o servicio). El programa cliente normalmente gestiona aspectos de la interfaz de usuario.

Un proceso servidor (programa en ejecución) es un proceso que responde a la petición de un proceso cliente para realizar la tarea solicitada. Normalmente los procesos servidores ejecutan acciones sobre bases de datos de consulta y actualizaciones, gestionando la integridad de datos y los devuelven al cliente que los solicita.

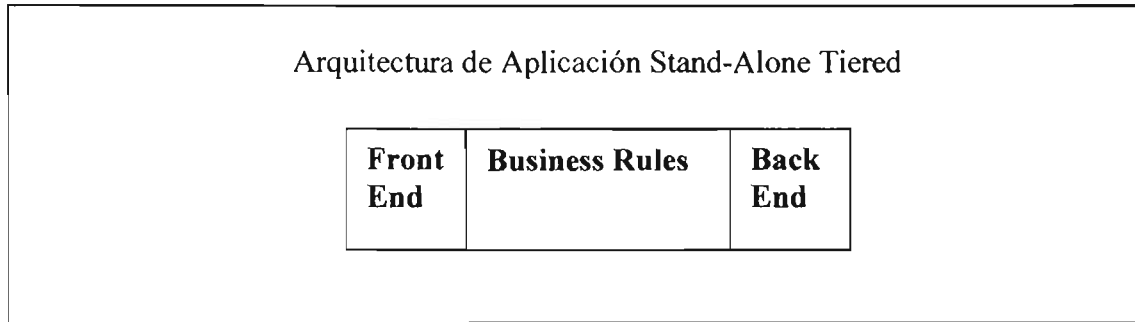
El proceso cliente/servidor puede residir en una máquina con capacidad de procesamiento o en varias máquinas conectadas en red.

Básicamente, la lógica de todo sistema de software puede dividirse en diferentes tipos de procesamiento; la lógica de presentación, encargada de presentar la interfaz de usuario, las reglas de negocio, encargada de procesarla, representando la funcionalidad propia del sistema en cuestión y la lógica de datos, encargada de devolver y actualizar los datos. En base en lo anterior se tienen tres modelos de arquitectura de aplicación: Modelo de una sola capa física, de dos capas y de tres capas físicas.

#### *Modelo de una sola capa física.*

Para referirse a la evolución de los sistemas operativos cliente/servidor normalmente se suele hacer referencia al número de niveles físicos o “tiers” y al grado de acoplamiento entre los distintos tipos de procesamiento. De este modo, las arquitecturas de un sólo nivel físico (Stand-Alone tiered) se corresponden a una máquina que aglutina toda la lógica de

presentación, negocio y datos de una forma fuertemente acoplada como es el caso de los mainframes. (Ver figura II.3)

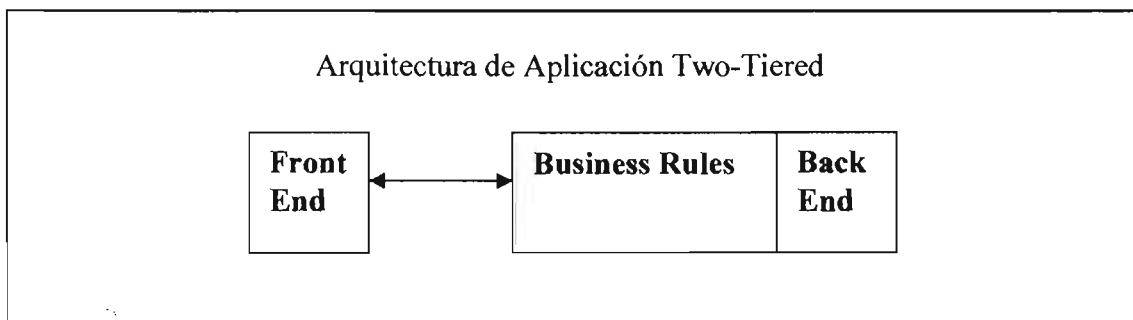


**Figura II.3** Arquitectura típica Stand-Alone tier. Donde todos los componentes de la aplicación constituyen una sola entidad.

*Modelo de dos capas físicas.*

La primer generación de sistemas cliente/servidor fue de dos niveles físicos (two tier) Esta arquitectura cliente/servidor se orienta a la conexión de computadoras personales (PC) con servidores conectados a una red.

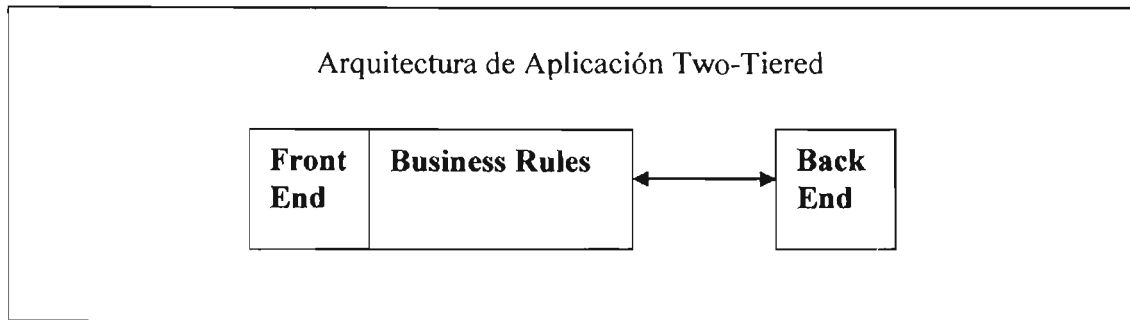
La arquitectura two-tier se divide en dos entidades separadas, con el interfaz por un lado y la lógica del negocio junto con el acceso a bases de datos por el otro (figura II.4).



**Figura II.4** Arquitectura Two-tier. Con el acceso a la base de datos y la lógica del negocio encapsuladas.

O se podría poner en el mismo lado la interfaz junto con la lógica del negocio (Figura II.5).





**Figura II.5** Arquitectura Two-tier. Con la interfaz del usuario y la lógica del negocio encapsuladas juntas.

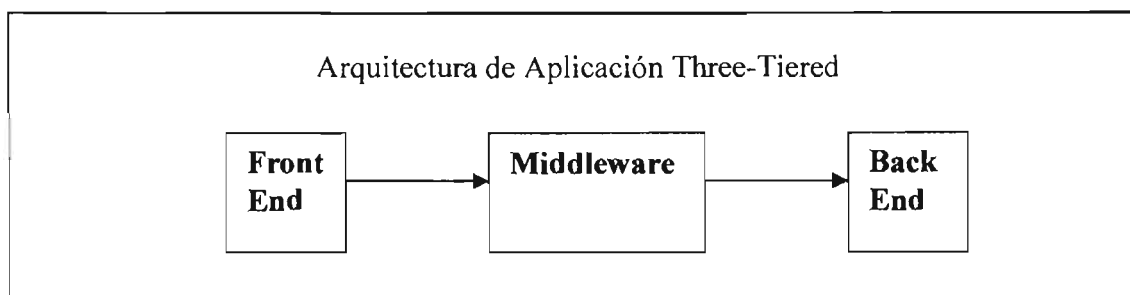
*Modelo de tres capas físicas.*

En la arquitectura cliente/servidor de tres niveles físicas (three tier), una máquina cliente realiza peticiones a una máquina servidor, y ésta a su vez, a otros servidores para satisfacer la petición original (Figura II.6).

Esta arquitectura se caracteriza por el hecho de que los niveles lógicos descritos anteriormente son independientes pudiendo cada nivel lógico desplegarse en una máquina física diferente.

Un ejemplo de arquitectura de tres niveles puede ser una máquina cliente que realice peticiones a un servidor de aplicaciones y este, a su vez, hace peticiones a un servidor de base de datos.

Algo que a Java le ha proporcionado un destacado éxito es la integración de aplicaciones corporativas, aunando los recursos de una empresa o institución en un conjunto coherente de servicios. Java juega un papel importante en la parte central de las arquitecturas de aplicación *three-tiered*.



**Figura II.6** Una arquitectura de aplicaciones three-tiered independientemente del vendedor.

En la figura II.6 se muestran las tres capas que se describen a continuación.

El *front end* es el cliente, lo cual, en los modernos entornos, es a menudo un navegador Web.

El *back end* es una colección de recursos de información y cálculo utilizados por una empresa o institución: sistemas de gestión de bases de datos (DBMS), contabilidad, almacén, pedidos, proceso de transacciones, recursos humanos, etc.

El *middleware* actúa como una agencia entre los servicios back-end y el cliente, y aquí es donde está ocurriendo actualmente el movimiento en Java. Muchas de las tecnologías en la Java 2 Enterprise Edition están orientadas a esta capa, como, por ejemplo:

- Enterprise JavaBeans (EJB), un entramado middleware para reparto de servicios.
- Java Database Connectivity (JDBC), acceso desde los middle-tier a los DBMS.
- Java Naming y Directory Interface (JNDI), acceso desde los middle tier a los servicios de directorio.
- Java Servlets y Java Servlets Pages (JSP), soporte para aplicaciones middle-tier ejecutándose bajo servidores Web.
- Java Messaging, soporte para intercambio fiable de datos.
- Java Transactions, soporte de transacciones para componentes middle-tier.
- CORBA y Remote Methods Interface (RMI), soporte para objetos distribuidos en la empresa.

Cada uno de los componentes de la aplicación en una arquitectura three-tier se separa en una sola entidad. Esto permite implementar componentes de una manera más flexible. Este tipo de arquitectura es la más compleja.

En esta arquitectura todas las peticiones de los clientes se controlan en la capa correspondiente a la lógica del negocio. Cuando el cliente necesita hacer una petición se la hace a la capa en la que se encuentra la lógica del negocio proporcionando las siguientes ventajas:

- El cliente no tiene que tener drivers ODBC ni la problemática consiguiente de instalación de los drivers, por tanto, se reduce el costo de mantener las aplicaciones cliente.
- El Cliente y el Gestor de Reglas de negocio tienen que hablar el mismo lenguaje (por ejemplo, COM).
- El Gestor de Reglas de negocio y el Servidor de datos tienen que hablar el mismo lenguaje (por ejemplo, ODBC).

El middleware tiene que ver con el reparto de servicios. Su papel es desacoplar la creación y el mantenimiento de estos servicios del problema, muy diferente, de proporcionarlos a los usuarios. En su forma más simple, el middleware actúa como un enlace con el back-end. Para requisitos más complejos, el middleware puede integrar o agregar servicios, actuar como un agente en representación del back-end (por ejemplo, introduciendo en la caché las entradas de una base de datos en la capa intermedia), actuar como un agente en representación de los clientes (por ejemplo, realizando un proceso batch para los usuarios), etc.

La selección disponible de productos middleware en el mercado actual resulta impresionante, abrumadora y complicada por las habituales batallas tecnológicas, por ejemplo, EJB frente a DNA (Distributed interNet Applications) de Microsoft Windows, y la actual inmadurez de las tecnologías.

## II.4 Tecnologías Web.

### II.4.1 Desarrollo de Aplicaciones Web del lado del Cliente.

#### *Javascript.*

El código Javascript es incrustado directamente en el código HTML, haciendo fácil la creación de páginas Web con contenido dinámico. La desventaja del uso de la tecnología Javascript del lado del cliente radica principalmente en el hecho de que el desempeño de tal aplicación Web depende enteramente de las capacidades de la máquina cliente en la que

ésta es ejecutada, así como la existencia de los programas de soporte (plug-ins) indispensables para la ejecución de Javascript instalados en esa máquina.

#### *Applets de Java.*

El uso de los applets de Java brinda las ventajas que ofrece el lenguaje Java, como por ejemplo, seguridad, robustez y portabilidad. Además, usando applets se tiene una interfaz más rica en el lado del cliente ofreciendo la labor de “menú” de las páginas Web, evitando las limitaciones de un formulario HTML, por ejemplo. Sin embargo, el hecho de que los applets son ejecutados en la máquina cliente, es necesario contar con una Java Virtual Machine de java instalado en la máquina cliente y si su acceso es vía Internet, el applet se debe primero descargar en la máquina cliente para su ejecución.

#### *Extensible Markup Language (XML)*

Aunque HTML (HyperText Markup Language) tiene la potencia suficiente para dar formato a páginas Web, no soporta, por ejemplo, la numeración automática de capítulos y apartados y no permite controlar los saltos de página de un documento, como tampoco permite dar formato fácilmente a valores matemáticos. Con XML, en cambio, se pueden crear documentos Web mucho más ricos que los que permite crear HTML. Dada su flexibilidad, XML se perfila como la nueva generación de lenguaje Web para documentos generales, pudiendo utilizarse en campos tan variados como los meta contenidos, las bases de datos y los sistemas de mensajería (Maruyama, 2000). Su sintaxis es basada en la sintaxis de HTML, lo cual hace que este nuevo lenguaje sea además fácil de aprender.

A pesar de sus muchas ventajas, las páginas Web creadas en XML son todavía pocas, pues esta tecnología aún no ha sido difundida lo suficiente.

### **II.4.2** Desarrollo de Aplicaciones Web del lado del Servidor.

#### *Common Gateway Interface (CGI).*

Las aplicaciones CGI fueron una de las primeras maneras prácticas de crear contenido dinámico para las páginas Web. En el marco de la interfaz CGI, el servidor Web pasa las solicitudes del cliente a un programa externo. La salida de dicho programa es enviada al

cliente en lugar del archivo estático tradicional. El advenimiento del CGI ha hecho posible la implementación de nuevas y variadas funcionalidades a las páginas Web, la interfaz puede ser implementada en todo tipo de servidores Web.

Una desventaja de los CGI es que cada vez que el servidor recibe una solicitud que accesa a un CGI, debe crear un nuevo proceso para la ejecución de dicho programa, pasándole a continuación, a través de variables ambiente y entrada de datos estándar, cada bit de la información que pudiera ser necesaria para generar la respuesta. Crear un nuevo proceso para cada solicitud requiere de tiempo y de significantes recursos del servidor, limitando el número de solicitudes que pueden ser procesadas de manera concurrente.

No obstante, los programas CGI pueden ser escritos en casi cualquier lenguaje, el lenguaje de programación Perl se ha vuelto la opción predominante. Sus avanzadas capacidades de procesamiento de texto son de gran ayuda en el manejo de detalles de la interfaz CGI. Escribir CGI en Perl da la apariencia de independencia de plataforma, pero requiere que además ejecute un intérprete de Perl separado por cada solicitud, lo cual requiere de aún más tiempo y recursos del servidor.

Otro problema con la interfaz CGI radica en el hecho de que un programa CGI no puede interactuar con el servidor Web o beneficiarse de habilidades del servidor una vez comenzada su ejecución, puesto que ésta es realizada en un proceso aparte (Hunter, 1998).

### *FastCGI*

FastCGI es una alternativa a CGI estándar, cuya diferencia radica principalmente en el hecho de que el servidor crea un único proceso persistente para cada programa FastCGI en lugar de por cada solicitud del cliente.

Aunque FastCGI es un paso en la dirección correcta, sigue teniendo problemas con la proliferación de procesos, ya que en todo momento existe al menos un proceso activo por cada programa FastCGI. Para manejar solicitudes concurrentes, habría que mantener un pool de procesos, uno por cada solicitud. Considerando que cada uno de estos procesos puede estar ejecutando el intérprete de Perl, este modelo no parece tan distinto del CGI estándar. Una solución que FastCGI ofrece para este problema es su habilidad para distribuir todos estos procesos entre múltiples servidores (Hunter, 1998).

### *Active Server Pages (ASP)*

Una página ASP es una página HTML que puede contener fragmento de código de prácticamente cualquier lenguaje de programación, aunque los más usados son VBScript o JScript. Este código es leído por el servidor antes de mandar la página al cliente (Hunter, 1998).

La ventaja de la tecnología ASP consiste en el hecho de que facilita la generación del código HTML, ya que éste puede ser escrito directamente y no desde las instrucciones de escrituras de un programa en otro lenguaje. Esto resulta de gran ayuda para los diseñadores de páginas Web, quienes no necesariamente son programadores y a menudo no conocen otros lenguajes de programación además del HTML.

La desventaja del uso de ASP es que sólo funcionan para servidores Web determinados. Originalmente esta tecnología fue creada por Microsoft para el Microsoft Internet Information Server (IIS).

### *Server-Side JavaScript (SSJS)*

Similar a la tecnología ASP, SSJS es la tecnología de Netscape para la creación de páginas Web dinámicas. La diferencia es que las páginas SSJS utilizan exclusivamente el lenguaje Javascript para su código incrustado. Además las páginas son precompiladas, con el fin de lograr un mejor desempeño.

### *Java http Servlets*

La mayoría de las aplicaciones Web se han venido escribiendo en C o lenguajes de scripts como Perl, y se invocan por medio del mecanismo llamado CGI (Common Gateway Interface). CGI permite generar contenido dinámico de una manera sencilla, pero presenta una serie de limitaciones, en especial el alto costo que supone procesar una consulta. Esto se debe a que cada vez que se ejecuta un programa CGI, se inicia un nuevo proceso.

Una alternativa de Java a este método son los servlets. Un servlet es una clase Java que puede ser dinámicamente cargada en un servidor para expandir la funcionalidad de éste. Los servlets son comúnmente usados con los servidores Web donde remplazan a los scripts CGI, sirviendo como un mecanismo para invocar un programa en Java.

Un servlet http puede generar una página HTML, ya sea accesándolo a través de su URL o como resultado de envío de una forma. Para producir efectos complejos, es posible formar una cadena de servlets con llamadas de uno a otro; la aplicación más común de esta técnica es para filtrar contenido.

Un servlet opera únicamente en el dominio del servidor, por lo cual a diferencia de un applet, no requiere soporte para Java en el navegador u otra aplicación en la máquina cliente. Además se ahorra memoria y tiempo de ejecución, en comparación con un applet, ya que se evita el descargar e interpretar los programas en la máquina cliente.

Los servlets también ofrecen una ventaja significativa sobre los CGI usados tradicionalmente para desarrollo de aplicaciones Web, al crear *threads* dentro de un mismo proceso en lugar de iniciar nuevos procesos para cada solicitud. La estrecha integración de los servlets con el servidor permite a un servlet cooperar con el servidor de formas inalcanzables para un programa CGI. Por ejemplo, un servlet puede traducir rutas de archivos, realizar accesos, verificar autorizaciones, realizar el mapeo de tipos MIME y hasta agregar usuarios a la base de datos del servidor de una manera sencilla, elegante y segura (Hunter, 1998). Un programa CGI, en cambio, no puede interactuar con el servidor y aprovechar sus habilidades una vez comenzada la ejecución del programa, debido a que ésta es realizada en un proceso aparte.

Más específicamente, las ventajas que ofrece el uso de la tecnología de http Servlets de Java para la creación de aplicación Web, son las siguientes:

- La tecnología de servlets permite crear aplicaciones para Internet independientes de la plataforma del usuario, debido a que se ejecutan directamente el servidor.
- Los servlets presentan una estrecha integración con el servidor.
- Los servlets de Java poseen además todas las características de seguridad, robustez y portabilidad propias de este lenguaje.
- Los servlets se ejecutan en una JVM (Java Virtual Machine) que reside en el mismo espacio de proceso que el servidor, por lo que no se produce ningún costo de intercambio de proceso.

Además de estas ventajas importantes de los servlets, Sun Microsystems ha suministrado bibliotecas de servlets que facilitan el desarrollo de aplicaciones Web. Estas bibliotecas permiten extraer valores de encabezados http, analizar los certificados que se utilizan para garantizar la seguridad de las conexiones por capas de sockets y procesar inclusiones del lado del servidor.

Una desventaja importante de los servlets consiste en el hecho de que complica la generación del código HTML, ya que éste ya no es escrito directamente, sino desde las instrucciones de escritura de Java. Esto presenta una gran dificultad para los diseñadores de páginas Web, quienes no necesariamente son programadores y a menudo no conocen otros lenguajes de programación además del HTML.

### *JavaServer Pages (JSP).*

JSP es una nueva tecnología de codificación del lado del servidor, equivalente a tecnologías como ASP y SSJS, que fue creada como una extensión del API (Application Program Interface) de servlets de Java para solucionar las desventajas de éstos últimos. Las páginas JSP son formadas al incluir fragmentos de código servlet directamente dentro del código HTML. De esta forma se elimina la necesidad de escribir el código HTML por medio de las instrucciones de escritura Java, simplificando el trabajo de los diseñadores de páginas Web. Así, la tecnología JSP llena el vacío entre el poder de Java en el servidor y la flexibilidad de HTML en el navegador, permitiendo la separación entre el contenido y la presentación. Además, las páginas JSP no se limitan a generar HTML, sino que pueden generar cualquier salida con formato de texto, como por ejemplo, XML o incluso, WML (Wireless Markup Language).

En realidad, la tecnología JSP no es más que una técnica para escribir servlets de una manera más sencilla, siendo todas las páginas JSP traducidas a servlets por un componente especial del servidor Web antes de ser ejecutadas. El servidor Web reconoce la extensión .jsp y pasa la solicitud al contenedor JSP que lleva a cabo la fase de traducción, durante la cual utiliza el contenido del documento de texto .jsp para crear una clase que implementa la interfaz javax.servlet.Servlet y tiene el mismo ciclo de vida que un servlet. Las acciones dinámicas especificadas en el documento fuente .jsp se compilan formando el método \_jspService() de este nuevo servlet. A continuación, el contenedor JSP pasa la solicitud del



cliente al método `_jspService()` de la clase derivada de la página JSP, el cual genera la respuesta que será regresada al cliente. Así, la implementación de JSP involucra necesariamente una fase de traducción, ejecutada una sola vez, y una fase de procesamiento de solicitud, ejecutada por cada solicitud (Tremblett, 2000).

Los principales beneficios que ofrecen las páginas JSP en adición a los de los servlets se enumeran a continuación:

- Habilidad de separar la lógica del programa de su presentación.
- Portabilidad, debido a que las páginas JSP son compiladas al *bytecode* de Java. Además, al igual que con los servlets, no hay que preocuparse de que todo navegador u otra aplicación cliente que las utilice tenga el soporte para java, puesto que son ejecutadas directamente en el servidor.
- Facilidad para el reuso: las páginas JSP permiten incrustar en su código componente reusables, como por ejemplo, JavaBeans, los cuales de esta manera pueden ser incorporados a numerosas páginas JSP sin necesidad de rediseño. Además, las páginas JSP pueden de manera estática o dinámica incluir otros códigos JSP.
- Extensibilidad: a través de librerías de *tags* personalizados.

## II.5 Servidores de Aplicación (Servidores Web).

Cuando se crearon los primeros Servidores de páginas (Web Server) como Apache, éste solo se encargaba de enviar los datos de páginas estáticas al usuario final, y cualquier otra información que requiriera de algún tipo de personalización era realizada por un intérprete que ejecutaba un script (programa), generalmente en Perl. Sin embargo, conforme las demandas de los Servidores de páginas se incrementaron fue necesario hacer más eficiente este proceso, ya que al llamar a un intérprete para que ejecute otro programa (en el caso Perl) pone una demanda muy fuerte sobre el Host que mantiene el Servidor de Páginas (figura II.7).

Hoy en día, se pudiera decir que todos los Servidores de páginas son Servidores de aplicaciones, ya que hoy contienen algunas funcionalidades especiales que les permite realizar aplicaciones de servidor y esto involucra una complejidad extra en el sistema ya sea

en la forma de requerimientos del sistema (memoria, procesadores), carga administrativa (configuración, tiempo de desarrollo) o alguna otra requisición común.



**Figura II.7** Cliente / Servidor

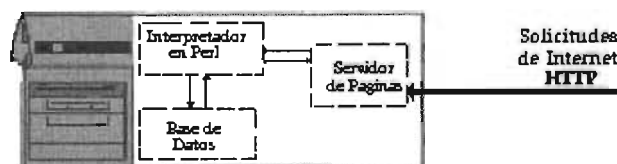
En el diagrama de la figura II.7 se puede observar que un navegador (Netscape o Explorer) solicita información al servidor de páginas, esta solicitud inicial se lleva a cabo mediante HTTP , sin embargo, una vez que esta solicitud llega al Servidor ésta puede tomar varias acciones.

En el esquema las líneas punteadas ( - - - ) representan un proceso/programa dentro del Host (computadora física), bajo esta hipótesis se describirán los Servidores de páginas.

*Apache.*

Apache es un Servidor Web, que permite el alojamiento de páginas Web en una máquina específica (figura II.8).

Esta herramienta tiene varias funciones tales como: permitir a los usuarios tener sus propias páginas Web, restricción a determinados sitios Web, conexiones seguras a través de SSL, configuración de módulos de programación.



**Figura II.8** Arquitectura del Servidor Apache

Apache es uno de los Servidores de páginas más utilizados, posiblemente porque ofrece instalaciones sencillas para sitios pequeños y es posible expandirlo hasta el nivel de los mejores productos comerciales.

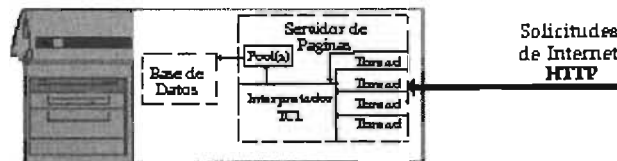
Algunas de sus características más importantes son:

- Es capaz de utilizar otros interpretadores y lenguajes como Tcl, PHP y Python.
- Puede conectarse directamente a una Base de datos.
- Entre otras, posee diversos módulos que le permiten utilizar una gran gama de lenguajes y desarrollar funcionalidades avanzadas.

### *AOLServer*

AOLServer al igual que Apache es un producto open-source. Desde sus versiones iniciales fue desarrollado con *Threading* lo cual hace eficiente las conexiones al servidor de páginas y también reduce la carga sobre el mismo.

Además de Threading AOLserver integra un Interpretador en su estructura interna evitando generar un proceso nuevo por *aplicación de servidor* y mantiene grupos de conexiones *latentes* (pools) hacia bases de datos también para evitar generar procesos nuevos.



**Figura II.9** Arquitectura de AOL Server

Otra ventaja de AOLServer es el ofrecimiento de ADP (Aol Dynamic Pages) que son muy similares a las ASP's (Active Server Pages) de Microsoft o JSP's\_(Java Server Pages) de Sun, la diferencia estriba que ADP's utilizan el lenguaje *Tcl* y un API especialmente diseñado para acceder a los elementos del servidor, pero su funcionamiento es igual al de ASP y JSP: mezclar elementos de HTML con elementos de programación para generar contenido dinámico.

Como último punto es utilizado por una de las empresas con mayor tráfico en Internet América Online, el proveedor de Servicios de Internet (ISP) más grande del mundo.

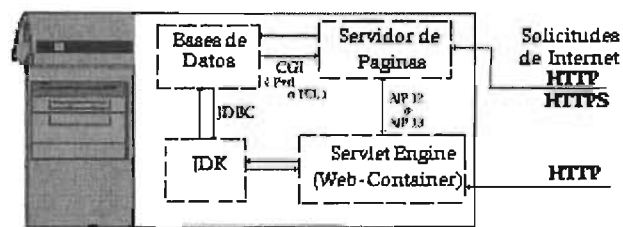
### *IIS (Internet Information Server)*

IIS es el servidor de páginas desarrollado por Microsoft para Windows NT/2000, a diferencia de los dos servidores de páginas mencionados anteriormente, IIS sólo puede operar en plataformas Windows. El punto más favorable de este servidor son los ASP's que facilitan el desarrollo de aplicaciones y la sencillez de instalación.

### *Jakarta Apache.*

Tomcat surgió de Sun Microsystem's cuando desarrollaban un Servidor de páginas que utilizara Java, y posteriormente cedieron el código fuente a la fundación Apache.

Tomcat requiere para su funcionamiento el JDK ("Java Development Kit") y es aquí donde dista un poco de las previas implementaciones:



**Figura II.10** Arquitectura de Jakarta Apache

En la figura II.10 la línea roja demuestra que el Servlet Engine (también llamado Web Container) es capaz de responder a requerimientos de Internet actuando como Servidor de páginas, sin embargo, aunque no funcionan tan eficiente como un Servidor de páginas, es por esto que se utilizar un Servidor de páginas (Apache, Aol, Netscape, ...) en conjunción con un "Servlet Engine".

La línea verde demuestra la utilización de un Servidor de páginas con un Servlet Engine (Web-Container), esta implementación suele utilizarse cuando se requiere utilizar encriptación o se tiene un sitio que contiene documentos puros en HTML. La comunicación entre el Servidor de páginas y el Servlet Engine se lleva a cabo mediante el protocolo denominado ajp12 y recientemente con su sucesor ajp13.

## Java Application Servers

Java Application Servers (Application Servers) ofrecen una manera de integrar y ofrecer las funcionalidades requeridas por la gran mayoría de sistemas empresariales ya que están diseñadas alrededor de J2EE.

Estos "Application Servers" comúnmente llamados Middleware se encuentran compuestos de la siguiente manera:

El Middleware se encuentra en la parte media de una arquitectura de sistema, su flexibilidad reside en la posibilidad de acceder a información en sistemas empresariales (EIS) como SAP, JdEdwards, bases de datos o alguna aplicación escrita en COBOL u otro lenguaje.

Dependiendo de la empresa que desarrolle el Application Server éste puede contener inclusive hasta un Servidor de Páginas o algún otro desarrollo propietario, sin embargo, los dos elementos primordiales son el Servlet Engine (Web-Container) y Enterprise Bean Engine (Bean-Container).

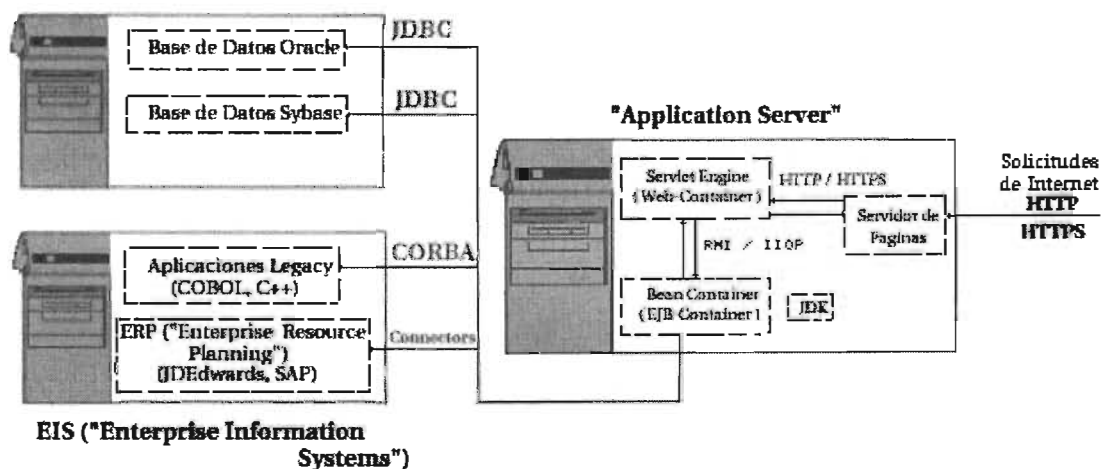


Figura II.11 Arquitectura de Java Application Servers

### Servlet Engine y Enterprise Bean Engine.

El Servlet Engine (Web-Container) en un Application Server ofrece un ambiente para JSP y Servlets.

El Enterprise Bean Engine (Bean-Container) ofrece un ambiente donde residen EJB's (Enterprise Java Beans), es mediante Enterprise Java Beans que se ejecuta la *lógica de negocios* sobre la información que reside en los sistemas empresariales (EIS). En el Bean

Container (al igual que en el Web Container) se contemplan varias funcionalidades: Pooling hacia bases de Datos (JDBC), control de transacciones (JTA-JTS), conectividad con ERP(Connectors), aplicaciones legacy (CORBA),entre otras cosas.

La mayor ventaja de este tipo de arquitectura se debe a la separación de funcionalidades y uso de protocolos de red como RMI/CORBA, esto facilita que puedan existir 4 o 5 Hosts en diferentes regiones geográficas, cada uno empleando cualquiera de los componentes antes mencionados. Por último, existen diversos Application Servers que son denominados Fully J2EE Compliant esto indica que cumplen con todas las especificaciones J2EE indicadas por Sun.

