



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# Título de la tesis o trabajo de investigación

Nombres y apellidos completos del autor

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad, Departamento (Escuela, etc.)  
Ciudad, Colombia  
Año



# Título de la tesis o trabajo de investigación

## Nombres y apellidos completos del autor

Tesis o trabajo de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:  
**Indicar el título que se obtendrá. Por ejemplo, Magister en Ingeniería Química**

Director(a):

Título (Ph.D., Doctor, Químico, etc.) y nombre del director(a)

Línea de Investigación:

Nombrar la línea de investigación en la que enmarca la tesis o trabajo de investigación

Grupo de Investigación:

Nombrar el grupo en caso que sea posible

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad, Departamento (Escuela, etc.)  
Ciudad, Colombia  
Año



(Dedicatoria o un lema)

Su uso es opcional y cada autor podrá determinar la distribución del texto en la página, se sugiere esta presentación. En ella el autor dedica su trabajo en forma especial a personas y/o entidades.

Por ejemplo:

A mis padres

o

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein



# Agradecimientos

Esta sección es opcional, en ella el autor agradece a las personas o instituciones que colaboraron en la realización de la tesis o trabajo de investigación. Si se incluye esta sección, deben aparecer los nombres completos, los cargos y su aporte al documento.





## Resumen

El resumen es una presentación abreviada y precisa (la NTC 1486 de 2008 recomienda revisar la norma ISO 214 de 1976). Se debe usar una extensión máxima de 12 renglones. Se recomienda que este resumen sea analítico, es decir, que sea completo, con información cuantitativa y cualitativa, generalmente incluyendo los siguientes aspectos: objetivos, diseño, lugar y circunstancias, pacientes (u objetivo del estudio), intervención, mediciones y principales resultados, y conclusiones. Al final del resumen se deben usar palabras claves tomadas del texto (mínimo 3 y máximo 7 palabras), las cuales permiten la recuperación de la información.

**Palabras clave: (máximo 10 palabras, preferiblemente seleccionadas de las listas internacionales que permitan el indizado cruzado).**

A continuación se presentan algunos ejemplos de tesauros que se pueden consultar para asignar las palabras clave, según el área temática:

**Artes:** AAT: Art y Architecture Thesaurus.

**Ciencias agropecuarias:** 1) Agrovoc: Multilingual Agricultural Thesaurus - F.A.O. y 2) GEMET: General Multilingual Environmental Thesaurus.

**Ciencias sociales y humanas:** 1) Tesauro de la UNESCO y 2) Population Multilingual Thesaurus.

**Ciencia y tecnología:** 1) Astronomy Thesaurus Index. 2) Life Sciences Thesaurus, 3) Subject Vocabulary, Chemical Abstracts Service y 4) InterWATER: Tesauro de IRC - Centro Internacional de Agua Potable y Saneamiento.

**Tecnologías y ciencias médicas:** 1) MeSH: Medical Subject Headings (National Library of Medicine's USA) y 2) DECS: Descriptores en ciencias de la Salud (Biblioteca Regional de Medicina BIREME-OPS).

**Multidisciplinarias:** 1) LEMB - Listas de Encabezamientos de Materia y 2) LCSH- Library of Congress Subject Headings.

También se pueden encontrar listas de temas y palabras claves, consultando las distintas bases de datos disponibles a través del Portal del Sistema Nacional de Bibliotecas<sup>1</sup>, en la sección Recursos bibliográficos. opción "Bases de datos".

## Abstract

Es el mismo resumen pero traducido al inglés. Se debe usar una extensión máxima de 12 renglones. Al final del Abstract se deben traducir las anteriores palabras claves tomadas del

---

<sup>1</sup>ver: [www.sinab.unal.edu.co](http://www.sinab.unal.edu.co)

texto (mínimo 3 y máximo 7 palabras), llamadas keywords. Es posible incluir el resumen en otro idioma diferente al español o al inglés, si se considera como importante dentro del tema tratado en la investigación, por ejemplo: un trabajo dedicado a problemas lingüísticos del mandarín seguramente estaría mejor con un resumen en mandarín.

