



**TRABAJO FINAL  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA DE SISTEMAS EXPERTOS**

**SISTEMA EXPERTO  
PARA LA DETERMINACIÓN DE  
LA CONDICIÓN DE PERMEABILIDAD  
DE UNA CAPA PETROLÍFERA**

Autor: Ing. Walter Otto Krause

Directora: M.Ing. Bibiana Rossi

Octubre 2004

# SISTEMA EXPERTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE PERMEABILIDAD DE UNA CAPA PETROLÍFERA

## Índice

<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>1 Estudio de Viabilidad</b>	<b>4</b>
<b>2 Adquisición de Conocimientos</b>	<b>10</b>
2.1 Introducción	10
2.2 Primera entrevista.	10
2.3 Segunda entrevista.	16
2.4 Análisis de Protocolos	25
2.4.1 Paso 1. Grabación del Protocolo	25
2.4.2 Paso 2. Transcripción del Protocolo	25
2.4.3 Paso 3. Codificación del Protocolo	28
2.4.4 Paso 4. Conclusiones	34
<b>3 Conceptualización</b>	<b>35</b>
3.1 - Paso 1 – Identificación, comparación y categorización de conceptos.	36
3.1.1 Glosario de Términos	36
3.1.2 Diccionario de Conceptos	36
3.1.3 Tabla Concepto-Atributo-Valor	38
3.2 - Paso 2 – Identificación de la relación entre conceptos.	41
3.3 - Paso 3 – Identificación de los conocimientos estratégicos	42
3.3.1 Diagrama jerárquico de los pasos estratégicos seguidos por el experto.	42
3.3.2 Comprobación de los conocimientos Estratégicos	44
3.4 - Paso 4 – Identificación de los conocimientos Tácticos	45
3.4.1 Análisis de los conocimientos Tácticos	45
3.4.2 Comprobación de los conocimientos tácticos	46
3.5 - Paso 5 – Análisis de los conocimientos Fácticos	47
3.6 - Síntesis de conocimientos	56
3.6.1 Modelo Dinámico	56
3.6.2 – Modelo Estático	63
3.6.3 – Mapa de Conocimientos	64
<b>4 Formalización</b>	<b>65</b>
4.1 Reglas de producción	65
4.2 Marcos para la tabla Concepto-atributo-valor.	67
4.3 Procedimientos para los procesos a realizar	73
4.3.1 Establecer CP de la Zona	73
4.4 Aclaraciones Sobre la Formalización	74
<b>5 Implementación</b>	<b>75</b>
<b>6 Conclusiones</b>	<b>87</b>
<b>7 Bibliografía</b>	<b>88</b>

## Introducción

En la industria petrolera, resulta una práctica habitual el registro de ciertas variables, tarea que se hace una vez perforado el pozo y antes de entubarlo. Esta operación de registro se denomina perfilaje y se realiza bajando una sonda conteniendo distintos sensores que nos darán información sustancial que permitirá la adecuada explotación del pozo, dichos registros son graficados y analizados por los expertos (en general geólogos) que realizarán sucesivamente las tareas de identificación de capas o zonas a analizar, asignación de un valor nominal a la forma de las distintas curvas en cada zona y por ultimo la determinación de la condición de permeabilidad de la zona, lo cual permitirá a los expertos recomendar entre que profundidades punzar el entubado para que el pozo produzca de dicha capa.

En el capítulo 2 se hace el estudio de viabilidad del proyecto en dónde se determinará independientemente la plausibilidad, la justificación, la aplicación y el éxito del mismo para finalmente obtener un resultado unificado que nos habilitará a continuar con el desarrollo.

En el capítulo 3 se vuelca el proceso de adquisición de conocimientos, en el cual se encontrará la información necesaria para el desarrollo, en sucesivas entrevistas que van de lo general a lo particular.

En el capítulo 4 se realiza la conceptualización pasando por el análisis que determinarán lo conocimientos estratégicos, tácticos, fácticos y metaconocimientos, para luego sintetizarlos en el modelo estático, el modelo dinámico y el mapa de conocimientos.

En el capítulo 5 se formalizan los conocimientos conceptualizados en marcos y reglas de producción.

En el capítulo 6 se implementa el sistema en dos formas, una interactiva y otra a través de un archivo de intercambio a fin de ser utilizado por otro sistema. La implementación se realizó haciendo uso de la herramienta KAPPA-PC.

En el capítulo 7 se vuelcan las conclusiones y consideraciones generales del proceso de desarrollo.

Cabe aclarar que en este proyecto las revisiones de la conceptualización y la formalización no se manifestaron como nuevas versiones, sino, como aclaraciones iniciales de las etapas siguientes.

## 1 Estudio de Viabilidad

Se ha analizado el Estudio de Viabilidad para el desarrollo de un sistema experto que permite la identificación de zonas permeables, dada la forma de ciertas curvas registradas a lo largo de un pozo petrolero inmediatamente después de haberse perforado.

										Puntos Angulares			
	Denominación de la característica	Categoría	Dim.	Peso	Tipo	Naturaleza	Umbral	Valor	Verif.	p1	p2	p3	p4
Plausibilidad	Existen expertos, están disponibles y son cooperativos	Experto	P 1	10	Esencial	Booleana	Sí (sí)	Sí	Cumple	10	10	10	10
	El experto es capaz de estructurar sus métodos y procedimientos de trabajo	Experto	P 2	7	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	La tarea está bien estructurada y se entiende.	Tarea	P 3	8	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8
	Existen suficientes casos de prueba y sus soluciones asociadas.	Tarea	P 4	10	Esencial	Númerica	Sí (8)	10	Cumple	10	10	10	10
	La tarea sólo depende de los conocimientos y no del sentido común	Tarea	P 5	9	Deseable	Númerica	No	8		8	8	8	8
								M.Arm.		7,20	7,75	8,32	8,73

														Ap. Nu m.
Justificación	Resuelve una tarea útil y necesaria	Tarea	J 1	8	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8	57,6
	Se espera una alta tasa de recuperación de la inversión	Directivos / usuarios	J 2	7	Deseable	Númerica	No	7		7	7	7	7	49
	Hay escasez de experiencia humana	Experto	J 3	6	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6	30
	Hay necesidad de tomar decisiones en situaciones críticas o ambientes hostiles, penosos, y, o, poco gratificantes	Tarea	J 4	10	Deseable	Difusa	No	Poco		1,2	2,2	3,4	4,4	28
	Hay necesidad de distribuir los conocimientos	Tarea	J 5	10	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8	72
	Los conocimientos pueden perderse de no realizarse el sistema	Experto	J 6	10	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6	50
	No existen soluciones alternativas	Tarea	J 7	8	Esencial	Booleana	Sí (sí)	Sí	Cumple	10	10	10	10	80
								Máx.		10,00	10,00	10,00	10,00	

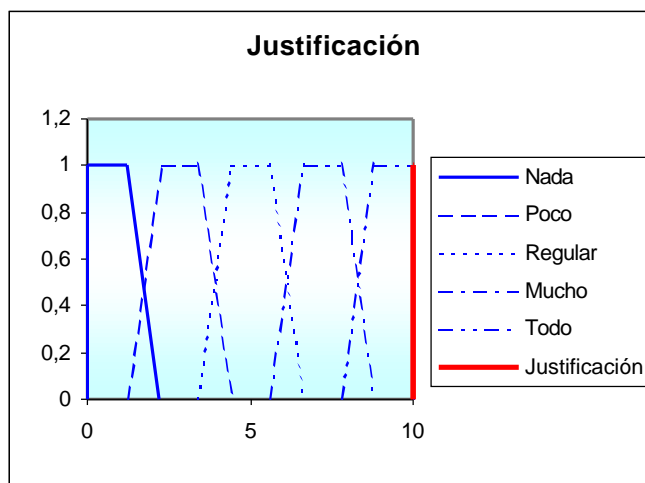
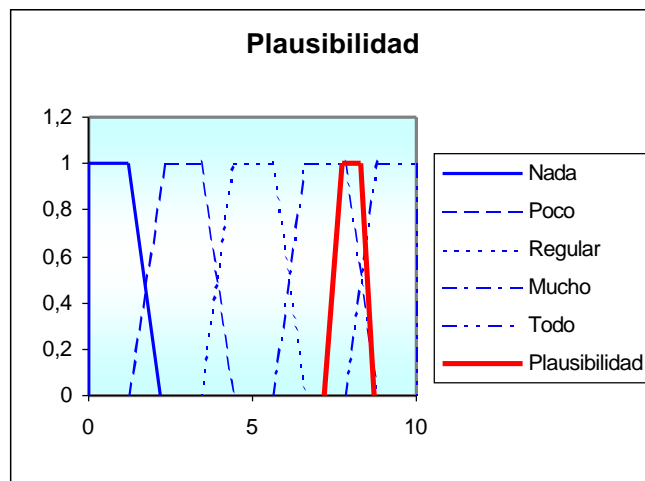
Éxito	La transferencia de experiencia entre humanos es factible.	Tarea	A 1	7	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8
	La tarea requiere “experiencia”	Tarea	A 2	10	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8
	Los efectos de la introducción del SE no pueden preverse	Tarea	A 3	-2	Deseable	Difusa	No	Poco		5,6	6,6	7,8	8,8
	La tarea requiere razonamiento simbólico	Tarea	A 4	5	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	La tarea requiere el uso de” heurísticas” para acotar el espacio de búsqueda	Tarea	A 5	7	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	La tarea es de carácter público y más táctica que estratégica	Tarea	A 6	8	Deseable	Booleana	No	Sí		10	10	10	10
	Se espera que la tarea continúe sin cambios significativos durante un largo período de tiempo	Tarea	A 7	8	<b>Esencial</b>	Difusa	Sí(mucho)	Mucho	<b>Cumple</b>	5,6	6,6	7,8	8,8
	Se necesitan varios niveles de abstracción en la resolución de la tarea	Tarea	A 8	8	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	El problema es relativamente simple o puede descomponerse en subproblemas	Tarea	A 9	6	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	El experto no sigue un proceso determinista en la resolución del problema	Experto	A 10	3	Deseable	Booleana	No	Sí		10	10	10	10
	La tarea acepta la técnica del prototipado gradual	Tarea	A 11	8	Deseable	Booleana	No	Sí		10	10	10	10
	El experto resuelve el problema a veces con información incompleta o incierta.	Experto	A 12	3	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	Es conveniente justificar las soluciones adoptadas	Tarea	A 13	3	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	La tarea requiere investigación básica	Tarea	A 14	-10	<b>Esencial</b>	Booleana	Sí (No)	No	<b>Cumple</b>	10	10	10	10
	El sistema funcionará en “tiempo real” con otros programas o dispositivos	Tarea	A 15	-6	Deseable	Difusa	No	Nada		7,8	8,8	10	10
								<b>M.Arm.</b>		<b>5,80</b>	<b>6,66</b>	<b>7,64</b>	<b>8,37</b>

Ad ec	Existe una ubicación idónea para el SE	Directivos / usuarios	E 1	7	Deseable	Difusa	No	Todo		7,8	8,8	10	10
	Problemas similares se han resuelto mediante INCO	Tarea	E 2	8	Deseable	Booleana	No	Sí		10	10	10	10
	El problema es similar a otros en los que resultó imposible aplicar esta tecnología	Tarea	E 3	-5	Deseable	Booleana	No	No		10	10	10	10
	La continuidad del proyecto está influenciada por vaivenes políticos	Directivos / usuarios	E 4	-9	<b>Esencial</b>	Difusa	Sí (poco)	Poco	<b>Cumple</b>	5,6	6,6	7,8	8,8
	La inserción del sistema se efectúa sin traumas, es decir, apenas se interfiere en la rutina cotidiana	Directivos / usuarios	E 5	8	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	Se dispone de experiencia en INCO	Tarea	E 6	7	Deseable	Difusa	No	Nada		0	0	1,2	2,2
	Se dispone de los recursos humanos, hardware y software necesarios para el desarrollo e implementación del sistema	Tarea	E 7	4	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	El experto resuelve el problema en la actualidad	Experto	E 8	4	Deseable	Difusa	No	Todo		7,8	8,8	10	10
	La solución del problema es prioritaria para la institución	Directivos / usuarios	E 9	8	<b>Esencial</b>	Difusa	Sí(mucho)	Mucho	<b>Cumple</b>	5,6	6,6	7,8	8,8
	Las soluciones son explicables o interactivas	Tarea	E 10	5	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8
	Los objetivos del sistema son claros y evaluables	Tarea	E 11	6	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8
	Los conocimientos están repartidos entre un conjunto de individuos	Experto	E 12	-7	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	Los directivos, usuarios, expertos e IC están de acuerdo en las funcionalidades del SE	Directivos / usuarios	E 13	4	<b>Esencial</b>	Difusa	Sí(mucho)	Mucho	<b>Cumple</b>	5,6	6,6	7,8	8,8
	La actitud de los expertos ante el desarrollo del sistema es positiva y no se sienten amenazados por el proyecto	Experto	E 14	8	Deseable	Difusa	No	Mucho		5,6	6,6	7,8	8,8
	Los expertos convergen en sus soluciones y métodos	Experto	E 15	5	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
	Se acepta la planificación del proyecto propuesta por el IC	Directivos / usuarios	E 16	8	<b>Esencial</b>	Booleana	Sí (sí)	Sí	<b>Cumple</b>	10	10	10	10