## II.6 Conceptos generales de Bases de Datos.

Una base de datos es una colección de archivos relacionados que almacenan tanto una representación abstracta del dominio de un problema del mundo real cuyo manejo resulta de interés para una organización, como los datos correspondientes a la información acerca del mismo. Tanto la representación como los datos están sujetos a una serie de restricciones las cuales forman parte del dominio del problema y cuya descripción está también almacenada en esos archivos (Luque et al., 2002).

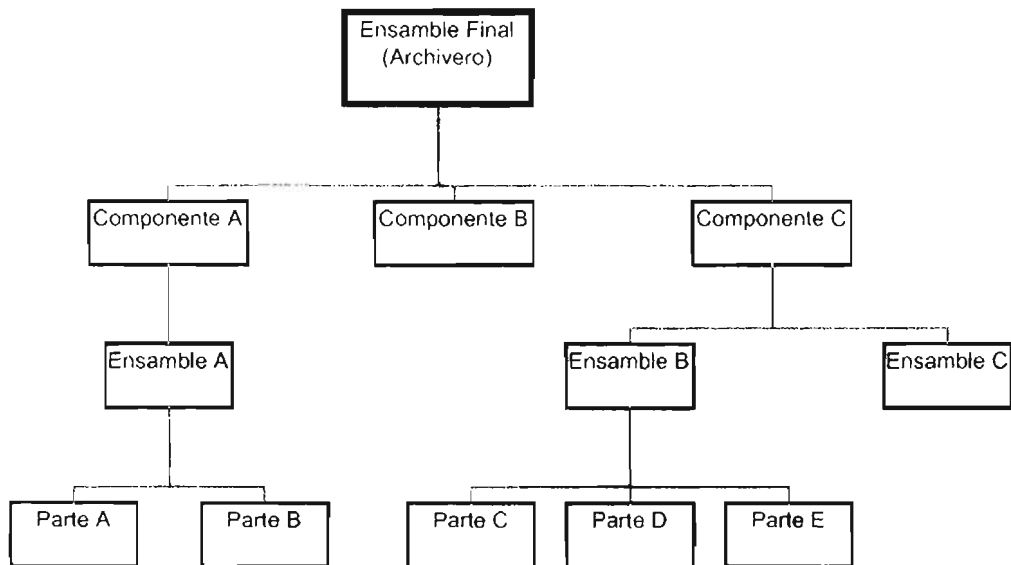
Un modelo de base de datos es un conjunto de ideas lógicas utilizadas para representar la estructura de los datos y las relaciones entre ellos dentro de la base de datos.

A continuación se describen los diferentes modelos de base de datos.

### *Modelo de base de datos jerárquico.*

La base de datos jerárquica es un conjunto de registros lógicamente organizados de conformidad con la estructura de árbol invertido (jerárquico) mostrada en la fig. II.12.

La computadora ve el árbol que esta definido por una ruta que rastrea los segmentos padres hacia los segmentos hijos, comenzando por la izquierda. Esta secuencia ordenada de segmentos que traza la estructura, se llama ruta jerárquica.

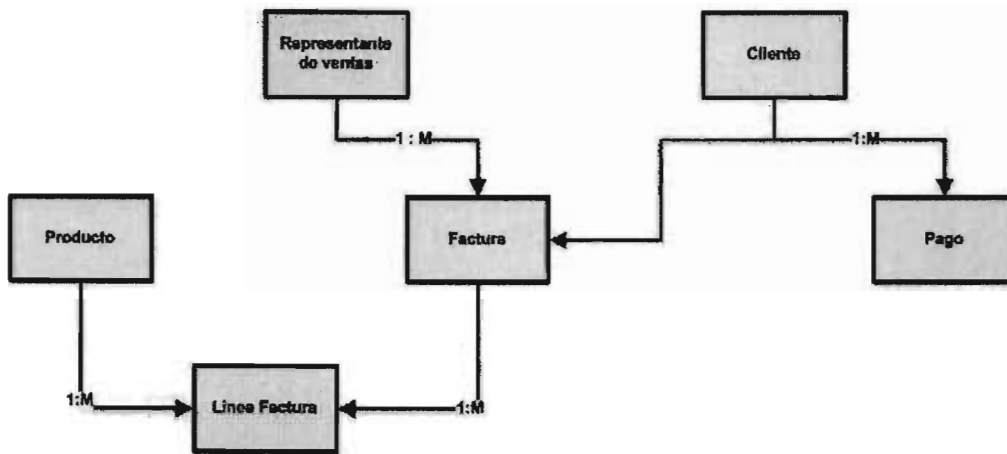


**Figura II.12** Estructura Jerárquica

A su vez esta ruta en forma de lista izquierda se conoce como secuencia jerárquica. El modelo jerárquico es efectivo siempre que se tengan muchas transacciones que impliquen una serie de relaciones 1: M que permanezcan siempre fijas.

*Modelo de la base de datos de Red.*

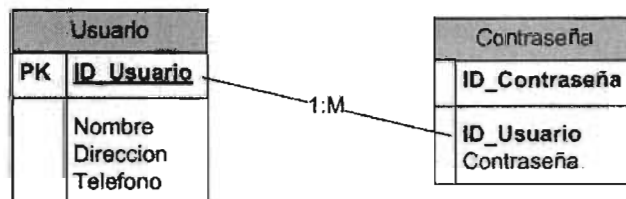
En muchos aspectos el modelo de base de datos de red se parece al modelo jerárquico. A diferencia del modelo jerárquico, el modelo de base de datos de red permite que un registro tenga más de un padre Fig. II.13. En base de datos de red una relación se llama conjunto, cada conjunto se compone por lo menos de dos tipos de registros, un registro propietario y un registro miembro equivalente al padre e hijo del modelo jerárquico respectivamente. Un conjunto representa una relación de 1: M entre el propietario y el miembro, un miembro puede tener varios propietarios.



**Figura II.13** Estructura de red

*Modelo de base de datos relacional.*

El Modelo de base de datos relacional se ejecuta mediante un sistema de administración de base de datos relacional (Relational Database Management System, RDBMS). Este modelo permite que el usuario o diseñador o ambos operen en un ambiente lógico humano. De este modo, la base de datos relacional es percibida por el usuario como un conjunto de tablas en la que se guardan datos. Cada tabla es una matriz compuesta por una serie de filas y columnas. Las tablas están relacionadas entre si porque comparten una característica de entidad común. El tipo de relación puede ser 1:1, 1:M, o M:N a menudo aparece en un esquema relacional, fig II.14.



**Figura II.14** Esquema relacional.

*Modelo Entidad - Relación*

Los modelos de entidad relación normalmente se presentan en un diagrama de Entidad-Relación (ERD, por sus siglas en ingles). El ERD utiliza representaciones graficas para modelar los componentes de una base de datos.



El modelo E-R básico se basa en los siguientes componentes:

Una entidad se representa por medio de un rectángulo en el modelo E-R. Su nombre un sustantivo, se escribe en el centro del rectángulo. Fig. II.15.

Las relaciones se representan por medio de un diamante conectado a las entidades relacionadas. El nombre de la relación, un verbo activo o pasivo se describe dentro del diamante.

#### *Modelo de base de datos orientado a objetos.*

El modelo de base de datos orientado a objetos esta basado en por lo menos los siguientes componentes.

- Los objetos del modelo son abstracciones de entidades del mundo real.
- Los atributos describen las propiedades de un objeto.
- Los objetos que comparten características similares se agrupan en clases, Una clase es un conjunto de objetos similares con estructura (atributos) y comportamientos (métodos) compartidos.
- Un método de clase representa una acción del mundo real.
- Las clases se organizan en una jerarquía de clase. La jerarquía de clase se parece a un árbol invertido donde cada clase tienen solo un padre.
- La herencia es la capacidad de un objeto dentro de la jerarquía de clase, de heredar los atributos y los métodos de las clases que están sobre él.
- El modelo de datos orientado a objetos representa un objeto como un cuadro vertical: todos los atributos y las relaciones del objeto con otros objetos se incluyen dentro del cuadro objeto.

En la fig. II.16 se muestra una comparación entre el modelo entidad relación y el modelo de datos orientado a objetos.

En la Tabla II.3 se muestra las ventajas y desventajas de los diferentes modelos de bases de datos.

Existen varios vendedores de Bases de Datos entre los que se encuentran: Oracle, Sybase, Solid, Postgres, MySql y DB2, entre otras. Todas ofrecen diversas funcionalidades y utilizan el lenguaje SQL.

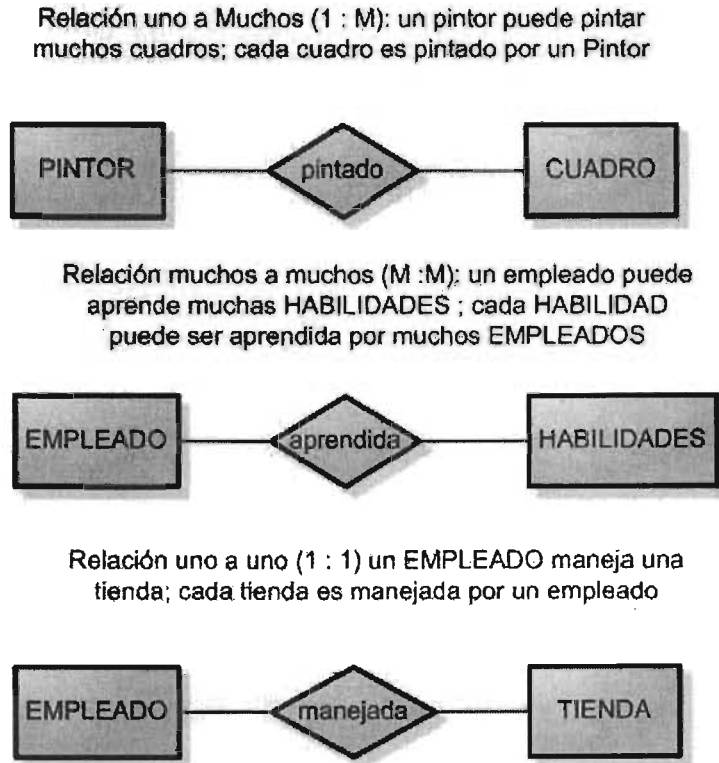


Figura II.15 Diagrama de entidad relación.

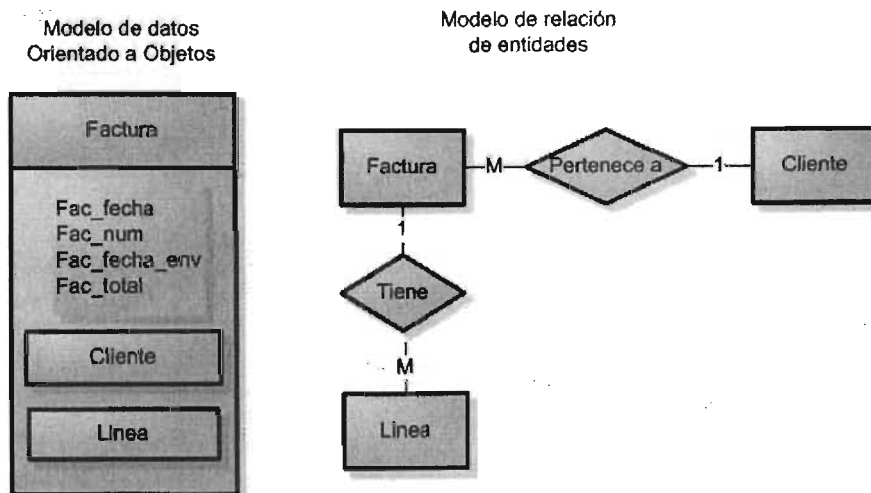


Figura II.16 Comparación entre modelos entidad-relación y orientado a objetos.

Oracle es una de las Bases de Datos que ofrece mayor funcionalidad en muchas áreas ya que ofrece paquetes con operaciones lógicas por industria, Oracle 9i Enterprise Edition, esta específicamente diseñada para soportar los requerimientos demandados por Internet y las nuevas aplicaciones de Ware House y Data Mining que permiten el tratamiento de la información en la Web en los negocios, adicionalmente tiene un lenguaje de procedimientos PL/sql para controlar el flujo del sql, para usar variables y para proporcionar procedimientos de manejo de errores. Oracle 9i Enterprise Edition es más que una base de datos relacional de almacenamiento e introduce IFS (Internet File System) e Intermedia, el primero provee funcionalidad Web avanzado y el segundo provee funcionalidad multimedia (imágenes, texto, audio, video). Sin embargo su costo es de los más altos.

Dentro del ramo Open-Source existen varias alternativas que por su costo/beneficio son rentables y son una alternativa en lugar de Oracle, una de estas implementaciones es Postgres, aunque cabe mencionar que existen otras bases de datos Open-Source, como: MySQL o Interbase.

Los manejadores de bases de datos evolucionan año con año por lo que ha surgido PostgreSQL un manejador de base de datos objeto-relacional (ORDBMS por sus siglas en inglés) basado en POSTGRES, Versión 4.2, desarrollada en la Universidad de California en Berkeley. Postgres Sql ofrece poder adicional al incorporar conceptos que facilitan la extensión del sistema: Inherencia, Tipo de datos y funciones; otras características que proporcionan flexibilidad son constraints, triggers, reglas e integridad de transacciones.

Modelo de base de datos	Independencia de los datos	Independencia Estructural	Ventajas	Desventajas
Jerárquico	Si	No	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Promueve compartir datos.</li> <li>2. La relación padre/ hijo promueve la simplicidad conceptual.</li> <li>3. La relación padre/ hijo promueve la integridad.</li> </ol> Eficiencia con relación 1 : M fijas.	El sistema navegacional origina un diseño, ejecución. Desarrollo de aplicaciones, uso y administración completa. Limitaciones de ejecución (no permite relaciones M : N o de padres múltiples). Carece de lenguaje de definición de datos o de lenguaje de manipulación de datos en el DBMS. Carece de estándares.
Red	Si	No	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simplicidad conceptual por lo menos igual a la del modelo jerárquico.</li> <li>2. Maneja mas tipos de relación tales como M : N o de padres múltiples.</li> <li>3. La relación propietario/miembro promueve la integridad de la base de datos.</li> <li>4. Se ajusta a los estándares.</li> </ol> Incluye lenguaje de definición y manipulación de datos en el DBMS.	La complejidad del sistema limita su eficiencia (aun en un sistema navegacional). El sistema navegacional origina un diseño, ejecución, destello de aplicaciones, uso y administración complejos.
Relacional	Si	Si	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Su diseño tabular mejora sustancialmente la simplicidad conceptual lo que origina un diseño, ejecución, administración y uso más fácil.</li> </ol> Capacidad de consultas	El RDBMS, que hace el sistema fácil de utilizar, requiere un substancial poder del software y del hardware del sistema. La simplicidad conceptual del sistema pone al alcance de las personas sin entrenamiento herramientas para utilizar un buen sistema deficientemente. Puede provocar problemas de islas de información, ya que los individuos y departamentos ven que es fácil desarrollar sus propias aplicaciones.
Relación de entidades	Si	Si	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El modelo visual reditúa una simplicidad conceptual excepcional.</li> </ol> La representación visual es una herramienta efectiva de comunicación. Integrado al dominante modelo de base de datos relacional	Representación Limitada. Representación de relaciones limitada. No incluye lenguaje de manipulación de datos. Pérdida de información, porque los atributos generalmente se remueven para eliminar las pantallas de visualización amontonadas.
Orientado a los objetos	Si	Si	Agrega contenido semántico. La representación visual incluye contenido semántico La herencia promueve la integridad de la base de datos.	Carencia de estándares. Sistema navegacional complejo. Pronunciada curva de aprendizaje. Elevados requerimientos del sistema hacen lento las transacciones.

**Tabla II.3** Ventajas y desventajas de los diferentes modelos de las bases de datos.

(Luque, 2002)

## Capítulo III. Sistema de Evolución Magmática (SEM)

### III.1 Introducción.

En este capítulo se presenta el proceso de desarrollo de una herramienta de software, acuñado con el nombre de SEM (Sistema de Evolución Magmática) y tiene como objetivo facilitar el análisis numérico y gráfico de los principales modelos de los procesos de evolución magmáticos; Cristalización Fraccionada (CF), Asimilación más Cristalización Fraccionada (A+CF) y Mezcla de Magmas (MM). En la primera sección se presenta el *análisis de captura de requerimientos*, después se definen las etapas de *análisis, diseño e implementación* del desarrollo del sistema y finalmente se realizan las *pruebas* del sistema.

### III.2 Captura de requerimientos.

Para desarrollar software como en cualquier otra actividad humana, se requiere contar con un *proceso de desarrollo*, el cual permita tener un buen control y una mejor planeación de lo que se desea desarrollar. Durante todo este proyecto se empleará como proceso de desarrollo de software el Proceso Unificado (ver Apéndice A), el cual proporciona las actividades necesarias para transformar los requerimientos de usuario en software.

El Proceso Unificado se caracteriza por estar basado en componentes, dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura y ser iterativo e incremental, emplea el Lenguaje de Modelado Unificado (UML por sus siglas en inglés; ver Apéndice A) como herramienta para realizar la modelación del software que se desea desarrollar.

Se planea desarrollar una aplicación Web, que tenga como finalidad analizar la génesis y evolución de rocas ígneas volcánicas, con base en el análisis numérico y gráfico, y pueda ser utilizado por estudiantes e investigadores en Ciencias de la Tierra.

#### III.2.1 Descripción del sistema.

El sistema automatizará los procesos magmáticos, de Cristalización Fraccionada (CF), Asimilación más Cristalización Fraccionada (A+CF) y Mezcla de Magmas (MM), dado que son los procesos más influyentes en la evolución de un magma. Por otra parte, se desea que esta herramienta cuente con una interfaz gráfica de fácil manejo y, además, facilite a los

usuarios el trabajo de modelado y análisis de los diferentes modelos presentando los resultados en forma numérica como gráfica.

El acceso al sistema será vía Internet por medio de una cuenta de usuario válida y no requiera de capacidades grandes de hardware y software para hacer uso de la herramienta. También, debe contar con una base de datos para almacenar los coeficientes de repartición para diferentes concentraciones de líquido como: basáltico, andesítico y dacítico, que requiere cada modelo.

La aplicación debe contar básicamente, para el trabajo de modelado de los tres procesos, con operaciones de insertar datos; ya sea por medio de la captura directa en las formas de la página Web o extrayendo los datos desde hojas de cálculo electrónicas (Excel), validar datos, modificar datos, guardar y graficar datos resultantes de cada modelo.

El sistema deberá permitir al usuario analizar los modelos ya sea con composiciones químicas en porcentaje en peso para elementos mayores, como con composiciones químicas en porcentaje en volumen para elementos traza. Además de, seleccionar y variar los valores de las variables que intervienen en cada modelo, tales como: la selección y/o des-selección de elementos mayores, elementos traza, fases minerales y coeficientes de repartición para diferentes concentraciones de líquido a utilizar; la modificación del índice de variación de la mezcla, sólido cristalino, proporción de asimilación, líquido residual o remanente, etc., con la finalidad de obtener diferentes comportamientos del modelo, los cuales podrán ser observados por el usuario de forma numérica y gráfica.

Es importante que la herramienta ofrezca la reutilización de datos resultantes de un modelo, dado que pueden ser datos de entrada para otro modelo.

De acuerdo a lo anterior, el sistema contará con cinco módulos principales:

1. Módulo de Modelado de Cristalización Fraccionada (MCF).
2. Módulo de Modelado de Asimilación más Cristalización Fraccionada (MACF).
3. Módulo de Modelado de Mezcla química de Magmas (MMM).
4. Módulo de Utilerías (MU).
5. Módulo de Ayuda (MA).

Para cada módulo el sistema debe contar con la funcionalidad necesaria que permita el desarrollo de las actividades siguientes.

## MCF

Para la primera fase de este módulo, el sistema contará con las presentaciones y formas necesarias para la introducción de concentraciones en porcentaje en peso para elementos mayores de la roca inicial (o roca madre), de la roca final (o roca hija) y de las principales fases minerales de la roca final (o roca hija). Se podrá elegir tanto los elementos mayores como las fases minerales con las cuales operará el proceso. Los resultados obtenidos de esta primera fase no se graficarán, pero sí se requerirá poderlos guardar.

El porcentaje de las fases que cristalizan (sólido cristalino o sólido removido) obtenido en la primera fase podrá utilizarse como dato de entrada para el proceso de CF utilizando la composición química en porcentaje en volumen para elementos traza, que correspondería a la segunda fase del modelado CF.

Para la segunda fase, será necesario contar con la composición química del líquido inicial y del líquido final en porcentaje en volumen para elementos traza. Deberá obtenerse los coeficientes de repartición, en líquidos de composición diferente, tales como: líquido basáltico, andesítico y dacítico, para ello, el sistema contará con el acceso a una base de datos. Al igual que en la fase anterior, se podrán seleccionar los elementos traza y las fases minerales a considerar en el modelo y el líquido padre que proporcionará los coeficientes de repartición. En esta parte del modelo será necesario guardar los resultados al disco duro de la máquina cliente y con la opción de graficarlos.

## MACF

Para el proceso de modelado A+CF el sistema contará con las presentaciones y formas necesarias para la introducción de la composición química de la roca original (cámara magmática) y de la roca contaminante (rocas pared de la cámara magmática) en porcentaje en volumen para elementos traza, así como para los valores de las fases que cristalizan en porcentaje y para el valor del índice o razón de asimilación. En la aplicación se podrán seleccionar los elementos traza y las fases minerales del sólido separado, los cuales se considerarán al aplicar el modelo. Así también, se permitirá cambiar el valor del parámetro de proporción de asimilación y seleccionar el líquido padre que proporcionará los coeficientes de repartición. El sistema contará por el momento con los valores de los

coeficientes de repartición para magmas basáltico, andesítico y dacítico, que estarán almacenados en una base de datos.

En esta parte del modelo permitirá guardar los resultados obtenidos al disco duro de la máquina cliente y con la opción de graficarlos.

Una característica que deberá tener la interfaz para graficar es el ingreso de cualquier composición química de una roca para compararla con los resultados obtenidos y, poder variar algunas características básicas de la gráfica (como la escala, el valor de sus ejes cartesianos, cuadrícula, entre otros) con la finalidad de obtener una mejor visualización e interpretación de los resultados.

### MMM

En el caso del proceso de Mezcla química de Magmas (MM), el sistema deberá permitir al usuario elegir entre utilizar elementos mayores en porcentaje en peso para la composición química de la roca o utilizar elementos traza en porcentaje en volumen. Una vez seleccionada la opción se deberá contar con las presentaciones y formas necesarias para proporcionar los valores de las composiciones químicas de dos magmas las cuales se mezclarán (cámara magmática estacionaria y magma que asciende) de acuerdo al grado de variación de la mezcla. Por tanto, se deberá contar también de una lista en el cual se pueda escoger el índice de variación de la mezcla, con el cual se indica al sistema la cantidad en la que se combinarán los magmas. Después de modelar el proceso de mezcla, se deberán comparar los resultados con una serie de rocas en una grafica, con la finalidad de ver si en su origen intervino este proceso.

En la interfaz de la grafica deberá ser susceptible de escoger los valores de los elementos en los ejes X-Y contra los que se van a graficar, esto para los dos tipos de datos geoquímicas que se tienen (elementos traza y elementos mayores).

### MU

Dentro de este módulo, permitirá principalmente al usuario acondicionar sus datos para el uso en otros módulos del sistema, uno de ellos es el cálculo de  $Fe_2O_3$  total a partir de  $FeO$  y  $Fe_2O_3$  y el otro es el recalcu de composiciones químicas hidratadas en porcentaje en peso de la roca a composiciones químicas anhidras.



MA

Finalmente, la aplicación deberá contar con un módulo de Ayuda que guíe a los usuarios en el manejo de la aplicación. La estructura principal de la Ayuda deberá ser por un lado el índice de contenido mostrando las principales partes funcionales que componen la aplicación, así como algunos ejemplos ilustrativos, y por el otro, el contenido didáctico de acuerdo al tema seleccionado.

Durante todo el proceso de modelado de procesos magmáticos, el usuario siempre tendrá el control de su información dentro de la aplicación, y si por alguna razón, se llega a generar alguna excepción, el sistema deberá proporcionar la información necesaria para que el usuario pueda ubicar la causa que lo generó y corregirla.

### III.2.2 Lista de características deseadas.

1. El usuario acceda al sistema por medio de Internet, proporcionando un nombre de usuario y contraseña válida.
2. El sistema presente una interfaz gráfica amigable, sin operaciones complicadas para el usuario. Y cuente con un módulo de ayuda que guíe a los usuarios en el manejo de la aplicación.
3. La interfaz de la aplicación presente e integre todos los elementos necesarios para que el usuario pueda analizar de manera numérica y gráfica los procesos de evolución que sufre un sistema magmático y que modifican la composición química de los magmas, principalmente Cristalización Fraccionada, Asimilación más Cristalización Fraccionada y Mezcla química de Magmas.
4. El sistema cuente con una base de datos donde se almacenen los coeficientes de repartición para diferentes concentraciones de líquido, tales como: basáltico, andesítico y dacítico.
5. El sistema cuente con un módulo de utilerías que permita acondicionar ciertos datos para el uso en el sistema, uno de ellos es el cálculo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  total a partir de  $\text{FeO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y el otro es el recálculo de la composición química en porcentaje en peso de la roca de hidratado a anhidro.

6. El usuario pueda analizar, por medio de resultados numérico-gráficos, los modelos tanto en composiciones químicas en porcentaje en peso para elementos mayores como en porcentaje en volumen para elementos traza.
7. El sistema permita a los usuarios ingresar las composiciones químicas de los magmas de manera directa o copiada desde hojas de cálculo electrónicas (Excel) y permita su modificación.
8. El usuario pueda seleccionar y variar los parámetros en cada modelo, como son: la selección de los elementos mayores, elementos traza o fases minerales a utilizar, con la finalidad de realizar diferentes análisis en el modelo y comparar los resultados.
9. El sistema permita la reutilización de resultados de un proceso como datos de entrada para otro con la finalidad de agilizar el trabajo de modelado.
10. El sistema cuente con las operaciones de guardar y graficar resultados de los modelos requeridos.

### III.2.3 Requerimientos funcionales.

La funcionalidad requerida por el sistema software (SEM; Sistema de Evolución Magmática) para modelar procesos de evolución magmática es presentada en los siguientes diagramas de casos de uso.

#### *Diagramas generales.*

En el diagrama de la figura III.1 se presentan los diferentes tipos de modelados de los procesos de evolución magmática soportados por el sistema.

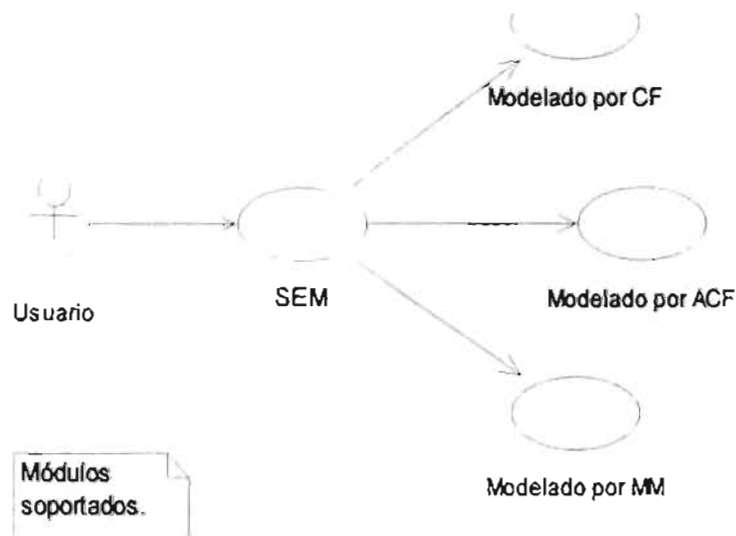


Figura III.1. Módulos soportados por SEM.

Los modelados son para los procesos de:

**CF:** Cristalización Fraccionada.

**ACF:** Asimilación más Cristalización Fraccionada.

**MM:** Mezcla de Magmas.

Los tipos de datos químicos con los que se puede modelar cada proceso se describe en la figura III.2.

Los datos químicos de las rocas ígneas volcánicas utilizados son de dos tipos, elementos mayores y elementos traza. Como se puede observar en la figura. El modelado CF (Cristalización Fraccionada) utiliza tanto elementos mayores como elementos traza; el modelado por A+CF (Asimilación más Cristalización Fraccionada) sólo requiere de elementos traza y el modelado por MM (Mezcla de Magmas) se realiza con elementos mayores y elementos traza.

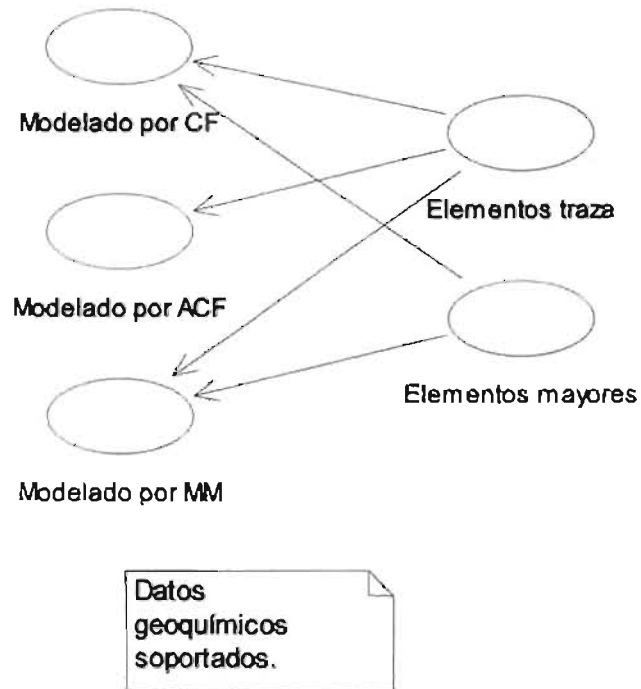


Figura III.2. Datos geoquímicas que se utilizan en SEM.

### III.2.5 Diagramas de casos de uso y sus posibles escenarios.

El alcance del sistema se encuentra reflejado en la figura III.3 --Diagrama de casos de uso general--y se presentan las operaciones que un usuario puede realizar a través del sistema.

En las tablas siguientes se presentan los diferentes escenarios --las actividades que un usuario puede realizar en la aplicación para modelar los procesos magmáticos-- de los casos de uso descritos en el diagrama de la figura III.3

Algunos de los casos de uso generales pueden tener un diagrama de casos de uso particular debido a su complejidad. En este subcapítulo se presentan los diagramas de casos de uso y algunos diagramas particulares --si es necesario --, así también se presenta los escenarios diversos de un caso de uso por medio de una tabla que describe las operaciones entre el Actor y el Sistema.

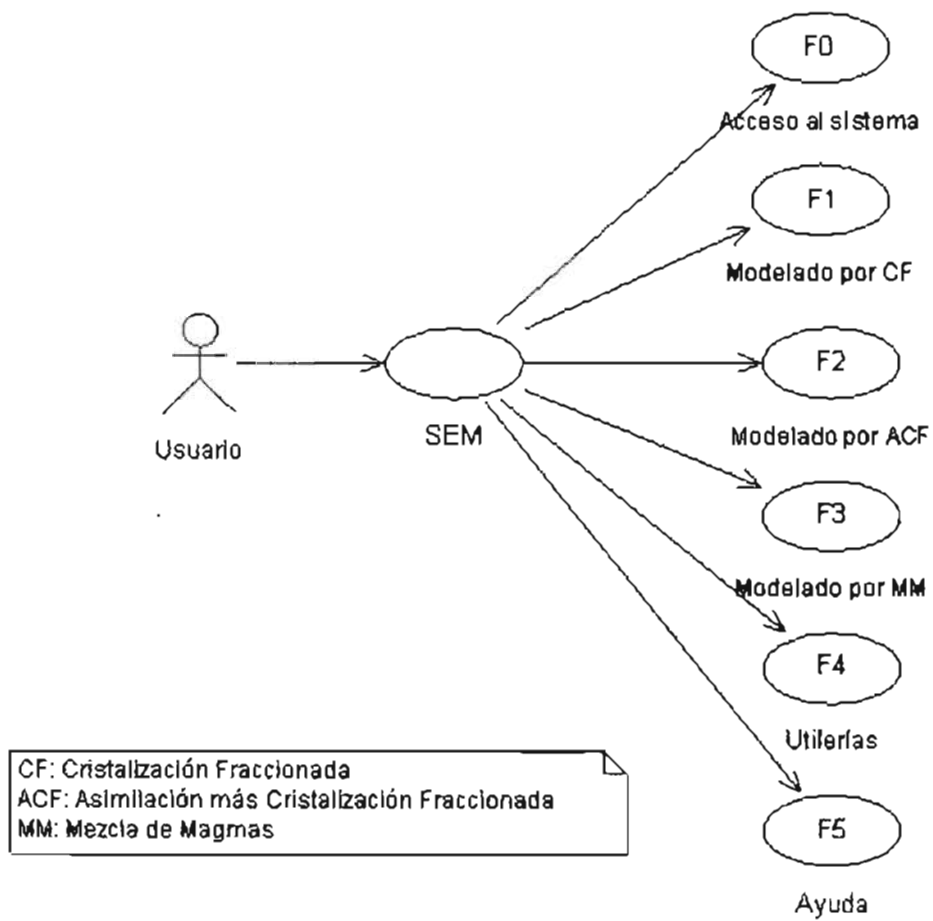


Figura III.3. Operaciones soportadas por SEM.