**Keywords: palabras clave en inglés(máximo 10 palabras, preferiblemente seleccionadas de las listas internacionales que permitan el indizado cruzado)**

# Lista de Figuras

4-1. Complete PS Representation for EOR Processes . . . . .	9
4-2. Mesh definition. . . . .	10
4-3. Fluid Characterization. . . . .	11
4-4. Fluid Characterization. . . . .	12



## **Lista de Tablas**

# 1. Introducción

Oil reservoir simulation has proven an useful tool for predicting reserves and production along the years. A large quantity of studies have demonstrated the capacity of oil reservoir simulation for predicting the production of multiple reservoirs around the world. The simulation of such a problem consists of solving a coupled set of mass balance equations across a domain (reservoir, geometry - geological model). Therefore, the creation of oil reservoir simulators is in the scientific software research area (Rewrite).

Oil reservoir simulation consists of solving a set of coupled mass or moles balance equations, these equations are non-linear and need adequate treatment in order to have a linear system that converges.

Since the natural production is no longer maintainable, techniques of enhanced oil recovery (EOR) have been developed in order to maintain or even improve the recovery factor. These techniques involve the injection of chemicals that affect the rock and fluids properties making feasible to change the oil mobility and residual saturations... The EOR processes add new equations to the system that make the problem even bigger. Many authors have addressed this problem by making general flow simulation frameworks. Those frameworks implement the general workflow of solving the coupled set of equations generated by the phenomena in the reservoir.

Some efforts have been done in the scientific software representation. Noreña et al. extend the preconceptual schema syntax defined by Zapata, 2007. for taking into account the elements needed in the scientific software context. Chaverra, 2011 includes cycles and conditional selection in the preconceptual schema. Calle, 2017 defines design patterns in the context of scientific software using preconceptual schemas also extending its syntax.

The existing frameworks vary in implementation, even though they apply the same techniques. This is due to the fact that design decisions are delegated to the programmer, which is an expert of flow in porous media simulation. Little effort has been done in representing the domain of reservoir simulation as is, including both dynamics and structure in the same representation. The existing studies in oil reservoir simulation domain representation lack of grouping the structural design with the dynamical behaviour. Others implement directly a solution of the set of differential equations for the specific study case. The problem knowledge is not shareable. The representations existing only account for the structural or, exclusively the dynamical behavior of the tool they developed. The use of the concepts lacks generality. Even though the formal definition of the differential equations, they lack information of constitutive equations.

In this thesis we propose an event based representation of the enhanced oil recovery simulation using preconceptual schemas. In order to do that, For this purpose. we describe the black oil simulation domain in the preconceptual schema syntax, later we define a generic component with both variable kinetical behavior and the capacity to change the flow properties in each phase. The developed model couples the models used for an enhanced oil recovery process in a preconceptual schema that represents adequately the oil reservoir simulation domain, the representation is validated with the SPE Comparative solution project having accordance with the reported results.

## **2. Capítulo 1**

Los capítulos son las principales divisiones del documento. En estos, se desarrolla el tema del documento. Cada capítulo debe corresponder a uno de los temas o aspectos tratados en el documento y por tanto debe llevar un título que indique el contenido del capítulo.

Los títulos de los capítulos deben ser concertados entre el alumno y el director de la tesis o trabajo de investigación, teniendo en cuenta los lineamientos que cada unidad académica brinda. Así por ejemplo, en algunas facultades se especifica que cada capítulo debe corresponder a un artículo científico, de tal manera que se pueda publicar posteriormente en una revista.

### **2.1. Subtítulos nivel 2**

Toda división o capítulo, a su vez, puede subdividirse en otros niveles y sólo se enumera hasta el tercer nivel. Los títulos de segundo nivel se escriben con minúscula al margen izquierdo y sin punto final, están separados del texto o contenido por un interlineado posterior de 10 puntos y anterior de 20 puntos (tal y como se presenta en la plantilla).