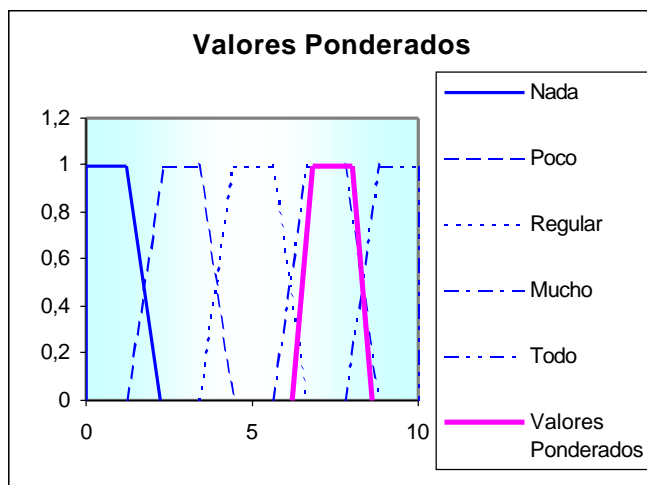
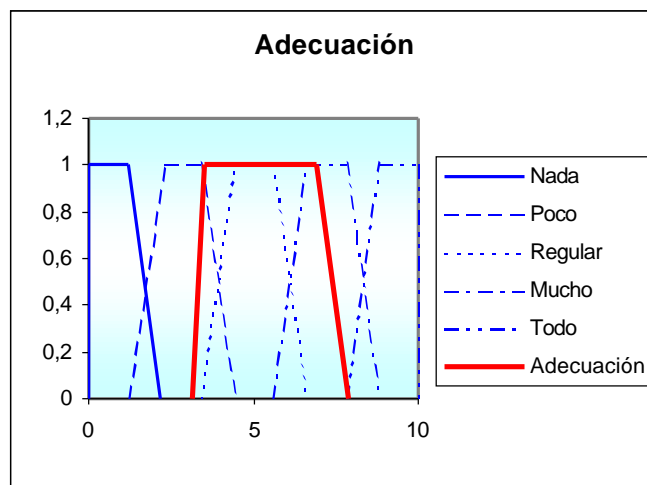
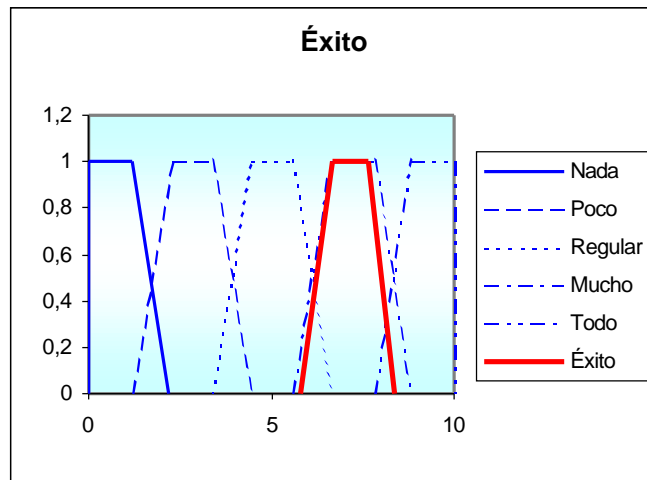
Existen limitaciones estrictas de tiempo en la realización del sistema	Tarea	E 17	-6	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
La dirección y usuarios apoyan los objetivos y directrices del proyecto	Directivos / usuarios	E 18	7	<b>Esencial</b>	Difusa	Sí(mucho)	Mucho	<b>Cumple</b>	5,6	6,6	7,8	8,8
El nivel de formación requerido por los usuarios del sistema es elevado	Directivos / usuarios	E 19	-2	Deseable	Difusa	No	Regular		3,4	4,4	5,6	6,6
Las relaciones IC- Experto son fluidas	Experto	E 20	4	Deseable	Difusa	No	Todo		7,8	8,8	10	10
El proyecto forma parte de un camino crítico con otros sistemas	Tarea	E 21	-6	Deseable	Booleana	No	No		10	10	10	10
Se efectuará una adecuada transferencia tecnológica	Directivos / usuarios	E 22	8	<b>Esencial</b>	Difusa	Sí(mucho)	Mucho	<b>Cumple</b>	5,6	6,6	7,8	8,8
Lo que cuenta en la solución es la calidad de la respuesta.	Tarea	E 23	5	Deseable	Booleana	No	Sí		10	10	10	10
							<b>M.Arm.</b>		<b>3,12</b>	<b>3,49</b>	<b>6,88</b>	<b>7,90</b>
		<b>Puntos Angulares</b>										
<b>Dimension</b>	<b>Peso</b>		<b>p1</b>	<b>p2</b>	<b>p3</b>	<b>p4</b>						
Plausibilidad	8		7,20	7,75	8,32	8,73						
Justificación	3		10,00	10,00	10,00	10,00						
Éxito	8		5,80	6,66	7,64	8,37						
Adecuación	5		3,12	3,49	6,88	7,90	<b>Promedio</b>					
Valores Ponderados			<b>6,23</b>	<b>6,78</b>	<b>8,00</b>	<b>8,60</b>	<b>7,40</b>	<b>Aprobado</b>				

A continuación se pueden ver la tabla resumen y los gráficos obtenidos para las variables difusas de cada grupo de características evaluadas:

y	Nada	Poco	Regular	Mucho	Todo	Plausi- bilidad	Justifi- cación	Éxito	Adecuación	Valores Ponderados
0	0	1,2	3,4	5,6	7,8	7,20	10,00	5,80	3,12	<b>6,23</b>
1	0	2,3	4,4	6,6	8,8	7,75	10,00	6,66	3,49	<b>6,78</b>
1	1,2	3,4	5,6	7,8	10	8,32	10,00	7,64	6,88	<b>8,00</b>
0	2,2	4,4	6,6	8,8	10	8,73	10,00	8,37	7,90	<b>8,60</b>







## 2 Adquisición de Conocimientos

### 2.1 Introducción

La empresa tiene desarrollado un sistema que permite a sus usuarios realizar cálculos petrofísicos (módulo de Young, módulo de Poisson y otras propiedades) a partir de los registros de variables realizadas por empresas de perfilaje una vez perforado el pozo petrolero.

Se busca desarrollar un SE para que identifique una serie de profundidades que identifican los topes y las bases de las distintas capas, que serán tomadas como “sugeridas” por el sistema actual.

### 2.2 Primera entrevista.

#### a) Preparación de la sesión.

- Información a tratar

Conocimientos de la industria petrolera necesarios para entender la operación y condiciones en que se realiza la operación de registro.

- Amplitud, profundidad

Se buscará conocer el ambiente en dónde se realizan las actividades de registro de datos para conocer las condiciones de operación y ver qué influencia pueden al momento de la interpretación.

- Técnica adecuada.

Se ha optado por una “Entrevista abierta” dado que es la más adecuada para este momento en que se quiere describir el entorno de trabajo. El IC tomará nota de las respuestas en forma manuscrita.

- Preparación de preguntas.

Introducción al experto: Se le explicará que el objetivo de la sesión es el de conocer el “medio ambiente” que rodea a la operación para que el IC se pueda ir familiarizando con la nomenclatura y se adentre en la operación de registro para conocer su influencia en el posterior trabajo de interpretación.

Preguntas:

¿Cuándo se realizan los registros de interés?

¿Puede describir el estado de un pozo petrolero al momento del registro?

¿Cómo se realizan los registros?

¿Qué objetivo tiene la realización de estos registros?

¿Qué información se podrá obtener a partir de los mismos?

¿Qué bibliografía recomienda leer para preparar la entrevista siguiente que será más específica sobre el análisis de los registros?

b) Sesión.

- Repaso del análisis

Se obvia el repaso dado que no hubo sesión anterior por ser la primera.

- Explicación al experto de los objetivos.

Se le explica el objetivo de la sesión: conocer el “medio ambiente” que rodea a la operación para que el IC se pueda ir familiarizando con la nomenclatura y se adentre en la operación de registro para conocer su influencia en el posterior trabajo de interpretación.

También se le aclara que al ser una entrevista abierta, podrá extenderse en las respuestas más allá de lo preguntado.

- Educción.

La sesión se inicia a horario en la oficina del IC. La misma se prolonga por espacio de 45 minutos.

- Resumen y comentarios del experto.

El experto es una persona muy cordial, que aceptó colaborar en esta tarea con una favorable actitud.

En su calidad de docente, ha sido muy metódico y didáctico en las respuestas.

c) Transcripción.

Aquellas preguntas que surgieron espontáneamente a partir de respuestas dadas por el experto, se las transcribe en **color azul**.

IC: ¿Cuándo se realizan los registros de interés?

E: El perfilaje eléctrico se realiza luego de perforado el pozo y antes de hacerse el entubado. Todavía está presente el equipo de perforación (Rig) sobre el pozo. Es necesario hacer el perfilaje antes del entubado ya que la mayoría de las técnicas utilizadas en el pozo abierto, no resultarían útiles si tuvieran que atravesar las paredes del Casing (tubería que recubre las paredes del pozo).

IC: ¿Puede describir el estado de un pozo petrolero al momento del registro?

E: Primero podemos mencionar sus dimensiones. En general tendrán un diámetro de 5 pulgadas de promedio y que puede ir de 4½ a 15 pulgadas. La profundidad promedio será de 2000 metros, pero que puede estar entre los 700 y los 7000 metros. Otra variable que se tiene en cuenta puede ser la temperatura en el fondo del pozo que será de unos 70 grados centígrados, pero que puede ir de los 50 a los 170. También interesa conocer sobre el lodo de perforación. La salinidad del lodo de perforación que llena el pozo es de 10.000 partes por millón (ppm) pero que puede variar entre 3.000 y 200.000 ppm. La densidad del lodo promedia las 11 libras por galón pero que puede ir de las 9 a las 16. Otro dato a tener en cuenta es la presión en el fondo del pozo que en promedio será de 3.000 psi pero que puede ir de las 500 a las 15.000 psi. Por último, cabe mencionar que existe rodeando las paredes del pozo una capa de lodo consistido que en promedio tiene 0.5 pulgadas pero que puede ir de 0.1 a 1 pulgadas.

IC: ¿Qué es exactamente el lodo de Perforación?

E: Es un gel (una mezcla en general arcillosa por ejemplo de bentonita) y de base acuosa (aunque no es la única base posible) que hace de refrigerante al trépano de perforación y que circula por la tubería que baja con el trépano hacia abajo, para subir a la superficie por la sección anular. En el camino ascendente arrastra los desechos de la perforación hacia la superficie, permitiendo que los geólogos analicen estas pequeñas piezas. Por otra parte, se va adhiriendo a las paredes del pozo, formando lo que nombramos capa de lodo consistido que ayuda a que el pozo no se "desmorone". Ya vamos a ver en los perfiles como se manifiesta esta capa.

IC: ¿Cómo se realizan los registros?

E: Se acerca el camión al pozo y se baja la herramienta de registro (cilindro que contiene sensores y dispositivos dispuestos apropiadamente en todo el largo como se muestra en la figura. Luego, se sube la herramienta a velocidad constante, entre 1800 y 5400 pies por minuto. Cada registro representa los valores de cada sensor a una profundidad dada.

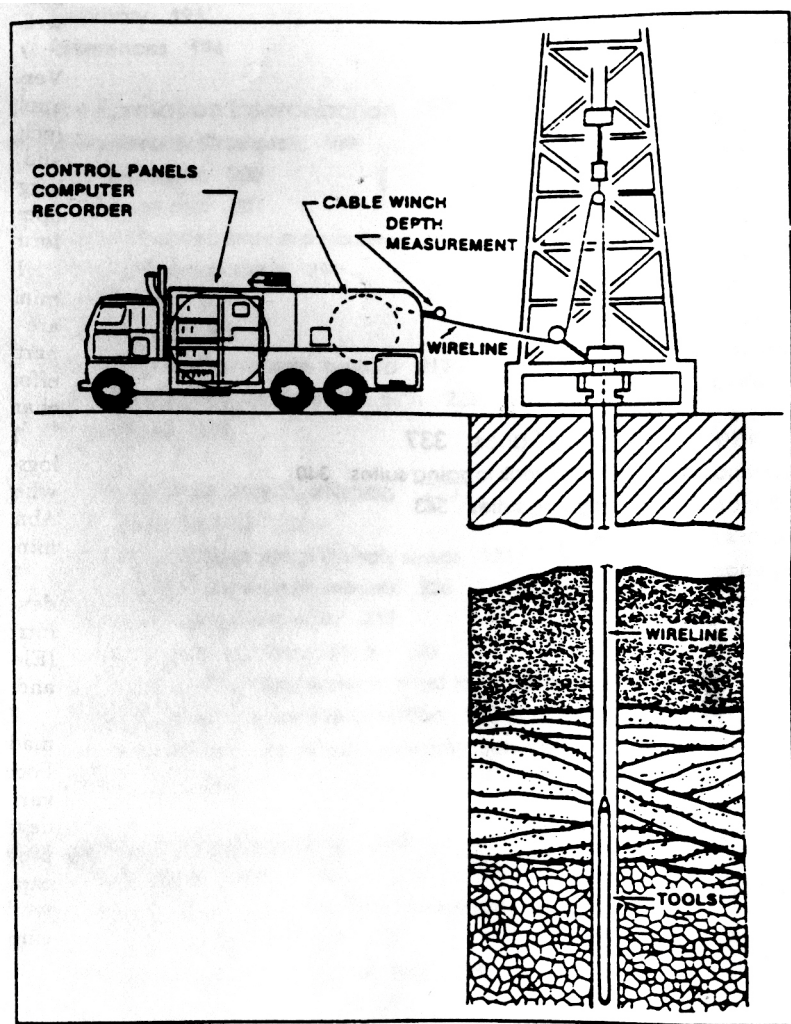
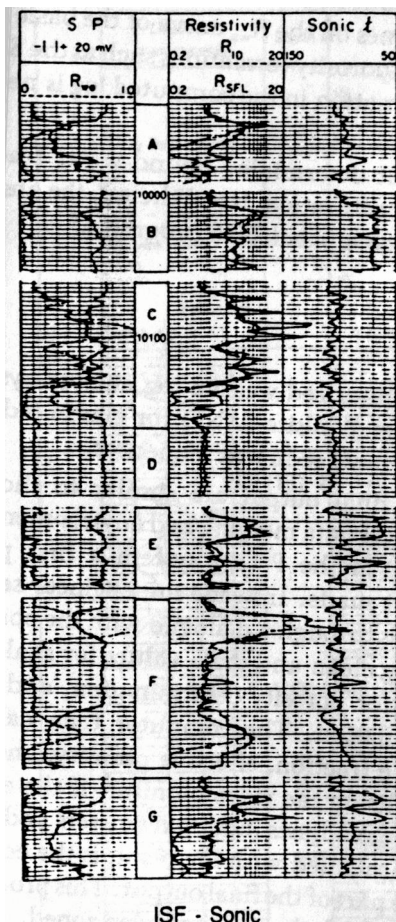


Fig. 1-1 Wellsite setup for logging (courtesy Gearhart)

IC: ¿Qué objetivo tiene la realización de estos registros?

E: A partir del análisis e interpretación de los mismos, se podrá obtener información que servirá para realizar una explotación adecuada del pozo. Vendría a ser como una foto que se le saca al pozo que nos permitirá saber el estado en el momento inicial. Una cosa que vale la pena aclarar es que en general a los primeros pozos que se perforan en un área dada, se le realizan la mayor cantidad posible de registros. Sin embargo, al resto se le realizan los registros básicos que dan información incompleta y para ello, se utilizan programas de software que permiten correlacionar registros existentes en dos pozos cercanos para poder inferir los otros registros con los que no se cuenta en el otro pozo. En particular, para poder identificar las zonas permeables, nos van a interesar el potencial espontáneo (SP) o el Gamma Ray (GR) y los de resistividad (ILD, ILM, ILS o LLD, LLM, LLS). Asimismo, deberemos usar perfiles sónicos y/o nucleares para tener porosidad. Además suele ser de utilidad el análisis del

Caliper del pozo el cual permite reconocer los sectores con revoque por lo que suele ser buen indicador de sectores con alta permeabilidad. Con estos perfiles, será suficiente para nuestra tarea. Cada uno está basado en fenómenos que nos permiten obtener información de las formaciones que se encuentran a profundidad. Veamos cómo se ubican en el gráfico : El Caliper, SP y GR se representan en el track 1, los de Resistividad en el track 2 y los de porosidad (en este caso, sónico) en el track 3.



IC: ¿Que información se podrá obtener a partir de los mismos?

E: La cantidad de trabajos que se pueden realizar a partir de los logs, nos llevaría un buen rato, sin embargo, para esta tarea que vamos a hacer, por un lado se pueden identificar las capas productivas, pero además, podremos obtener información útil que nos servirá para realizar una apropiada explotación del pozo y del yacimiento, ya que pocas veces tiene sentido analizar un pozo aislado del resto.

IC: ¿De todo lo que conversamos, qué es lo que más hay que tener en cuenta al momento de analizar los registros?

E: El primer método que se aplica para el análisis de los perfiles es el esencialmente visual, por lo tanto, lo comentado, sólo servirá para explicar algunos comportamientos, pero la forma de los logs es la que nos dará mayor información.

IC: ¿Qué bibliografía recomienda leer para preparar la entrevista siguiente que será más específica sobre el análisis de los registros?

E: Acá te presto estas fotocopias que te van a servir (del libro MODERN OPEN-HOLE LOG INTERPRETATION). Después voy a ver si encuentro algunos apuntes de Schlumberger y te los paso. También ahora hay mucha información por internet, y por supuesto, están los papers del SPWLA.

#### d) Análisis de sesión

- Lectura para obtención de una visión general.

Se obtuvo información en general de la operación de registro de perfiles en los pozos que además sirvió para establecer un primer vínculo con el experto.

Se establece un marco en el cual se realizan las operaciones de registro de perfiles de pozos.

No se hizo mención al trabajo en sí del experto.

- Extracción de conocimientos concretos.

#### Generalidades:

Los registros son nombrados como registros, perfiles o logs indistintamente.

Los perfiles de interés, se realizan luego de perforado el pozo y antes de realizarse el entubado.