**CASO DE USO:** Acceso al sistema.

**IDENTIFICADORES:** F0.

**ACTORES:** Usuario.

**DESCRIPCIÓN:** El usuario ingresa al sistema para modelar algún proceso de evolución magmática.

Los posibles escenarios se describen en el siguiente flujo:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario ingresa a la dirección del sitio.	2	SEM muestra la página de inicio de la aplicación.	
3	Usuario proporciona nombre de usuario y contraseña.	4.A	SEM valida el nombre de usuario y contraseña.	E1
		4.B	SEM no puede validar el nombre de usuario y contraseña.	E2
		5.A	SEM muestra una página con los procesos de evolución magmática a modelar.	
		5.B	SEM Muestra una página de manejo de error.	

**Excepciones:**

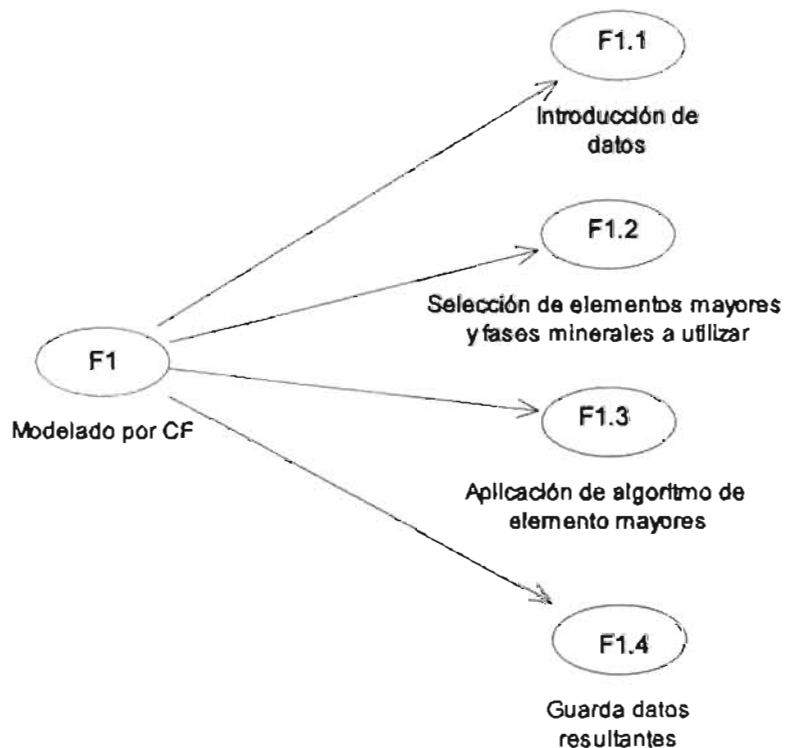
ID	Nombre	Acción
E1	Datos incorrectos	Se muestra la página para validar contraseña.
E2	Sin conexión a la base de datos.	Se envía mensaje "No es posible ingresar al sistema"

**CASO DE USO:** Modelado por Cristalización Fraccionada. Elementos mayores.

**IDENTIFICADORES:** F1

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En este caso de uso se llevan a cabo las operaciones necesarias para que un usuario aplique el modelo matemático CF. En la figura III.4 se presenta un diagrama de caso más particular.



**Figura III.4.** Diagrama de operaciones para el caso de uso: Modelado por Cristalización Fraccionada (CF). Elementos mayores.

En el siguiente flujo se describe el escenario general del Modelado por Cristalización Fraccionada, Elementos Mayores de la figura III.4.

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
		1	SEM muestra la pantalla de inicio del modelo CF	
2	Usuario introduce datos.	3	SEM pasa al módulo Introducir datos: caso de uso F1.1	
4	Usuario selecciona los elementos mayores y las fases minerales a utilizar			
5	Usuario aplica el modelo CF	6	SEM muestra la pantalla de resultados	E1
7	Usuario guarda resultados	8	SEM pasa al módulo F1.4	E2

#### Excepciones:

ID	Nombre	Acción
E1	Datos incorrectos	Se muestra mensaje datos no validos.
E2	Error de almacenamiento	Se muestra mensaje, "los datos no se pueden guardar"

A continuación se describen los casos de uso particulares del diagrama III.4 para mostrar los posibles escenarios por medio de tablas que describen los flujos de datos y operaciones, Aquí se analizan los casos de uso Introducir datos y guardar datos resultantes.

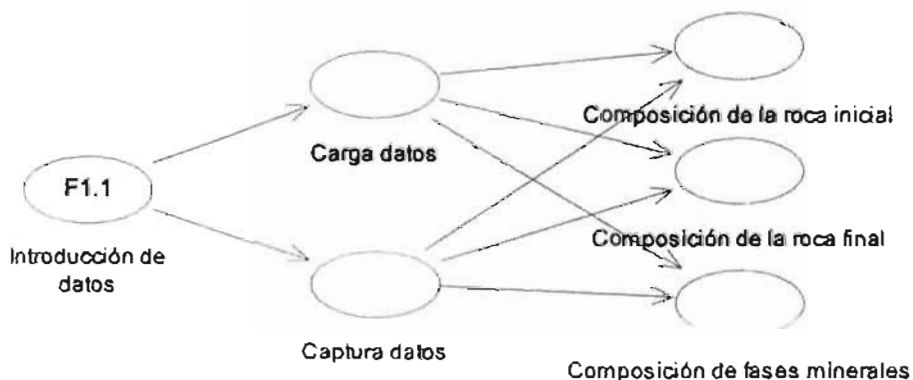


**CASO DE USO:** Introducción de datos.

**IDENTIFICADORES:** F1.1

**ACTORES:** Usuario.

**DESCRIPCIÓN:** La información que necesita el modelo para operar es: la composición de la roca inicial y roca final así como la composición de las fases minerales. Esta información puede ser introducida al sistema de dos formas (figura III.5), la primera, capturando los datos directamente en las casillas correspondientes y la segunda, cargándolos a partir de un archivo de Excel, cortando y pegando la información en el área requerida.



**Figura III.5.** Diagrama de caso de uso: Modelado por Cristalización Fraccionada. Elementos mayores.

Los escenarios analizados se describen en el siguiente flujo:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona "carga datos".	2	SEM muestra un pop up con áreas de texto.	
3	Usuario copia datos desde hojas de Excel y pega los datos en el área de texto correspondiente			
4	Usuario selecciona la opción "aceptar".	5	SEM presenta datos cargados en las casillas de texto correspondiente en la pantalla de Introducción de datos.	E1
IA	Usuario captura datos directamente en las casillas de texto.			E2

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error al cargar datos	Se muestra un mensaje error al cargar datos.
E2	Error al ingresar datos	Se muestra el mensaje error al ingresar datos.

**CASO DE USO:** Guarda datos resultantes.

**IDENTIFICADORES:** F1.4

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** La información obtenida como resultado del modelo de Cristalización Fraccionada se puede almacenar en un archivo y posteriormente puede ser recuperada con la aplicación de Excel de Microsoft, la información se guarda en un archivo con el formato separado por comas.

Los posibles escenarios que presenta este caso de uso se describen en el siguiente flujo:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "guardar datos".	2	SEM prepara datos resultantes para almacenar archivo.	
		3	SEM presenta diálogo guardar archivo.	
4	Usuario selecciona la opción de "guardar"	5	SEM crea el archivo y almacena información.	E1
		6	SEM muestra la pantalla guardar datos	
7	Usuario elige ubicación a salvar.			
8	Usuario proporciona nombre.			
9	Usuario selecciona la opción "aceptar".	10	SEM descarga archivo al disco duro local.	E2

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error Crear archivo	Se muestra mensaje error al crear el archivo.
E2	Error Descargar archivo	Se muestra el mensaje el archivo no se puede descargar

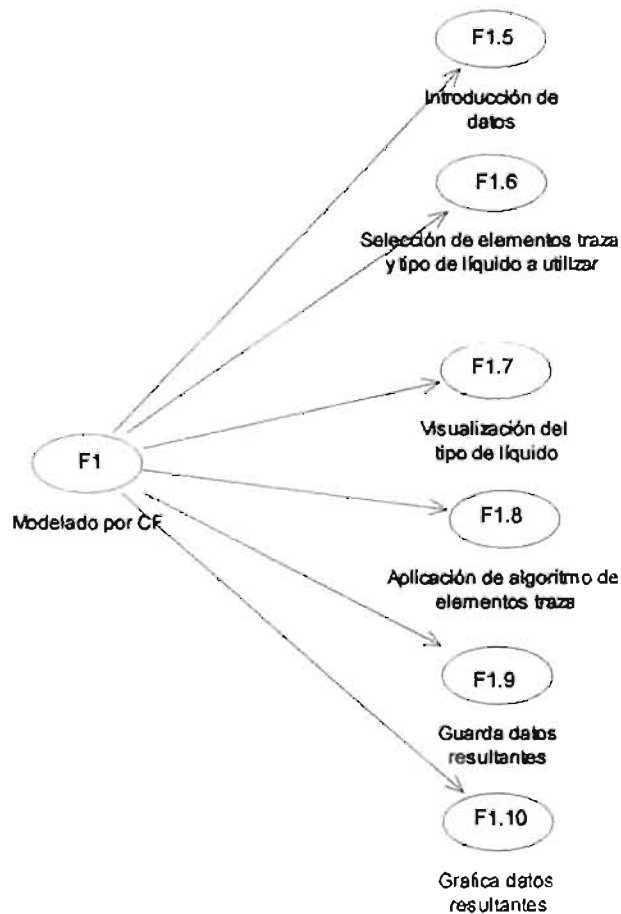
Una restricción para que el Modelado por Cristalización Fraccionada con Elementos Traza se lleve a cabo es que se debe realizar primero el Modelado CF con Elementos Mayores.

**CASO DE USO:** Modelado por Cristalización Fraccionada. Elementos Traza

**IDENTIFICADORES:** F1

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En la figura III.6 se observan las operaciones necesarias para que el usuario aplique el modelo matemático CF Elementos Traza.



**Figura III.6.** Diagrama de caso de uso: Modelado por Cristalización Fraccionada. Elementos traza.

En el caso de uso general de Modelado por Asimilación más Cristalización Fraccionada podemos tener casos de uso que detallen su funcionamiento.

**CASO DE USO:** Modelado por Asimilación más Cristalización Fraccionada.

**IDENTIFICADORES:** F2

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En la figura III.7 se observan las operaciones necesarias para que el usuario aplique el modelo matemático ACF y pueda guardar y graficar los resultados obtenidos.



**Figura III.7.** Diagrama de caso de uso: Modelado por Cristalización Fraccionada. Elementos traza.

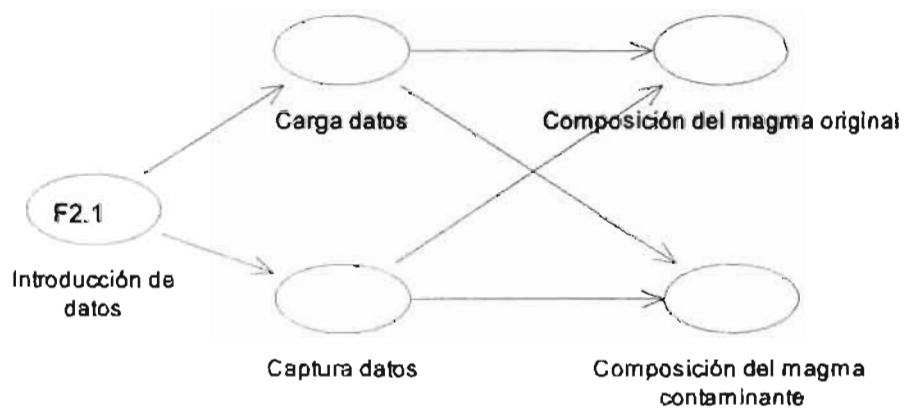
En los siguientes casos de uso se describen los flujos de datos y operaciones del diagrama de la figura III.6 y de la figura III.7 debido a que coinciden algunos casos de uso y diagramas de flujos de datos en los modelos de CF Elementos Traza y A+FC.

**CASO DE USO:** Introducción de datos

**IDENTIFICADORES:** F2.1

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** La información que requiere el modelo es la composición química del magma original y del magma contaminado en elementos traza, y la forma de proporcionar esta información al sistema puede ser por captura directa de las datos o por la carga de datos a través de un archivo de Excel al copiar y pegar la información en las casillas correspondientes (figura III.8).



**Figura III.8.** Formas de proporcionar la información necesario al modelo de Asimilación más Cristalización Fraccionada.

A continuación se describe el flujo de los posibles escenarios de este caso de uso:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona "Modelado ACF".	2	SEM muestra la página de Modelado por ACF.	
3A	Usuario selecciona "carga datos".	4A	SEM muestra un pop up con áreas de texto.	
5A	Usuario copia datos desde hojas de Excel.			
6A	Usuario selecciona la opción "aceptar".	7.A	SEM presenta datos cargados en las casillas de texto correspondiente en la página de modelado AFC.	E1
3B	Usuario captura datos directamente en las casillas de texto de la página de modelado AFC.			E2

**Excepciones:**

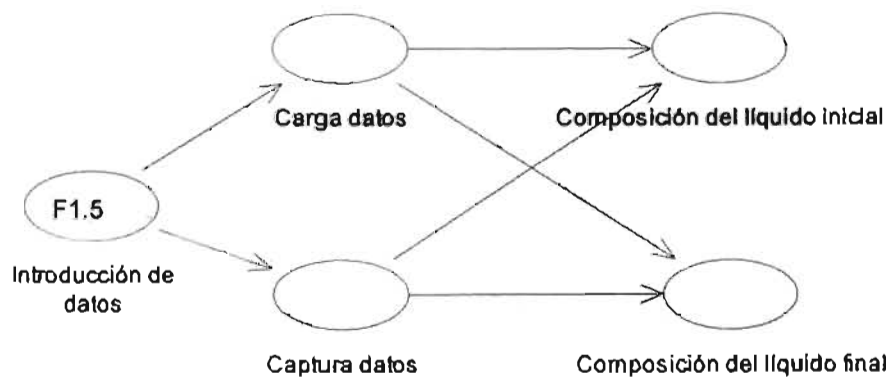
ID	Nombre	Acción
E1	Error cargar datos	Se muestra el mensaje error al cargar datos.
E2	Error captura datos	Se muestra un mensaje, error al capturar datos.

**CASO DE USO:** Introducción de datos

**IDENTIFICADORES:** F1.5

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En la figura se presenta los tipos de información que emplea la aplicación como datos de entrada. La composición del líquido inicial y la composición del líquido final utilizando elementos traza. También se presenta las dos formas de introducir los datos –cargar datos y capturar datos figura (III.9)—los cuales no se pueden combinar, es decir, se cargan los datos ó se capturan los datos.



**Figura III.9.** Diagrama que ejemplifica el caso de cargar datos o capturar datos, tanto para la composición del líquido inicial como la del líquido final.



A continuación se presenta el flujo de datos y operaciones entre el Actor y el Sistema.

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
I	Usuario selecciona "Modelado por CF usando elementos traza".	2	SEM muestra la página de Modelado por CF trazas.	
3A	Usuario selecciona "carga datos".	4A	SEM muestra un pop up con áreas de texto.	
5A	Usuario copia datos desde hojas de Excel.			
6A	Usuario selecciona la opción "aceptar".	7A	SEM presenta datos cargados en las casillas de texto correspondiente.	E1
3B	Usuario captura datos directamente en las casillas de texto.			E2

#### Excepciones:

ID	Nombre	Acción
E1	Error cargar datos	Se muestra un mensaje error al cargar datos.
E2	Error captura datos	Se muestra un mensaje, error al capturar datos.

**CASO DE USO:** Selección de elementos traza y tipo de líquido.

**IDENTIFICADORES:** F1.6, F2.2

**ACTORES:** Usuario.

**DESCRIPCIÓN:** Se escogen los elementos traza y el líquido a utilizar, en caso de escoger un líquido diferente a los que dispone la aplicación, el usuario tendrá que cargar sus propios coeficientes de repartición.

El siguiente flujo de datos presenta los diferentes escenarios para este caso de uso.

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario deselecta los elementos traza a no usar.			
2.A	Usuario selecciona un líquido disponible por la aplicación.	3A	SEM carga de manera automática los coeficientes de repartición de acuerdo al líquido seleccionado.	
2B	Usuario selecciona un líquido diferente a los disponibles por la aplicación.			
3B	Usuario hace clic en botón "Otro..." para cargar sus propios coeficientes de repartición.	4B	SEM un pop up con áreas de texto.	
5B	Usuario copia datos desde hojas de Excel.			
6B	Usuario selecciona la opción "aceptar".	7B	SEM carga los coeficientes de repartición y los presenta en el mismo pop up.	E1

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error cargar tipo de líquido	Se muestra un mensaje error al cargar tipo de líquido.

**CASO DE USO:** Visualización del tipo de líquido.

**IDENTIFICADORES:** F1.7, F2.3

**ACTORES:** Usuario.

**DESCRIPCIÓN:** La aplicación permite publicar los coeficientes de repartición del líquido, ya sea los cargados de manera automática por el sistema o los cargados por el usuario.

En la siguiente tabla se presenta el flujo de acciones entre el Sistema y el Actor

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario hace clic en cualquier botón del tipo del líquido.	2	SEM abre un pop up fijo.	
		3	SEM presenta los coeficientes de repartición en el pop up del líquido previamente cargado.	

**CASO DE USO:** Aplicación de algoritmo de elementos traza.

**IDENTIFICADORES:** F1.8

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** Operación que realiza el usuario para que la aplicación calcule modelo.

Para este caso de uso se presenta el escenario siguiente:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "Calcular CF".	2	SEM presenta una página con los resultados generados por el modelo de forma tabular.	
		3	SEM ofrece opciones de "guardar datos" resultantes y "graficar" datos resultantes en la misma página.	

**CASO DE USO:** Guarda datos resultantes.

**IDENTIFICADORES:** F1.9, F2.5

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:**

El flujo del escenario del caso de uso se describe a continuación.

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "guardar datos".	2	SEM prepara datos resultantes para almacenar archivo.	
		3	SEM presenta diálogo guardar archivo.	
4	Usuario selecciona la opción de "guardar"	5	SEM crea el archivo y almacena información.	E1
		6	SEM presenta la pantalla salvar datos.	
7	Usuario elige ubicación a salvar.			
8	Usuario proporciona nombre.			
9	Usuario selecciona la opción "aceptar".	10	SEM descarga archivo al disco duro local.	E2

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error Crear archivo	Se muestra mensaje error al crear el archivo.
E2	Error Descargar archivo	Se muestra el mensaje el archivo no se puede descargar

**CASO DE USO:** Aplicación de algoritmo A+FC.

**IDENTIFICADORES:** F2.4

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** Operación que realiza el usuario para que la aplicación calcule modelo.

El escenario se describe en el siguiente flujo:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "Calcular ACF".	2	SEM presenta una página con los resultados generados por el modelo de forma tabular.	
		3	SEM ofrece opciones de "guardar datos" resultantes y "graficar" datos resultantes.	

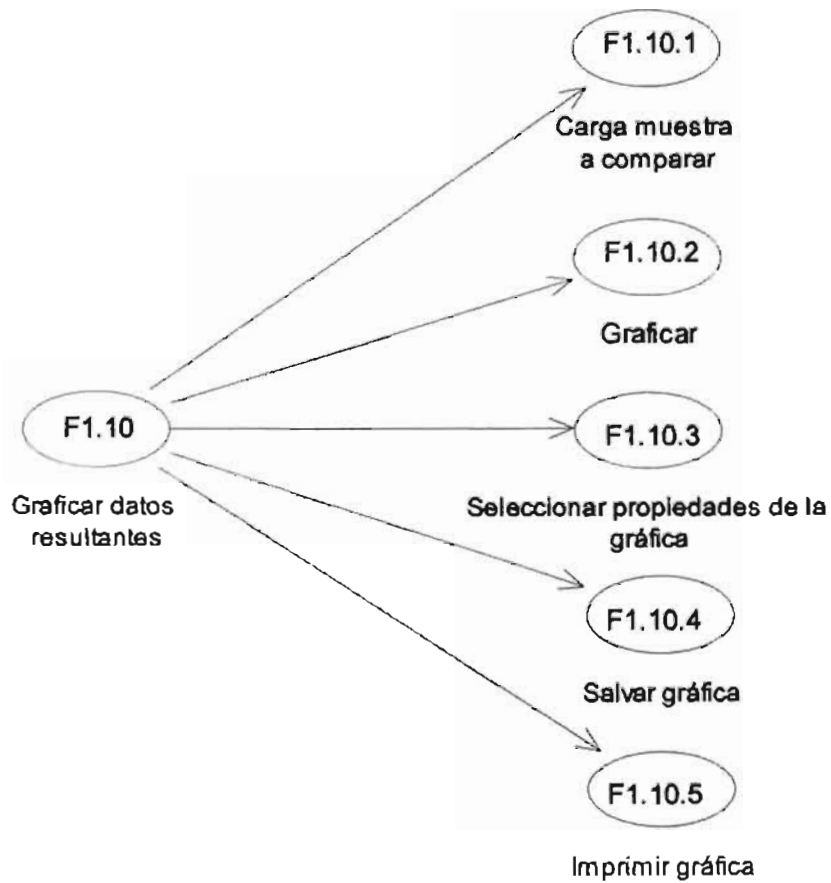
**CASO DE USO:** Gráfica datos resultantes.

**IDENTIFICADORES:** F1.10, F2.6

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En la figura III.10 presenta las operaciones que el usuario puede hacer para obtener la gráfica y manipularla.

A)



B)

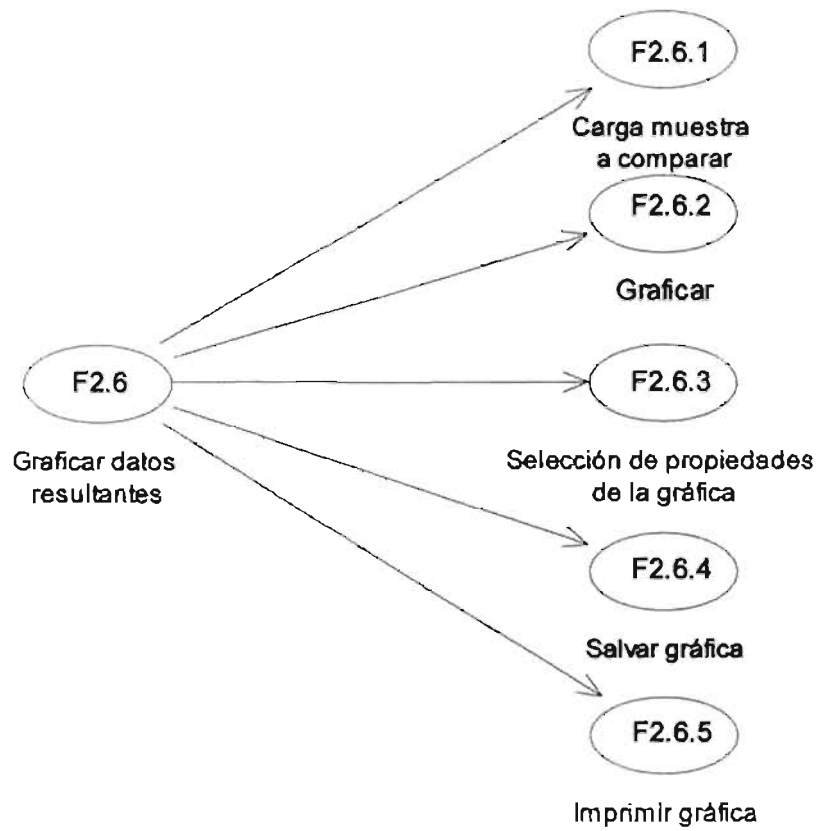


Figura III.10. Diagrama de casos de uso: A),B) Graficar datos resultantes.

**CASO DE USO:** Carga muestra a comparar.

**IDENTIFICADORES:** F1.10.1, F2.6.J

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** en este caso de uso se realizan las acciones necesarias para proporcionar al sistema los datos de la composición química de una roca a probar gráficamente.

A continuación se describe el escenario en este caso de uso:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "cargar datos".	2	SEM muestra pop up con área de texto.	
3	Usuario copia datos desde hojas de Excel			
4	Usuario selecciona la opción de "aceptar"	5	SEM carga a memoria la información.	E1
6	Usuario selecciona la opción "cerrar".			

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error cargar datos	Se muestra un mensaje, error al cargar datos.



**CASO DE USO:** Graficar.

**IDENTIFICADORES:** F1.10.2, F1.10.3, F2.6.2, F2.6.3

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En este caso de uso se realizan las acciones necesarias para la obtención y manipulación de la gráfica.

Escenario para el caso de uso graficar.

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "graficar".	2	SEM muestra gráfica con las propiedades por defecto.	E1
		3	SEM exhibe los puntos de las composiciones máxima y mínima y la composición muestra ingresada previamente.	
4	Usuario modifica las propiedades de la gráfica.	5	SEM actualiza gráfica de acuerdo a las propiedades elegidas.	

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error al mostrar el applet.	Se muestra un página con el área del applet en blanco.

**CASO DE USO:** Salvar gráfica.

**IDENTIFICADORES:** F1.10.5, F2.6.4

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** Operaciones de almacenar gráfica como una imagen.

En la tabla siguiente se presenta un escenario del caso de uso.

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "salvar gráfica".	2	SEM genera una imagen del dibujo gráfico trazado.	
		3	SEM presenta diálogo guardar.	
4	Usuario elige ubicación a salvar.			
5	Usuario proporciona nombre.			
6	Usuario selecciona la opción "aceptar".	7	SEM descarga imagen a disco duro local.	E1

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error guardar datos	Se muestra mensaje la imagen no se puede guardar.

**CASO DE USO:** Imprimir gráfica.

**IDENTIFICADORES:** F1.10.6, F2.6.5

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En este caso de uso se realizan las acciones necesarias para imprimir la gráfica.

El escenario del caso de uso se muestra en la siguiente tabla:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario selecciona la opción "imprimir" gráfica.	2	SEM muestra diálogo imprimir.	
3	Usuario selecciona la opción "aceptar".	4	SEM identifica área activa de trazado.	
		5	SEM imprime gráfica	E1

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error Imprimir	Se muestra mensaje, error al imprimir.

**CASO DE USO:** Mezcla de Magmas

**IDENTIFICADORES:** F3

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En la figura III.11 se muestra el diagrama de caso de uso Mezcla de Magmas.

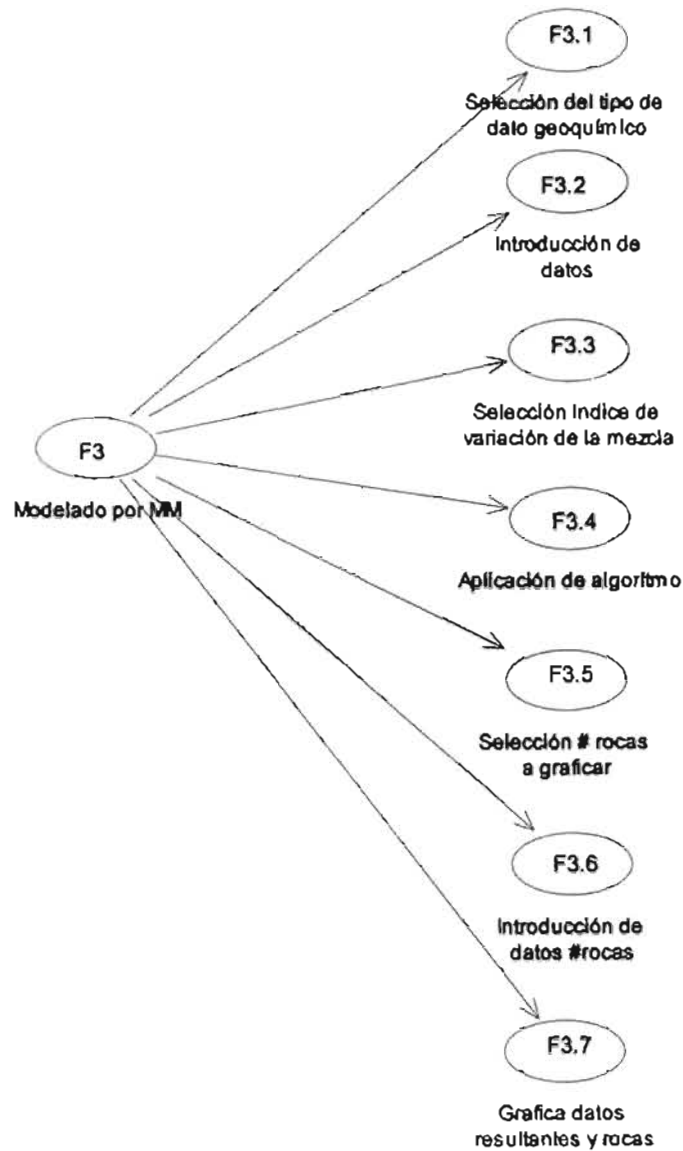


Figura III.11. Diagrama de caso de uso: Mezcla de Magmas.

Descripción del flujo de acciones:

Actor		Sistema		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
		1	SEM presenta pantalla para seleccionar tipo de dato geoquímica	
2	Usuario selecciona el tipo de dato químico a utilizar	3	SEM muestra la pantalla captura de datos	
4	Usuario Introduce datos	5	SEM pasa al módulo Introducción de datos F3.2	
6	Usuario selecciona índice de mezcla	7	SEM muestra el índice de mezcla seleccionado	
8	Aplica el modelo de mezcla	9	SEM muestra el resultado de la mezcla	E1
10	Usuario selecciona el número de rocas a graficar	11	SEM muestra las casillas correspondientes a cada roca para la captura de datos	
12	El usuario Introduce datos	13	SEM pasa al módulo introducción de datos #rocas F3.6	
14	Usuario selecciona graficar	15	SEM pasa al módulo graficar mezcla de magmas F3.7	

**Excepciones:**

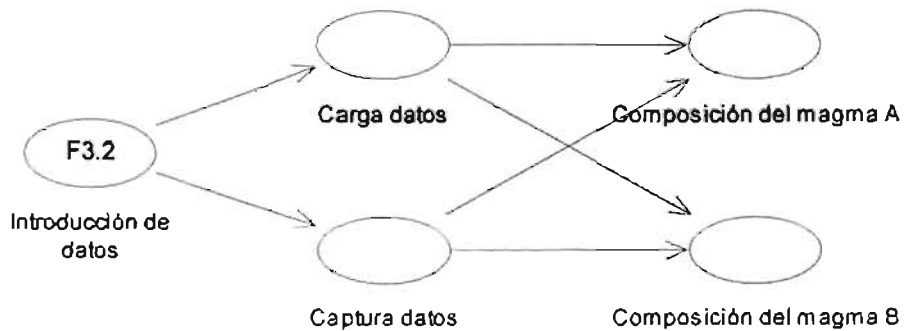
ID	Nombre	Acción
E1	Datos incorrectos	Se muestra el mensaje datos no válidos.

**CASO DE USO:** Introducción de datos

**IDENTIFICADORES:** F3.2

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** En la figura III.12 se observa que los datos se pueden proporcionar de dos formas excluyentes una de la otra, la primera es capturar datos y la segunda capturar datos, en ambos casos se necesita proporcionar la composición del magma A y la composición del magma B.