#### **2.1.1. Subtítulos nivel 3**

De la cuarta subdivisión en adelante, cada nueva división o ítem puede ser señalada con viñetas, conservando el mismo estilo de ésta, a lo largo de todo el documento.

Las subdivisiones, las viñetas y sus textos acompañantes deben presentarse sin sangría y justificados.

- En caso que sea necesario utilizar viñetas, use este formato (viñetas cuadradas).



## **3. Theoretical Framework**

### **3.1. Black Oil Model**

#### **3.1.1. PDE**

#### **3.1.2. Well Modeling**

#### **3.1.3. Chemical Modeling**

#### **3.1.4. Discretization**

Algebraic Equations

#### **3.1.5. Newton-Raphson Method**

### **3.2. Preconceptual Schemas**

#### **3.2.1. Event Based Representation**

## 4. Solution Proposal

In this section we propose one element as an extension for Preconceptual Schemas(PS) which aid the understanding of diverse elements in the oil reservoir simulation domain. In addition, we present further description of the concepts stated in the theoretical framework, with their respective representation in the elaborated PS.

This section is structured as follows: in section 4.1 we present the added elements to PS and their usage in our represented domain. In section 4.3 we propose the representation of structural and dynamical behavior of each developed concept in the theoretical framework using PS.

### 4.1. Added elements to Preconceptual Schemas

#### 4.1.1. Analyst defined subroutines

Analyst defined subroutines are analyst defined functions as proposed by (ref Calle) without the return argument. They use global elements and parameters of the subroutine definition. They are defined for re-using dynamical behavior elements which appear more than once in the PS. Names of both subroutines and functions must differ from operators predefined in the PS. Graphic symbol used for subroutines is the same as used for operators and functions. In figure # we present graphical representation of analyst defined subroutines.

## **4.2. Conceptualization**

### **4.2.1. Mesh**

### **4.2.2. Rock**

### **4.2.3. Phase**

### **4.2.4. Inter-phase interaction**

### **4.2.5. Component**

### **4.2.6. Equilibrium Relation**

### **4.2.7. Well**

## **4.3. PS Representation of Enhanced Oil Recovery Simulation**

In this section we propose a PS representation for enhanced oil recovery simulation, we couple a black oil model discretized using finite volumes method with the theoretical framework developed the previous chapter. We mapped each term in the resultant equations to their respective concepts and how they are linked together. The complete representation is shown in 4-1.

The rest of this section is as follows: In section 4.3.1 we present the Mesh concept as a collection of cells with additional elements needed for calculating the attributes of each cell. Furthermore, we develop the dynamical relationship “Geomodeler defines Mesh” as an interaction of the role “Geomodeler” with atomic<sup>1</sup> dynamical relationships. In section 4.3.2 we present the Rock concept with its attributes and initial characterization. In section 4.3.3 ... In section 4.3.4 ... In section 4.3.5 we define the partition coefficients as relations between two phases, one contributing mass and another receiving mass in the mass balance equation. In section 4.3.6

### **4.3.1. Mesh**

We propose a representation of a mesh as a collection of cells which are represented likewise. collection of faces plus their respective attributes. This representation accounts for orthogonal cartesian meshes. Those are generated using the number of cells in each axis or direction, the thickness and top for each cell. Nevertheless, the thickness is only needed for the number

---

<sup>1</sup>atomic as is stated by [Antal, 1982] (Aca debe ir Zapata)

of cells defined in every axis, because we work with regular meshes. Therefore the rest of the cells will have the same thickness.

The top of the mesh is required for the first XY plane, and needs to be filled with the depths of each cell in that plane, the rest of the cells are calculated using the depth of the first plane.

The representation stated for Mesh only accounts for orthogonal cartesian meshes, which can be generated with information about number of cells in each axis, their thickness and tops. A (The information above is inserted by a) Geomodeler with defines the mesh by inserting for each axis the number of cells and the thickness for cells in that direction. Once **4-2**.