Los registros no resultarían útiles si tuvieran que atravesar las paredes del Casing (tubería de acero).

A partir del análisis e interpretación de los mismos, se podrá obtener información que servirá para realizar una explotación adecuada del pozo.

Permitirá conocer el estado del pozo en el momento inicial.

A los primeros pozos que se perforan en un área dada, se le realizan la mayor cantidad posible de registros.

Al resto se le realizan los registros básicos.

Los registros básicos no alcanzan para conocer totalmente el pozo.

Existe software que permite correlacionar registros existentes en dos pozos cercanos para poder inferir los otros registros con los que no se cuenta en el otro pozo.

Los pozos no se analizan en forma aislada, sino que se hace teniendo en cuenta a los pozos vecinos.

#### Propiedades de interés de los pozos:

Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo	Unidades
Diámetro	4½	5	15	Pulgadas
Profundidad	2000	700	7000	Metros
Temperatura en Fondo	70	50	170	°C

Salinidad del Lodo	10.000	3.000	200.000	ppm
Densidad del Lodo	11	9	16	Libras/Galón
Presión en fondo	3000	500	15.000	psi
Espesor de Capa de Lodo Consistido	0,5	0,1	1	Pulgadas

#### Lodo de Perforación:

Es un gel (mezcla arcillosa), en general de base acuosa.

Refrigera el trépano.

Desciende por el centro y sube por los laterales.

Arrastra los desechos de la perforación hacia arriba.

Los desechos se analizan al llegar a la superficie.

Se adhiere a las paredes del pozo formando la capa de lodo consistido.

Esta capa evita que el pozo se desmorone.

En los perfiles se manifiesta esta capa.

#### Operación de Registro:

Se acerca el camión al pozo y se baja la herramienta de registro.

Esta herramienta es un cilindro que contiene sensores y dispositivos.

Cuando baja la herramienta, no se registra.

La herramienta sube a velocidad constante.

La velocidad va de los 1800 a los 5400 pies por minuto.

Se registra el valor de cada sensor a una profundidad dada.

Registros que se pueden disponer:

Caliper en track 1

Potencial espontáneo (SP) en track 1

Gamma Ray (GR) en track 1

De resistividad (ILD, ILM, ILS o LLD, LLM, LLS) en track 2

De porosidad (Sónicos, Nucleares) en track 3

Existen casos donde contar con estos registros no sea suficiente.

Cada uno está basado en fenómenos físicos.

Nos permiten obtener información de las formaciones que se encuentran a profundidad.

Los Perfiles permiten identificar las capas productivas

El método que se aplica para el análisis de los perfiles es el esencialmente visual.

La forma de los logs es la que nos dará mayor información.

#### Bibliografía recomendada:

MODERN OPEN-HOLE LOG INTERPRETATION

Apuntes de Schlumberger.

Papers del SPWLA.

- e) Lectura para recuperar detalles olvidados.

Se le solicita al experto que revise este documento y realiza pequeños cambios en valores típicos.

- Crítica para mejoras por parte del IC

Dada la diversidad del tema, deberá tratar de encausarse la entrevista dentro de los límites de los objetivos.

f) Evaluación

- ¿Se han conseguido los objetivos?

Sí, hemos logrado entender el ambiente que rodea una operación de registro de perfiles que nos servirán de base al adentrarnos en el problema en sí que se nos plantea.

- ¿Es necesario volver sobre el mismo?

No.

- Número y tipo de sesiones necesarias para cubrir el área.

Una sesión más, y un análisis de protocolos, en principio serían suficientes.

### 2.3 Segunda entrevista.

a) Preparación de la sesión.

- Información a tratar

Analizaremos los distintos perfiles y hablaremos de los formatos de los archivos de registro.

- Amplitud, profundidad

Se buscará conocer qué información necesita conocer el experto y qué elementos debe contar al momento de realizar la tarea.

- Técnica adecuada.

Se ha optado por una “Entrevista abierta” dada la amplitud del tema y que está previsto que las sesiones se profundice aunque no necesariamente utilizando la técnica de entrevistas. El IC tomará nota de las respuestas en forma manuscrita.

- Preparación de preguntas.

Introducción al experto: Se le explicará que el objetivo de la sesión es el de conocer qué se representa en cada una de las zonas donde se grafican los registros y las características de los mismos. Paralelamente, nos iremos introduciendo en la tarea de determinar las zonas permeables.

Preguntas:

Hablamos anteriormente de los tracks 1, 2 y 3. ¿Cuáles son las características de las variables registradas en el track 1?

¿Y en el track 2?

¿Y por último, en el track 3?

¿Cuál es el formato del archivo con el que contamos?



¿Qué necesitaremos para trabajar en la próxima sesión?

b) Sesión.

- Repaso del análisis

Se le dio a leer al experto la transcripción completa de la entrevista anterior y su correspondiente análisis un rato antes de empezar esta sesión.

- Explicación al experto de los objetivos.

En la entrevista anterior, vimos que podemos disponer de una cantidad de perfiles variada y no homogénea, según el caso. Vamos ahora a profundizar el análisis de las mismas y el formato del archivo disponible. Para la próxima entrevista utilizaremos otra técnica llamada análisis de protocolos que utilizaremos para estudiar la tarea en sí, por ello, ahora deberemos abocarnos a saber con qué vamos a contar para poder hacerlo, teniendo como objetivo secundario la obtención de una introducción a la tarea.

- Educación.

La sesión se inicia a horario en la oficina del IC. La misma se prolonga por espacio de 1 hora 40 minutos.

- Resumen y comentarios del experto.

El experto mantiene su actitud positiva hacia la tarea.

c) Transcripción.

Aquellas preguntas que surgieron espontáneamente a partir de respuestas dadas por el experto, se las transcribe en [color azul](#).

IC: Hablamos anteriormente de los tracks 1, 2 y 3. ¿Cuáles son las características de las variables registradas en el track 1?

E: En el track 1, conocido como "Permeable zone log", se verán al menos uno de los siguientes perfiles: Caliper, Potencial Espontáneo "SP" (de Spontaneous Potential) y/o Rayos Gamma "GR" (de Gamma Ray).

Ambas curvas se parecen en la forma y permiten distinguir lutitas de "no lutitas" aunque los mecanismos para obtenerlos son completamente diferentes. Mientras que el Caliper es una medida física del diámetro del pozo, el SP es una medida eléctrica y el GR es una medida nuclear.

[IC: En nuestro caso, para ir aclarando dudas, ¿debemos usar SP, GR o ambos?](#)

E: En la mayoría de los casos, será indistinto. En general el SP tiene forma más "prolija" en las zonas permeables (el GR suele aparecer con valores más inestables). Sin embargo, en determinadas situaciones conviene usar uno y no el otro.

[IC: ¿En qué casos?](#)

E: (Toma el libro) En rocas blandas, el SP da una información más clara que el GR. En formaciones de calizas duras, el SP no manifiesta claramente las zonas permeables de las impermeables, sin embargo el GR permite distinguir claramente las zonas permeables. La desventaja del GR es que no se puede registrar a velocidades elevadas y su resolución es baja (3 pies aproximadamente).

IC: ¿Algo más para contarnos respecto del track 1?

E: En la próxima sesión dónde veremos que a valores altos valores negativos de potencial espontáneo e indicación de buen reboque se corresponderán las zonas permeables. Con ello, las zonas permeables deben quedar delimitadas por dos zonas de baja permeabilidad y que el punto que se toma como el delimitador de zonas es el punto de inflexión de la curva.

IC: ¿Pasamos entonces al track 2?

E: Bueno, en este track se representan los perfiles de resistividad. Se hace en forma logarítmica para manifestar mejor las diferencias en valores bajos y considerar que un valor es alto cuando se distancia en al menos un grado de magnitud. Que se manifieste en el registro una alta resistividad, puede significar 2 cosas, que existe petróleo o que la arena tiene un alto componente arcilloso. Vamos a hacer una cosa, acá en el libro hay un cuadro donde están todos los tipos de perfiles de resistividad que pueden aparecer, catalogados por el tipo de herramienta utilizada.

	Flushed Zone 1-6 in.	Shallow 0.5-1.5 ft	Medium 1.5-3 ft	Deep 3 + ft	Years	Designations	Comments
		16" Normal	64" Normal	18" Lateral	up to 1955	ES, EL	obsolete
Fresh mud $R_{mf} > 2R_w$ or $R_t > 200$	Microlog (ML) Minilog Contact	16" Normal		Induction (6FF40)	1955-80	IES, IEL	obsolete
		Spherically Focused			1970-85	ISF	phasing out
	Proximity (PL)	LL8/short Guard			1965-	DIL-LL8, DIFL, DISG	current
		Spherically Focused	Medium Induction (IL <sub>m</sub> )	Deep Induction (IL <sub>d</sub> )	1975-	DIL-SFL or DISF	current
Salt mud $R_{mf} < 2R_w$ or $R_t > 200$	Microlaterolog (MLL) (FoRxo)		Laterolog-7 Laterolog-3/Guard		1955-80	LL-7 LL-3, guard	obsolete
	MLL or FoRxo					DLL-MLL (or FoRxo)	current
	Micro Spherically Focused	Shallow Laterolog (LL <sub>s</sub> )		Deep Laterolog (LL <sub>d</sub> )	1972-	DLL-MSFL	current

Note: Numbers are 50% radius of investigation measured from borehole wall

En general podremos contar con los tres casos más representativos de lo que sucede en la formación rocosa en zonas aledañas a la herramienta. Uno para las zonas horizontalmente más alejadas (los que terminen con la letra "d" de deep - profundo), otro para las zonas más cercanas (terminan con "s" de shallow - superficial) y otro para las zonas intermedias (terminan con la letra "m" de "medium" - medio). También es común que aparezca uno en la zona invadida por el lodo de perforación denominado ML (Micro Log), PL (Proximity Log) o MLL (Micro Laterolog).

Es posible tener un perfil de resistividad (como si fuera un promedio) de la roca calculado a partir de los citados, sin embargo, el método que vamos a utilizar para determinar las zonas permeables que contienen petróleo necesita que exista más de uno de estos perfiles, aunque muchas veces para cálculos cuantitativos deberá contarse con la resistividad de la roca ya calculada.

IC: Pero no es nuestro caso. ¿Podemos ver someramente en qué consiste este método?

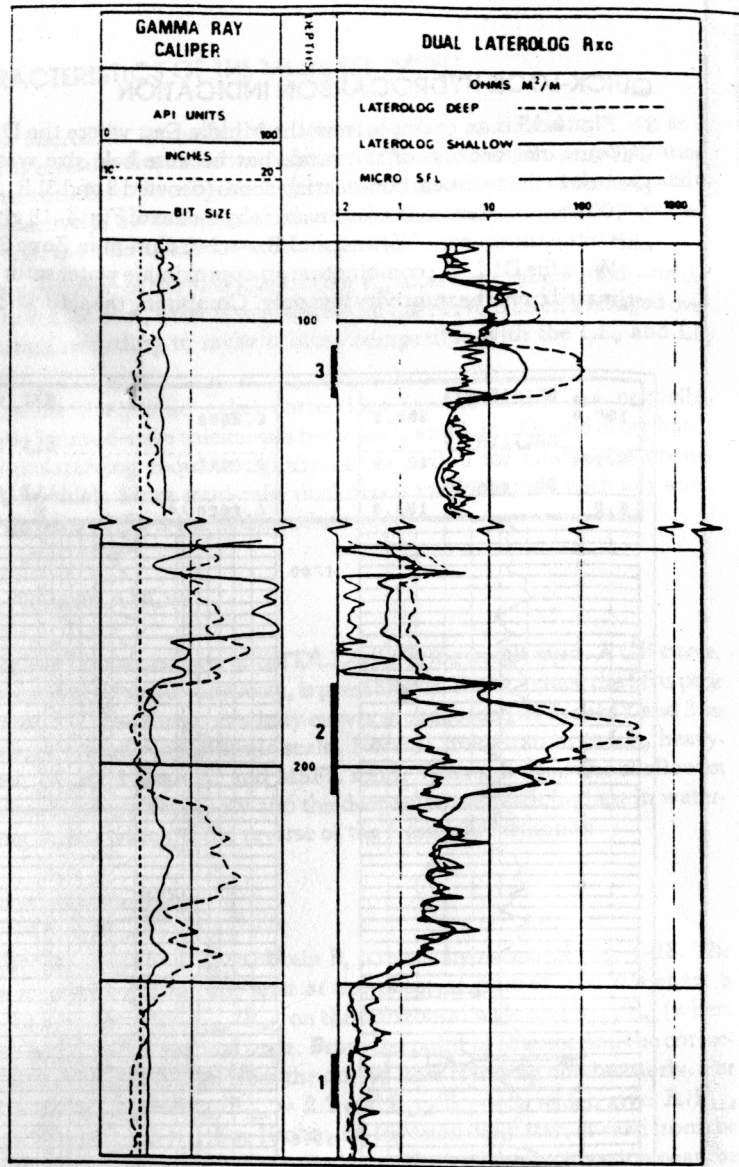


Fig 4-19 Dual Laterolog— $R_{xo}$  log in large hole, high resistivity condition (courtesy Schlumberger)

E: Veamos esta figura.

E: En este ejemplo, en el track 2 se ven los tres perfiles:

- LLD (Laterolog Deep en línea rayada).
- LLS (Laterolog Shallow en línea punteada).
- MSFL (Micro Spherically Focused Log en línea llena).

Podemos observar que las curvas se aproximan y se separan. Donde las tres curvas tienen alta resistividad pero se distancian, podemos considerar que en esa zona puede haber agua.

En cambio si las tres curvas se mantienen juntas con altos valores de resistividad puede indicar la presencia de hidrocarburos.

Se tendrá que tener en cuenta que las zonas se delimitan en el track 1, ya que como dijimos, la resistividad diferencia las zonas que contienen petróleo, pero no agua. En el caso de agua veremos que las curvas tienden a juntarse también sobre los valores menores. En la figura, vemos en la zona indicada como 2 (alrededor de una profundidad indicada con 200) dónde claramente aparece una zona donde se juntan las tres curvas en una zona de alta resistividad correspondiente a la parte superior de la capa y una zona inferior donde LLD y LLS se juntan en un sector de baja resistividad. Ahí es donde seguramente habrá agua de formación. Es importante para otros cálculos conocer el punto en la curva dónde se separa el petróleo del agua (contacto agua-petróleo) que por ejemplo nos permitirá conocer las reservas. El petróleo compartirá el volumen de alta porosidad con el agua de formación. La resistividad del petróleo es mucho mayor que la del agua y siempre está en la parte superior..

IC: Pero, ¿Qué sucede en los casos en que no contamos con varios registros?

E: Bueno, es cierto que no siempre contamos con tres registros de resistividad. Entonces, nos tendremos que arreglar con lo que tengamos. Siempre será mejor al menos un registro que ninguno. Siempre el petróleo será de alta resistividad, y eso será suficiente para saber que si existe una zona de alta resistividad, es probable que haya petróleo.

IC: Pero, por lo que entiendo, no es determinante.

E: No, también pueden haber petróleo sin aparecer altas resistividades en zonas de areniscas con gran contenido de componentes arcillosos. Igualmente, si estamos en una zona de bajo potencial determinado en el track 1, aunque la resistividad no sea alta en la única curva que disponemos del track 2, podremos ver en el track 3 la permeabilidad y ahí constatar si la porosidad también es alta. Si así lo fuera, estaríamos en presencia de petróleo en una arenisca con alto componente arcilloso.

IC: ¿Pasamos ahora al track 3?

E: Por lo que vimos recién, solamente vamos a necesitar este track cuando necesitemos comprobar si una baja resistividad se debe al contenido arcilloso. En el resto de los casos, una alta porosidad (una de las variables representadas en el track 3), serviría para comprobar que la determinación de la zona fue adecuada, dado que el petróleo se deposita en zonas donde la porosidad es alta (areniscas) formando capas que son delimitadas por otras zonas de muy baja porosidad (calizas) que hacen que el líquido permanezca encerrado.