**Figura III.12.** Diagrama de caso de uso: Introducción de datos mezcla de magmas.

Descripción del flujo de acciones entre el sistema y el Actor:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
5.A	Usuario selecciona "carga datos".	6A	SEM muestra un pop up con áreas de texto.	
7.A	Usuario copia datos desde hojas de Excel y pega los datos en el área de texto correspondiente			
8.A	Usuario selecciona la opción "aceptar".	9 A	SEM presenta datos cargados en las casillas de texto correspondiente.	E1
5B	Usuario captura datos directamente en las casillas de texto.			

**Excepciones:**

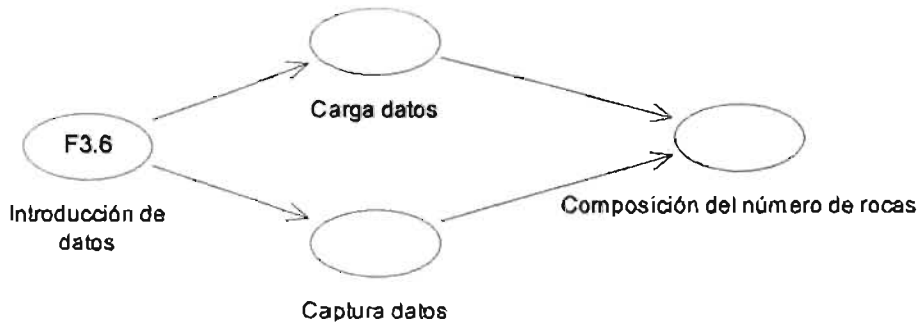
ID	Nombre	Acción
E1	Error al cargar datos	Se muestra un mensaje error al cargar datos.

**CASO DE USO:** Introducción de datos.

**IDENTIFICADORES:** F3.6

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** Introducción de datos de acuerdo al número de rocas seleccionadas (figura III.13).



**Figura III.13.** Diagrama de caso de uso: Introducción de datos para el número de rocas seleccionados.

Escenario posible para el caso de uso Introducción de datos:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
13.A	Usuario selecciona "carga datos".	14.A	SEM muestra un pop up con áreas de texto.	
15.A	Usuario copia datos desde hojas de Excel y pega los datos en el área de texto correspondiente			
16.A	Usuario selecciona la opción "aceptar".	17.A	SEM presenta datos cargados en las casillas de texto correspondiente.	E1
13B	Usuario captura datos directamente en las casillas de texto.			



**Excepciones:**

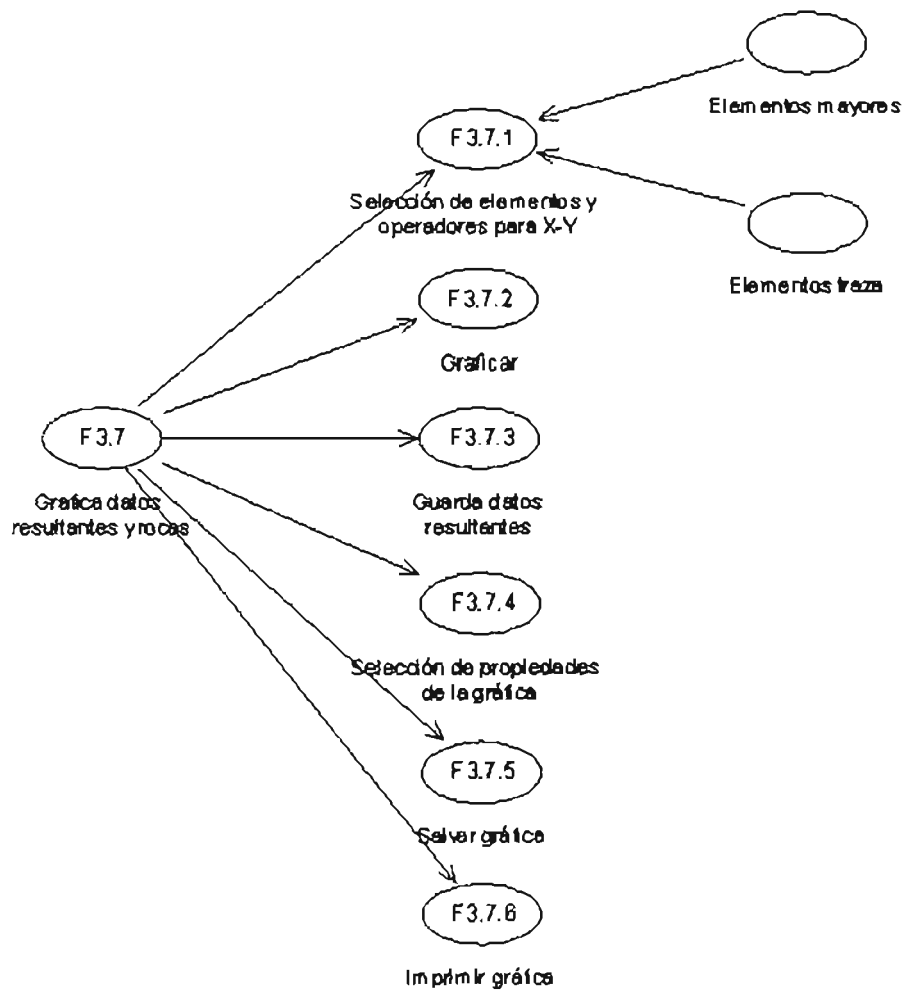
ID	Nombre	Acción
E1	Error al cargar datos.	Se muestra el mensaje error al cargar datos.

**CASO DE USO:** Graficar Mezcla de magmas.

**IDENTIFICADORES:** F3.7

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** Mezcla de magmas utilizando elementos mayores o elementos traza.  
Figura III.



**Figura III.14.** Diagrama de caso de uso: Graficar datos resultantes y rocas en Mezcla de magmas.

Flujo de acciones entre el Sistema y el Actor:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
		1	Se muestra la pantalla de graficar mezcla de magmas	
2	Usuario selecciona los elementos y operadores para X-Y			
3	Usuario grafica	4	Se muestra la pantalla de graficar	
5	Guarda los datos de las rocas que se grafican	6	Se presenta la pantalla de guardar datos	E1
7	Usuario modifica las propiedades de la gráfica	8	Se ajuste la gráfica a las propiedades	
9	Usuario salva gráfica	10	Se muestra la pantalla salvar gráfica	E2
11	Usuario imprime gráfica	12	Imprime la gráfica	E3

### Excepciones:

ID	Nombre	Acción
E1	Error de almacenamiento de datos	Se muestra un mensaje de error de almacenamiento
E2	Error de almacenamiento de gráfica	Muestra un mensaje de error en el almacenamiento de la gráfica
E3	Error de impresión de la gráfica	Se muestra un mensaje de error al mandar imprimir la imagen

**CASO DE USO:** Cálculo de óxido férrico y ferroso.

**IDENTIFICADORES:** F4.1

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** Operación de cálculo de óxido férrico y ferroso a partir del óxido férrico o ferroso total. Figura III.15.

Diagrama caso de uso: Utilerías. Cálculo Hierro total.

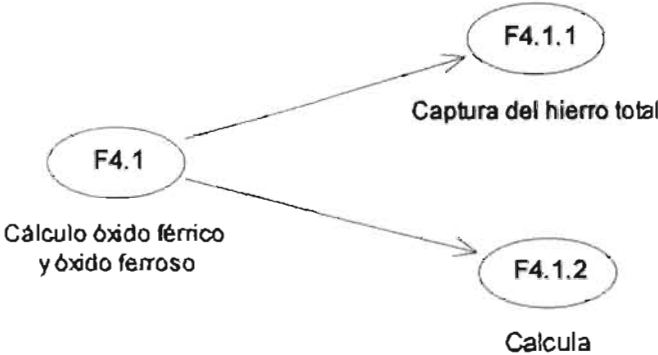


Figura III.15. Diagrama de caso de uso: Calculo Óxido Férrico y Óxido Ferroso.

El flujo de acciones entre el Sistema y el Actor se presenta en la siguiente tabla:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
		1	SEM muestra la pantalla de utilerías	
2	Usuario proporciona el óxido ferroso o el óxido férrico total			
3	Usuario selecciona calcula el óxido férrico y óxido ferroso	4	SEM muestra el valor del óxido ferroso y férrico calculados	E1

**Excepciones:**

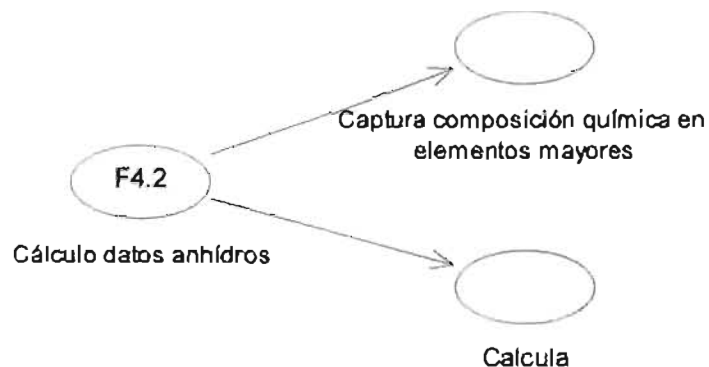
ID	Nombre	Acción
E1	Datos no válidos	Se muestra un mensaje de datos no válidos.

**CASO DE USO:** Cálculo de datos anhidros.

**IDENTIFICADORES:** F4.2

**ACTORES:** Usuario

**DESCRIPCIÓN:** Operación de cálculo de composiciones anhidras. Figura III.16



**Figura III.16.** Diagrama caso de uso: Utillerías. Cálculo datos anhidros.

El escenario posible para el caso de uso Cálculo datos anhidros se describe en la siguiente tabla:

ACTOR		SISTEMA		
Paso	Acción	Paso	Acción	Excepción
1	Usuario captura composición con LOI (hidratada).			
2	Usuario selecciona la opción "calcular".	3	SEM muestra composición sin LOI (anhidra).	E1

**Excepciones:**

ID	Nombre	Acción
E1	Error de datos	Se muestra un mensaje de datos no válidos.

## Capítulo IV. Análisis

El desarrollo de esta aplicación se basa en el modelo trifásico, de acuerdo con esto, tres módulos se ejecutan en plataformas distintas:

1. La interfaz gráfica de usuario GUI (Graphical User Interface): navegador que se ejecuta en la computadora del usuario.
2. El programa de aplicación que se ejecuta en el servidor Web y que se encarga de procesar los datos.
3. Un sistema de base de datos que almacena los datos que requiere la fase 2 del modelo.

*Ventajas:*

Las ventajas que destacan de este modelo son:

- Los navegadores Web están presentes en todas partes, por lo que puede accederse a las aplicaciones desde cualquier plataforma.
- Las aplicaciones pueden compartir un mismo aspecto y finalidad.
- La estructura en forma de módulos facilita la modificación o sustitución de uno de los procesos sin que ello afecte a los demás.

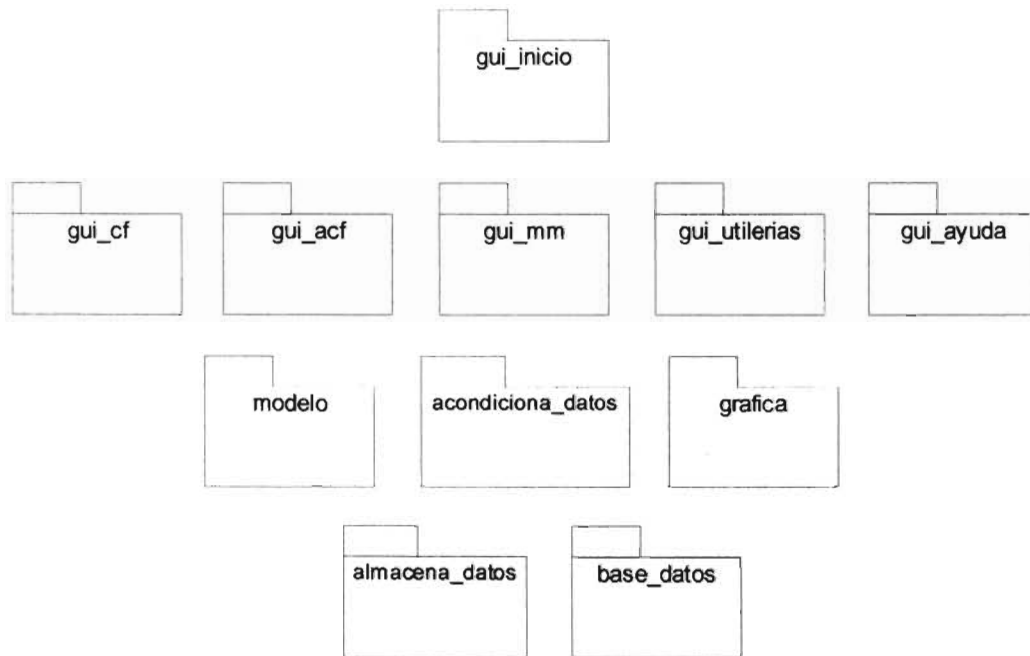
En este documento se presentan los siguientes puntos, como parte del proceso de análisis:

- Diagrama de paquetes.
- Diagrama de componentes.
- Diagrama de clases.
- Diagrama de interacción o de secuencia.
- Diagrama de actividades.

En los diagramas siguientes sólo se ejemplifican las partes principales del análisis del sistema. Se pueden consultar el apéndice A para mayores referencias.

## IV.1 Diagrama de Paquetes.

El siguiente diagrama presenta la propuesta del diagrama de paquetes y muestra la organización lógica de la aplicación.

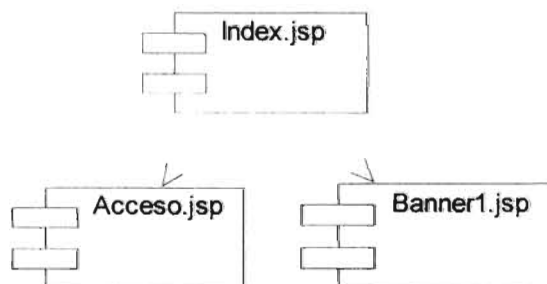


**Figura IV.1.** Diagrama de paquetes general.

## IV.2 Diagramas de Componentes.

- Paquete `gui_inicio`.

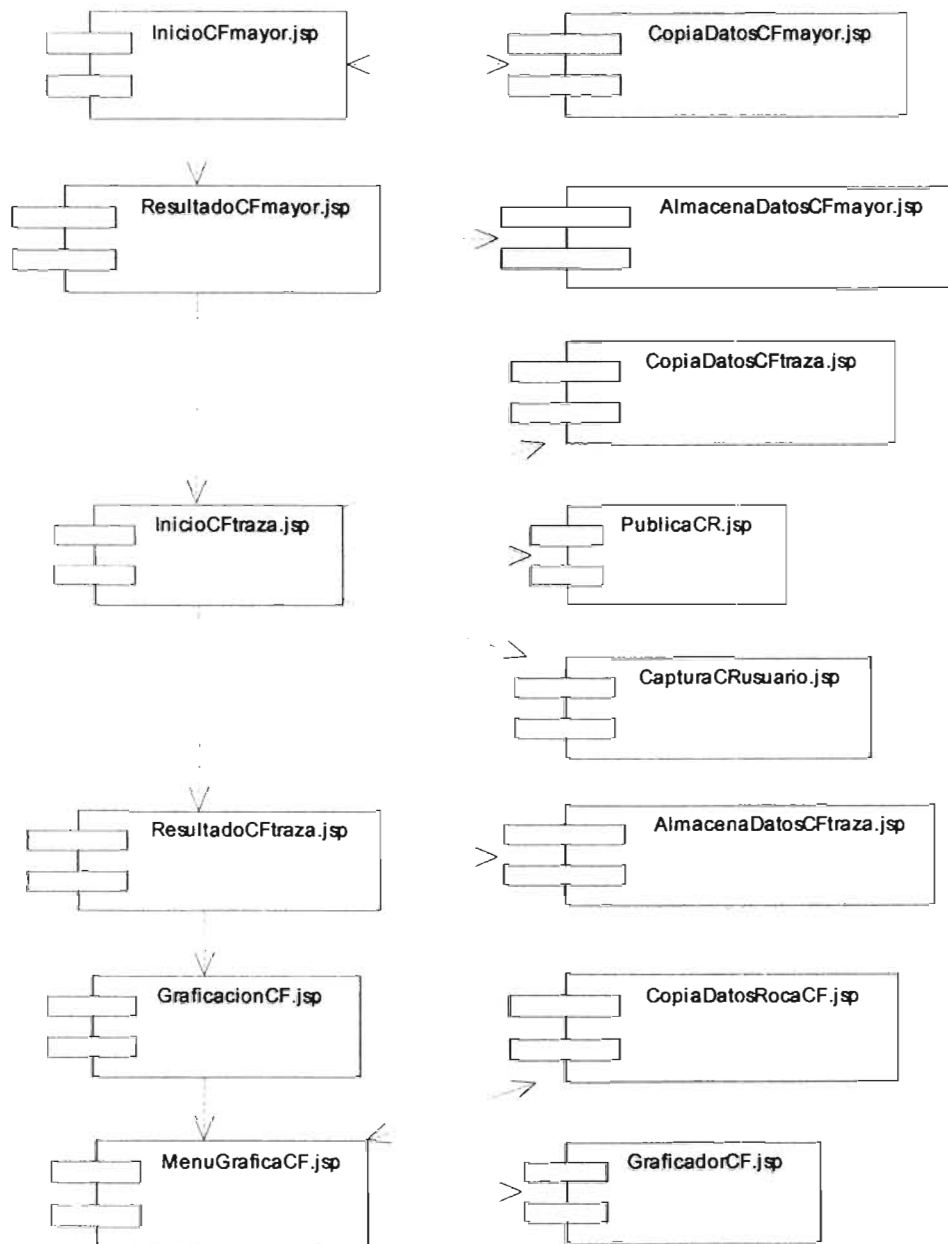
Este paquete contendrá las páginas JSP de inicio de la aplicación Web.



**Figura IV.2.** Diagrama de componentes del paquete `gui_inicio`.

- Paquete gui\_cf.

Páginas JSP que se relacionan para modelar el proceso CF.

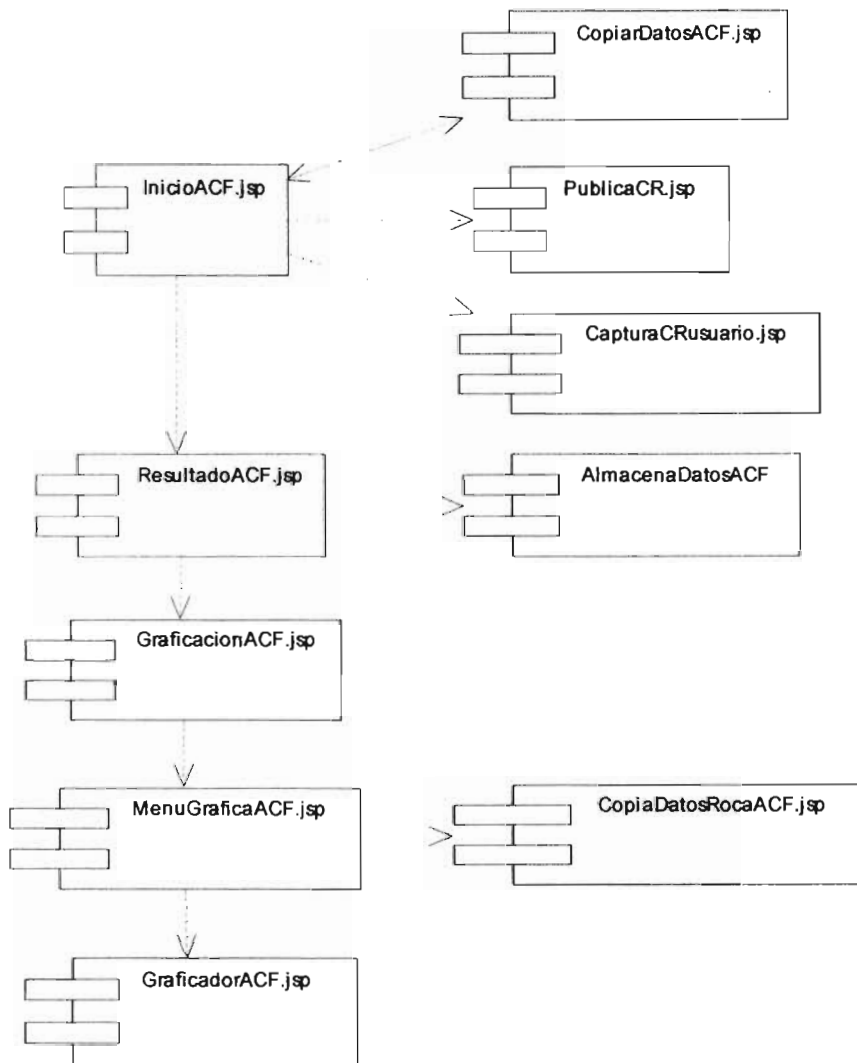


**Figura IV.3.** Diagrama de componentes del paquete gui\_cf.



- Paquete gui\_acf

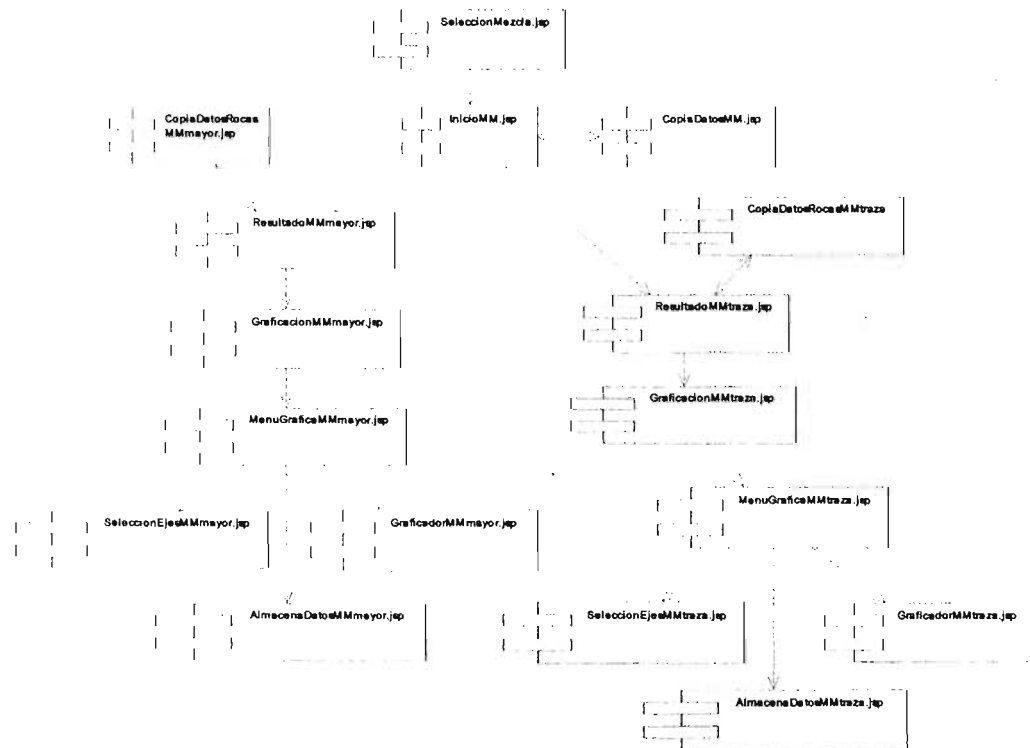
Páginas JSP relacionadas con el proceso de ACF.



**Figura IV.4.** Diagrama de componentes del paquete gui\_acf.

- Paquete gui\_mm

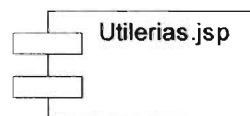
Páginas JSP relacionadas con el proceso MM



**Figura IV.5.** Diagrama de componentes del paquete gui\_mm.

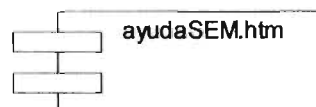
- Paquete gui\_utilerias

Páginas que se relacionan con el módulo de Utilerías.



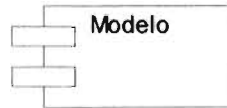
**Figura IV.6.** Componente del paquete gui\_utilerias.

- Paquete gui\_ayuda



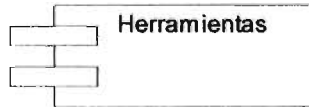
**Figura IV.7.** Componente del paquete gui\_ayuda.

- Paquete modelo.  
Clases para los procesos magmáticos.



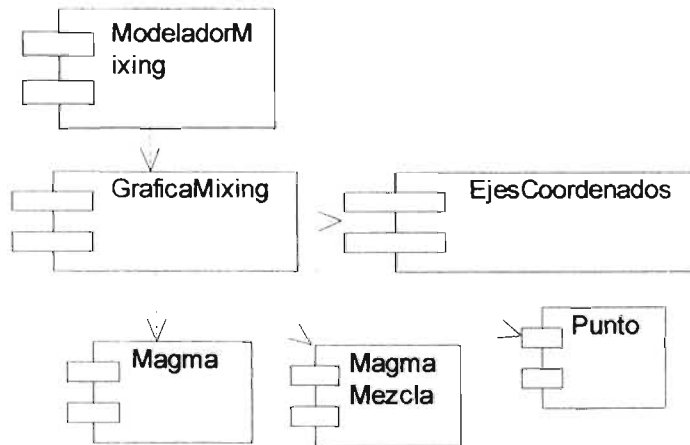
**Figura IV.8.** Componente del paquete modelo.

- Paquete acondiciona\_datos.  
Clase que contiene los métodos para acondicionar valores de datos.



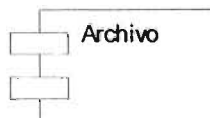
**Figura IV.9** Componente del paquete acondiciona\_datos.

- Paquete grafica  
Clases de los subprogramas que colaboran en las gráficas



**Figura IV.10.** Diagrama de componentes del paquete grafica.

- Paquete almacena\_datos  
Clase para el manejo de archivos.



**Figura IV.11.** Componente del paquete almacena\_datos.

- Paquete base\_datos.

Clases para la interacción con la base de datos

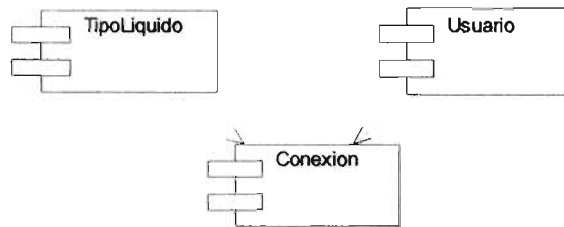


Figura IV.12. Diagrama de componentes del paquete base\_datos.

### IV.3 Diagrama de clases.

En las dos siguientes figuras se presentan los diagramas de clases tanto para modelado como para graficado, que son la base para el desarrollo de este proyecto.

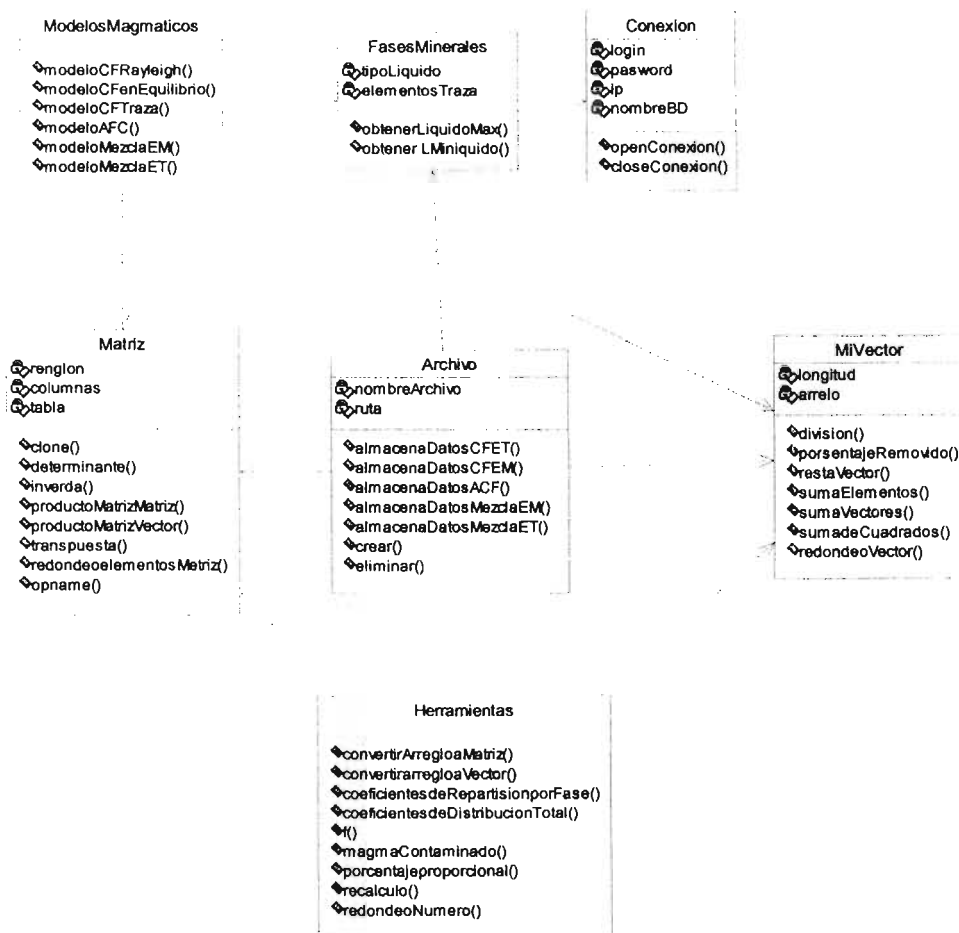


Figura IV.13. Diagrama de Clases principales de SEM.

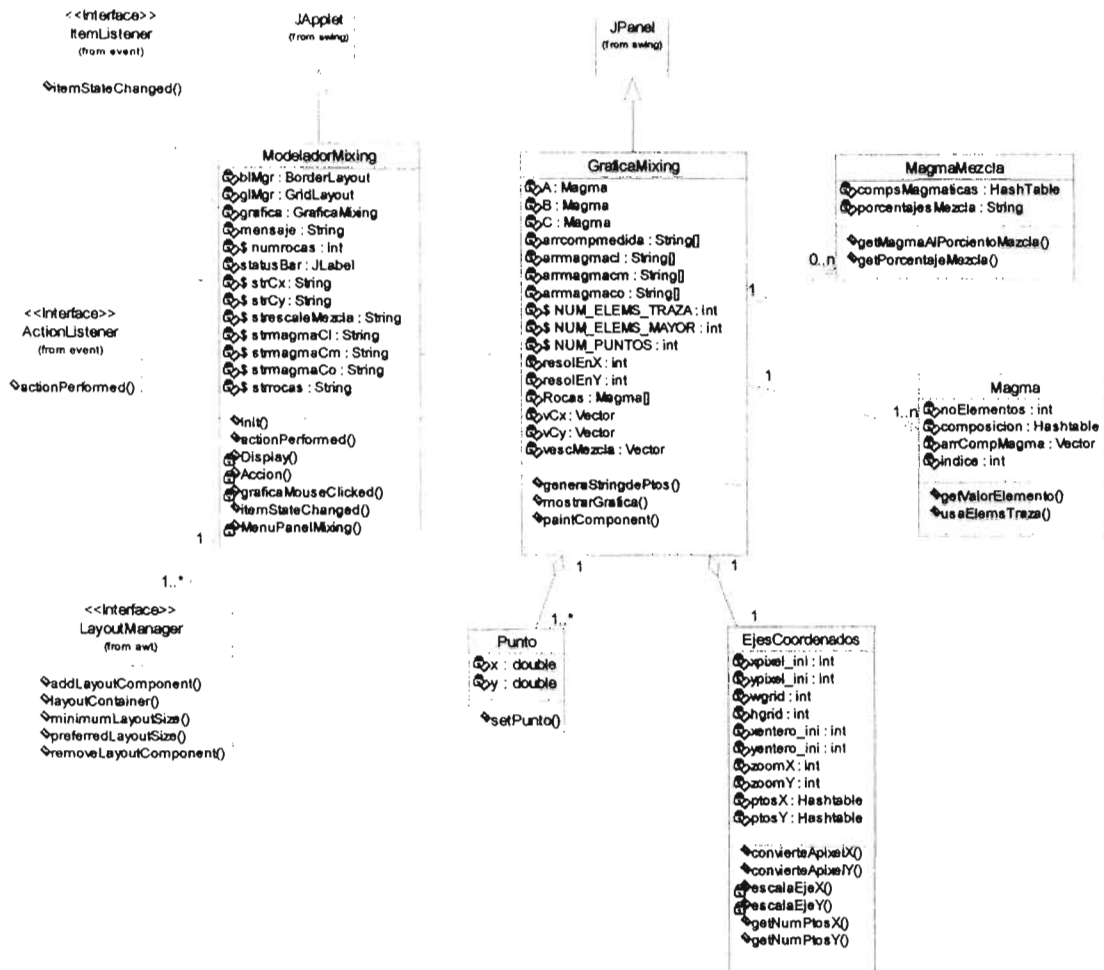


Figura IV.14. Diagrama de Clases para el proceso de graficar.