#### **4.3.2. Rock**

4-3.

#### **4.3.3. Phase**

4-4.

#### **4.3.4. Inter-phase interaction**

#### **4.3.5. Equilibrium Relation**

#### **4.3.6. Well**

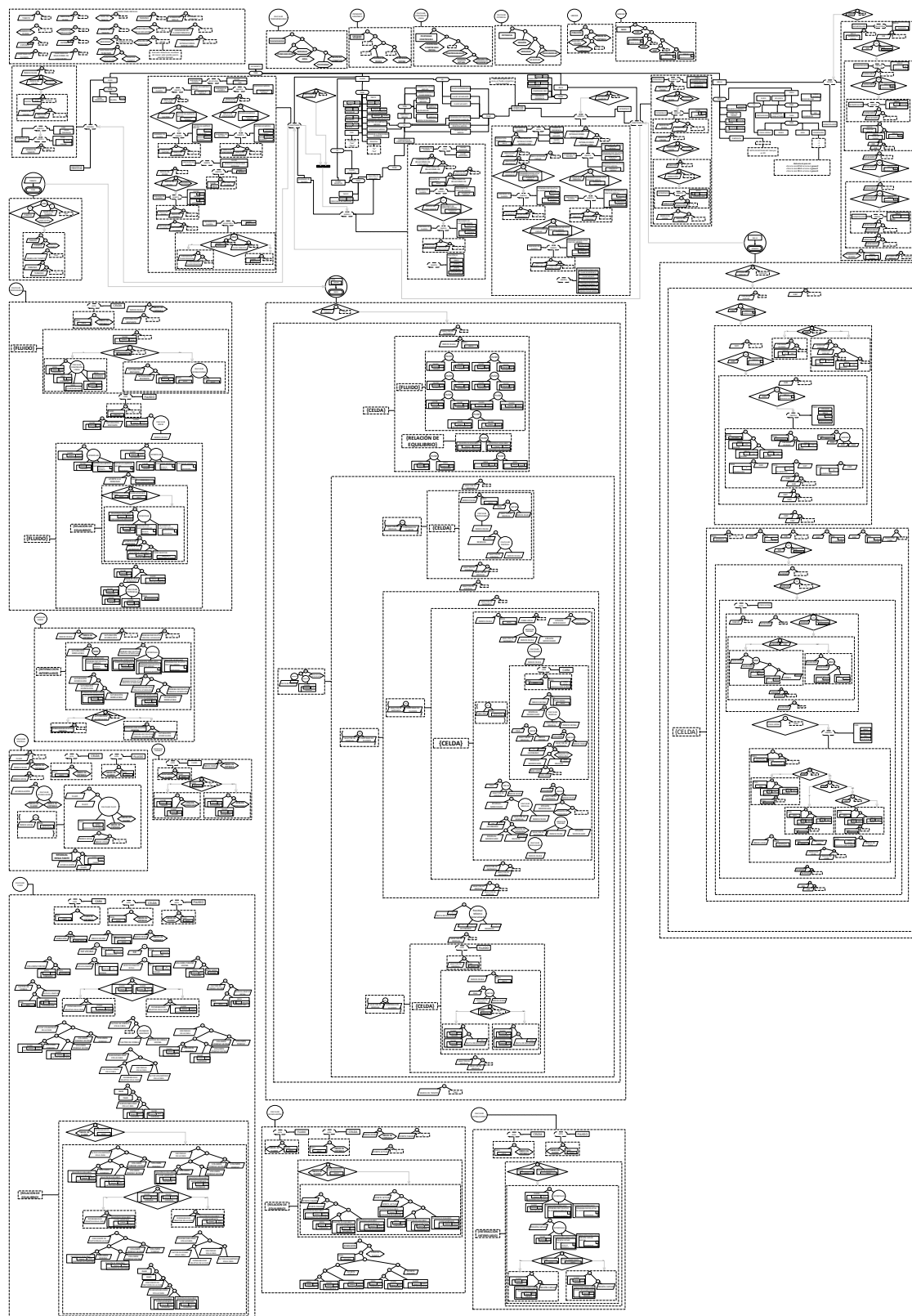
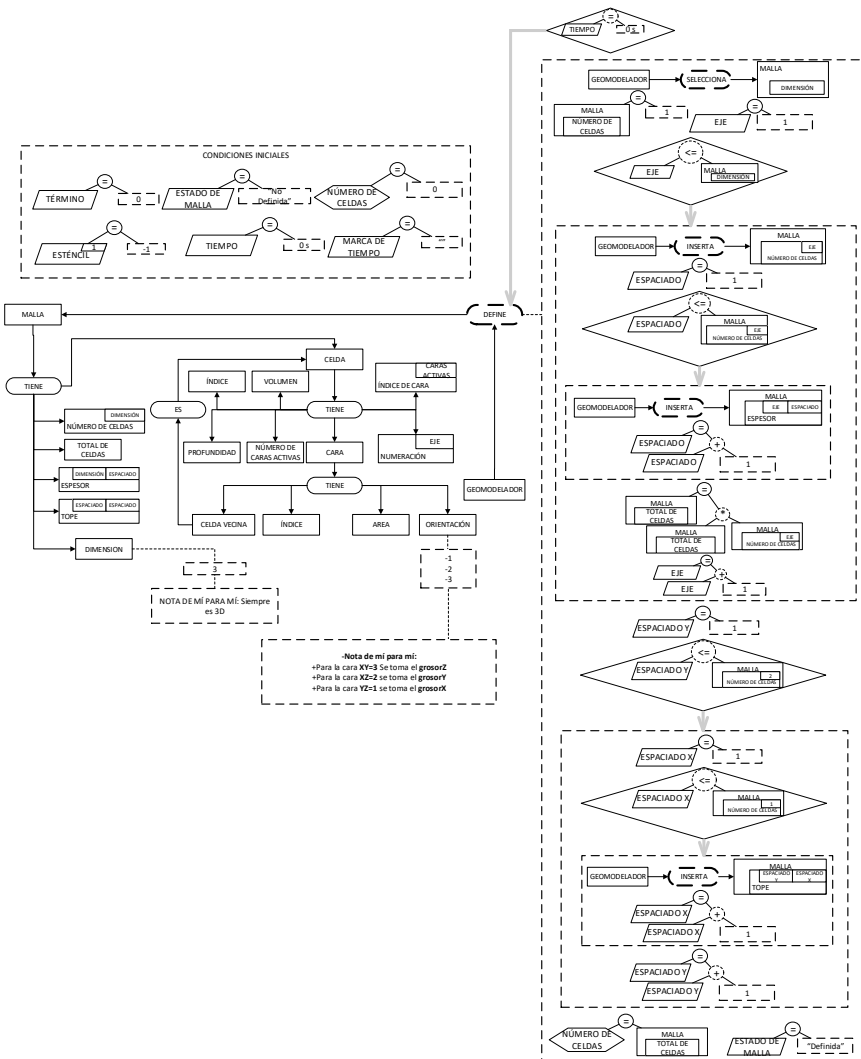