Muy frecuentemente que los pozos no tienen esta información. En general se mide porosidad en un pozo o dos por zona geográfica y de ahí se extrapola hacia los otros pozos correlacionando los registros que sí existen en todos los pozos. Por ejemplo, si a un pozo se le realiza solamente SP, LLD y LLS, se pueden correlacionar (matemáticamente hablando) estas curvas con las mismas (o equivalentes) en el pozo que sí tiene valores de porosidad y densidad, y así obtener valores de densidad y porosidad para el pozo que no los tiene. Sin embargo, si los valores de densidad y porosidad son obtenidos por correlación, tendremos que ser cuidadosos en su uso.

Bueno, ahora veamos qué representamos. Tenemos 2 variables típicas que se representarán en este track y que son densidad y porosidad. Ambas se obtendrán a partir de cálculos a partir de los



tipos básicos de perfiles: Sónicos y Neutrónicos. Como lo que nos interesa es la densidad y porosidad de la formación (a mayor densidad, menor porosidad), en cada caso, se aplican correcciones por lo que generalmente tendremos representadas una densidad compensada o una porosidad compensada (compensada o corregida), dado que la medición se realiza con agua, petróleo y gas (o alguna combinación de ellos según fuera el caso).

Existen muchos cálculos que se pueden hacer con estos perfiles, pero para nuestro método, nos alcanzará con saber que con la densidad o con la porosidad, podremos confirmar o no lo postulado cuando utilizamos los perfiles del track 1 y 2. Si ese fuera el objetivo, tendríamos que realizar un estudio mucho más profundo.

IC: Veamos ahora el formato del Archivo

Este es un ejemplo muy simple que nos permite ver la información básica (y bastante típica) de un archivo de perfiles. Vale la pena recalcar que los registros y variables calculadas se representan en una unidad dada. Es de utilidad poder convertir las unidades.

```

~Version Information
VERS.          2.00:  CWLS log ASCII Standard -VERSION 2.00
WRAP.          NO:   One line per frame
~Well Information Block
#MNEM.UNIT      Data              Description
#-----
STRT.M
STOP.M
STEP.M
NULL.          -9999.9999:  Absent Value
COMP.          COMPANY:  PETROLEOS GALACTICOS
WELL.          WELL:    PG-19
FLD .          FIELD:   CUADRANTE GAMMA
LOC .          LOCATION:
PROV.          PROVINCE: ALPHA
SRVC.          SERVICE COMPANY: WOK
LIC .          :        License Number
DATE.          LOG DATE:
UWI .          :        Unique Well ID
~Curve Information Block
#MNEM.UNIT      API Codes      Curve Description
#-----
DEPTH.M        : 1
SP.MV          : 2
ILD.OHMM       : 3
ILM.OHMM       : 4
~Parameter Information Block
#MNEM.UNIT      Value          Description
#-----
LCC .LCC       150            :  Logging Company Code
# Curve Data
~A  DEPTH      SP          ILD          ILM
    36  -23.5967-9999.9999-9999.9999
    36.1 -28.3646-9999.9999-9999.9999

```

Los párrafos que empiezan con # son comentarios

Los párrafos que empiezan con ~ son títulos e indican qué información se obtendrá en los sucesivos párrafos hasta encontrar otro ~.

Lo que nos va a interesar básicamente son las variables que aparecen en el encabezado ~Curve Information Block (o cualquiera que empiece con ~C) que nos dará las variables en el orden en que se obtendrán de la tabla de datos y sus unidades. Se presenta el nombre de variable y las unidades separadas por un punto (DEPTH.M significa profundidad en metros).

~Well Information Block nos dará información del pozo, pero además podremos saber qué valores no servirán en "NULL", en este caso, -9999.9999

Vamos a buscar uno más completo para analizar en la próxima sesión.

IC: ¿Qué necesitaremos para trabajar en la próxima sesión?

Voy a traer material para que podamos trabajar en un ejemplo concreto y así mostrar el método a utilizar.

IC: ¿Nos estamos olvidando de algo?

E: Seguramente, pero lo podremos ver más adelante.

d) Análisis de sesión

- Lectura para obtención de una visión general.

Comienzan a conocerse las herramientas con que se va a disponer para el trabajo, en este caso, a través de los distintos perfiles con que se puede contar, sus formas, algunos condicionantes y variada información correspondiente a lo que se conoce como ingeniería de reservorios.

- Extracción de conocimientos concretos.

Track 1 – Permeable zone logs

Posibles perfiles presentes:

Potencial Espontáneo (SP de Spontaneous Potential). Es una medición eléctrica.

Rayos Gamma (GR de Gamma Ray). Es una medición nuclear.

Caliper (diámetro del pozo). Es una medición física del diámetro del pozo.

GR y SP salvo excepciones pueden utilizarse indistintamente.

Ambos sirven para distinguir lutitas de "no lutitas".

SP tiene forma más "prolija".

Si la roca es blanda conviene usar el SP.

En calizas duras conviene usar el GR.

El GR tiene menor resolución que el SP.

El SP se puede registrar a velocidades más elevadas que el GR.

El método de detección de zonas permeables en este track es visual.

Las zonas permeables se delimitan por zonas no permeables.

Se usa el punto de inflexión de la curva como el delimitador entre zonas permeables e impermeables.

El caliper indica presencia de revoque o filtrado de lodo y se da delante de capas permeables.

Track 2 – Resistivity logs

Se representan los perfiles de resistividad.

Se hace en escala logarítmica.

Una alta resistividad significa que existe petróleo o que la arena tiene un alto componente arcilloso.

Los tipos posibles son los indicados en el cuadro siguiente: .

TABLE 4-1

CLASSIFICATION OF RESISTIVITY TOOLS

	Flushed Zone 1-6 in.	Shallow 0.5-1.5 ft	Medium 1.5-3 ft	Deep 3 + ft	Years	Designations	Comments
		16" Normal	64" Normal	18" Lateral	up to 1955	ES, EL	obsolete
Fresh mud  $R_{mf} > 2R_w$ or $R_t < 200$	Microlog (ML) Minilog (Contact)	16" Normal		Induction (6FF40)	1955-80	IES, IEL	obsolete
		Spherically Focused			1970-85	ISF	phasing out
	Proximity (PL)	LL8/short Guard			1965-	DIL-LL8, DIFL, DISG	current
		Spherically Focused	Medium Induction (IL <sub>m</sub> )	Deep Induction (IL <sub>d</sub> )	1975-	DIL-SFL or DISF	current
Salt mud  $R_{mf} < 2R_w$ or $R_t > 200$	Microlaterolog (MLL) (FoRxo)		Laterolog-7 Laterolog-3/Guard		1955-80	LL-7 LL-3, guard	obsolete
	MLL or FoRxo					DLL-MLL (or FoRxo)	current
	Micro Spherically Focused	Shallow Laterolog (LL <sub>s</sub> )		Deep Laterolog (LL <sub>d</sub> )	1972-	DLL-MSFL	current

Note: Numbers are 50% radius of investigation measured from borehole wall

El perfil que representa lo que pasa en zonas alejadas es alguno de los "deep".

El perfil que representa lo que pasa en las zonas medias es alguno de los "medium".

El perfil que representa lo que pasa en las zonas cercanas o superficiales es el "shallow".

El perfil que representa lo que pasa en la zona invadida por el lodo de perforación es el "Micro", "Proximity" o "Micro LateroLog".

El método necesita que se disponga de más de uno de estos perfiles.

Con todos estos perfiles se calcula uno que da la resistividad de la roca y se usa en otros cálculos.

Las curvas se aproximan y se separan.

Donde las tres curvas tienen alta resistividad pero se distancian, podemos considerar que en esa zona puede haber agua.

Si las tres curvas se mantienen juntas con altos valores de resistividad puede indicar la presencia de hidrocarburos.

Si ya tenemos identificadas en el track 1 las posibles zonas permeables, ahora podemos verificar en el track 2 si las curvas se juntan con alta resistividad en esas zonas.

Las zonas se delimitan en el track 1.

La resistividad diferencia las zonas que contienen petróleo, pero no agua.

En el caso de agua veremos que las curvas tienden a juntarse también sobre los valores menores. Conviene identificar el punto en la curva dónde se separa el petróleo del agua (contacto agua-petróleo).

El contacto agua-petróleo nos permitirá conocer las reservas.

El petróleo compartirá el volumen de alta porosidad con el agua de formación.

La resistividad del petróleo es mucho mayor que la del agua y siempre está en la parte superior.

Si sólo tenemos un registro:

Siempre el petróleo será de alta resistividad.

Si el potencial es bajo no se puede descartar que haya petróleo si la arenisca tiene gran contenido de componentes arcillosos.

Si el potencial es bajo, para no descartar la presencia de petróleo necesitamos conocer la porosidad o densidad de formación.

### Track 3 – Density - Porosity logs

Se necesitan para no descartar que exista petróleo en zonas de baja resistividad.

Sirven para comprobar que la zona permeable con contenido de petróleo tiene porosidad adecuada.

El petróleo se deposita en zonas donde la porosidad es alta (areniscas) formando capas que son delimitadas por otras zonas de muy baja porosidad (calizas)

El líquido permanezca encerrado dentro de las areniscas entre las calizas.

No siempre se cuenta con estos perfiles.

Se miden densidad y porosidad en un par de pozos por área.

Se extrapola hacia los otros pozos correlacionando los registros que existen en todos los pozos.

Si los valores de densidad y porosidad son obtenidos por correlación, tendremos que ser cuidadosos en su uso.

Tenemos 2 variables típicas que se representarán en este track: densidad y porosidad. Ambas se obtendrán a partir de cálculos a partir de los tipos básicos de perfiles: Sónicos y Neutrónicos.

Lo que nos interesa es la densidad y porosidad de la formación

A mayor densidad corresponde menor porosidad de la formación.

Se aplican correcciones para obtener densidad o porosidad compensada o corregida.

Se compensa o corrige para que el dato corresponda a la formación y no al conjunto formación-líquido-gas que contiene.

Formato del archivo:

Extensión del mismo: .las

Los párrafos que empiezan con # son comentarios

Los párrafos que empiezan con ~ son títulos e indican qué información se obtendrá en los sucesivos párrafos hasta encontrar otro ~.

Las variables que aparecen con el encabezado ~C nos da el orden en que se obtendrán de la tabla de datos y sus unidades.

Se presentan el nombre de variable y las unidades separadas por un punto.

Las variables que aparecen con el encabezado ~W nos dará información del pozo.

“NULL” indica cuál es el valor tomado cuando no existe registro de un dato.

e) Lectura para recuperar detalles olvidados.

- Crítica para mejoras por parte del IC

La profundidad con que fue tratado el tema referido al track 3, no ha sido más que superficial, quedando la duda si alcanzará para dar solución a todos los casos. Se consultará al experto para así ver si es necesaria una nueva entrevista antes de pasar al análisis de protocolos para ver al experto trabajando.

f) Evaluación

- ¿Se han conseguido los objetivos?

Salvo lo indicado en e), Sí. Ahora tenemos identificadas las variables que veremos representadas, la mayoría de sus características y el formato de los archivos.

- ¿Es necesario volver sobre el mismo?



Se verificará lo planteado en e) para luego saber si es necesario volver sobre el mismo.

- Número y tipo de sesiones necesarias para cubrir el área.

Según e), una sesión más de entrevistas o ninguna, y un análisis de protocolos.

## 2.4 Análisis de Protocolos

Continuando con el caso elegido para las entrevistas de la determinación de zonas permeables a partir de los registros obtenidos y cálculos realizados luego de la perforación en pozos petroleros, a continuación le pedimos a nuestro experto que realice las tareas pertinentes que nos permitirán hacer un análisis de protocolos a partir de su trabajo.

Los pasos que en que se realiza esta tarea son los siguientes:

Paso 1. Grabación del Protocolo

Paso 2. Transcripción del protocolo.

Paso 3. Codificación

Paso 3.1. Identificación de conceptos, características, valores y relaciones

Paso 3.2. Identificación de la búsqueda.

Paso 3.3. Identificación de los operadores.

Paso 3.4. Identificación de las inferencias.

Paso 3.5. Identificación de los sinónimos, etc.

Paso 4. Interpretación.

### 2.4.1 Paso 1. Grabación del Protocolo

El IC explica lo que espera del experto: Se le explica al experto la forma en que debe realizar su tarea habitual de análisis de las zonas permeables, manifestando verbalmente todo aquello que va realizando sin dejar de hablar en ningún momento. Se le pide que diga en voz alta lo que hace y no que explique lo que hace.

Puesta en situación: Previamente, se eligió un ejemplo de gráfico a analizar y se lo imprimió. El gráfico contiene las curva siguientes: Caliper, SP, Rt, Phi (porosidad de neutrón) y va desde los 9000 hasta los 9120 pies.

El experto nutrido de la hoja impresa con el gráfico, lápiz y goma de borrar, se dispone a realizar lo solicitado.

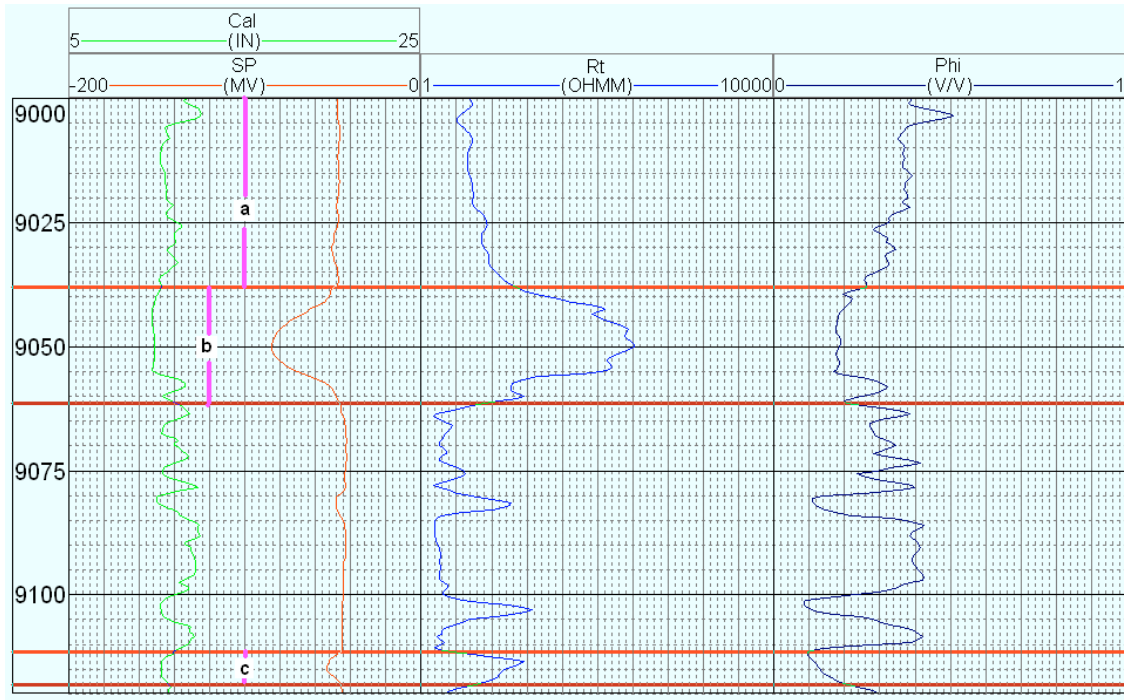
Registro del protocolo: Se le entrega al experto la hoja y se le dice cómo realizar la tarea. Se le pide que describa el gráfico previo a la demarcación y determinación de zonas permeables. Mientras se realiza la grabación, el IC se prepara para tomar nota de los detalles de interés, en particular de los silencios por más de tres segundos.