#### IV.4 Diagrama de secuencias.

En el siguiente diagrama se muestra el diagrama de secuencias asociado al caso de uso Cristalización Fraccionada en donde se lleva a cabo la operación de calcular CF para elementos mayores y elementos traza.

Caso de uso: Cristalización Fraccionada (utilizando elementos mayores) Id: F1

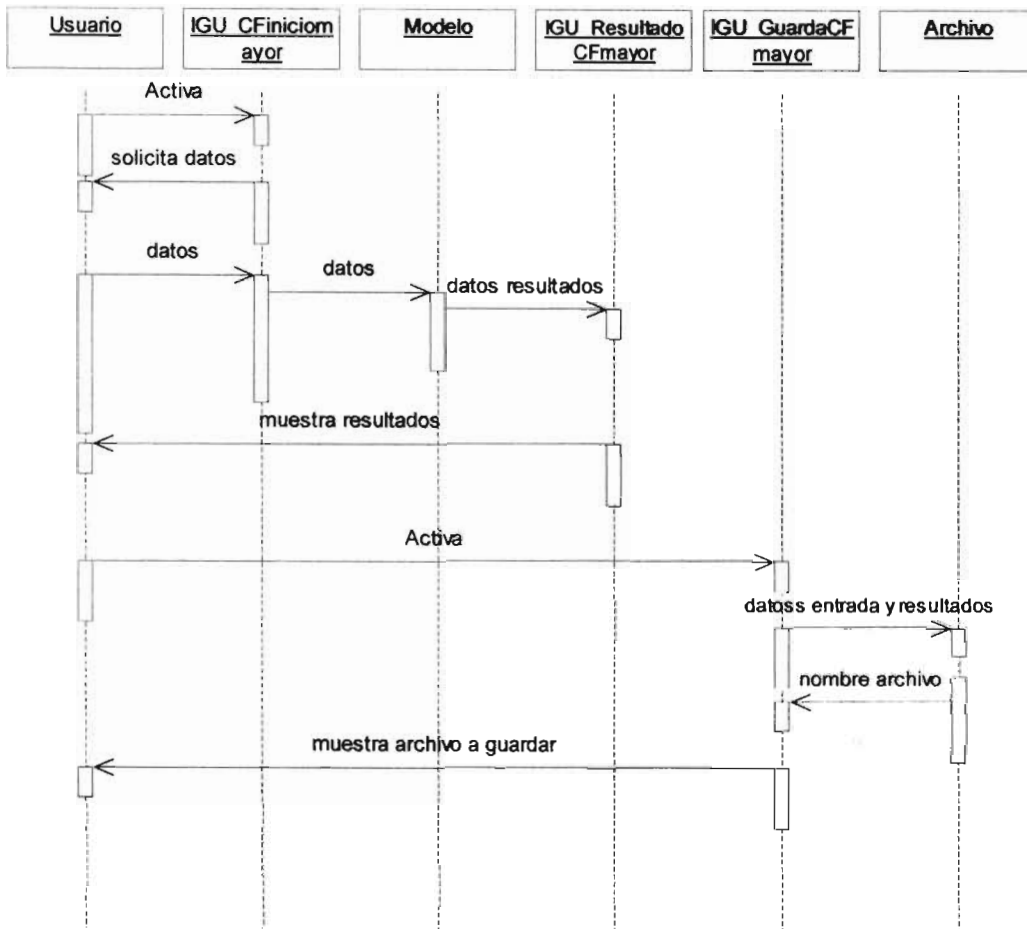


Figura IV.15. Diagrama de secuencia del caso de uso CF (utilizando elementos mayores).

Caso de uso: Cristalización Fraccionada (utilizando elementos traza). Id: F1

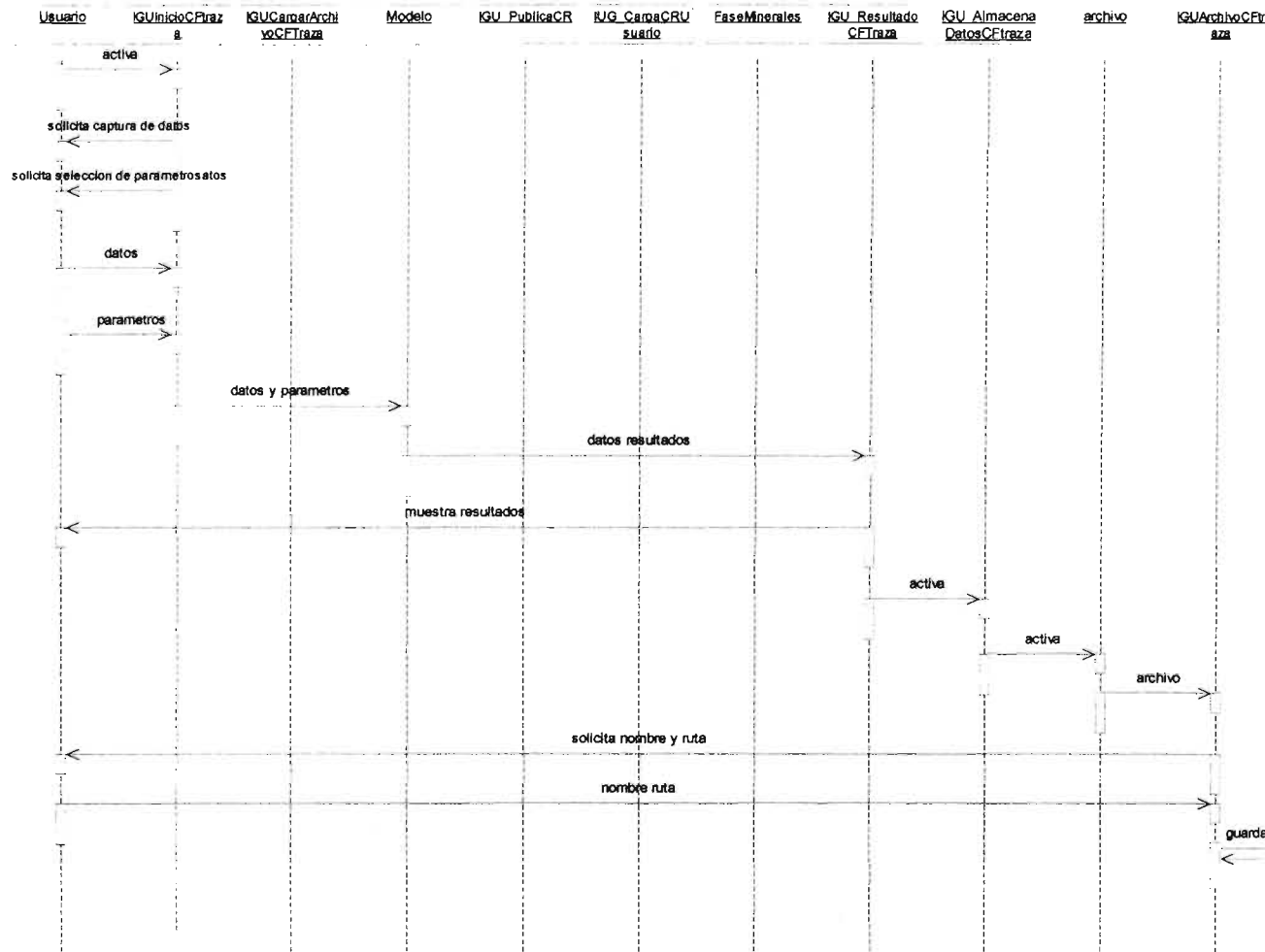


Figura IV.16. Diagrama de secuencia del caso de uso CF (utilizando elementos traza).

## IV.5 Diagrama de actividades.

Los diagramas de actividades describen una vista adicional al diagrama de casos de uso, en los cuales se puede ver los diferentes escenarios que pueden ocurrir. En las figuras siguientes se presenta el diagrama de actividades asociado al caso de uso Cristalización Fraccionada.

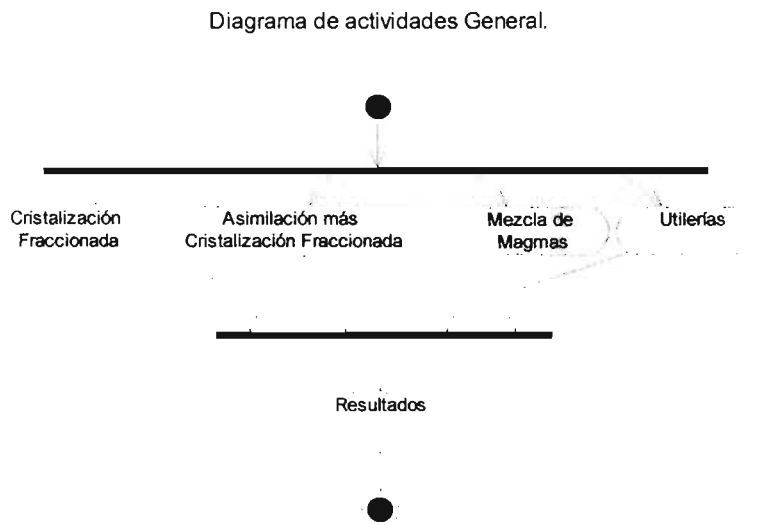


Figura IV.17



Diagrama de actividades para un proceso de modelado Cristalización Fraccionada (CF) por elementos mayores.

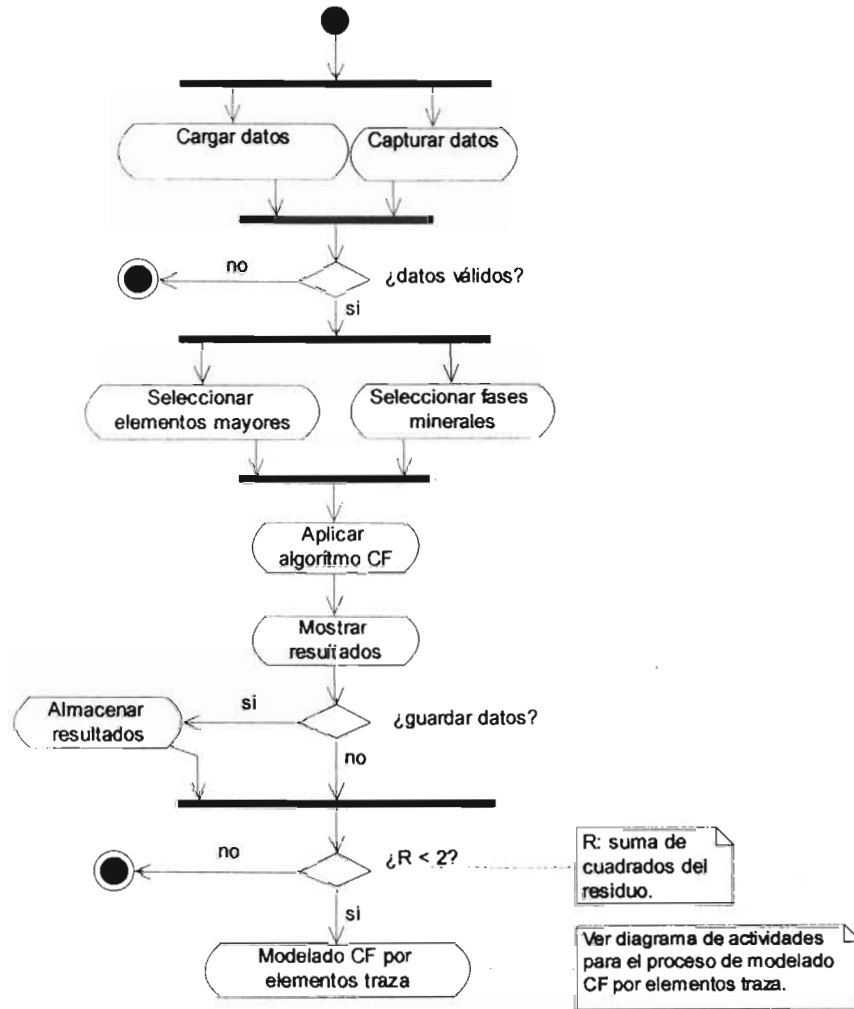


Figura IV.18

Diagrama de actividades para un proceso de modelado Cristalización Fraccionada (CF) por elementos traza.

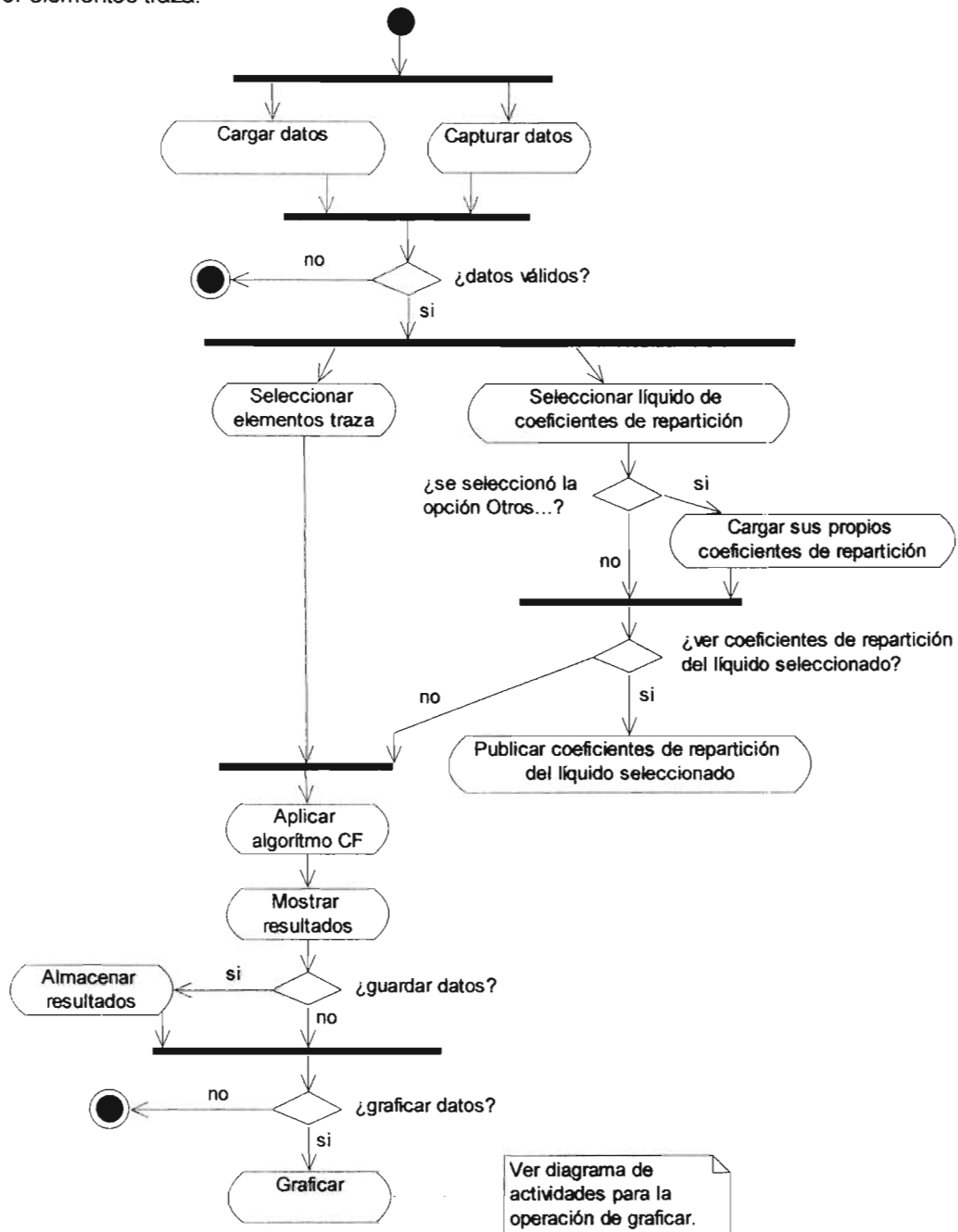


Figura IV.19

Diagrama de actividades para el proceso de graficar.

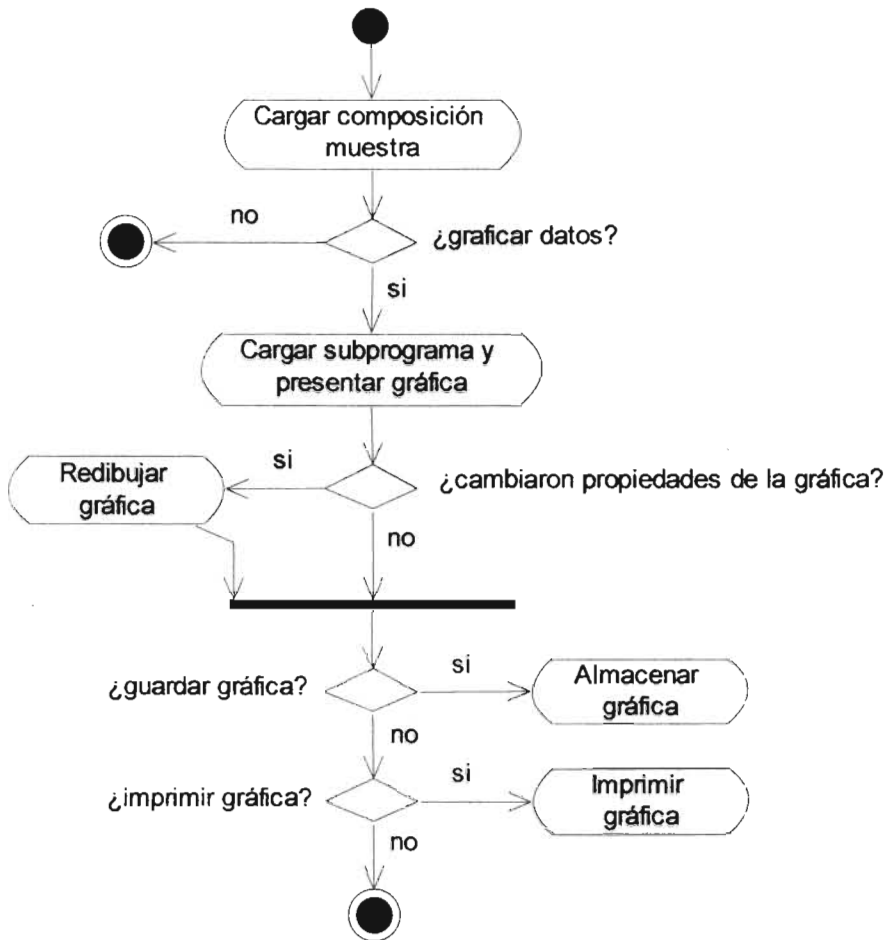


Figura IV.20

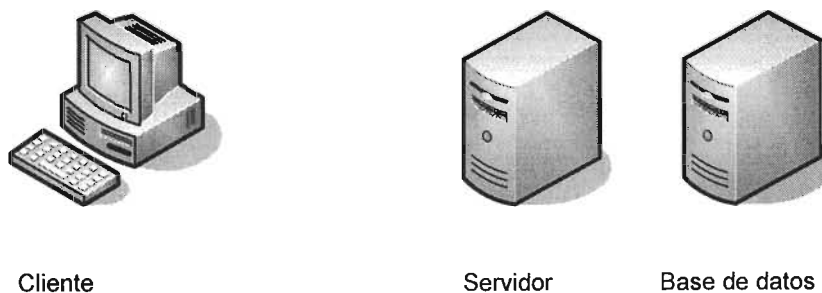
## Capítulo V. Diseño

### V.1 Introducción.

Tomando en cuenta los requerimientos y análisis del Sistema, se decidió desarrollar la implementación utilizando el lenguaje de programación Java ya que como lenguaje de programación de propósito general y orientado a objetos para las aplicaciones del lado del servidor, presenta las siguientes ventajas.

- Independencia de la plataforma. Los programas de java están compilados en ByteCode que a su vez es traducido por el interprete incluido en la máquina virtual de java
- Alta productividad. Ausencia de construcciones susceptibles de generar errores, como la herencia múltiple y sobre carga de operadores.
- Soporte incorporado a Internet. El paquete de biblioteca de red en java (java.net) contiene muchas rutinas de conectividad a Internet.

Una características que ofrece java para la conectividad con base de datos es la utilización de JDBC, que permite activar programas Java para ejecutar declaraciones del lenguaje estructurado de consulta SQL (*Structured Query Language*) por lo cual permite la interacción con otros DBMS compatibles con SQL.



**Figura V.1** Arquitectura Cliente/Servidor de tres capas.

Como interfaz gráfica de usuario utilizaremos JSP's (Java Server Pages) para la creación de páginas dinámicas y se utilizará applets de java para la presentación de las graficas necesarias del lado del cliente.

El sistema operativo seleccionado para la máquina servidor es Mandrake Linux ya que cuenta con una licencia GNU que permite su uso libre.

El servidor Web que se seleccionó es Tomcat Apache, debido a que su código es Open Source y es fácil de instalar y lo más importante soporta los JSP's de java.

Como base de datos se decidió utilizar Postgres debido a que es una base de datos relacional completa es decir cumple con los estándares de las bases de datos relacionales además de ser un producto Open Source y se puede instalar en un sistema operativo Linux.

La arquitectura a utilizar para este sistema es la de Cliente - Servidor de tres capas, ya que ofrece independencia entre las capas de interfaz gráfica, la lógica del negocio y la base de datos.

De la selección de recursos anteriores se tiene una lista de requerimientos adicionales en cuestión del equipo de cómputo y el software que se necesita para implementar y ejecutar la aplicación.

- Requisitos de plataforma hardware.

Servidor.- PC Pentium III, 128 MB RAM, con conexión a Internet.

Clientes.- PC con conexión a Internet. Monitor con resolución de 1024 por 768 píxeles.

- Requisitos de plataforma software.

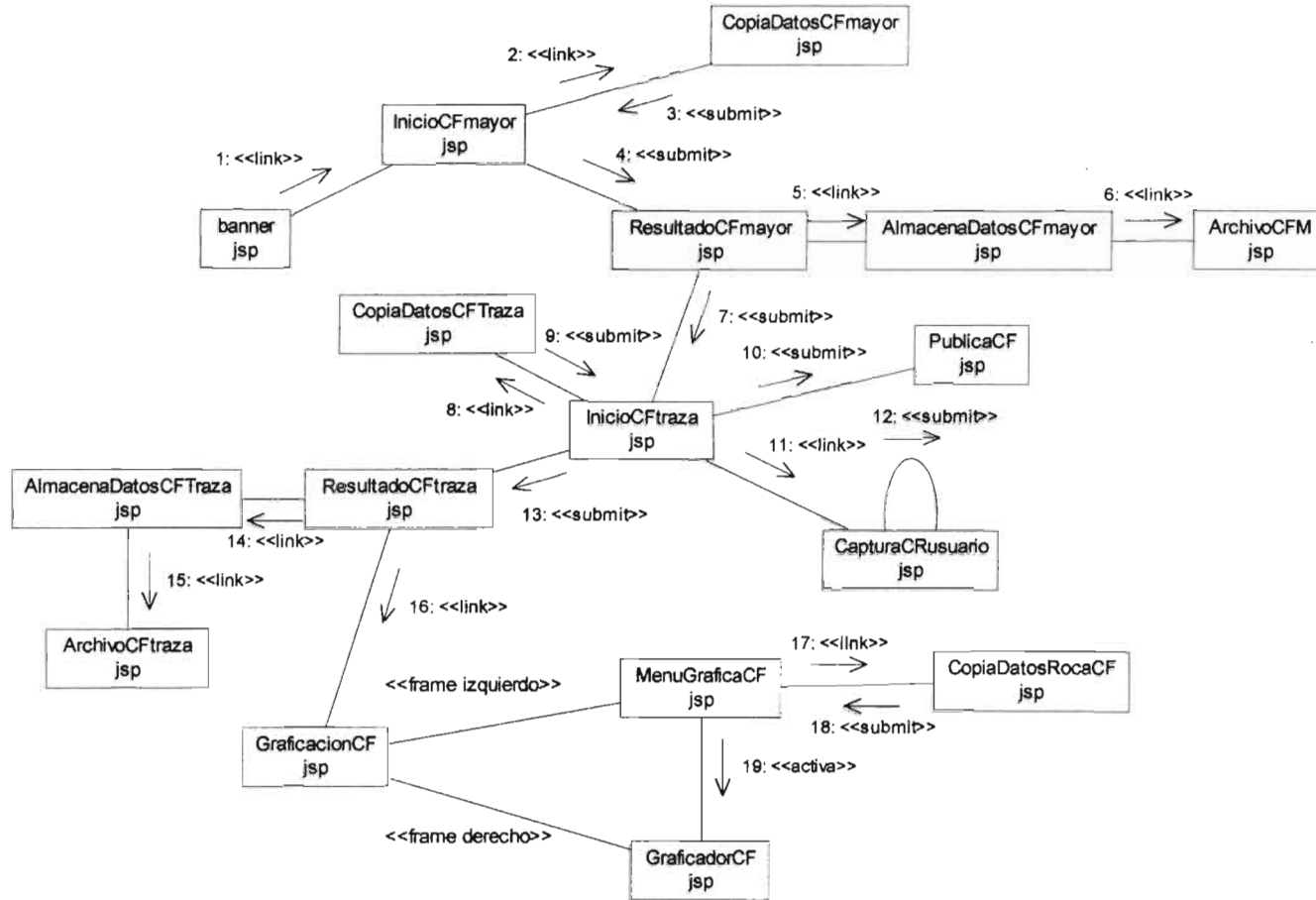
Servidor.- Sistema operativo Linux, servidor Web Apache Tomcat 5.0.256, J2SDK 1.4, Postgres,7.4.1 y SSH 3.2.9.

Clientes.- Sistema operativo que soporte JVM. Navegador para Internet como puede ser: Netscape Communicator 4.0 ó superior, Microsoft Internet Explorer 4.0 ó superior , Mozilla Firefox, Opera, entre otros, que soporte la instalación de plug-ins java para la ejecución de applets.

Se presenta a continuación los diagramas de clases e implantación del sistema, así también se presenta un diagrama de flujo de navegación de la interfaz para el caso de uso de Cristalización Fraccionada.

### V.2 Flujo de navegación de GUI.

En la figura se muestra el flujo de navegación asociado a las pantallas para el caso de uso CF.

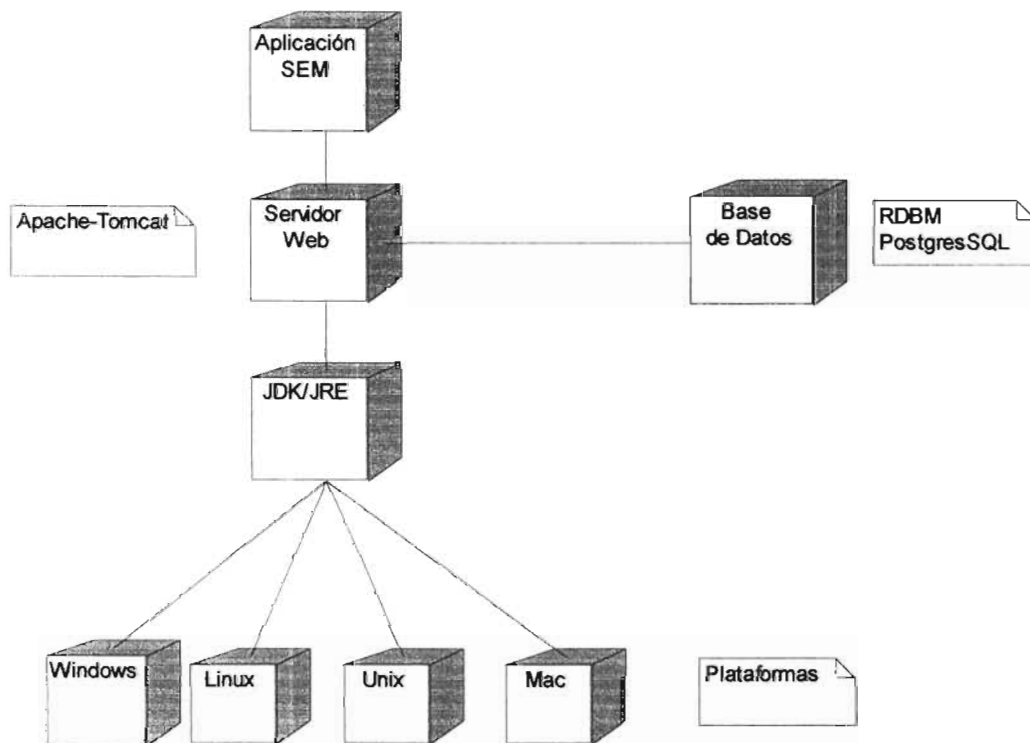


**Figura V.2**

### V.3 Diagrama de Instalación.

Basados en el análisis, la arquitectura elegida es el modelo Cliente-Servidor- Base de datos. En el siguiente diagrama se muestra el ambiente de implantación.

La aplicación al ser desarrollada bajo el lenguaje de programación Java, la instalación sólo requiere que los clientes cuenten con alguna versión del JDK (Java Development Kit) o JRE (Java Runtime Environment) así como de un navegador Netscape o Explorer. El Sistema puede ser instalado en las plataformas que soporten JVM (Java Virtual Machine) como Linux y las versiones de Windows y Mac, entre otros.



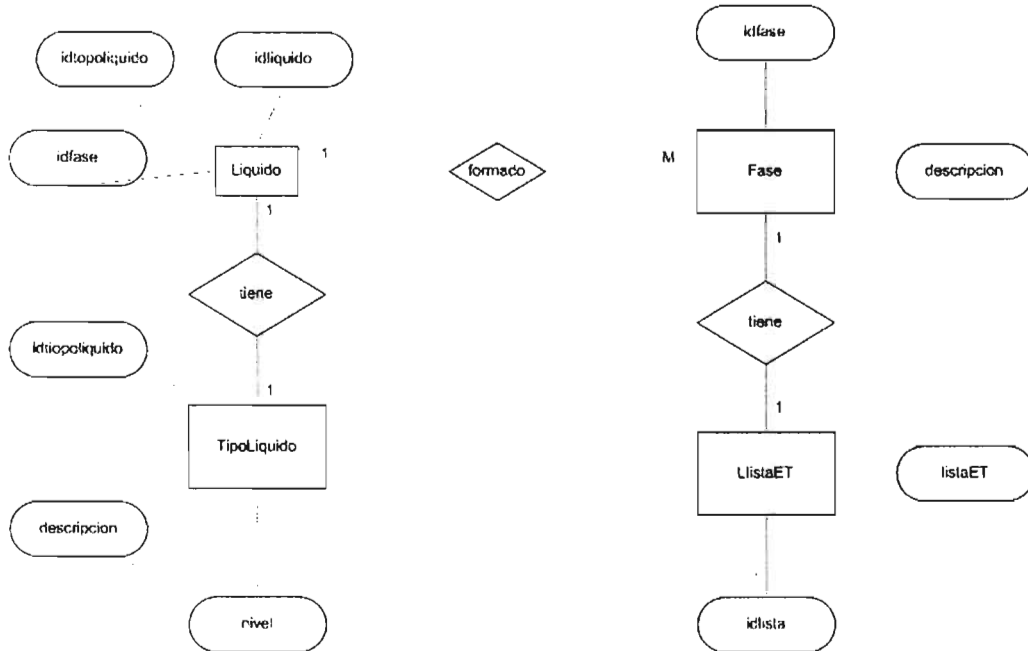
**Figura V.3**

En el diagrama de instalación se observa que el sistema Web puede ser instalado en un Servidor que soporten JDK y JRE en las plataformas de sistema operativo Windows, Linux, Unix o Mac, este a su vez es independiente del manejador de la base de datos PostgreSQL y se ocupa como servidor de aplicaciones Web Apache-Tomcat.