Figura 4-1.: Complete PS Representation for EOR Processes



**Figura 4-2.:** Mesh definition.

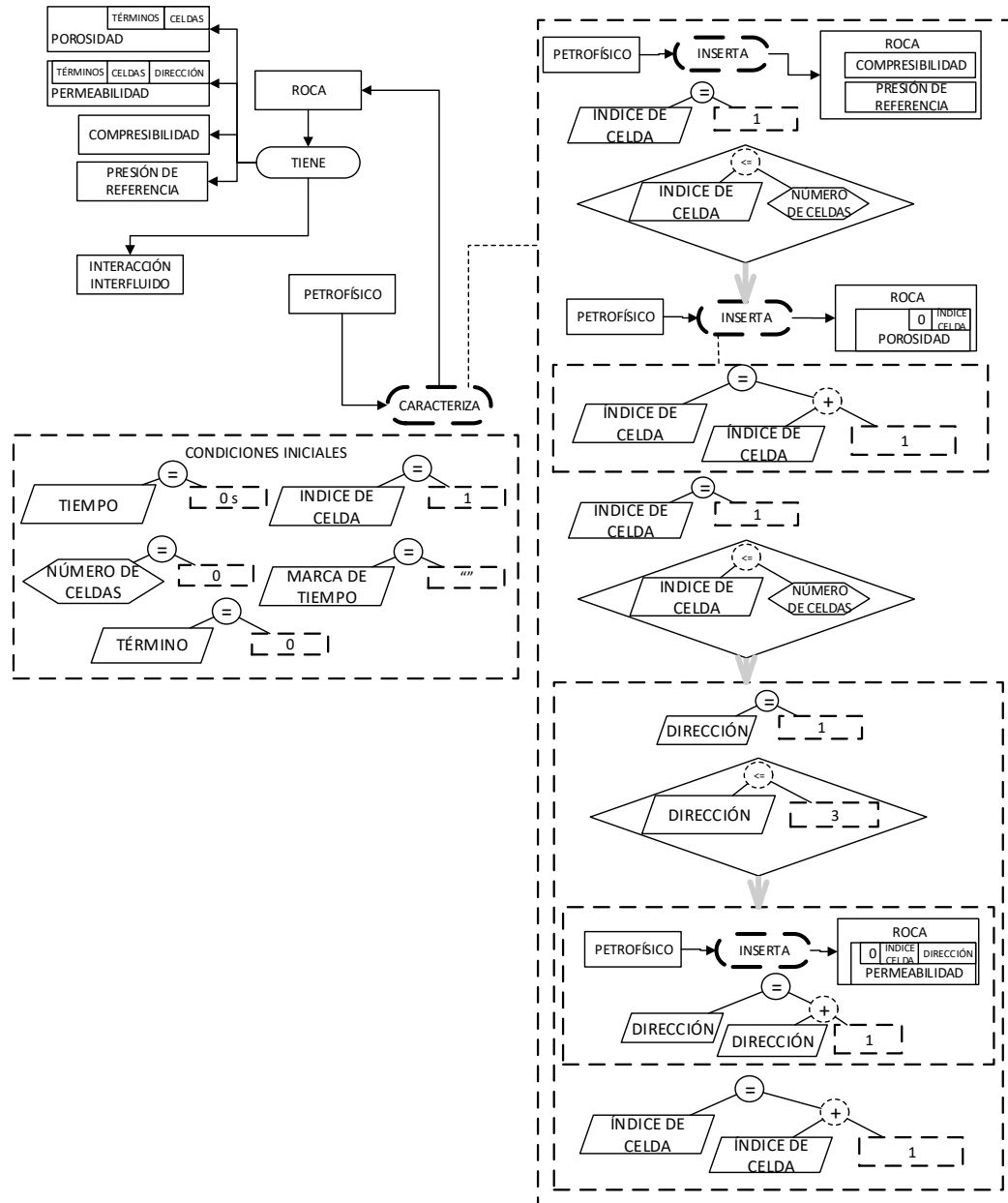


Figura 4-3.: Fluid Characterization.