### 2.4.2 Paso 2. Transcripción del Protocolo

A continuación se transcribe la grabación del protocolo. En negrita y de color azul están las anotaciones y aclaraciones que realiza el IC. Cabe mencionar que las características nuestro experto (facilidad de palabra, en particular), permitió que no se registren silencios prolongados. Se segmentan las instrucciones en distintos párrafos.

Ø Acá tenemos un gráfico correspondiente a un pozo

- Ø donde están representados el potencial espontáneo (SP) y el Calibre (Cal – denominado Caliper en entrevistas previas) en la sección (track) de la izquierda, la resistividad total (Rt – representado en escala logarítmica) en el centro y la porosidad interpretada (Phi), que en este caso es del neutrón pero que podría ser del sónico.
- Ø La escala vertical está en pies pero también puede venir en metros
- Ø La zona de interés que vamos a analizar va desde los 9000 hasta los 9120 pies.



- Ø Ahora empiezo a mirar el perfil de arriba hacia abajo y determino las zonas que tienen mayor porosidad y permeabilidad.
- Ø Las que tienen menor porosidad y permeabilidad son las zonas donde las curvas se encuentran más cercanas al cero (en el caso del SP, el cero debe interpretarse como la línea base)
- Ø (El experto dibuja las líneas del tope y la base que delimitan la zona que denomina "a")
- Ø Vemos que en la zona "a", la curva de potencial espontáneo (SP) está cercana a la línea base y la resistividad total (Rt) está cercana al cero, por lo que podemos decir que esta zona no es permeable.
- Ø En las zonas permeables se observa que la curva de potencial espontáneo (SP) va a deflectar hacia los valores negativos y la de resistividad total (Rt) hacia valores positivos altos.
- Ø El Caliper no siempre estará presente al momento de la interpretación,
- Ø pero si lo está (Caliper Presente), puedo ayudarme mediante su observación.
- Ø El Caliper va a presentar un revoque, que sería una zona de acumulación de lodo (de perforación) y se manifiesta frente a la zona de mayor deflexión del SP hacia valores negativos y de valores mayores de resistividad total (Rt).
- Ø (El experto dibuja las líneas del tope y la base que delimitan la zona que denomina "b")
- Ø Acá vemos que la zona "b" será permeable y podremos considerar que es una zona de arenizas.

- Ø La zona "a", correspondería en forma global a arcillas.
- Ø Una vez que tengo identificada la zona, tengo que hacer otras comprobaciones con el perfil de porosidad interpretada (Phi).
- Ø Si no lo tuviera, probablemente la zona sería permeable, pero no lo podría asegurar a ciencia cierta.
- Ø Este perfil (Phi), tiene que tener una deflexión hacia la derecha y tiene que dar un valor lógico.
- Ø Puede ser un 10% (el valor de Phi) como en este caso, o un poco más, 20%.
- Ø En cambio, en la zona de arcillas, la porosidad puede oscilar en algunos casos a las arenizas permeables.
- Ø Y así básicamente voy separando las zonas que tienen mayor permeabilidad.
- Ø En este caso también aparecen otras zonas menores.
- Ø (El experto dibuja las líneas del tope y la base que delimitan la zona que denomina "c").
- Ø En la zona "c" se observa una deflexión de SP y Rt que correspondería a una zona permeable, pero al constatar Phi, vemos que su valor es bajo, por lo cual la zona seguramente no será permeable.
- Ø Para determinar con mayor precisión el espesor de la zona, tomamos la curva de SP y marcamos el momento exacto en que cambia la pendiente, sería el punto máximo de la derivada. Marcamos en la parte superior e inferior y la zona delimitada sería el espesor de mi capa permeable.
- Ø Del análisis de la curva de resistividad, también podemos determinar si hay contacto agua-petróleo. En este caso no se ve, pero si la curva hubiera sido de esta manera (corrige Rt de forma tal que los valores bajan antes de llegar a la mitad de la zona), podríamos determinar la profundidad dónde se encuentra el contacto agua-petróleo.

Información complementaria solicitada al experto

Fuera del análisis del protocolo se le solicita al experto que se extienda sobre la caracterización de cada tipo de curva en la zona y se obtiene lo siguiente:

- Ø Cada zona se puede caracterizar por los valores que toma cada curva en ella.
- Ø Esos valores dependen de la forma de la curva en la zona pero en muchos casos se podrán obtener promediando o integrando las curvas, comparándolos luego con el resto del gráfico.
- Ø Cada curva mencionada puede clasificarse de la siguiente manera:

Para SP o GR:

- Cercano a la línea base
- Negativo
- Indefinido

Para Resistividad:

- Cercano a cero
- Alto
- Intermedio
- Indefinido

Para Porosidad:

- Muy Baja ( $\Phi \leq 5\%$ )
- Baja ( $5\% < \Phi \leq 8\%$ )
- Media ( $8\% < \Phi \leq 16\%$ )
- Alta ( $\Phi > 16\%$ )

Para Caliper:

- Con Reboque
- Sin Reboque

Cabe destacar que en el ejemplo que vimos, solamente aparece la resistividad total. Si se dispusiera de Resistividad media y cercana, podemos mirar si el lodo invade la zona permeable ya que las curvas se alejarán entre sí.

Esta información es similar a la observada con el Caliper, por lo que en este caso, al contar con el Caliper es suficiente. Con todo esto, podríamos agregar la siguiente clasificación:

Para Comparación de Resistividad media y cercana:

- Zona invadida (entró filtrado del lodo entonces es permeable)
- Zona no invadida (alta probabilidad que la zona no sea permeable).

#### 2.4.3 Paso 3. Codificación del Protocolo

Llegado a este punto, podemos acotar el alcance del sistema experto a:

Dada una zona delimitada entre dos profundidades de un gráfico definida por sus valores descriptivos, determinar si es una "Zona Permeable", una "Zona No Permeable" o una "Zona Probablemente Permeable"

De esta forma, dejamos afuera del sistema experto la categorización de los valores descriptivos a partir de los valores puntuales de las curvas en la zona y la determinación de la zona en sí. Sin embargo, vamos a establecer las siguientes definiciones para facilitar la implementación de esas tareas a realizar en el desarrollo del software tradicional.

Determinación de zonas:

- Para diferenciar las distintas zonas se usa SP o GR (preferiblemente, SP de curvas más suavizadas).
- Si la zona es de roca dura, entonces usaremos GR.
- Si usamos GR, deberá "suavizarse" la curva con filtros adecuados.
- Los extremos de las zonas están dados por los puntos de inflexión de la curva usada.

Determinación de valores de referencia:

- En el caso de SP y GR, se establecerá una línea base de valores máximos a lo largo de la curva (no es una línea vertical).
- En el caso del Caliper, será una línea prácticamente vertical.
- En el caso de Resistividad y Porosidad el valor de referencia será el 0 (cero).

Las distintas categorías se describen en el punto 3.1.1. Para determinar las categorías, se consultó nuevamente al experto antes de transcribirlas.

Hecha esta aclaración, resta acotar que probablemente el sistema experto quedará reducido a un caso relativamente sencillo.

#### 2.4.3.1 Paso 3.1. Identificación de conceptos, características, valores y relaciones.

##### Paso 3.1.1. Conceptos y Características, Valores

Concepto	Característica	Valor
Pozo	Nombre del Pozo	Alfabético
Gráfico de Pozo	Identificación del Gráfico	Numérico
	Profundidad Inicial	Numérico
	Profundidad Final	Numérico
	Unidades	Metros, Pies
Zona	Identificación de Zona	Alfanumérico
	Profundidad Inicial	Numérico
	Profundidad Final	Numérico
	Condición de Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No Permeable</li> <li>• Probablemente Permeable</li> <li>• Permeable</li> </ul>
Registro en Zona	Identificación de Registro en Zona	Numérico
SP o GR en Zona (SPoGR)	Valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercano a la línea base</li> <li>• Negativo</li> <li>• Indefinido</li> </ul>
	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SP</li> <li>• GR</li> </ul>
Resistividad Total o Lejana en Zona (Rt)	Valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercano a cero</li> <li>• Alto</li> <li>• Intermedio</li> <li>• Indefinido</li> </ul>
	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad Total</li> <li>• Resistividad Lejana</li> </ul>
Comparación Resistividad media y Cercana en Zona (Rm-Rc)	Valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona invadida (entro filtrado del lodo entonces es permeable)</li> <li>• Zona no invadida</li> <li>• Ausente</li> </ul>

Porosidad (Phi)	Valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy Baja (<math>\text{Phi} \leq 5\%</math>)</li> <li>• Baja (<math>5\% \leq \text{Phi} \leq 8\%</math>)</li> <li>• Media (<math>8\% \leq \text{Phi} \leq 16\%</math>)</li> <li>• Alta (<math>\text{Phi} \geq 16\%</math>)</li> <li>• Ausente</li> </ul>
	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutrón</li> <li>• Sónico</li> </ul>
Caliper (Cal)	Valor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con Reboque</li> <li>• Sin Reboque</li> <li>• Ausente</li> </ul>

### Paso 3.1.2. Relaciones

Se analiza el protocolo y se extraen las siguientes relaciones:

Es de:

Ø Acá tenemos un gráfico correspondiente a un pozo

Pozo ← Es de ← Gráfico

Ø (El experto dibuja las líneas del tope y la base que delimitan la zona que denomina "a")

Ø (El experto dibuja las líneas del tope y la base que delimitan la zona que denomina "b")

Ø (El experto dibuja las líneas del tope y la base que delimitan la zona que denomina "c")

Gráfico ← Es de ← Zona

Ø Cada zona se puede caracterizar por los valores que toma cada curva en ella.

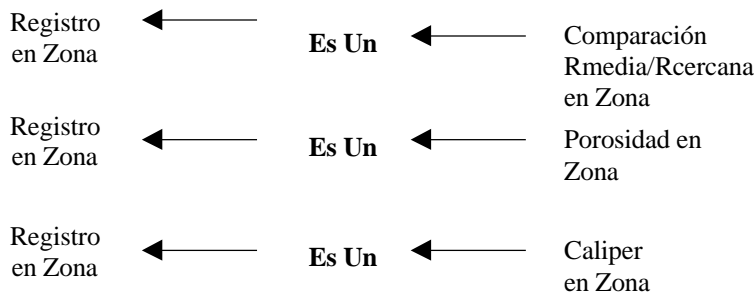
Zona ← Es de ← Registro en Zona

Es Un:

(Cada tipo de Registro en una Zona dada es un Registro en Zona)

Registro en Zona ← Es Un ← SP o GR en Zona

Registro en Zona ← Es Un ← Rtotal o Rlejana en Zona



Causal:

- Ø Vemos que en la zona "a", la curva de potencial espontáneo (SP) está cercana a la línea base y la resistividad total (Rt) está cercana al cero, por lo que podemos decir que esta zona no es permeable.

Causa: SP Cercano a la Línea Base  
Rt Cercano al Cero

Efecto: Zona no permeable

- Ø El Caliper va a presentar un revoque, que sería una zona de acumulación de lodo (de perforación) y se manifiesta frente a la zona de mayor deflexión del SP hacia valores negativos y de valores mayores de resistividad total (Rt).
- Ø Una vez que tengo identificada la zona, tengo que hacer otras comprobaciones con el perfil de porosidad interpretada (Phi).

Causa: SP Negativo  
Rt Alto  
Caliper Con Revoque

Efecto: Zona probablemente permeable

- Ø Una vez que tengo identificada la zona, tengo que hacer otras comprobaciones con el perfil de porosidad interpretada (Phi).
- Ø Este perfil (Phi), tiene que tener una deflexión hacia la derecha y tiene que dar un valor lógico.
- Ø Puede ser un 10% (el valor de Phi) como en este caso, o un poco más, 20%.

Causa: Zona Probablemente Permeable  
Porosidad es Media o Porosidad es Alta

Efecto: Zona Permeable

#### 2.4.3.2 Paso 3.2. Identificación de la búsqueda en la codificación del protocolo.

Tabla para la identificación de una Zona Probablemente Permeable.

SP \ Rt	Cercana a Cero	Alta	Intermedia	Indefinida
Cercana a L.B.	No Permeable	No Permeable	No Permeable	No Permeable
Negativo	No Permeable	Probablem. Permeable	Probablem. Permeable	No Permeable
Indefinido	No Permeable	No Permeable	No Permeable	No Permeable

L.B.: Línea Base

Tabla para la identificación de una Zona Permeable, dado que es una Zona Probablemente Permeable

Caliper \ Phi	Ausente	Muy Baja	Baja	Media	Alta
Ausente	Probablem. Permeable	No Permeable	No Permeable	Permeable	Permeable
Sin Revoque	No Permeable	No Permeable	No Permeable	Probablem. Permeable	Probablem. Permeable
Con Revoque	Probablem. Permeable	No Permeable	No Permeable	Permeable	Permeable

#### 2.4.3.3 Paso 3.3. Identificación de los Operadores

- Ø Vemos que en la zona "a", la curva de potencial espontáneo (SP) está cercana a la línea base y la resistividad total (Rt) está cercana al cero, **por lo que podemos decir** que esta zona no es permeable.
- Ø Las que tienen menor porosidad y permeabilidad **son** las zonas donde las curvas se encuentran más cercanas al cero (**en el caso del SP, el cero debe interpretarse como la línea base**)
- Ø La zona "a", **correspondería** en forma global a arcillas.
- Ø Acá vemos que la zona "b" **será** permeable y podremos considerar que es una zona de arenizcas.
- Ø Una vez que tengo identificada la zona, **tengo que hacer** otras comprobaciones con el perfil de porosidad interpretada (Phi).
- Ø Este perfil (Phi), **tiene que tener** una deflexión hacia la derecha y tiene que dar un valor lógico.
- Ø En cambio, en la zona de arcillas, la porosidad **permanece siempre** cercana a valores mínimos.

#### 2.4.3.4 Paso 3.4. Identificación de las inferencias

Se utilizarán las abreviaturas de tablas indicadas entre paréntesis en la tabla Concepto-**Característica-Valor**.



Si **Valor** de SPoGr = **Cercano a la Línea Base** y

**Valor** de Rt = **Cercano a Cero**

Entonces **Condición de Permeabilidad** de Zona = **No Permeable**

Si **Valor** de SpOGR = **Negativo** y

**Valor** de Rt = **Alto** y

**Valor** de Cal = **Con Revoque**

Entonces **Condición de Permeabilidad** de Zona = **Probablemente Permeable**

Si **Condición de Permeabilidad** de Zona = **Probablemente Permeable** y

**Valor** de Cal = **Ausente** y

(**Valor** de Phi = **Media** o

**Valor** de Phi = **Alta**)

Entonces **Condición de Permeabilidad** de Zona = **Permeable**

Si **Condición de Permeabilidad** de Zona = **Probablemente Permeable** y

**Valor** de Cal = **Con Revoque** y

(**Valor** de Phi = **Media** o

**Valor** de Phi = **Alta**)

Entonces **Condición de Permeabilidad** de Zona = **Permeable**

#### 2.4.3.5 Paso 3.5. Sinónimos, metaconocimientos e incertidumbres.

##### Sinónimos

El experto hacer referencias a areniscas y zonas permeables en forma indistinta. Si bien el significado no es el mismo, a los fines de este sistema, se los puede considerar equivalentes.

Lo mismo ocurre con arcillas y zonas no permeables.

También se utilizan registros y curvas en forma indistinta.

##### Metacomentarios

Se señalan aquellas frases que enmarcan el trabajo del experto, aportando mayor claridad al proceso que se realiza.

- Ø Ahora empiezo a mirar el perfil de arriba hacia abajo y determino las zonas que tienen mayor porosidad y permeabilidad.
- Ø El Caliper no siempre estará presente al momento de la interpretación,
- Ø pero si lo está (**Caliper Presente**), puedo ayudarme mediante su observación.
- Ø Si no lo tuviera, probablemente la zona sería permeable, pero no lo podría asegurar a ciencia cierta.