#### V.4 Diseño de la base de datos.

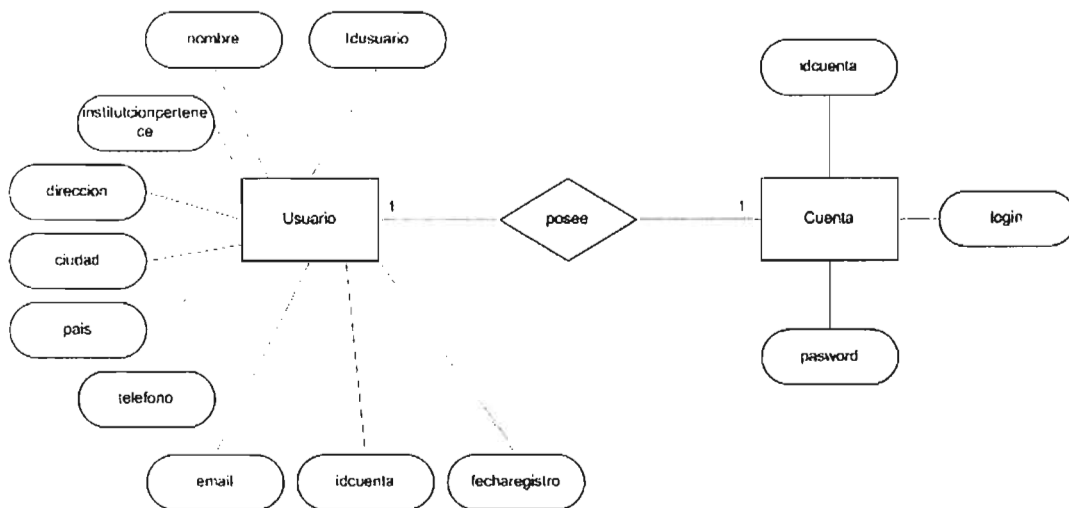
En la siguiente figura se presenta el diagrama del diseño de la base de datos E-R.

En la figura V.4 Se presenta el diseño de cuatro tablas relacionadas entre si, Liquido, TipoLiquido, Fase y ListaET y sus respectivos campos.



**Figura V.4**

En la figura V.5 se presenta la relación entre las tablas Usuario y Cuenta que contendrán las cuentas de los usuarios que podrán acceder al sistema.



**Figura V.5**



## Capítulo VI. Implementación

### VI.1 Partes más importantes implementadas.

#### Implementación.

En este capítulo se presenta los puntos más importantes de la implementación del proyecto.

- **Procesamiento de los modelos.**

A continuación se muestra la implementación de los métodos numéricos para el modelado de los procesos de evolución magmática de Cristalización Fraccionada y Asimilación más Cristalización Fraccionada

#### Cristalización Fraccionada

```
public class ModeloCF
{
    ...
    matrizA = new Matriz(rocaFinalFases,nummayores,numeroFasesMasUno);
    Matriz matrizAtranspuesta = Matriz.transpuesta(matrizA);
    Matriz matrizAtranspuestaPorA = Matriz.productoMM(matrizAtranspuesta,matrizA);
    vector rocal = new vector(rocalInicial,nummayores);
    // A(matriz) transpuesta por C(vector) = (A*C)
    vector matrizAtranspuestaPorVectorRocal = Matriz.productoMV(matrizAtras,rocal);
    // inversa de A(matriz) transpuesta por A(matriz) = (A'A)^-1
    Matriz inversaMatrizAtranspuestaPorA = Matriz.inversa(matrizAtranspuestaPorA);
    // (inversa A'A) * (A*C)
    solucionX =
    Matriz.productoMV(InversaMatrizAtranspuestaPorA,matrizAtranspuestaporVectorRocal);
    // Roca calculada teórica
    vector MatrizAPorSoucionX = Matriz.productoMV(matrizA,solucionX);
    /*Comparación de la roca teórica calculada con la roca inicial*/
    vector resta = vector.restaVectores(rocal,MatrizAPorSolucionX);
    ...
}

public class ModeloCFET
{
    ...
    Matriz mTablaMaximo = new
    Matriz(fasesMinerales.getFaseETDoubleMax(),fasesMinerales.getNumTraza(),modeloCF.getNu
    mfases());
    Matriz mTablaMinimo=new
    Matriz(fasesMinerales.getfaseETDoubleMin(),fasesMinerales.getNumTraza(),modeloCF.getNu
    mfases());
    /*Coeficientes de distribución total*/
    vector vresultmax = Matriz.productoMV(mTablaMaximo,vvaloresfases);
    vector vresultmin = Matriz.productoMV(mTablaMinimo,vvaloresfases);
    double redvresultmaxx[] = (double[])misutilerias.redondecentero(vresultmax.x);
}
```

```

double redvresultminx[] = (double[])utilerias.redondeoentero(vresultmin.x);
coeficientesDTMax.setRocaETDouble(redvresultmaxx);
coeficientesDTMin.setRocaETDouble(redvresultminx);
int numtraza = fasesMinerales.getNumTraza();
double conliqfracrem = modeloCF.getRedLiquidoRemanente();

/*La Fracción del magma remanente es el porcentaje del liquido remanente*/
for(int i=0;i<numtraza;i++) {
    Fequilibriomax[i] = conliqfracrem; }
for(int i=0;i<numtraza;i++) {
    Fequilibriomin[i] = conliqfracrem; }

/*Fraccionamiento Rayleigh*/

/*Esta es Fmax en Rayleigh*/
for(int i=0;i<numtraza;i++) {
    Frayleighmax[i] = conliqfracrem; }

/*Esta es Fmin en Rayleigh*/
for(int i=0;i<numtraza;i++) {
    Frayleighmin[i] = conliqfracrem; }

/*Resultados, liquido final Equilibrio*/
/* Cif=CII*[F ^{(D-1)}]*/
for(int i=0;i<numtraza;i++) {
    cifemax[i] = conliqini[i] / (Fequilibriomax[i]+vresultmax.x[i]-
    (Fequilibriomax[i]^vresultmax.x[i])); }

    for(int i=0;i<numtraza;i++) {
        cifemin[i] = conliqini[i] / (Fequilibriomin[i] + vresultmin.x[i]-
        (Fequilibriomin[i]^vresultmin.x[i])); }

/*Resultados, liquido final Rayleigh*/
for(int i=0;i<numtraza;i++) {
    clfrmax[i] = conliqini[i]*Math.pow(Frayleighmax[i], vresultmax.x[i]-1); }
for(int i=0;i<numtraza;i++) {
    clfrmin[i] = conliqini[i]*Math.pow(Frayleighmin[i], vresultmin.x[i]-1); }
...
}

```

## Asimilación Mas Cristalización Fraccionada

```

public class ModeloACF
{
    ...
    vector Vsolsep = new vector(selValorSSD,numfases);

    /*Ajusta al 100%*/
    vector vvaloresfases = (vector)utilerias.porcentageproporcional(Vsolsep);

    /*Coeficientes de distribución total*/
    vector vresultmax = Matriz.productoMV(mTablaMaximo,vvaloresfases);
    vector vresultmin = Matriz.productoMV(mTablaMinimo,vvaloresfases);

    for(int i=0;i<numtraza;i++){
        fminusculamax[i] = Math.pow(fmrem,-((pAsimilacion-1+vresultmax.x[i])/(pAsimilacion-1)));
        fminusculamin[i] = Math.pow(fmrem,-((pAsimilacion-1+vresultmin.x[i])/(pAsimilacion-1)));
    }
}

```

```

/* Resultados, magma calculado contaminado máximo y mínimo de la mezcla*/
for(int i=0;i<numtraza;i++){
    mcontaminadomax[i]=inicial[i]*fminusculamax[i]+(pAsimilacion/(pAsimilacion-
1+vresultmax.x[i]))*mcontaminante[i]*(1-fminusculamax[i]);
    mcontaminadomin[i]=inicial[i]*fminusculamin[i]+(pAsimilacion/(pAsimilacion-
1+vresultmin.x[i]))*mcontaminante[i]*(1-fminusculamin[i]);
}
}
}

```

- **Conexión a la base de datos**

La implementación de la clase que realiza la conexión a la base de datos es la siguiente:

```

public ConexionBD(){
...
/*Método que establece una conexión a la base de datos.*/
public void openConexion()
{
    System.out.println(" Estableciendo conexión... ");
    try
    {
        Class.forName("postgresql.Driver");
        System.out.println("Driver de postgres cargado con éxito...!!!.");
        con = DriverManager.getConnection(URL, USER, PASSWD);
        System.out.println("Conexión establecida...");
    }
    catch(Exception e)
    {
        System.out.println("No se puede cargar el Driver de psq.");
    }
}
}
}

```

- **Consulta a la base de datos**

La implementación de la consulta a la base de datos para obtener el tipo de líquido seleccionado se muestra a continuación:

```

...
public ResultSet executeQuery(String _Query)
{
    ResultSet rs = null;
    Statement stmt;
    try
    {
        stmt = con.createStatement();
        System.out.println(" Se crea el statement... ");
        rs = stmt.executeQuery(_Query);
        System.out.println("Se ejecuta el Query... y se almacena en un objeto del tipo ResultSet ");
        stmt.close();
    }
}

```

```
System.out.println(" Se cierra el statement.. ");
}
catch( Exception e)
{
    e.printStackTrace();
    System.out.println(" Error al cerrar el statement.. ");
    closeStatement();
    closeConexion();
}
return rs;
}
...
```

## VI.2 Interfaz gráfica de la aplicación.

A continuación se presenta la GUI de algunas pantallas del sistema.

- Pantalla de inicio del sistema

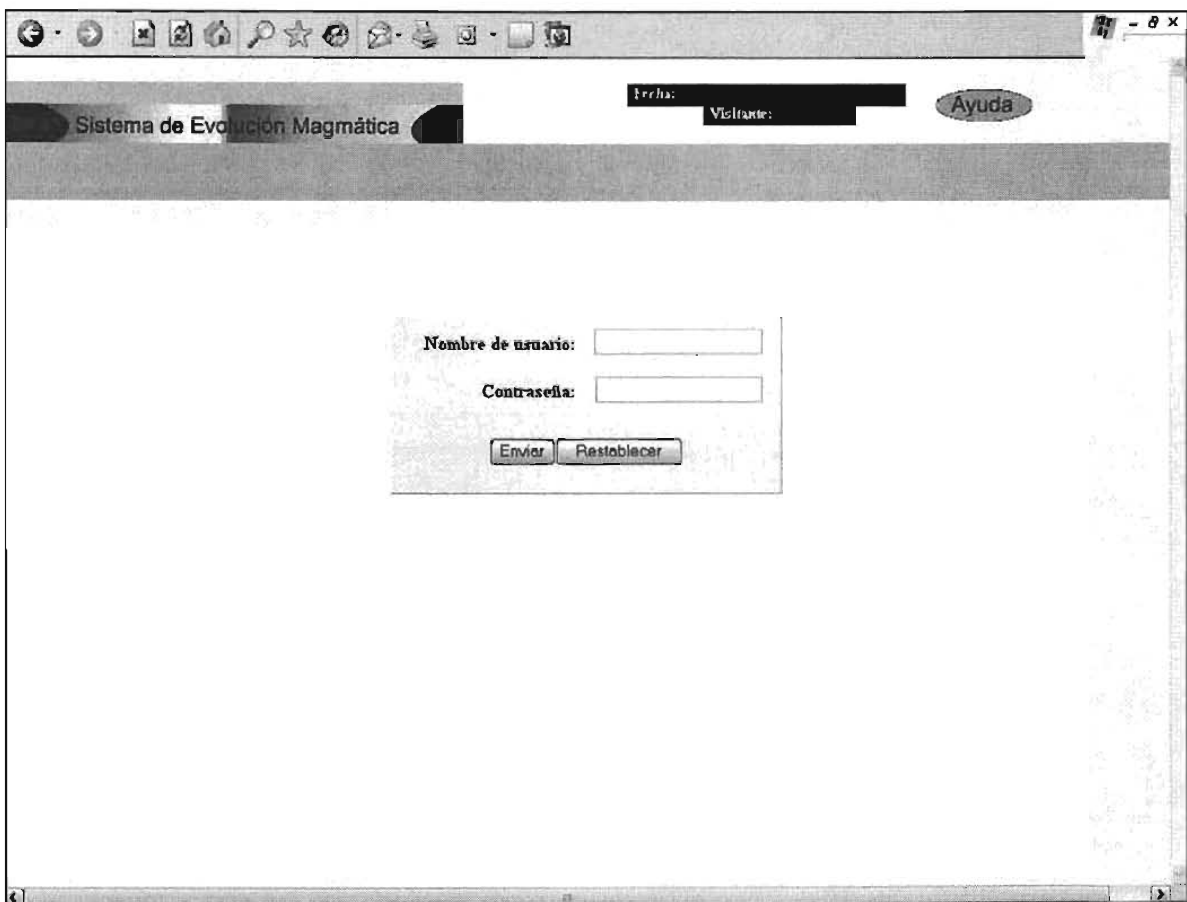


Figura VI.1. Pantalla que muestra la captura de nombre de usuario y contraseña.

- Pantallas del modelado de Cristalización Fraccionada. Elementos mayores.

a)

**Sistema de Evolución Magmática**

Fecha: [ ] Visitante: [ ] Ayuda

> Modelado CF > Modelado A.C.F. > Modelado M.M. > Utilitarias

Roca Final		Fases Minerales							Roca Inicial	
		<input checked="" type="checkbox"/> Plg	<input checked="" type="checkbox"/> Cpx	<input checked="" type="checkbox"/> Opx	<input checked="" type="checkbox"/> Anf	<input checked="" type="checkbox"/> Ox	<input checked="" type="checkbox"/> Ol	<input checked="" type="checkbox"/> Fe/K		
<input checked="" type="checkbox"/> SiO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> TiO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> Al2O3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> Fe2O3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> Cr2O3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> FeO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> MnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> MgO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> CaO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> Na2O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> K2O	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> P2O5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Botones: Copiar datos, Procesar «CF», Restablecer

b)

**Sistema de Evolución Magmática**

Fecha: [ ] Visitante: [ ] Ayuda

> Modelado CF > Modelado A.C.F. > Modelado M.M. > Utilitarias

	Roca Inicial	Roca Calculada	Diferencia
SiO2	0.0	0.0	0.0
TiO2	0.0	0.0	0.0
Al2O3	0.0	0.0	0.0
Fe2O3	0.0	0.0	0.0
Cr2O3	0.0	0.0	0.0
FeO	0.0	0.0	0.0
MnO	0.0	0.0	0.0
MgO	0.0	0.0	0.0
CaO	0.0	0.0	0.0
Na2O	0.0	0.0	0.0
K2O	0.0	0.0	0.0
P2O5	0.0	0.0	0.0
Suma:	0.0	0.0	

Minerales que se Cristalizaron (%):	
Plg	0.0
Cpx	0.0
Opx	0.0
Anf	0.0
Ox	0.0
Ol	0.0
Fe/K	0.0

Saldo Removido (%): 0.0  
Líquido Remanente (%): 0.0

Suma de cuadrados del residuo < 2: 0.0

Botón: Solver resultados

*No influyó el proceso de Cristalización Fraccionada en la muestra*

Estado: Listo | Zona desconocida (Misto)

Figura VI.2. a) Pantalla de inicio del modelo de CF, elementos mayores. b) Resultado del modelo.

- Pantallas de modelo de Cristalización Fraccionada. Elementos traza.

a)

b)

c)

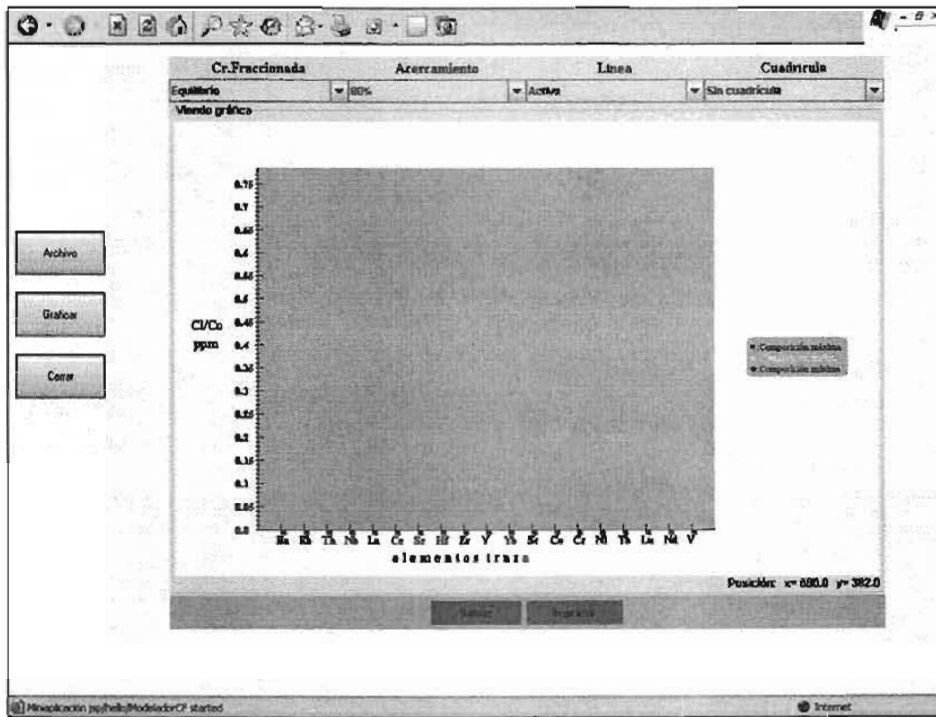
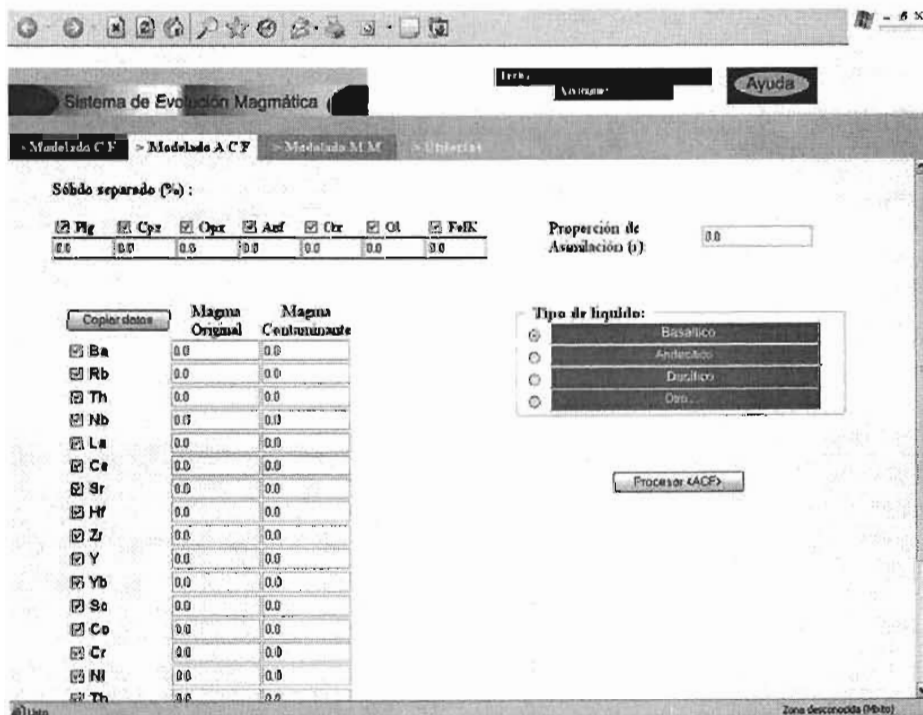


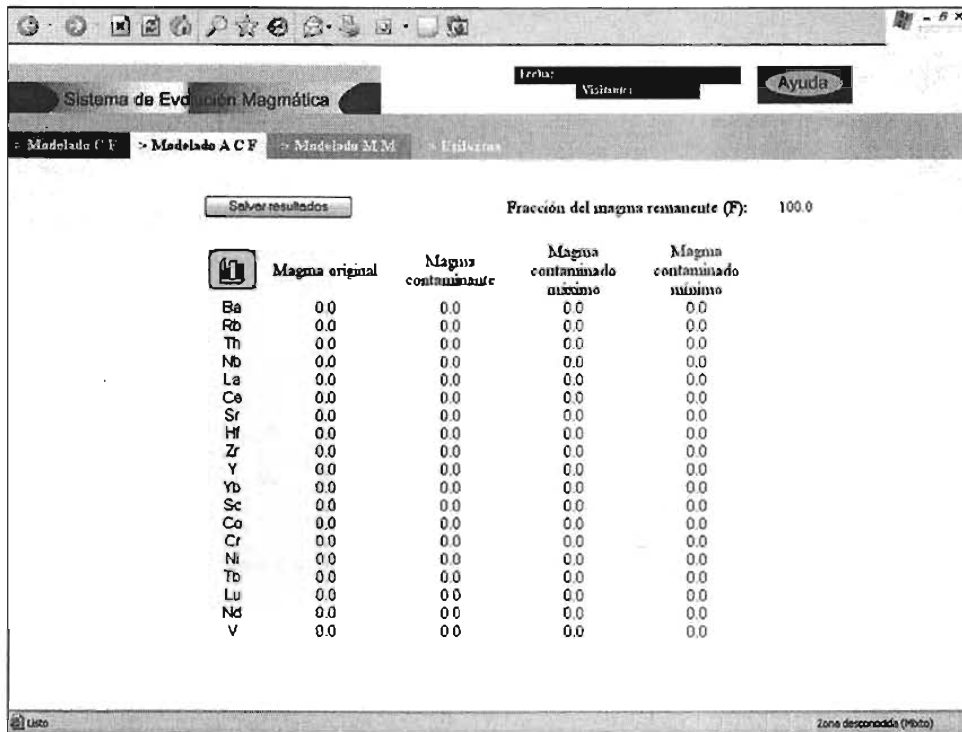
Figura VI.3. a) Pantalla de inicio del modelo de CF, elementos traza. b) Resultado del modelo. c) Pantalla de la gráfica del modelo.

- Pantallas del modelado de Cristalización Fraccionada. Elementos mayores

a)



b)



c)

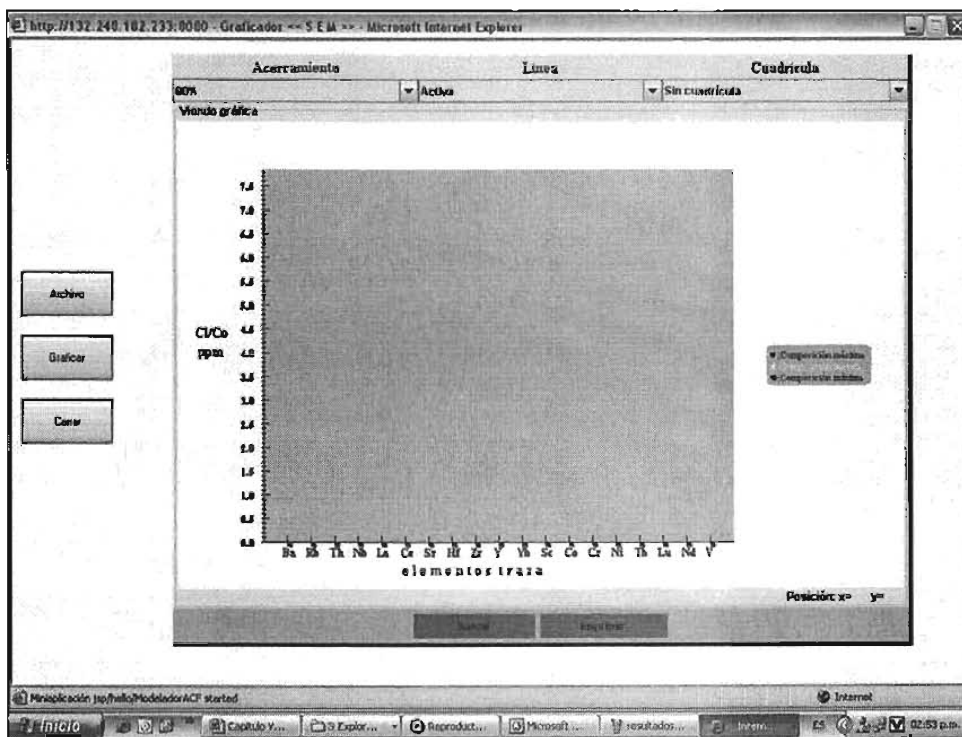


Figura VI.4. a) Pantalla de inicio del modelo de ACF. b) Pantalla de resultado del modelo. c) Pantalla de la gráfica del modelo.



• Pantallas del modelado de Mezcla de Magmas. Elementos mayores.

a)

Sistema de Evolución Magmática

Fecha: [redacted] Visitante: [redacted] Ayuda

> Modelado CF > Modelado ACF > Modelado MM > Utilidades

wt%	Magma A	Magma B
SiO2	0.0	0.0
TiO2	0.0	0.0
Al2O3	0.0	0.0
Fe2O3	0.0	0.0
Cr2O3	0.0	0.0
FeO	0.0	0.0
MnO	0.0	0.0
MgO	0.0	0.0
CaO	0.0	0.0
Na2O	0.0	0.0
K2O	0.0	0.0
P2O5	0.0	0.0

Copiar datos

Índice de variación de la mezcla: 10%

Procesar <MM>

Restablecer

Sistema de Evolución Magmática \*\*\*SEM\*\*\* Internet

b)

Sistema de Evolución Magmática

Fecha: [redacted] Visitante: [redacted] Ayuda

> Modelado CF > Modelado ACF > Modelado MM > Utilidades

Porcentajes en peso (wt%) de los elementos en óxidos

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5
A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Seleccione # rocas a graficar: Ninguna

Porcentajes en peso (wt%) de los elementos en óxidos del magma resultante (mezcla de los magmas A y B)

(Pm) A + (1-Pm) B = C : donde Pm es el índice de variación de la mezcla.

Pm	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	Cr2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Zona desconocida (Mixto)

c)

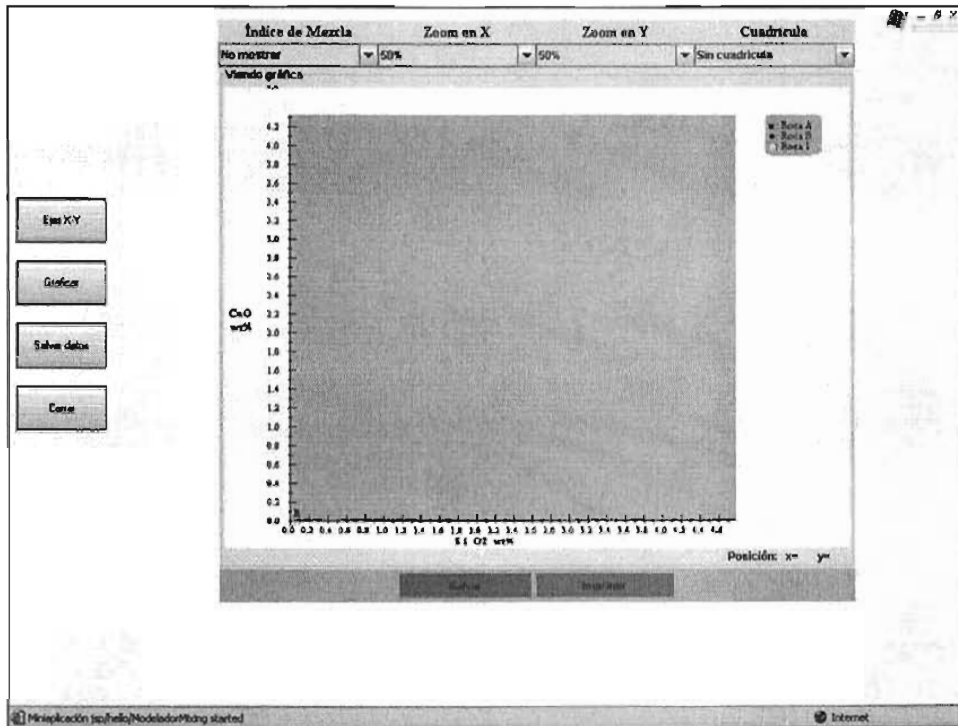


Figura VI.5. a) Pantalla de inicio del modelo MM, elementos mayores. b) Pantalla de Resultado de la mezcla. c) Pantalla de la gráfica del modelo.

- Pantallas del modelado Mezcla de magmas. Elementos traza

a)



b)

Sistema de Evolución Magmática

Fecha: [redacted] Visitar: [redacted] Ayuda

> Modelado C.F. Modelado A.C.F. Modelado M.M. UI 0.2.14

Partes por millón (ppm) de los elementos

	Ba	Rb	Th	Nb	La	Ce	Sr	Hf	Zr	Y	Yb	Sc	Co	Cr	Ni	Tb	Lu	Nd	V
A	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Seleccione # trazas a graficar: Ninguna

Partes por millón (ppm) de los elementos del magma resultante (mezcla de los magmas A y B)

$(P_m)A + (1-P_m)B = C$  ; donde  $P_m$  es el índice de variación de la mezcla.

Pm	Ba	Rb	Th	Nb	La	Ce	Sr	Hf	Zr	Y	Yb	Sc	Co	Cr	Ni	Tb	Lu	Nd	V
0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Listo Zona desconocida (Mito)

c)

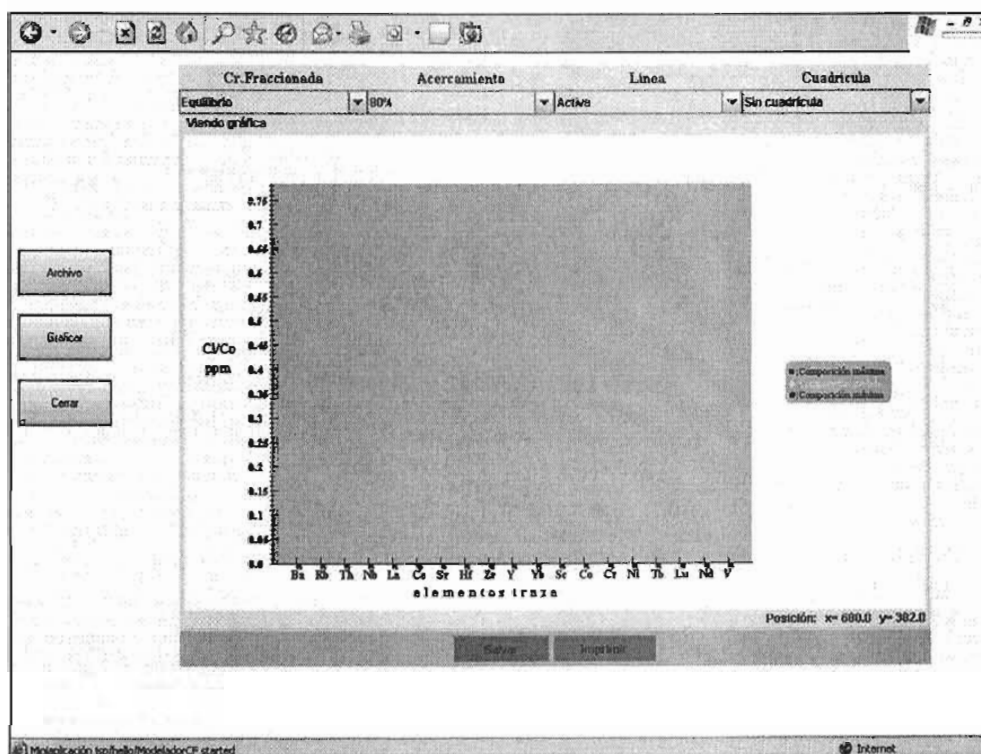


Figura VI.6. a) Pantalla de inicio del modelo de Mezcla de Magmas, elementos traza. b) Pantalla de resultado de la mezcla. c) Pantalla de la gráfica del modelo.

- Pantallas de módulo Utilerías

a)

Sistema de Evolución Magmática

Fecha:  Usuario:  ?