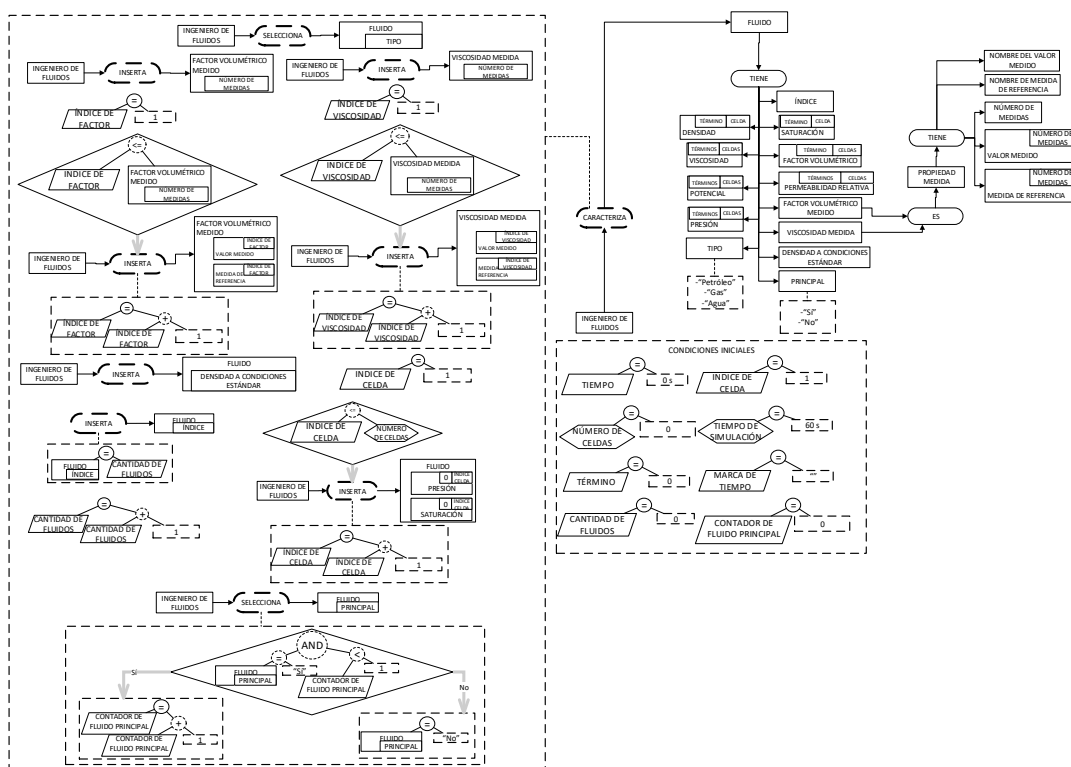


Figura 4-4.: Fluid Characterization.



## 5. Validation

Se deben incluir tantos capítulos como se requieran; sin embargo, se recomienda que la tesis o trabajo de investigación tenga un mínimo 3 capítulos y máximo de 6 capítulos (incluyendo las conclusiones).

## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1. Conclusiones**

Las conclusiones constituyen un capítulo independiente y presentan, en forma lógica, los resultados de la tesis o trabajo de investigación. Las conclusiones deben ser la respuesta a los objetivos o propósitos planteados. Se deben titular con la palabra conclusiones en el mismo formato de los títulos de los capítulos anteriores (Títulos primer nivel), precedida por el numeral correspondiente (según la presente plantilla).

### **6.2. Recomendaciones**

Se presentan como una serie de aspectos que se podrían realizar en un futuro para emprender investigaciones similares o fortalecer la investigación realizada. Deben contemplar las perspectivas de la investigación, las cuales son sugerencias, proyecciones o alternativas que se presentan para modificar, cambiar o incidir sobre una situación específica o una problemática encontrada. Pueden presentarse como un texto con características argumentativas, resultado de una reflexión acerca de la tesis o trabajo de investigación.

## **A. Anexo: Nombrar el anexo A de acuerdo con su contenido**

Los Anexos son documentos o elementos que complementan el cuerpo de la tesis o trabajo de investigación y que se relacionan, directa o indirectamente, con la investigación, tales como acetatos, cd, normas, etc.

## **B. Anexo: Nombrar el anexo B de acuerdo con su contenido**

A final del documento es opcional incluir índices o glosarios. Éstos son listas detalladas y especializadas de los términos, nombres, autores, temas, etc., que aparecen en el mismo. Sirven para facilitar su localización en el texto. Los índices pueden ser alfabéticos, cronológicos, numéricos, analíticos, entre otros. Luego de cada palabra, término, etc., se pone coma y el número de la página donde aparece esta información.