Ø Y así básicamente voy separando las zonas que tienen mayor permeabilidad.

### Incertidumbres

La condición de permeabilidad probablemente permeable es en sí un estado de incertidumbre que significa: Dados los datos con los que cuento, la zona es permeable, pero al carecer de otros datos, no puedo asegurarlo. Habría que consultar al experto para ver cómo se podría bajar este nivel de incertidumbre si por ejemplo, no tengo perfil de porosidad, pero puedo contar con algún otro perfil disponible.

#### 2.4.4 Paso 4. Conclusiones

El experto elige un gráfico con registros disponibles que le permiten dividirlo en zonas y luego de caracterizado cada registro en cada zona, determinará si esa zona es permeable, no permeable o en caso que no cuente con todos los datos disponibles, probablemente permeable.

Una vez elegida la zona a analizar, compara primero el valor de SP y de Rt. Con ello determina si la zona es no permeable o probablemente permeable.

Si cuenta con el Caliper, constata que la zona con revoque tiene más seguridad de ser permeable, pero sin ser determinante.

Si cuenta con el perfil de porosidad, se puede asegurar finalmente la condición de permeabilidad de la zona.

### 3 Conceptualización

El proceso de conceptualización conlleva una fase de análisis y una de síntesis. En la primera, identificamos los conocimientos tácticos, estratégicos, fácticos que nos permitirán obtener el modelo dinámico de procesos y el modelo estático para finalizar la síntesis en el mapa de conocimientos del sistema.

Ajustando el alcance del sistema experto presentado en la Adquisición de Conocimientos, tenemos que su objetivo es:

“Establecer la condición de permeabilidad de una zona de un gráfico de pozo dada, a partir de los valores descriptivos asignados a los distintos registros con que se cuenta en dicha zona”

En la etapa de análisis de conocimientos, se identifican y ordenan en:

- Ø Estratégicos o de control
- Ø Tácticos, de acción u operativos
- Ø Fácticos o declarativos

Cada uno de ellos se analizan en 5 pasos, a saber

- Ø Conocimientos Fácticos se identifican en los pasos 1, 2 y 5.
- Ø Los Conocimientos Estratégicos se identifican en el paso 3.
- Ø Los Conocimientos Tácticos se identifican en el paso 4.

### 3.1 - Paso 1 – Identificación, comparación y categorización de conceptos.

#### 3.1.1 Glosario de Términos

De las entrevistas, el análisis de protocolos y bibliografía en general, se extrae la información que permite presentar este glosario de términos.

Término	Descripción
Análisis de Perfiles	Método esencialmente visual que se aplica para establecer la condición de permeabilidad de cada zona.
Cal	Registro del Calibre o diámetro en función de la profundidad. Se representa en el Track 1.
GR	Registro de Rayos Gamma. Su comportamiento es similar que el SP, pero su uso está indicado en calizas duras donde el SP tiene poca definición. Se representa en el Track 1
CP	Condición de Permeabilidad, define a la zona y puede ser: Permeable, Probablemente Permeable, No Permeable o indefinida.
Lodo de Perforación	Es un gel o mezcla arcillosa en general a base de agua que refrigera el trépano.
Phi	Registro compensado o corregido de porosidad que se recibe de las compañías de servicios a partir de registros sínicos o nucleares. Se representa en el Track 3.
Pozo	Perforación que se realiza para extraer petróleo.
Registro	Es una lista de valores medidos o calculados en función de la profundidad. Los hay de distintos tipos, y cada uno de ellos me da información acerca de las propiedades de cada zona del pozo
Registro en Zona	Es la categoría que se le asigna a cada registro en una zona dada del pozo
Rm-Rc	Valor que se asigna de acuerdo a la comparación entre Resistividad media y Cercana (en ZonaTrack 2). Define si la zona está invadida por el lodo.
Rt	Registro calculado de resistividad total. En caso de no existir, se puede usar la resistividad lejana (ILD, LLD) en su lugar. Se representa en el Track 2.
SP	Registro del Potencial Espontáneo en función de la profundidad. Se representa en el Track 1.
Track	Cada una de las 3 zonas vertical en que se divide un gráfico de Registros.
Zona	Son las zonas de interés. En ellas, el perfil SP o GR se orienta a valores Negativos. Los límites de la zona, serán los puntos de inflexión de la curva cuando pasa de valores altos a negativos, el superior y cuando pasa de negativos a altos, el inferior.

#### 3.1.2 Diccionario de Conceptos

Para cada concepto, se especifica su función, sinónimos, acrónimos y atributos que los definen.

Concepto	Función	Sinónimos / acrónimos	Elementos	Relaciones
Pozo	Permite identificar el pozo sobre el cual se está haciendo el análisis		Nombre del Pozo	
Gráfico de Pozo	Permite identificar cada Conjunto de Registros que se analicen. En general será único.	GrafPozo	Identificación del Gráfico Profundidad Inicial Profundidad final Unidades de Profundidad	Puede haber muchos gráficos por cada pozo
Zona	Permite delimitar las profundidades que se analizan en cada caso, como así también asignar la Condición de Permeabilidad.		Identificación de Zona Profundidad Inicial Profundidad Final Condición de Permeabilidad	Puede haber muchas zonas por cada gráfico
Registro en Zona	Relacionar cada zona con los respectivos registros que se aplican en el análisis	RegEnZona	Identificación de Registro en Zona Probabilidad de que el valor asignado sea el correcto Registro	Existen uno por cada tipo de registro que se haya realizado en la zona
SP o GR en Zona	Identificar el valor asignado para SP o GR en la zona referida	SP en Zona GR en Zona SpoGRenZ	SpoGR Tipo	Se corresponde con uno y solo un RegEnZona
Resistividad Total o Lejana en Zona	Identificar el valor asignado para Rt en la zona referida	RtenZ	Rt Tipo	Se corresponde con uno y solo un RegEnZona
Comparación Resistividad media y Cercana en Zona	Identificar si la zona está invadida por el lodo	Rm-RcenZ	Rm-Rc	Se corresponde con uno y solo un RegEnZona
Porosidad en Zona	Identificar el valor asignado para Phi en la zona referida	PhienZ	Phi Tipo	Se corresponde con uno y solo un RegEnZona

Caliper en Zona	Identificar el valor asignado a Cal en la zona referida	CalenZ	Cal	Se corresponde con uno y solo un RegEnZona
Nombre del Pozo	Identifiicar al Pozo	Nombre		
Identificación del Gráfico	Identificar al gráfico	IdGrafico		
Profundidad Inicial	Referir al Valor de un rango de profundidades más cercano a la boca de pozo	ProfInicial		
Profundidad Final	Referir al Valor de un rango de profundidades más alejado a la boca de pozo	ProfFinal		
Identificación de Zona	Identificar la zona	IdZona		
Condición de Permeabilidad	Describir la condición de permeabilidad de la zona	CP		
Identificación de Registro en Zona	Identificar al registro en una zona dada	IdRegEnZona		
Probabilidad que el valor asignado sea el correcto	Referir al dato de la probabilidad que el valor asignado al Registro en zona según el caso, sea el correcto	ProbValorCorrecto		

### 3.1.3 Tabla Concepto-Atributo-Valor

Se vuelca esta tabla obtenida en la Adquisición de Conocimientos a la que se le fueron agregando Valores necesarios para el desarrollo.

Concepto	Característica	Valor
Pozo	Nombre del Pozo	Alfabético
Gráfico de Pozo	Identificación del Gráfico	Numérico
	Profundidad Inicial	Numérico

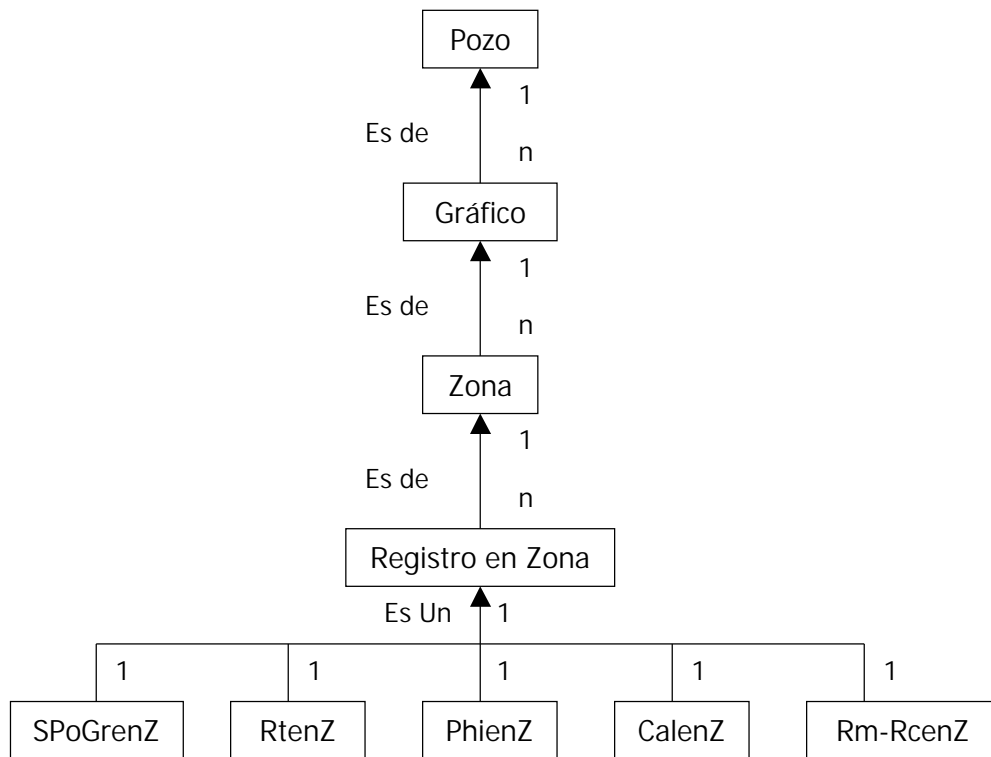
	Profundidad Final	Numérico
	Unidades	Metros, Pies
Zona	IdZona	Alfabético
	ProfInicial	Numérico
	ProfFinal	Numérico
	CP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendiente</li> <li>• No Permeable</li> <li>• Probablemente Permeable</li> <li>• Permeable</li> <li>• Indefinida</li> <li>• No Analizada</li> </ul>
Registro en Zona	IdRegenZona	Numérico
	ProbValorCorrecto	Numérico
	Registro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SpoGR</li> <li>• Rt</li> <li>• Rm-Rc</li> <li>• Phi</li> <li>• Cal</li> </ul>
SpoGRenZ	SpoGR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercano a la línea base</li> <li>• Negativo</li> <li>• Indefinido</li> <li>• Ausente</li> </ul>
	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SP</li> <li>• GR</li> </ul>
RtenZ	Rt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercano a cero</li> <li>• Alto</li> <li>• Intermedio</li> <li>• Indefinido</li> <li>• Ausente</li> </ul>
	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad Total</li> <li>• Resistividad Lejana</li> </ul>
Rm-RcenZ	Rm-Rc	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona invadida (entro filtrado del lodo entonces es permeable)</li> <li>• Zona no invadida</li> <li>• Ausente</li> </ul>
PhienZ	Phi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy Baja (<math>\Phi \leq 5\%</math>)</li> <li>• Baja (<math>5\% \leq \Phi \leq 8\%</math>)</li> <li>• Media (<math>8\% \leq \Phi \leq 16\%</math>)</li> <li>• Alta (<math>\Phi \geq 16\%</math>)</li> <li>• Ausente</li> </ul>
	Tipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neutrón</li> <li>• Sónico</li> </ul>

CalenZ	Cal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con Reboque</li> <li>• Sin Reboque</li> <li>• Ausente</li> </ul>
--------	-----	---



### 3.2 - Paso 2 – Identificación de la relación entre conceptos.

Dados los conceptos y en base a las relaciones obtenidas en la Adquisición de Conocimientos, se obtiene el gráfico de relación entre Conceptos.



### 3.3 - Paso 3 – Identificación de los conocimientos estratégicos

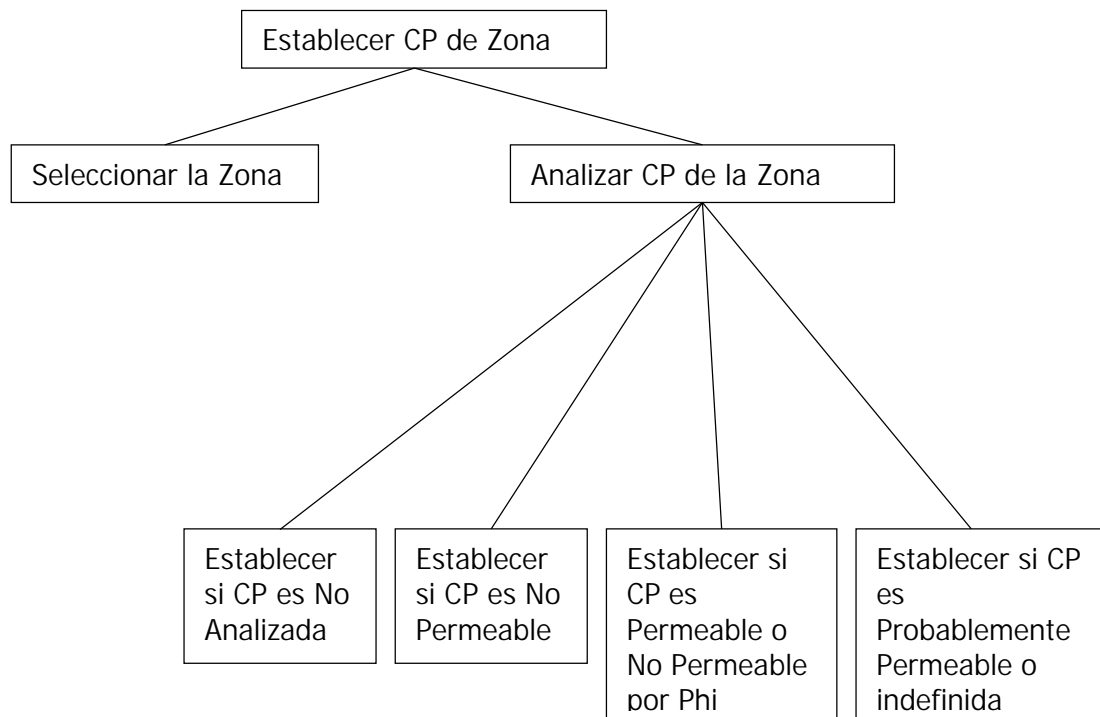
Vamos ahora a definir los pasos modulares que sigue el experto para realizar su tarea y plantear el flujo de control que deberá seguir el sistema experto.

La estrategia identificada deberá representar la tarea del experto que es la de “Establecer la condición de permeabilidad de una zona (de un gráfico, si hay más de uno) de un pozo”. Vale aclarar que el IC debió concensuar con el experto los sucesivos pasos a seguir que no surgieron del relevamiento realizado exactamente igual a la forma en que se va a presentar.

Las sucesivas tareas a realizar serán:

1. Seleccionar la zona
2. Analizar la condición de permeabilidad (CP) de la zona

#### 3.3.1 Diagrama jerárquico de los pasos estratégicos seguidos por el experto.



#### Módulo 1: Seleccionar la zona

Propósito: Obtener la identificación de la zona de un gráfico de un pozo.

Subtareas: -

Entradas: -

Razonamiento: El usuario va eligiendo sucesivamente el pozo, gráfico y zona a utilizar obteniendo la identificación de la zona.

Salidas: Identificación de la zona

## Módulo 2: Analizar la condición de permeabilidad de la zona

Propósito: Analizar los valores que toman los registros en la zona para hallar la CP de la zona, estableciendo el control de subtareas a partir de la Salida obtenida en cada una de ellas.