> Modelado C F > Modelado A C F > Modelado M M > Utilerías

Obtención de  $Fe_2O_3$  total a partir de  $FeO$  y  $Fe_2O_3$

<input type="text" value="0.0"/>	Calcular	<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>		

Recalculo de anhidros de la composición al 100%

Datos con $H_2O$ (loss oxidation ignition)		Datos anhidros	
<input type="text" value="0.0"/>	Calcular	<input type="text" value="0.0"/>	
<input type="text" value="0.0"/>		>>	<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>			<input type="text" value="0.0"/>
<input type="text" value="0.0"/>	Restablecer	<input type="text" value="0.0"/>	

Zona desconectada (Pbto)

b)

Sistema de Evolución Magmática

Fecha:  Usuario:  Ayuda

> Modelado C F > Modelado A C F > Modelado M M > Utilerías

Recalculo de anhidros de la composición al 100%

Datos con $H_2O$ (loss oxidation ignition)		Datos anhidros		
$SiO_2$ <input type="text" value="0.0"/>	Calcular	$SiO_2$ <input type="text" value="0.0"/>		
$TiO_2$ <input type="text" value="0.0"/>		>>	$TiO_2$ <input type="text" value="0.0"/>	
$Al_2O_3$ <input type="text" value="0.0"/>			$Al_2O_3$ <input type="text" value="0.0"/>	
$Fe_2O_3$ <input type="text" value="0.0"/>			$Fe_2O_3$ <input type="text" value="0.0"/>	
$Cr_2O_3$ <input type="text" value="0.0"/>			$Cr_2O_3$ <input type="text" value="0.0"/>	
$FeO$ <input type="text" value="0.0"/>			$FeO$ <input type="text" value="0.0"/>	
$MnO$ <input type="text" value="0.0"/>			$MnO$ <input type="text" value="0.0"/>	
$MgO$ <input type="text" value="0.0"/>			$MgO$ <input type="text" value="0.0"/>	
$CaO$ <input type="text" value="0.0"/>			$CaO$ <input type="text" value="0.0"/>	
$Na_2O$ <input type="text" value="0.0"/>			$Na_2O$ <input type="text" value="0.0"/>	
$K_2O$ <input type="text" value="0.0"/>			$K_2O$ <input type="text" value="0.0"/>	
$P_2O_5$ <input type="text" value="0.0"/>			$P_2O_5$ <input type="text" value="0.0"/>	
LOI <input type="text" value="0.0"/>			Restablecer	
Total: <input type="text" value="0.0"/>				Total: <input type="text" value="0.0"/>

Sistema de Evolución Magmática \*\*\* SEN \*\*\* Internet

Figura VI.7. Pantalla Utilerías, a) Cálculo del óxido férrico y óxido ferroso. b) Cálculo de la composición sin LOI (anhidra).

### VI.3 Implantación.

El sistema se implantó en un servidor con sistema operativo Linux Mandrake 10.0, bajo la dirección de IP 132.248.182.233 y salida al puerto 8080; en el Departamento de Vulcanología del Instituto de Geofísica, UNAM. Con lo cual se liberó la versión 1.0b, versión de prueba.

La dirección Web para acceder a la aplicación es:

<http://paricutin.igeofcu.unam.mx:8080/proyecto/index.jsp>

El nombre de usuario y contraseña de prueba es:

Usuario: invitado

Contraseña: invitado

El servidor Web utilizado es Apache Tomcat ver. 5.0.25

La versión del JDK es 1.4.2.

Las pruebas de ingreso al sistema y modelado de los procesos se realizaron en el Departamento de Vulcanología.

Las pruebas finales de los modelados, se realizaron con datos químicos del volcán Tacaná y el Chichón ubicados en el estado de Chiapas, México.

Actualmente el sistema Web es utilizado por estudiantes e investigadores de Ciencias de la Tierra y se encuentra en la versión 1.0.

### VI.4 Plan de pruebas.

El plan de pruebas fue desarrollado en base a los casos de uso definidos durante la etapa de análisis de captura de requerimientos. En la tabla siguiente se presentan las actividades a desarrollar para verificar la funcionalidad de SEM.

- Caso de uso: Acceso al sistema

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F0 Válido	Proporcionar nombre y contraseña.	Se muestra la pantalla con el menú de los modelos y la parte de captura de datos para cristalización fraccionada utilizando elementos mayores.
F0 Inválido	Proporcionar nombre y contraseña que no existen.	Se muestra un mensaje con el diálogo "usuario no válido".

- Caso de uso: Modelado CF. Elementos mayores

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F1.1 Cargar datos	Seleccionar "cargar datos".	Muestra la pantalla de cargar datos para ser copiados desde hojas de Excel para la roca inicial, roca final y fases minerales.
	Aceptar carga datos.	Muestra los datos en las casillas correspondientes en la ventana de ingreso de datos.
F1.1 Capturar datos	Capturar directamente los valores en las casillas de texto	Muestra los datos que se capturan en la ventana de ingresa datos
F1.2	Seleccionar fases minerales, y elementos mayores a utilizar	Se muestran seleccionados los datos que se ocuparan
F1.3 Válido	Aplica modelo cristalización fraccionada	Muestra la pantalla de resultados
F1.4	Guardar resultados	Muestra la pantalla almacenar datos resultantes en disco duro local

- Caso de uso: Modelado por CF. Elementos traza

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F1.6 Cargar datos	Seleccionar "cargar datos".	Muestra la pantalla de cargar datos líquido inicial y líquido Final.
	Aceptar carga datos.	Muestra los datos en las casillas correspondientes en la ventana ingreso de datos.

F1.6 Capturar datos	Captura datos.	Muestra los datos que se capturan en la ventana ingresa datos.
F1.6 Líquido del usuario	Cargar tipo de líquido proporcionado por el usuario.	Se muestra la pantalla captura tipo de líquido.
	Aceptar cargar líquido.	Se muestran los datos cargados en la pantalla captura líquido.
F1.7	Seleccionar el tipo de líquido y los elementos traza a utilizar.	Se muestran seleccionados los datos que se ocuparan.
F1.8 Válido	Visualizar tipo de líquido.	Muestra la pantalla con los coeficientes de repartición del tipo de líquido.
F1.9	Aplica modelo CF.	Muestra Pantalla de resultados.
F1.10	Guarda resultados.	Se muestran la pantalla para guardar la información en disco duro local.
F1.11	Graficar.	Pasa al caso de uso Graficar.

- Caso de uso: Modelado por ACF

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F2.1 Cargar	Seleccionar "cargar datos".	Muestra la pantalla para cargar datos del magma original, magma contaminante y el sólido separado.
	Aceptar cargar datos.	Muestra los datos en las casillas correspondientes en la ventana ingreso de datos.
F2.1 Capturar	Capturar datos.	Muestra los datos que se capturan en la ventana ingresa datos.
F2.1 Cargar líquido del usuario	Cargar tipo de líquido proporcionado por el usuario.	Se muestra la pantalla captura tipo de líquido.
	Aceptar cargar líquido.	Se muestran los datos cargados en la pantalla captura líquido.
F2.2	Selecciona el tipo de líquido, los elementos traza y las fases a utilizar del sólido separado.	Se muestran seleccionados los datos que se ocuparan.

F2.3	Visualizar tipo de líquido.	Muestra la pantalla con los coeficientes de repartición del tipo de líquido.
F2.4 Válido	Aplicar modelo CF.	Muestra pantalla de resultados.
F2.5	Guarda resultados.	Se muestra la pantalla para guardar la información en disco duro local.
F2.6	Graficar.	Pasa al caso de uso Graficar ACF.

- Caso de uso: Modelado mezcla de magmas

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F3.1 EM	Seleccionar elementos mayores.	Se muestra la pantalla de ingreso de datos de elementos mayores.
F3.1 ET	Seleccionar elementos traza.	Se muestra la pantalla de ingreso de datos de elementos mayores.
F3.2 Roca A y B	Seleccionar "cargar datos".	Muestra la pantalla para cargar datos del magma A, magma B.
	Aceptar cargar datos.	Muestra los datos en las casillas correspondientes en la ventana ingreso de datos.
F3.2 Roca A y B	Capturar datos.	Muestra los datos que se capturan en la ventana ingresa datos.
F3.2 Rocas a comparar	Seleccionar cargar datos.	Muestra la pantalla donde se cargaran los datos de cada roca.
	Aceptar carga datos.	Muestra en las casillas correspondientes a cada roca los datos cargados.
F3.2 Rocas a comparar	Capturar datos.	Muestra los datos que se capturan en la ventana ingresa datos.
F3.3	Seleccionar el índice de variación de la mezcla.	Se muestra el porcentaje del índice de variación de la mezcla seleccionado.
F3.4	Aplicar modelo de mezcla.	Presenta la pantalla de resultados.
F3.5	Seleccionar el número de rocas a graficar.	Muestra las casillas para ingresar los datos de cada roca.
F3.6	Graficar.	Pasa al módulo Graficar mezcla.



- Caso de uso: Utilerias

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F4.1.1	Proporcionar la cantidad de óxido ferroso u óxido férrico total.	Se muestra la cantidad capturada.
F4.1.2	Seleccionar calcular óxidos.	Muestra los resultados óxido ferroso y férrico.
F4.2.1	Ingresa los datos de la roca con LOI.	Se muestran los datos capturados.
F4.2.2	Calcula roca anhidra.	Muestra los resultados de la roca recalculada al 100% sin LOI.

- Caso de uso: Graficar FC Traza

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F1.12.1	Seleccionar "cargar datos".	Muestra la pantalla para cargar los datos de la roca.
	Aceptar cargar datos.	Se cargan los datos a memoria.
F1.12.2	Seleccionar graficar.	Muestra la grafica correspondiente a la roca calculada máxima y mínima así como la roca que se compara para la cristalización en equilibrio.
F1.12.3	Seleccionar cristalización Rayleigh.	Muestra la grafica correspondiente a cristalización Rayleigh.
F1.12.4	Seleccionar propiedades de la gráfica.	Se muestran la grafica actualizada.
F1.12.5	Seleccionar guardar gráfica.	Se muestra la pantalla para guardar la imagen en un archivo en el disco duro.
F1.12.6	Seleccionar imprimir gráfica.	Se imprime la imagen de la gráfica.

- Caso de uso: Graficar ACF

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F2.7.1	Seleccionar "cargar datos".	Muestra la pantalla para cargar los datos de la roca.
	Aceptar cargar datos.	Se cargan los datos a memoria.
F2.7.2	Seleccionar graficar.	Muestra la gráfica correspondiente a la roca calculada máxima y mínima así como la roca que se compara.
F2.7.3	Seleccionar propiedades de la gráfica.	Se muestran la gráfica actualizada.
F2.7.4.	Seleccionar guardar gráfica.	Se muestran la pantalla para guardar la imagen en un archivo en el disco duro.
F2.7.5	Seleccionar imprimir gráfica.	Se imprime la imagen de la gráfica.

- Caso de uso: Mezcla

Caso de Uso	Caso de Prueba	Resultado
F3.7.1 Elementos mayores	Seleccionar ejes X-Y.	Muestra los elementos y operadores correspondientes a los ejes coordenados a elegir.
F3.7.1 Elementos traza	Seleccionar ejes X-Y.	Muestra los elementos y operadores correspondientes a los ejes coordenados a elegir.
F3.7.2	Graficar.	Muestra la gráfica correspondiente ala mezcla para los elementos seleccionados y las rocas a comparar.
F3.7.3	Seleccionar guardar datos.	Muestra la pantalla para almacenar los datos en disco duro local.
F3.7.4	Seleccionar propiedades de la gráfica.	Se muestra la gráfica actualizada.
F7.5	Seleccionar guardar gráfica.	Se muestran la pantalla para almacenar la imagen de la gráfica en disco duro local.
F3.7.5	Seleccionar imprimir.	Se imprime la imagen de la gráfica.

## Conclusiones

La relación entre la Ingeniería de Software y las Ciencias de la Tierra es importante, porque el aplicar Ingeniería de Software en sistemas, permite desarrollar aplicaciones (Sistemas Software) de calidad, y si se enfocan en automatizar cálculos y algoritmos matemáticos utilizados para modelar fenómenos físicos y/o químicos que ocurren en la Tierra, dichas aplicaciones permitirán a los investigadores de Ciencias de la Tierra predecir o reproducirlos los fenómenos.

Podemos ver a los Sistemas Software como herramientas, que permiten realizar una gran cantidad de operaciones de manera rápida y confiable. En el caso de la ciencia en vulcanología, el contar con herramientas de este tipo facilita la labor de investigación en el análisis de información.

En el caso particular de los procesos de evolución magmática, el sistema software SEM (Sistema de Evolución Mágmatca) permite determinar el o los procesos que dieron origen a la formación de rocas ígneas volcánicas.

SEM disminuye los tiempos que anteriormente se tenían, en el modelado y análisis de los procesos de evolución magmática de Cristalización Fraccionada, Asimilación más Cristalización Fraccionada y Mezcla de Magmas.

Los resultados obtenidos de SEM aunados a estudios petrográficos y petrológicos, permite a los investigadores de Ciencias de la Tierra, además de clasificar el tipo de roca ígnea, realizar mapas geológicos y mapas de riesgo de las zonas volcánicas que se encuentran en estudio. Una de las zonas más importantes en México es el Arco Volcánico Chiapaneco (AVC) o por sus siglas en inglés CVA (Chiapanecan Volcanic Arc).

El objetivo principal de este trabajo fue plantear una forma más fácil y eficiente que la que se tenía, para modelar procesos de evolución magmática, así como facilitar el uso de los modelos por medio de Internet. Este objetivo se cumplió empleando un conjunto de tecnologías como son: el Proceso Unificado de Desarrollo de Software (PU), JSP's y Applets de Java.

El contar con una metodología de desarrollo nos permitió seguir un flujo de trabajo que dio como resultado la obtención de una aplicación Web.

## Ventajas de la aplicación Web SEM.

SEM es flexible en su implementación ya que se puede modificar una parte de la aplicación sin tener que modificarla por completo, además, si es necesario, se puede realizar migración de información --por ejemplo la base de datos puede cambiar de ubicación-- y el sistema se puede escalar en el futuro.

La principal ventaja de SEM es su acceso por Internet y el despliegue de resultados tanto gráficos como numéricos de forma dinámica, además SEM agrupa el modelado de tres de los principales procesos de evolución magmática, permitiendo realizar cálculos con datos químicos en elementos mayores o en elementos traza y ofrece utilerías para el acondicionamiento de datos que se ocupan en los modelos, por todo lo cual, no tiene comparación con otro Software en cuanto a funcionalidad, pero sí en cuanto a los modelos matemáticos que ocupa, ya que éstos son de los más aceptados y utilizados por los investigadores.

## Referencias

- Best, M.G. and Christiansen, E.H. (2001): *Igneous petrology*, Black Well Science
- Flanagan David (1999): *Java en pocas palabras*, Mc Graw Hill
- Hunter, Jason (1998): *Java Servlet Programming*, O'Reilly.
- Highsmith (2000): "Adaptive Software Development", Dorset House.
- Highsmith, J. (2000 ). *Extreme Programming*. Cutter. Retrieved April 8, 2000, from the World Wide Web: <http://www.cutter.com/ead/ead0002.html>.
- Jacobson Ivar, **Booth Grady**, **Rumbaugh James** (2000): *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*, Addison Wesley.
- Kernighan Brian W., Pike Rob.( 1987): *El entorno de programación UNIX*. Pearson Prentice Hall.
- Le Maitre R. W. (2002): *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*, Cambridge University Press.
- Luque Ruiz, Irene, Gómez Nieto, Miguel Ángel, López Espinosa, Enrique (2002): *Bases de Datos*, Alfaomega Ra – Ma.
- Maddison R. N. (1983): *Information System methodologies*. Wiley Henden.
- Maruyama Hiroshi, **Kent Tamura**, **Naohiko Uramoto** (2000): *Sitios Web con XML y Java*; España: Prentice Hall.
- Morgan Mike (1999): *Descubre Java 1.2*, Pearson Prentice Hall.
- Piattini Velthuis, **Mario Gerardo**, **Calvo-Manzano Villalón, José A.**, **Cevera Bravo, Joaquín Fernández Luis** (2004): *Análisis y diseño de aplicaciones informáticas de Ingeniería de Software*, Alfaomega, Ra-Ma.
- Presuman Roger S. *Ingeniería de Software* (1993). *Un enfoque práctico*. Mc Graw Hill 4ta. Edición
- Rollinson Hugh. (1989): *Using geochemical data: evaluation, presentation and interpretation*, Longman Scientific & Technical.
- Schmuller Joseph (2000): *Aprendiendo UML en 24 Horas*. Pearson Educación.
- Tarback Edward J. y Frederick K. (2002): *Earth. An introduction to Physical Geology*, Lutgens, Prentice Hall, 7ma. Edición.

Tremblett, Paul (2000): Instant Java Server Pages, Mc Graw Hill.

Rob, Peter y Coronel, Carlos (2004): Diseño de Bases de Datos Diseño Implementación y Administración, Thomson.

Williams H. & McBirney A.R. (1979) Volcanology. Freeman, Cooper & Sons, San Francisco

Wilson Marjorie. (1989): Igneous Petrogenesis. A global tectonic approach, UNWIN HYMAN.

### **Artículos**

Green, D.H.; Edgar, A.D.; Beasley, P.; Kiss, E. and Ware, N.G. (1974): Upper mantle source for some hawaiites, mugearites and benmoreites. Contrib. Mineral. Petrol.,48:33-43

Spear, F.S., Rumble, D., III and Ferry, J.M. (1982) Linear algebraic manipulation of n-dimensional composition space. Reviews in Mineralogy, V.10, 53-104.

DePaolo Donal J. (1981) : Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and factional crystallization. Earth and Planetary Science Letter, 53189- 202.

Macias, J.L. Espíndola, J.M. Garcia-Palomo, A. Scout, K.M. Hughes, S. Mora, J.C. (2000) Late Holocene Peléan-stile eruption at Tacaná volcano, México and Guatemala: Past, present, and future hazards. GSA Bulletin v. 112; no, 8; p 1234-1249.

### **Sitios Web utilizados**

<http://www.sun.com>

<http://www.mozilla.org/products/firefox/start/index.html>

<http://www.mandrakelinux.com/en/ftp.php3>

<http://jakarta.apache.org/tomcat/>

<http://www.postgresql.org/>

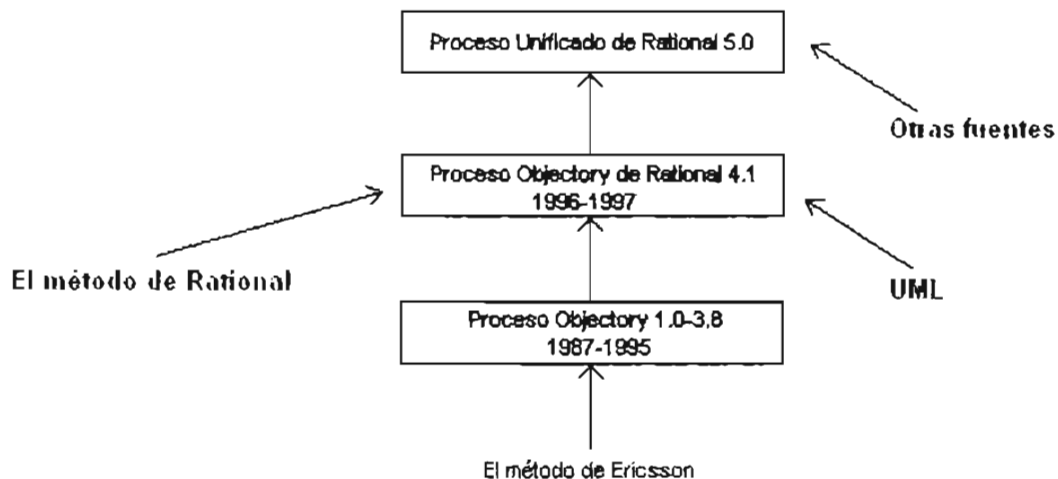
<http://www.earthref.org>

# APÉNDICES

## Apéndice A

### Metodología para el desarrollo de SEM.

El Proceso Unificado (PU) es un proceso de desarrollo de software que representa la unión de metodologías antes separadas, lo que justifica al llamarlo “Proceso Unificado”. Y está equilibrado por ser el producto final de tres décadas de desarrollo y uso práctico. Su desarrollo como producto sigue un camino (Fig. A.1) desde el Proceso Objectory (primera publicación en 1987) pasando por el Proceso Objectory de Rational (publicado en 1997) hasta el Proceso Unificado de Rational (publicado en 1998). Su desarrollo ha recibido influencias de muchas fuentes. No se pretende describirlas todas aquí dado que no es parte del propósito de este trabajo.



**Figura A.1** El desarrollo del Proceso Unificado (las versiones del producto se muestran en rectángulos color gris).

El Proceso Unificado va más allá del mero análisis y diseño orientado a objetos para proporcionar una familia de técnicas que soportan el ciclo completo de desarrollo de software. El resultado es un proceso basado en componentes, dirigido por los casos de uso, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental. Este proceso pone especial énfasis en la construcción de sus modelos prácticos usando UML (lenguaje visual), demostrando que la notación y el proceso se complementan. Dado que la utilización de modelos UML son los que mejor describen claramente la semántica y notación de las diferentes construcciones



que se tienen durante el ciclo de desarrollo del software. Además de ser un lenguaje cada vez más estándar en la comunidad de los desarrolladores e ingenieros en tecnología orientada a objetos. Construcciones como casos de uso, actores, subsistemas, clases, interfaces, clases activas, procesos, hilos, nodos y la mayoría de las relaciones, se describen siempre en el contexto de un modelo (Fig. A.3).

### A.1 Proceso Unificado de desarrollo de Software.

Las tendencias del desarrollo de software que tenemos actualmente demanda contar con una metodología de Desarrollo de software, que tenga las siguientes características, que:

- Proporcione una guía para ordenar las actividades de un equipo.
- Dirija las tareas de cada desarrollador por separado y del equipo como un todo.
- Especifique los artefactos que deben desarrollarse.
- Ofrezca criterios para el control y la medición de los productos y actividades del proyecto.

Un **proceso de desarrollo de software** (PU) es el conjunto de actividades necesarias para transformar los requisitos de un usuario en un sistema software (Fig. A.2).

Se puede ver al Proceso Unificado como un marco de trabajo genérico que puede especializarse para una gran variedad de sistemas software, para diferentes áreas de aplicación, diferentes tipos de organizaciones, diferentes niveles de aptitud y diferentes tamaños de proyecto.

El Proceso Unificado está *basado en componentes*, lo cual quiere decir que el sistema software en construcción está formado por **componentes** software interconectados a través de **interfaces** bien definidas.

Además el Proceso Unificado utiliza el *Lenguaje Unificado de Modelado* (Unified Modeling Language, **UML**) para preparar todos los esquemas de un sistema software. De hecho, UML es parte esencial del Proceso Unificado.

No obstante, los verdaderos aspectos definitorios del Proceso Unificado se resumen en tres frases clave -dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura, e iterativo e incremental. Esto es lo que hace único al Proceso Unificado.

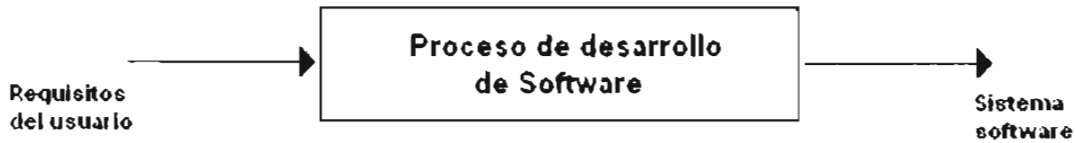


Figura A.2 Un proceso de desarrollo de software.

*PU: dirigido por casos de uso.*

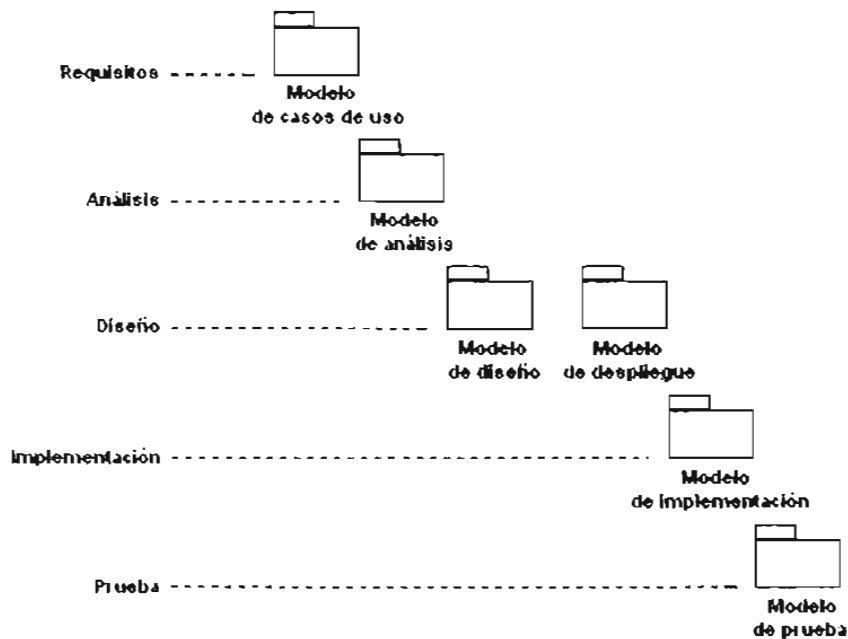
Los casos de uso permiten conocer lo que los usuarios necesitan y desean, es decir, permiten especificar los requisitos de un sistema, pero además guían su diseño, implementación y prueba; esto es, guían el proceso de desarrollo.

Un **caso de uso** es un fragmento de funcionalidad del sistema que proporciona al usuario un resultado importante. Los casos de uso representan los requisitos funcionales. Todos los casos de uso juntos constituyen el **modelo de casos de uso**, el cual describe la funcionalidad total del sistema.

Basándose en el modelo de casos de uso, los desarrolladores crean una serie de modelos de diseño e implementación que llevan a cabo los casos de uso. Y revisan cada uno de los sucesivos modelos para que sean conformes al modelo de los casos de uso, posteriormente se prueba la implementación para garantizar que los componentes del modelo de implementación implementan correctamente los casos de uso. De este modo, los casos de uso no sólo inician el proceso de desarrollo sino que le proporcionan un hilo conductor.

En términos generales, *Dirigido por casos de uso* quiere decir que el proceso de desarrollo sigue una serie de flujos de trabajo que parten de los casos de uso (Fig. A.3).

Los casos de uso no se desarrollan aisladamente. Se desarrollan a la vez que la arquitectura del sistema. Es decir, los casos de uso guían la arquitectura del sistema y la arquitectura del sistema influye en la selección de los casos de uso.



**Figura A.3** El Proceso Unificado consiste en una serie de flujos de trabajo que van desde los requisitos hasta las pruebas (de izquierda a derecha y de arriba a abajo). Los flujos de trabajo desarrollan modelos, desde el modelo de casos de uso hasta el modelo de pruebas.

*PU: centrado en la arquitectura.*

El que sea centrado en la arquitectura permite describir diferentes vistas del diseño (sistema en construcción) y escoger la que mejor se adecue a las necesidades del usuario. Incluye los aspectos estáticos y dinámicos más significativos del sistema. Es la **forma** del software.

La arquitectura se centra en los casos de uso claves del sistema, que constituyan las funciones principales del mismo. Se empieza por la parte que no es específica de los casos de uso. De esta forma se relacionan los casos de uso y la arquitectura, evolucionan en paralelo. Pero eso no es todo, la arquitectura también se ve influida por otros factores, como la plataforma en la que tiene que funcionar el software (arquitectura hardware, sistema operativo, sistema de gestión de bases de datos, protocolos para comunicación en red) y requerimientos no funcionales, entre otros.

La arquitectura es una vista del diseño completo con las características más importantes, dejando los detalles de lado. El proceso de su elaboración ayuda a centrarse en objetivos como la comprensibilidad, la capacidad de adaptación al cambio, y la reutilización.

*PU: iterativo e incremental.*

El ser iterativo e incremental permite dividir el trabajo en partes pequeñas o mini proyectos, cada mini proyecto es una iteración que resuelve un incremento. Las iteraciones hacen referencia a pasos en el flujo de trabajo, y los incrementos, al crecimiento del producto.

Son muchos los beneficios de un proceso iterativo controlado:

- La iteración controlada reduce el coste del riesgo a los costes de un solo incremento. Si los desarrolladores tienen que repetir la iteración, la organización sólo pierde el esfuerzo mal empleado de la iteración, no el valor del producto entero.
- La iteración controlada reduce el riesgo de no sacar al mercado el producto en el calendario previsto. Mediante la identificación de riesgos en fases tempranas del desarrollo, el tiempo que se gasta en resolverlos se emplea al principio de la planificación, cuando la gente está menos presionada por cumplir los plazos. En el método "tradicional", en el cual los problemas complicados se revelan por primera vez en la prueba del sistema, el tiempo necesario para resolverlos normalmente es mayor que el tiempo que queda en la planificación, y casi siempre obliga a retrasar la entrega.
- La iteración controlada acelera el ritmo del esfuerzo de desarrollo en su totalidad debido a que los desarrolladores trabajan de manera más eficiente para obtener resultados claros a corto plazo, en lugar de tener un calendario largo, que se prolonga eternamente.
- La iteración controlada reconoce una realidad que a menudo se ignora -que las necesidades del usuario y sus correspondientes requisitos no pueden definirse completamente al principio. Típicamente, se refinan en iteraciones sucesivas. Esta forma de operar hace más fácil la adaptación a los requisitos cambiantes.

Estos conceptos -los de desarrollo dirigido por los casos de uso, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental son de igual importancia.

La arquitectura proporciona la estructura sobre la cual guiar las iteraciones, mientras que los casos de uso definen los objetivos y dirigen el trabajo de cada iteración. La eliminación de una de las tres ideas reduciría drásticamente el valor del Proceso Unificado.

### A.1.1 La Vida del Proceso Unificado.

El Proceso Unificado se repite a lo largo de una serie de ciclos que constituyen la vida de un sistema, como se muestra en la figura A.4. Cada ciclo concluye con una versión del producto para el cliente.

Cada ciclo consta de cuatro fases: **inicio**, **elaboración**, **construcción** y **transición**. Cada fase se subdivide a su vez en iteraciones, como se ha dicho anteriormente (Fig. A.5).

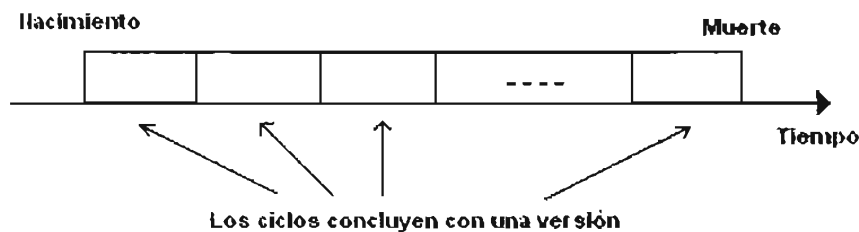


Figura A.4 La vida de un proceso consta de ciclos desde su nacimiento hasta su muerte.