## C. Anexo: Nombrar el anexo C de acuerdo con su contenido

MANEJO DE LA BIBLIOGRAFÍA: la bibliografía es la relación de las fuentes documentales consultadas por el investigador para sustentar sus trabajos. Su inclusión es obligatoria en todo trabajo de investigación. Cada referencia bibliográfica se inicia contra el margen izquierdo.

La NTC 5613 establece los requisitos para la presentación de referencias bibliográficas citas y notas de pie de página. Sin embargo, se tiene la libertad de usar cualquier norma bibliográfica de acuerdo con lo acostumbrado por cada disciplina del conocimiento. En esta medida es necesario que la norma seleccionada se aplique con rigurosidad.

Es necesario tener en cuenta que la norma ISO 690:1987 (en España, UNE 50-104-94) es el marco internacional que da las pautas mínimas para las citas bibliográficas de documentos impresos y publicados. A continuación se lista algunas instituciones que brindan parámetros para el manejo de las referencias bibliográficas:

Institución	Disciplina de aplicación
Modern Language Association (MLA)	Literatura, artes y humanidades
American Psychological Association (APA)	Ambito de la salud (psicología, medicina) y en general en todas las ciencias sociales
Universidad de Chicago/Turabian	Periodismo, historia y humanidades.
AMA (Asociación Médica de los Estados Unidos)	Ambito de la salud (psicología, medicina)
Vancouver	Todas las disciplinas
Council of Science Editors (CSE)	En la actualidad abarca diversas ciencias
National Library of Medicine (NLM) (Biblioteca Nacional de Medicina)	En el ámbito médico y, por extensión, en ciencias.
Harvard System of Referencing Guide	Todas las disciplinas
JabRef y KBibTeX	Todas las disciplinas

Para incluir las referencias dentro del texto y realizar lista de la bibliografía en la respectiva sección, puede utilizar las herramientas que Latex suministra o, revisar el instructivo desa-

rrollado por el Sistema de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia<sup>1</sup>, disponible en la sección "Servicios", opción "Trámites enlace .<sup>Entrega de tesis</sup>".

---

<sup>1</sup>Ver: [www.sinab.unal.edu.co](http://www.sinab.unal.edu.co)

# Bibliografía

- [Antal, 1982] Antal, M. (1982). Biomass pyrolysis: A review of the literature part 1 - carbohydrate pyrolysis. In *Advances in Solar Energy Vol. 1 American Solar Energy Society*, pages 61–111.
- [Franke, 1994] Franke, G. (1994). *Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen*. UTB, Stuttgart.
- [Gómez, 2002] Gómez, A. (2002). Investigación del proceso de gasificación de biomasa en un gasificador en paralelo. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- [Gregg and Sing, 1982] Gregg, S. and Sing, K. (1982). *Adsorption, Surface Area and Porosity*. Academic Press, London.
- [Hartley, 1977] Hartley, C. (1977). *The Oil Palm*. Longman, London.
- [International Energy Agency, 2001] International Energy Agency, I. (2001). Needs for renewables 2001: Developing a new generation of sustainable energy technologies.
- [International Energy Agency, 2007] International Energy Agency, I. (2007). Renewables in global energy supply.
- [Marsh et al., 1997] Marsh, H., E.A., H., and Rodriguez-Reinoso, F., editors (1997). *Introduction to Carbon Technologies*. Universidad de Alicante, Alicante.
- [Rincón, 1999] Rincón, S. (1999). Herstellung von aktivkohle aus biogenen reststoffen zum einsatz in der rauchgasreinigung. Technical report, Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel.
- [Thurner and Mann, 1981] Thurner, F. and Mann, U. (1981). Kinetic investigation of wood pyrolysis. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 20:482–488.
- [Wiest, 1998] Wiest, W. (1998). *Zur Pyrolyse von Biomasse im Drehrohrreaktor*. Tesis de doctorado, Universität Gesamthochschule Kassel, Kassel.