Subtareas: Módulo 2.1: Establecer si la CP de la zona es No Analizada  
Módulo 2.2: Establecer si la CP de la zona es No Permeable  
Módulo 2.3: Establecer si la CP de la zona es Permeable o No Permeable por Phi  
Módulo 2.4: Establecer si la CP de la zona es Probablemente Permeable o Indefinida.

Entradas: Identificación de la Zona

Razonamiento: Sucesivamente se analiza la CP a partir de los valores que toman los distintos registros en zona para establecer su valor.

Si la CP que devuelve el Módulo 2.1 es No Analizada finaliza la ejecución.

Si la CP que devuelve el Módulo 2.2 es No Permeable finaliza la ejecución.

Si la CP que devuelve el Módulo 2.3 es Permeable finaliza la ejecución.

Salidas: CP de la zona.

### Módulo 2.1: Establecer si la CP de la zona es No Analizada

Propósito: Analizar los valores de SPoGR y Rt en la zona para establecer si la CP de la misma es No Analizada

Subtareas: -

Entradas: Identificación de la zona

Razonamiento: Se verificará que ni el valor de SPoGR ni el de Rt sean Ausente. Si alguno lo es se devolverá que la CP es No Analizada, sino, Probablemente Permeable.

Salidas: CP de la zona.

### Módulo 2.2: Establecer si la CP de la zona es No Permeable

Propósito: Analizar los valores de SPoGR y Rt en la zona para establecer si la CP de la misma es No Permeable

Subtareas: -

Entradas: Identificación de la zona

Razonamiento: Se verificará que el valor de SPoGR sea Negativo y el de Rt sea Alto o Intermedio. Si esto es cierto, se devolverá CP como Probablemente Permeable, caso contrario, como No Permeable.

Salidas: CP de la zona.

### Módulo 2.3: Establecer si la CP de la zona es Permeable o No Permeable por Phi

Propósito: Analizar los valores de Phi, Cal y Rm-Rs en la zona para establecer si la CP de la misma es Permeable o No Permeable.

Subtareas: -

Entradas: Identificación de la zona

Razonamiento: Si el valor de Phi es Baja o Muy Baja, la CP será No Permeable sin importar los demás valores. Si el valor de Phi es Media o Alta, la CP será permeable, salvo que el valor de Cal sea Sin Revoque o Rm-Rc sea Zona No Invasada, donde será Probablemente Permeable.

Salidas: CP de la zona.

### Módulo 2.4: Establecer si la CP de la zona es Probablemente Permeable o Indefinida.

Propósito: Analizar los valores de Phi, Cal y Rm-Rs en la zona para establecer si la CP de la misma es Probablemente Permeable o Indefinida.

Subtareas: -

Entradas: Identificación de la zona

Razonamiento: Si el valor de Phi es Ausente, la CP será Indefinida, salvo que el valor de Cal sea Con Revoque o Rm-Rc sea Zona Invasada, donde será Probablemente Permeable.

Salidas: CP de la zona.

### 3.3.2 Comprobación de los conocimientos Estratégicos

Se realizó la comprobación de los conocimientos estratégicos con el experto, quien manifiesta su conformidad sobre lo escrito.

### 3.4 - Paso 4 – Identificación de los conocimientos Tácticos

Para identificar los conocimientos tácticos, se hará uso de seudorreglas. En realidad, será un recuento de las obtenidas en la Adquisición de Conocimientos y ordenadas en la identificación de conocimientos estratégicos. Se hace referencia al módulo definido.

#### 3.4.1 Análisis de los conocimientos Tácticos

En cada caso, se identifican con sus respectivos colores al **valor** del **atributo** del Concepto.

Vale remarcar que si en el proceso no se modifica el valor de CP, seguirá siendo Probablemente Permeable.

##### Módulo 2.1

Se verificará que ni el valor de SPoGR ni el de Rt sean Ausente. Si alguno lo es se devolverá que la CP es No Analizada, sino, Pendiente.

Si **SPoGR** de SPoGrenZ = **Ausente** o

**Rt** de RtenZ = **Ausente**

Entonces **CP** de Zona = **No Analizada**

Sino **CP** de Zona = **Pendiente**

##### Módulo 2.2

Se verificará que el valor de SPoGR sea Negativo y el de Rt sea Alto o Intermedio. Si esto es cierto, seguirá CP como Pendiente, caso contrario, como No Permeable.

Si **CP** de Zona = **Pendiente** y

No es ( **SPoGR** de SPoGrenZ = **Negativo** y

(**Rt** de RtenZ = **Alto** o

**Rt** de RtenZ = **Intermedio**) )

Sino **CP** de Zona = **No Permeable**

##### Módulo 2.3

Si el valor de Phi es Baja o Muy Baja, la CP será No Permeable sin importar los demás valores.

Si **CP** de Zona = **Pendiente** y

(**Phi** de PhienZ = **Baja** o

**Phi** de PhienZ = **Muy Baja**)

Entonces **CP** de Zona = **No Permeable**

Si el valor de Phi es Media o Alta, la CP será permeable, salvo que el valor de Cal sea Sin Revoque o Rm-Rc sea Zona No Invasada, donde será Probablemente Permeable.

Si CP de Zona = Pendiente y  
(Phi de PhienZ = Media o  
Phi de PhienZ = Alta) y  
No es (Cal de CalenZ = Sin Revoque) y  
No es (Rm-Rc de Rm-RcenZ = Zona No Invasada)  
Entonces CP de Zona = Permeable  
Sino CP de Zona = Probablemente Permeable

#### Módulo 2.4

Si el valor de Phi es Ausente, la CP será Indefinida, salvo que el valor de Cal sea Con Revoque o Rm-Rc sea Zona Invasada, donde será Probablemente Permeable.

Si CP de Zona = Pendiente y  
Phi de PhienZ = Ausente y  
(No es (Phi de CalenZ = Con Revoque) o  
No es (Phi de Rm-RcenZ = Zona Invasada))  
Entonces CP de Zona = Indefinida  
Sino CP de Zona = Probablemente Permeable

#### 3.4.2 Comprobación de los conocimientos tácticos

El experto ha revisado y aprobado las seudorreglas planteadas.

### 3.5 - Paso 5 – Análisis de los conocimientos Fácticos

Se completará la identificación de conocimientos fácticos realizada en los pasos 1 y 2, definiendo en tablas a cada atributo de la tabla Concepto-Atributo-Valor.

Información	Descripción
Nombre	Nombre
Concepto	Pozo
Descripción	Identificador del pozo que será objeto del análisis
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido en forma interactiva
Detalle acerca del método para obtener esa información	El usuario escribe el nombre del pozo o lo selecciona de una lista que se obtiene de la base de datos del sistema existente.
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Se utiliza para identificar al pozo y a partir de él, los gráficos disponibles.
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	IdGrafico
Concepto	Gráfico de Pozo
Descripción	Identificador del Gráfico de Pozo que tiene asociadas diferentes curvas
Tipo Valor	Numérico Entero
Rango de Valores	$\geq 0$
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido en forma interactiva
Detalle acerca del método para obtener esa información	El usuario lo selecciona de una lista de gráficos obtenidos de la base de datos del sistema existente, correspondientes al Nombre del Concepto Pozo seleccionado previamente.
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Se utiliza para identificar al gráfico y a partir de él, las zonas disponibles.
Formato de los resultados de salida	Numérico Entero
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	ProfInicial
Concepto	Gráfico de Pozo
Descripción	Profundidad Inicial, es decir el valor del gráfico más cercano a la boca del pozo

Tipo Valor	Numérico Punto Flotante
Rango de Valores	$\geq 0$ ; $< \text{ProfFinal}$
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdGrafico seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	
Formato de los resultados de salida	Numérico Punto Flotante
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	ProfFinal
Concepto	Gráfico de Pozo
Descripción	Profundidad Final, es decir el valor del gráfico más alejado a la boca del pozo
Tipo Valor	Numérico Punto Flotante
Rango de Valores	$\geq 0$ ; $> \text{ProfInicial}$
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdGrafico seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	
Formato de los resultados de salida	Numérico Punto Flotante
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Unidades
Concepto	Gráfico de Pozo
Descripción	Unidades en que se mide la profundidad
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	Ø Metros Ø Pies
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdGrafico seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	



Uso	
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	IdZona
Concepto	Zona
Descripción	Código que identifica a la zona
Tipo Valor	N Numérico Entero
Rango de Valores	
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se selecciona de una lista obtenida en la Base de datos del sistema existente con el IdGrafico seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	
Formato de los resultados de salida	N Numérico Entero
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	ProfInicial
Concepto	Zona
Descripción	Profundidad Inicial, es decir el valor de la zona más cercano a la boca del pozo
Tipo Valor	N Numérico Punto Flotante
Rango de Valores	>=0 ; < ProfFinal
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	
Formato de los resultados de salida	N Numérico Punto Flotante
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	ProfFinal
Concepto	Zona
Descripción	Profundidad Final, es decir el valor de la zona más alejado a la boca del pozo
Tipo Valor	N Numérico Punto Flotante
Rango de Valores	>=0 ; > ProfInicial

Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdGrafico seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	
Formato de los resultados de salida	Numérico Punto Flotante
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	CP
Concepto	Zona
Descripción	Condición de Permeabilidad de la zona.
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	<p>Ø Pendiente</p> <p>Ø No Permeable</p> <p>Ø Probablemente Permeable</p> <p>Ø Permeable</p> <p>Ø Indefinida</p> <p>Ø No Analizada (Default)</p>
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdGrafico seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	El objetivo del sistema es el de establecer este Atributo
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	IdRegEnZona
Concepto	Registro en Zona
Descripción	Identificador del registro en zona
Tipo Valor	Numérico Entero
Rango de Valores	
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se selecciona de una lista obtenida en la Base de datos del sistema existente con el IdGrafico seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	

Uso	Permite relacionar los distintos registros que se consideran en el gráfico en la zona elegida.
Formato de los resultados de salida	Numérico Entero
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	ProbValorCorrecto
Concepto	Registro en Zona
Descripción	Probabilidad que el valor asignado según el caso (SPoGR, Rt, Phi, Rm-Rc, Cal) sea correcto (proveniente del sistema de asignación de valores).
Tipo Valor	Numérico Entero
Rango de Valores	
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Como dato descriptivo
Formato de los resultados de salida	Numérico Punto Flotante entre 0 y 1
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Registro
Concepto	Registro en Zona
Descripción	Tipo de Registro referido
Tipo Valor	Numérico Entero
Rango de Valores	
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	
Detalle acerca del método para obtener esa información	
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Permite identificar cada tipo de registro subtipos del Registro en Zona
Formato de los resultados de salida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SPoGR</li> <li>• Rt</li> <li>• Rm-Rc</li> <li>• Phi</li> <li>• Cal</li> </ul>
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	SpoGR
Concepto	SpoGRenZ
Descripción	Valor que se asignó al Potencial Espontáneo o a Rayos Gamma en la zona elegida
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	Ø Cercano a la línea base Ø Negativo Ø Indefinido Ø Ausente
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Se utiliza para definir el CP de zona como probablemente permeable en conjunto con el valor de Rt
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Tipo
Concepto	SpoGRenZ
Descripción	Tipo de registro usado
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	Ø SP Ø GR
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Descriptivo
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Rt
Concepto	RtenZ
Descripción	Valor que se asignó a la Resistividad Total o Resistividad alejada en la zona elegida

Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	<p>Ø Cercano a cero</p> <p>Ø Alto</p> <p>Ø Intermedio</p> <p>Ø Indefinido</p> <p>Ø Ausente</p>
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Se utiliza para definir el CP de zona como probablemente permeable en conjunto con el valor de SPoGR.
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Tipo
Concepto	RtenZ
Descripción	Tipo de registro usado como Rt
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	<p>Ø Resistividad Total</p> <p>Ø Resistividad Lejana</p>
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Descriptivo
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Rm-Rc
Concepto	Rm-RcenZ
Descripción	Valor que se asignó a la Comparación entre la Resistividad Media y la Resistividad Cercana, que determinan si la zona fue invadida por el lodo (indicando la permeabilidad de la zona).
Tipo Valor	Texto

Rango de Valores	Ø Zona Invasada Ø Zona No Invasada Ø Ausente
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Se utiliza para confirmar el valor de CP resultante
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Phi
Concepto	PhienZ
Descripción	Valor que se asignó a la Porosidad en la zona elegida.
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	Ø Muy Baja ( $\Phi \leq 5\%$ ) Ø Baja ( $5\% \leq \Phi \leq 8\%$ ) Ø Media ( $8\% \leq \Phi \leq 16\%$ ) Ø Alta ( $\Phi \geq 16\%$ ) Ø Ausente
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Define valores de CP si es que la zona tiene valores adecuado de SPoGR y Rt
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Tipo
Concepto	Phi
Descripción	Tipo de registro usado
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	Ø Neutrón Ø Sónico
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos

Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Uso	Descriptivo
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

Información	Descripción
Nombre	Cal
Concepto	CalenZ
Descripción	Valor que se asignó al Caliper en la zona elegida.
Tipo Valor	Texto
Rango de Valores	<input type="radio"/> Con Revoque <input type="radio"/> Sin Revoque <input type="radio"/> Ausente
Número de Valores por Caso	Mínimo: 1 – Máximo: 1
Fuente	Obtenido de la base de datos
Detalle acerca del método para obtener esa información	Se busca en la Base de datos del sistema existente con el IdZona seleccionado
Confiabilidad de los datos de entrada	
Us	Se utiliza para confirmar el valor de CP resultante
Formato de los resultados de salida	Texto
Material de soporte	

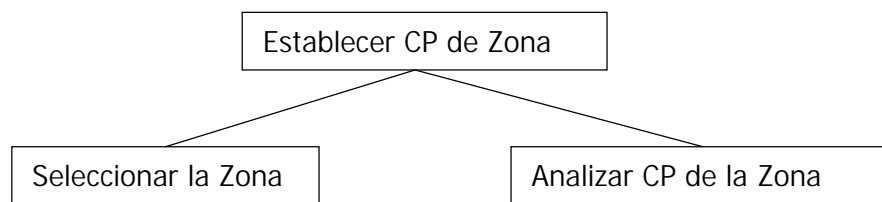
### 3.6 - Síntesis de conocimientos

A partir de los pasos precedentes, ahora vamos a sintetizarlos en el modelo dinámico, modelo estático y por último el mapa de procesos.