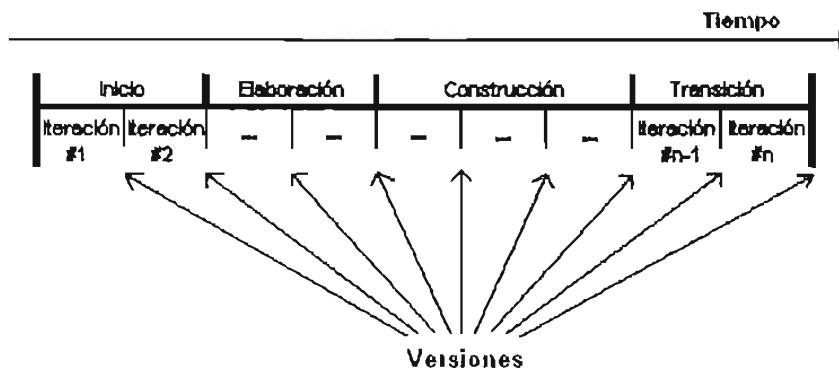
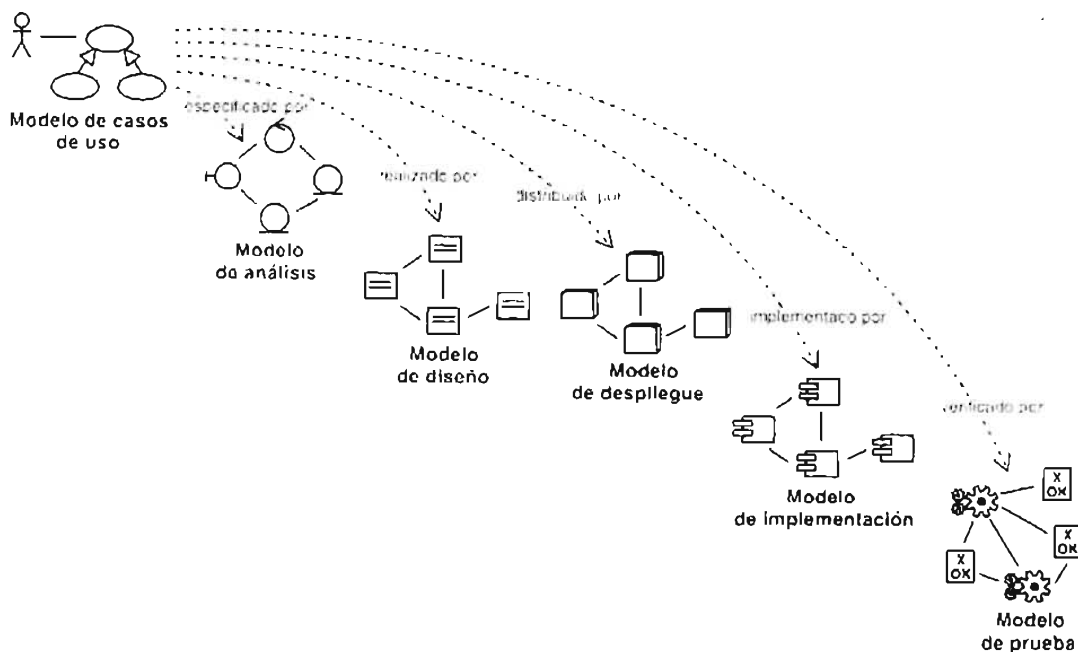


Figura A.5 Un ciclo con sus fases e iteraciones.

Cada ciclo produce una nueva versión del sistema. Y cada versión es un producto terminado que incluye, además del código fuente, los requisitos, casos de uso, especificaciones no funcionales y casos de prueba, el modelo de la arquitectura y el modelo visual –artefactos modelados con UML. Debido a que son esos elementos los que permiten especificar, diseñar, implementar, probar y utilizar un sistema. Incluso, son esos elementos los que permiten a los usuarios utilizar y modificar el sistema de generación en generación. Para llevar a cabo el siguiente ciclo de manera eficiente, los desarrolladores necesitan todas las representaciones del producto software (Fig. A.6):



**Figura A.6** Modelo del Proceso Unificado. Existen dependencias entre muchos de los modelos. Como ejemplo, se indican las dependencias entre el modelo de casos de uso y los demás modelos.

- Un modelo de casos de uso, con todos los casos de uso y su relación con los usuarios.
- Un modelo de análisis, con dos propósitos: refinar los casos de uso con más detalle y establecer la asignación inicial de funcionalidad del sistema a un conjunto de objetos que proporcionan el comportamiento.

- Un modelo de diseño que define: (a) la estructura estática del sistema en la forma de subsistemas, clases e interfaces y (b) los casos de uso reflejados como **colaboraciones** entre los subsistemas, clases, e interfaces.
- Un modelo de implementación, que incluye componentes (que representan al código fuente) y la correspondencia de las clases con los componentes.
- Un modelo de despliegue (o modelo de distribución), que define los nodos físicos (ordenadores) y la correspondencia de los componentes con esos nodos.
- Un modelo de prueba, que describe los casos de prueba que verifican los casos de uso.
- Y, por supuesto, una representación de la arquitectura.

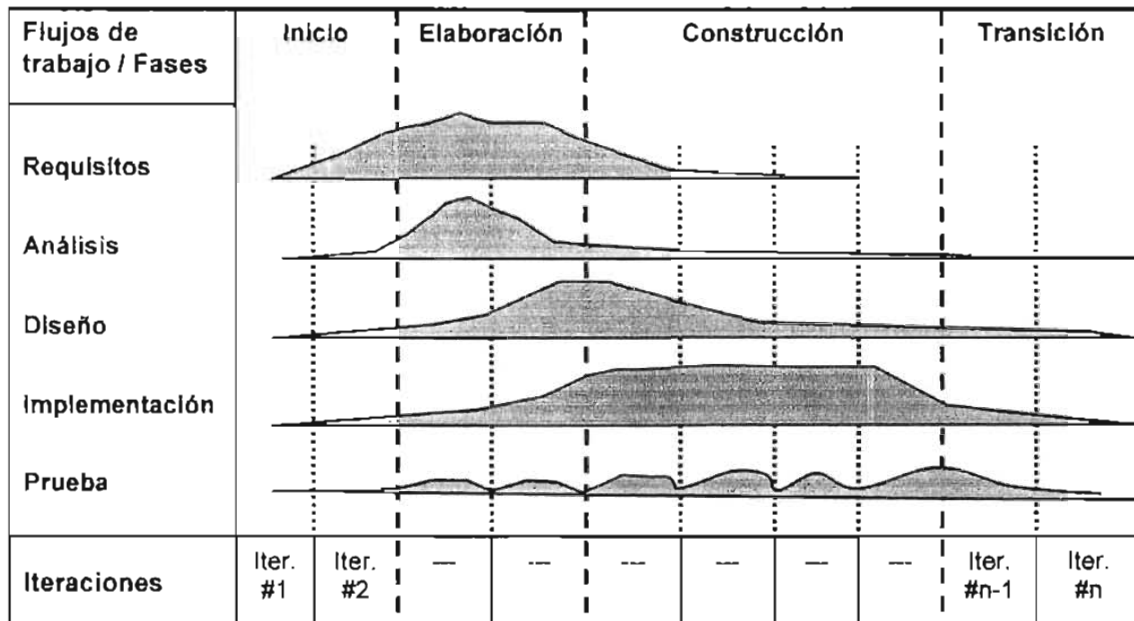
El sistema también debe tener un modelo del dominio o modelo del negocio que describa el contexto del negocio en el que se halla el sistema. Todos estos modelos están relacionados. Juntos, representan al sistema como un todo.

#### **A.1.1.1 Fases dentro del ciclo de desarrollo.**

Cada ciclo se desarrolla a lo largo del tiempo. Este tiempo, a su vez, se divide en cuatro fases, como se muestra en la Figura A.7. A través de una secuencia de modelos, los implicados visualizan lo que está sucediendo en esas fases.

Durante la **fase de inicio**, se desarrolla una descripción del producto final a partir de una buena idea y se presenta el análisis de negocio para el producto. Esencialmente, esta fase responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las principales funciones del sistema para sus usuarios más importantes?
- ¿Cómo podría ser la arquitectura del sistema?
- ¿Cuál es el plan de proyecto y cuánto costará desarrollar el producto?



**Figura A.7** Los cinco Flujos de trabajo –requisitos, análisis, diseño, implementación y prueba- tienen lugar sobre las cuatro fases: inicio, elaboración, construcción y transición.

En esta fase, se identifican y priorizan los riesgos más importantes, se planifica en detalle la fase de elaboración, y se estima el proyecto de manera aproximada.

Durante la **fase de elaboración**, se especifican en detalle la mayoría de los casos de uso del producto y se diseña la arquitectura del sistema. La arquitectura se expresa en forma de vistas de todos los modelos del sistema, los cuales juntos representan al sistema entero. Esto implica que hay vistas arquitectónicas del modelo de casos de uso, del modelo de análisis, del modelo de diseño, del modelo de implementación y modelo de despliegue. La vista del modelo de implementación incluye componentes para probar que la arquitectura es ejecutable. Durante esta fase del desarrollo, se realizan los casos de uso más críticos que se identificaron en la fase de comienzo. El resultado de esta fase es una **línea base** de la arquitectura.

Durante la **fase de construcción** se crea el producto. En esta fase, la línea base de la arquitectura crece hasta convertirse en el sistema completo. La descripción evoluciona hasta convertirse en un producto preparado para ser entregado a la comunidad de usuarios. El grueso de los recursos requeridos se emplea durante esta fase del desarrollo. Al final de



esta fase, el producto contiene todos los casos de uso que la dirección y el cliente han acordado para el desarrollo de esta versión. Sin embargo, puede que no está completamente libre de defectos. Muchos de estos defectos se descubrirán y solucionarán durante la fase de transición. La pregunta decisiva es: ¿cubre el producto las necesidades de algunos usuarios de manera suficiente como para hacer una primera entrega?

La **fase de transición** cubre el periodo durante el cual el producto se convierte en versión beta. En la versión beta un número reducido de usuarios con experiencia prueba el producto e informa de defectos y deficiencias. Los desarrolladores corrigen los problemas e incorporan algunas de las mejoras sugeridas en una versión general dirigida a la totalidad de la comunidad de usuarios. La fase de transición conlleva actividades como la fabricación, formación del cliente, el proporcionar una línea de ayuda y asistencia, y la corrección de los defectos que se encuentren tras la entrega. El equipo de mantenimiento suele dividir esos defectos en dos categorías: los que tienen suficiente impacto en la operación para justificar una versión incrementada (versión *delta*) y los que pueden corregirse en la siguiente versión normal.

#### **A.1.2 Los Beneficios del Proceso Unificado.**

El Proceso Unificado reúne los beneficios de varias técnicas y aplicaciones las cuales han sido unificadas, tales como:

- “Visualizable” Los modelos visuales y artefactos empleados en el Proceso Unificado se expresan en el Lenguaje Unificado de modelado, lo que nos conduce a sus múltiples ventajas. Tales como una gran reutilización de software y a esquemas del software.
- “Mecanizable” Un proceso Unificado y un lenguaje estándar dotan del soporte financiero para herramientas más completas, lo que, a su vez hace el proceso más efectivo.

- “Adaptable” es un marco de trabajo de proceso, no un proceso rígido. Es especializable a diferentes campos de aplicaciones y necesidades organizativas.
- “Extensible” El Proceso unificado no limita a sus usuarios a una única forma de llevar a cabo una actividad, por ejemplo, el análisis de riesgos. Los usuarios pueden dirigirse a otras fuentes para guiarse. Lo que hace el proceso unificado es determinar puntos lógicos en el proceso en los cuales la actividad, en este caso el análisis de riesgos, va a tener lugar, fundamentalmente “temprano” antes que “tarde”,

## A.2 Lenguaje Unificado de Modelado.

UML es el acrónimo de *Unified Modeling Language*, es un lenguaje estándar de modelación visual que se emplea para *especificar, visualizar, construir y documentar artefactos* de un sistema de software. Tiene definido un conjunto de notaciones gráficas (la sintaxis del lenguaje), especificación de significados (la semántica del lenguaje), y lineamientos. Surge como un intento para unificar experiencias de la modelación de software. Básicamente, UML permite a los desarrolladores visualizar los resultados de su trabajo en esquemas o diagramas estandarizados.

Este lenguaje está diseñado para que pueda ser empleado en cualquier proceso de desarrollo de software, durante cualquier etapa de este y no importa el dominio de la aplicación.

Está compuesto por diferentes elementos gráficos que se combinan para conformar diagramas, la finalidad de los diagramas es presentar diversas perspectivas de un sistema, a las cuales se les conoce como modelos. Es importante destacar que un modelo UML describe lo que supuestamente hará un sistema, pero no dice como implementar dicho sistema.

## A.2.1 Diagramas más importantes.

El UML tiene definido un conjunto de *diagramas* los cuales permiten generar distintas *vistas* de los aspectos *estáticos* y *dinámicos* del sistema. A continuación se presentan los principales diagramas de UML:

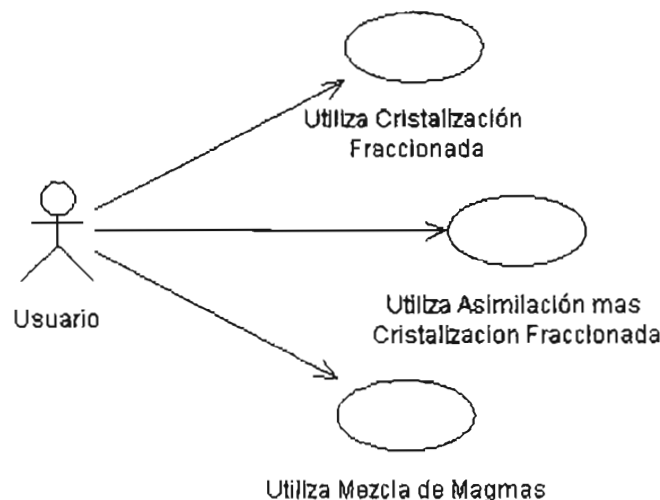
### *Diagrama de casos de uso.*

Un diagrama de *casos de uso* permite identificar *quién hace qué en el sistema*, es decir permite modelar la interacción que hay entre un *actor* y el *sistema*. La Figura A.8 presenta el ejemplo de un diagrama de *casos de uso*, los principales componentes en este tipo de diagramas son:

Caso de uso: representa alguna acción que el usuario puede desarrollar.

Actores: puede ser un usuario o algún sistema.

Asociaciones: permiten definir la participación de un actor en un caso de uso.



**Figura A.8** Ejemplo de un diagrama de casos de uso.

### Diagrama de clases.

Los *diagramas de clases* permiten modelar la estructura, contenido y relación que hay entre las clases que forman parte del sistema. Permiten definir la perspectiva *conceptual* de especificación e *implementación* las cuales juegan un papel muy importante durante el desarrollo del software. La Figura A.9 presenta el ejemplo de un diagrama de clases. Los principales componentes en este tipo de diagramas son:

Clases: tiene definido un *nombre*, una lista de *atributos* y una lista *operaciones*.

Asociaciones: definen una relación entre las clases, pueden ser dirigidas e indicar la multiplicidad que tienen asociada.

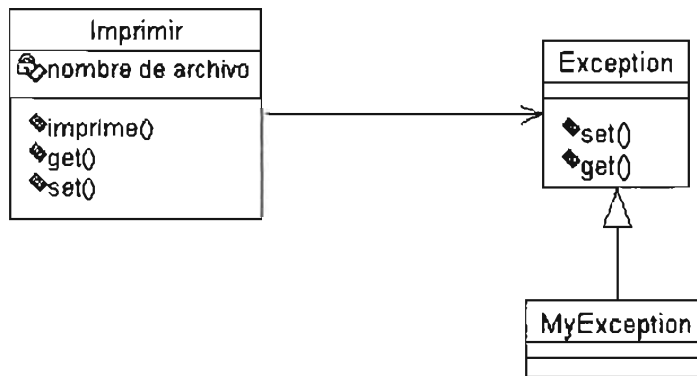


Figura A.9 Ejemplo de un diagrama de clases.

### Diagrama de secuencia.

Un diagrama de *secuencia* permite modelar la interacción de los objetos que participan en un *caso de uso* durante un periodo de tiempo. La Figura A.10 presenta el ejemplo de un *Diagrama de secuencia*, los principales elementos que forman este tipo de diagramas son:

Objetos: representan los elementos que están interactuando.

Linea del tiempo: representa el tiempo en el cual un objeto está activo para poder enviar y recibir mensajes.

Mensajes: son representados con flechas, tienen asociado la acción que se solicita y establecen un enlace entre las líneas del tiempo.

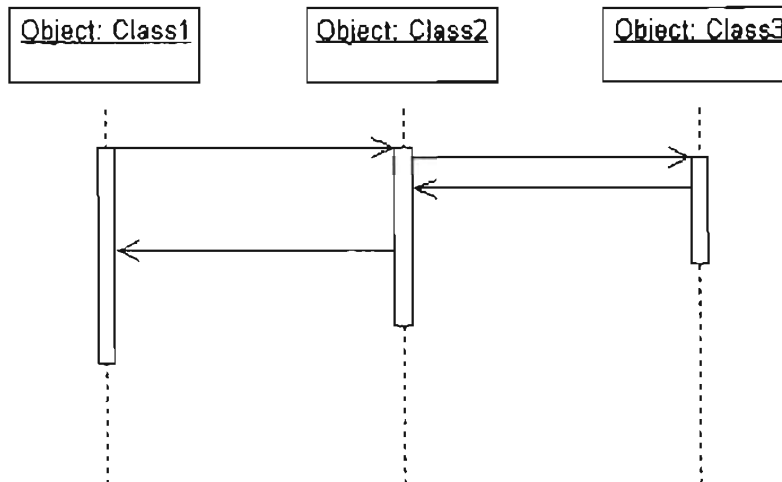


Figura A.10 Ejemplo de un diagrama de secuencia.

### Diagrama de actividades.

Un diagrama de *actividades* permite modelar los distintos escenarios que pueden ser presentados en un *caso de uso*. La Figura A.11 presenta el ejemplo de un diagrama de *actividades*. Los principales elementos que forman este tipo de diagramas son:

Actividades: representan las acciones a realizar.

Asociaciones: indica que hay una dependencia secuencial.

Rutas concurrentes: es empleado cuando distintas actividades pueden ocurrir al mismo tiempo sin importar el orden.

Dependencia: indica las actividades que deben estar completadas para pasar a la siguiente actividad.

Branch: permite tomar decisiones para determinar la siguiente actividad a realizar.

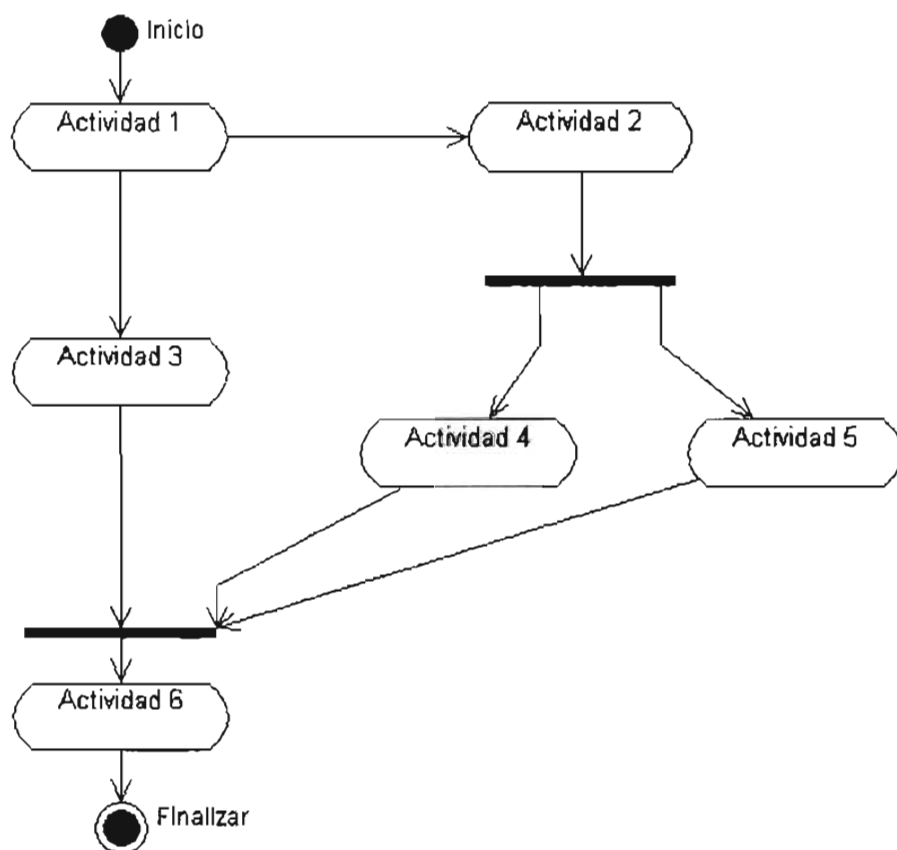


Figura A.11 Ejemplo de un diagrama de actividades.

### Diagramas de estados.

Los diagramas de *estados* muestran un conjunto de acciones (*estados*) conectados por transiciones (eventos) que ocurren en un periodo de tiempo durante la vida de un objeto. Cuando un evento ocurre permite realizar el cambio de un estado a otro. La Figura A.12 presenta el ejemplo de un diagrama de estados, los principales elementos que forman este tipo de diagramas son:

Estados: los posibles estados que puede tener asociado un objeto.

Transiciones: representan los eventos que puedan ocurrir.

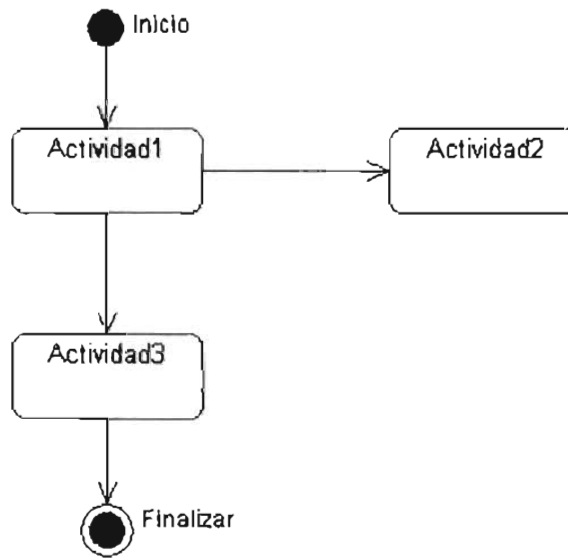


Figura A.12 Ejemplo de un diagrama de estados.

*Diagrama de paquetes.*

Los diagramas de *paquetes* proporcionan una forma de agrupar elementos como pueden ser: *clases, componentes de software, hardware, paquetes y cualquier otro elemento que sea relevante*. La Figura A.13 presenta el ejemplo de un diagrama de *paquetes*.

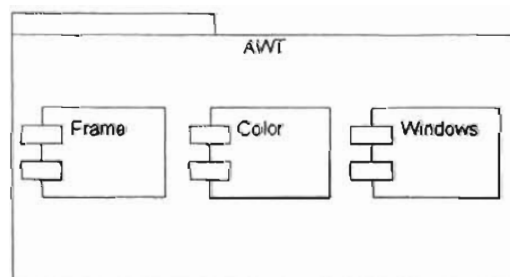
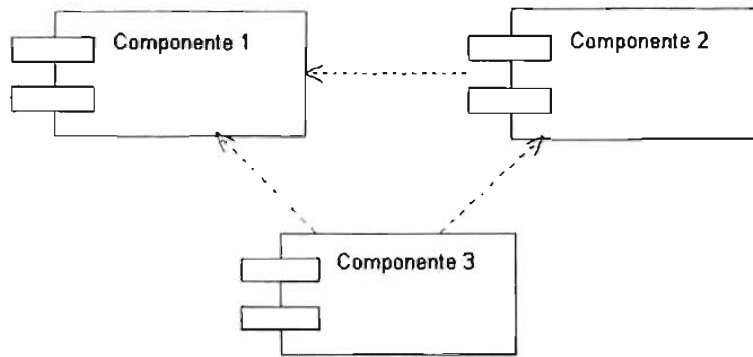


Figura A.13 Ejemplo de un diagrama de paquetes.

*Diagramas de componentes.*

Los diagramas de *componentes* permiten modelar las *unidades de software y la organización que tienen definida*. La Figura A.14 presenta el ejemplo de un diagrama de *componentes*.



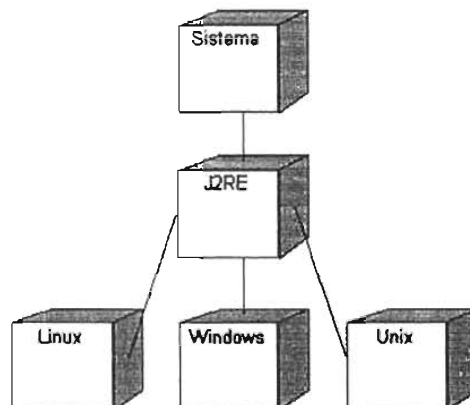
**Figura A.14** Ejemplo de un diagrama de componentes.

### *Diagramas de instalación.*

Un diagrama de *instalación* permite modelar la estructura de los componentes de hardware, los protocolos de comunicación que son empleados, la distribución y la asignación de los recursos con los que se cuenta. La Figura A.15 presenta el ejemplo de un diagrama de *componentes*. Los principales elementos de este tipo de diagramas son:

Nodos: representa una unidad de hardware.

Asociaciones: representa un enlace o un canal de comunicación.



**Figura A.15** Ejemplo de un diagrama de instalación.



## Apéndice B

### Tablas de Coeficientes de Repartición.

DACÍTICA.

Coeficientes de Repartición Mínimo

	Plagioclasas	Clinopiroxeno	Ortopiroxeno	Anfibol	Óxido	Olivino	Feldespato k
Ba	0.1	0	0	0.044	0	0	0
Rb	0.016	0	0	0.0077	0	0	0
Th	0.032	0	0	0	0	0	0
Nb	2.5	0	0	2.5	0	0	0
La	0.28	0	0	0.26	0	0	0
Ce	0.109	0	0	0.429	0	0	0
Sr	1.9	0	0	0.0224	0.077	0	0
Hf	0.07	0	0	0	0	0	0
Zr	0.55	0	0	0.34	3.9	0	0
Y	0.51	0	0	2.46	0	0	0
Yb	0	0	0	0	0	0	0
Sc	0.03	3.4	0	5.8	0	0	0
Co	0.055	3.2	0	0	0	0	0
Cr	0.06	0.75	0	21	0	0	0
Ni	1.5	0	0	9.3	5.2	0	0
Tb	0.12	0	0	0	0	0	0
Lu	0.022	0	0	1.75	0	0	0
Nd	0.061	0	0	1.03	0	0	0
V	0	1.3	0	4.92	0	0	0

DACÍTICA.

Coeficientes de Repartición Máximo

	Plagioclasas	Clinopiroxeno	Ortopiroxeno	Anfibol	Óxido	Olivino	Feldespato k
Ba	0.17	0	0	0.054	0	0	0
Rb	0.041	0	0	0.014	0	0	0
Th	0.088	0	0	0	0	0	0
Nb	2.5	0	0	2.5	0	0	0
La	0.49	0	0	0.26	0	0	0
Ce	0.347	0	0	1.77	0	0	0
Sr	2.6	0	0	0.094	0.077	0	0
Hf	0.17	0	0	0	0	0	0
Zr	0.55	0	0	0.93	3.9	0	0
Y	0.51	0	0	11.3	0	0	0
Yb	0	0	0	0	0	0	0
Sc	0.197	12	0	6.3	0	0	0
Co	0.51	6.8	0	0	0	0	0
Cr	0.67	3.3	0	21	0	0	0
Ni	1.5	0	0	9.3	5.2	0	0
Tb	0.21	0	0	0	0	0	0
Lu	0.29	0	0	6.3	0	0	0
Nd	0.29	0	0	4.49	0	0	0
V	0	12.5	0	4.92	0	0	0

## ANDESÍTICA.

## Coeficientes de Repartición Mínimo

	Plagioclasas	Clinopiroxeno	Ortopiroxeno	Anfibol	Óxido	Olivino	Feldespato k
Rb	0.039	0.00031	0	0.0448	0.15	0.00018	0
Th	0.004	0.04	0	0.13	0.05	0.0001	0
Nb	1.3	2.1	0	0.2	0	0.01	0
La	0.13	0.14	0	0.14	0.22	2.80E-05	0
Ce	0.12	0.2	0	0.29	0.12	3.5	0
Sr	1.31	0.00187	0	0.01	0.11	0.008	0
Hf	0.01	0.21	0	0.34	0.3	0.2	0
Zr	0.15	0.12	0	0.23	0.38	0.0047	0
Y	0.066	2.4	0	0	0.64	0	0
Yb	0.01	0.93	0	1.1	0.24	0.062	0
Sc	0.01	6.9	0	8.1	1.7	0.18	0
Co	0.07	5.5	0	1.77	0	1.81	0
Cr	0.02	43	0	31	93	0.63	0
Ni	0.06	4.6	0	0	9.6	4	0
Tb	0.05	1.1	0	1.5	0.37	1	0
Lu	0.05	0.86	0	1	0.32	0.0473	0
Nd	0.08	2.1	0	0.2	0	0.01	0
V	0.07	1.1	0	6.3	8.7	0.06	0

## ANDESÍTICA.

## Coeficientes de Repartición Máximo

	Plagioclasas	Clinopiroxeno	Ortopiroxeno	Anfibol	Óxido	Olivino	Feldespato k
Rb	0.36	0.05	0	0.22	0.4	0.365	0
Th	0.0705	0.0129	0	0.14	0.15	0.062	0
Nb	0.013	0.16	0	0.25	0.42	0.03	0
La	1.3	2.1	0	0.2	0	0.11	0
Ce	0.21	0.4	0	0.19	0.45	0.0061	0
Sr	0.18	0.36	0	0.37	0.42	29	0
Hf	1.83	0.0648	0	0.495	0.11	0.018	0
Zr	0.02	0.34	0	0.52	0.62	5.5	0
Y	0.2	0.41	0	0.5	0.38	0.02	0
Yb	0.066	2.4	0	0	0.64	0	0
Sc	0.02	1.4	0	1.6	0.47	0.164	0
Co	0.03	16	0	13	3.3	0.29	0
Cr	0.07	5.5	0	6.1	0	1.96	0
Ni	0.25	245	0	90	340	1.85	0
Tb	0.61	9	0	0	19	7.46	0
Lu	0.08	2	0	2.5	0.67	4.2	0
Nd	0.1	1.4	0	1.6	0.44	0.0587	0
V	0.16	2.1	0	0.2	0	0.11	0
	0.47	5.2	0	13	54	1.3	0

BASÁLTICA. Coeficientes de Repartición  
Mínimo

	Plagioclasas	Clinopiroxeno	Ortopiroxeno	Anfibol	Óxido	Olivino	Feldespato k
Ba	0.183	0.03	0	0.436	0	2.20E-06	0
Rb	0.13	0.011	0	0.07	0	0.04	0
Th	0.05	0.00041	0	0.11	0	2.40E-06	0
Nb	0.01	0.004	0	0.026	0.01	0	0
La	0.141	0.041	0	0.06	0.015	0.0004	0
Ce	0.016	0.099	0	0.09	0.016	0.009	0
Sr	1.504	0.052	0	0.08	0	1.54E-05	0
Hf	0.05	0.004	0	0.92	0	0.04	0
Zr	0.13	0.004	0	0.15	0.02	0.06	0
Y	0.023	0.29	0	0.4	0	0.009	0
Yb	0	0.38	0	0.2	0	0	0
Sc	0.04	2.38	0	2.18	0.67	0	0
Co	0.07	1	0	1.35	3.4	1.6	0
Cr	0.08	2.94	0	0.1	0	0.73	0
Ni	0.04	1.2	0	16	31	9.3	0
Tb	0.1	0.28	0	0.3	0.019	0.0016	0
Lu	0.0069	0.006	0	0.15	0	0.018	0
Nd	0.074	0.201	0	0.2	0.026	0	0
V	0.1	0.648	0	0	0.02	0.02	0

BASÁLTICA. Coeficientes de Repartición  
Máximo

	Plagioclasas	Clinopiroxeno	Ortopiroxeno	Anfibol	Óxido	Olivino	Feldespato k
Ba	0.504	0.16	0	6.4	0	8.70E-06	0
Rb	0.3	0.13	0	0.16	0	0.04	0
Th	0.09	0.00531	0	0.11	0	1.00E-05	0
Nb	0.01	0.065	0	0.21	1.8	0	0
La	0.258	0.212	0	0.3	0.015	0.012	0
Ce	0.2	0.179	0	0.5	0.016	0.01	0
Sr	2.845	0.282	0	0.35	0	5.08E-05	0
Hf	0.13	0.098	0	0.92	0	0.04	0
Zr	0.27	0.786	0	0.35	1.78	0.06	0
Y	0.031	1.71	0	1.3	0	0.009	0
Yb	0	1.14	0	1	0	0	0
Sc	0.1	3.23	0	2.18	5.76		0
Co	0.5	1.7	0	1.35	3.4	2.22	0
Cr	0.6	26.91	0	7	0	1.18	0
Ni	0.5	10	0	16	65	12.8	0
Tb	0.11	1.124	0	2	0.019	0.0041	0
Lu	0.0093	0.958	0	1	0	0.018	0
Nd	0.168	0.804	0	0.7	0.026	0	0
V	0.1	6.18	0	0	6.85	0.09	0