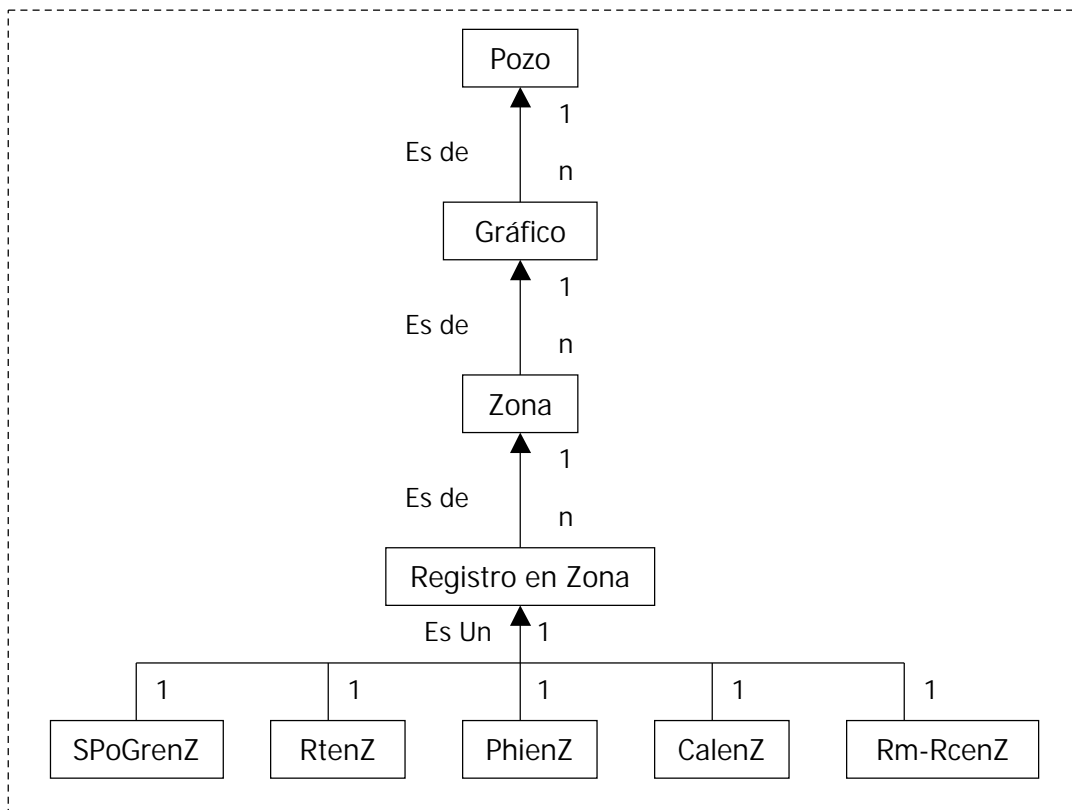
#### 3.6.1 Modelo Dinámico

A partir de los conocimientos estratégicos que se han identificado, se construye el modelo dinámico, estableciéndose los atributos que se utilizan en cada caso.

Establecer CP de Zona
Def. de la meta: Establecer la condición de permeabilidad de una zona, de un gráfico de un pozo
Entradas Requeridas: -
Salidas Producidas: La condición de permeabilidad (CP) establecida



Jerarquía de Actividades del proceso de Establecer CP de Zona



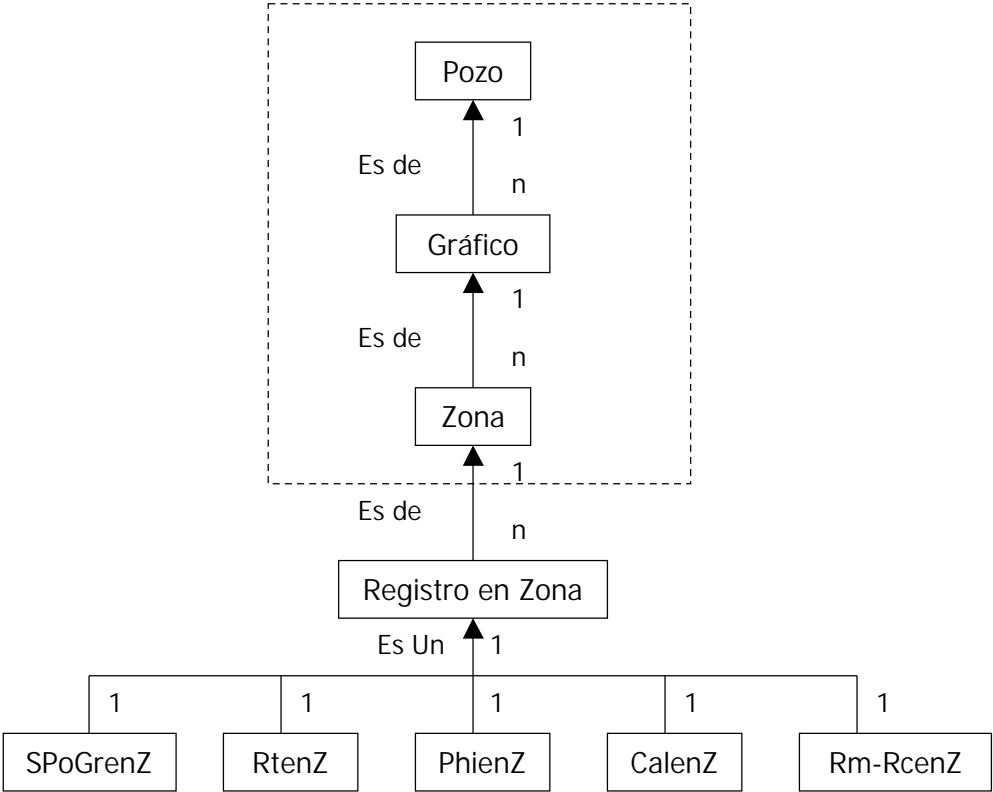
Conceptos que intervienen en el proceso de Establecer CP de Zona



Seleccionar la Zona
<p>Propósito: Seleccionar la zona a Analizar de la lista de zonas del gráfico seleccionado de la lista de gráficos del pozo seleccionado de la lista de pozos.</p> <p>Entradas Requeridas: -</p> <p>Salidas Producidas: IdZona</p>

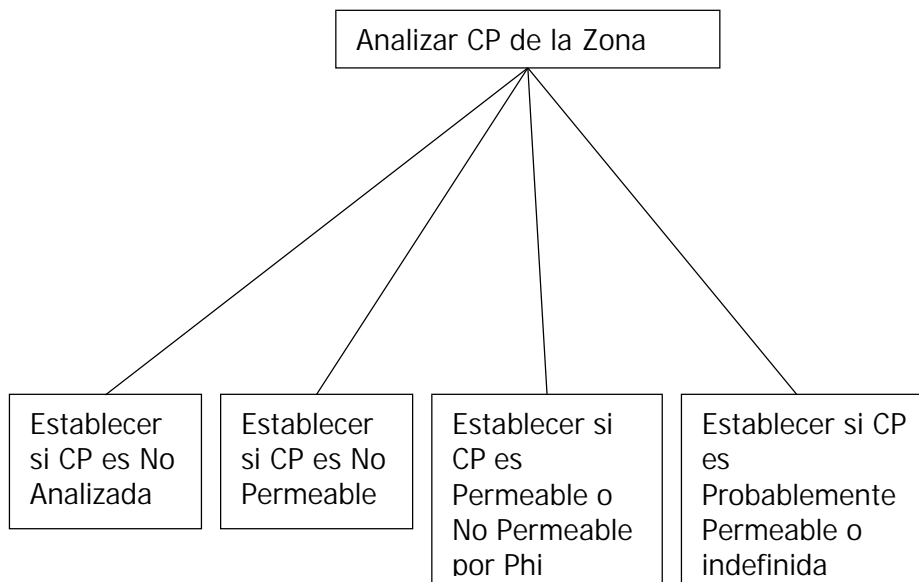
Seleccionar la Zona

Jerarquía de Actividades del proceso de Seleccionar Zona

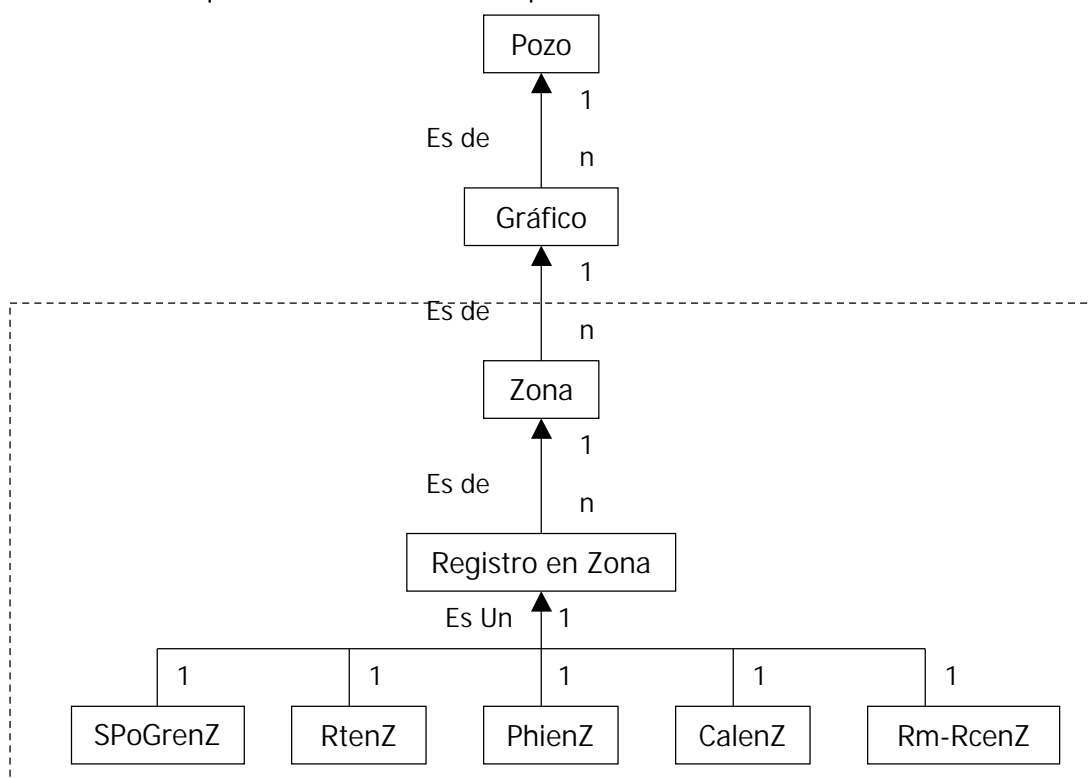


Conceptos que intervienen en el proceso de Seleccionar la Zona

Analizar CP de la Zona
<p>Propósito: Dado un IdZona, ejecutar aquellas subtarefas que permiten analizar la zona en el orden establecido y actualizar el CP de Zona.</p> <p>Entradas Requeridas: IdZona</p> <p>Salidas Producidas: CP de Zona</p>



Jerarquía de Actividades en el proceso de Analizar CP de la Zona

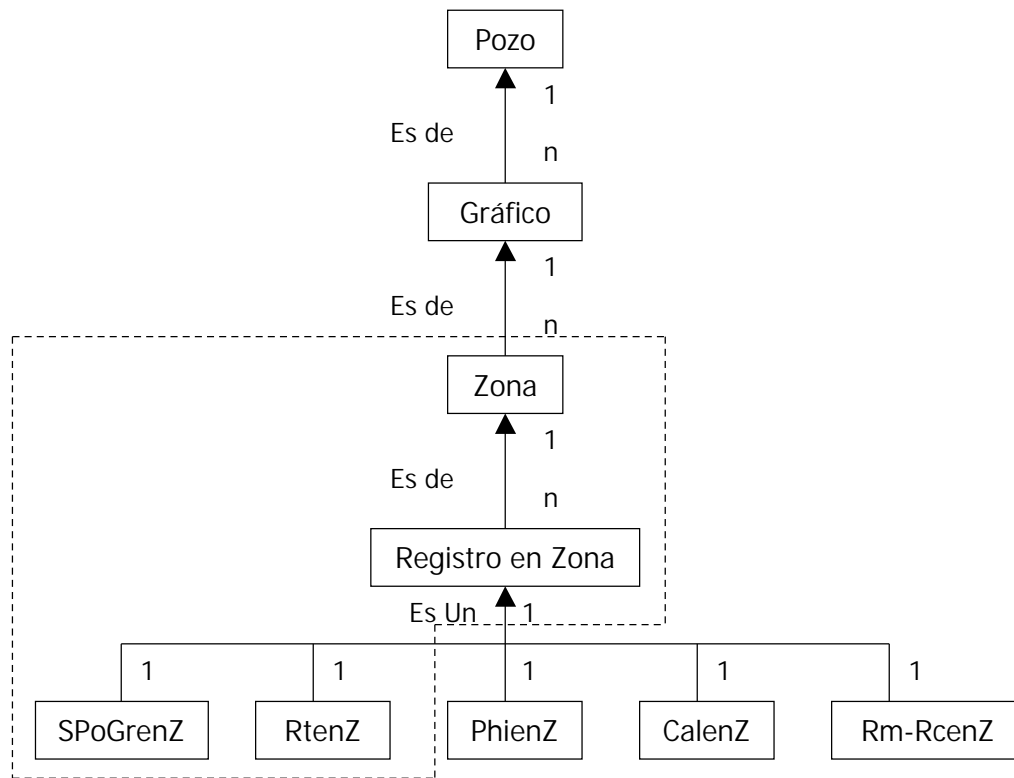


Conceptos que intervienen en el proceso de Analizar CP de la zona

Establecer si CP es No Analizada
<p>Propósito: Dado un IdZona se verificará que ni el valor de SPoGR ni el de Rt sean Ausente. Si alguno lo es se devolverá que la CP es No Analizada, sino, Pendiente.</p> <p>Entradas Requeridas: IdZona</p> <p>Salidas Producidas: CP de Zona</p>

### Establecer si CP es No Analizada

Jerarquía de Actividades del proceso de Establecer si CP es No Analizada

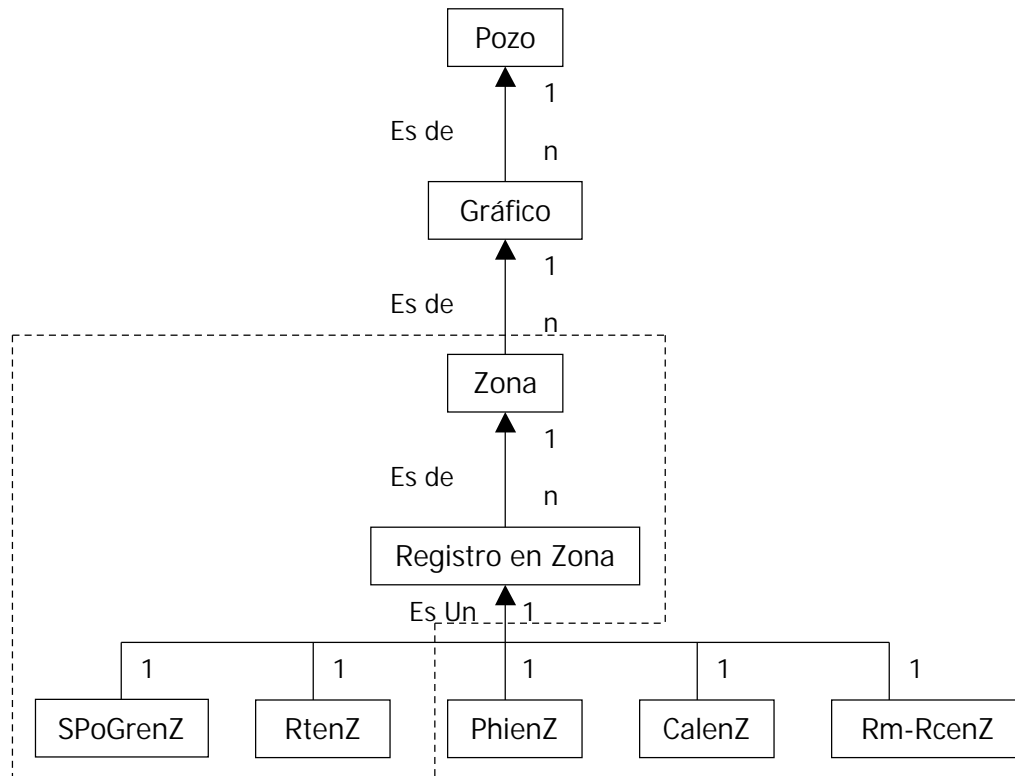


Conceptos que intervienen en el proceso de Analizar si CP es No Analizada

Establecer si CP es No Permeable
<p>Propósito: Dado un IdZona se verificará que el valor de SPoGR sea Negativo y el de Rt sea Alto o Intermedio. Si esto es cierto, se devolverá CP como Pendiente, caso contrario, como No Permeable.</p>
<p>Entradas Requeridas: IdZona</p>
<p>Salidas Producidas: CP de Zona</p>

### Establecer si CP es No Permeable

Jerarquía de Actividades del proceso de Establecer si CP es No Permeable

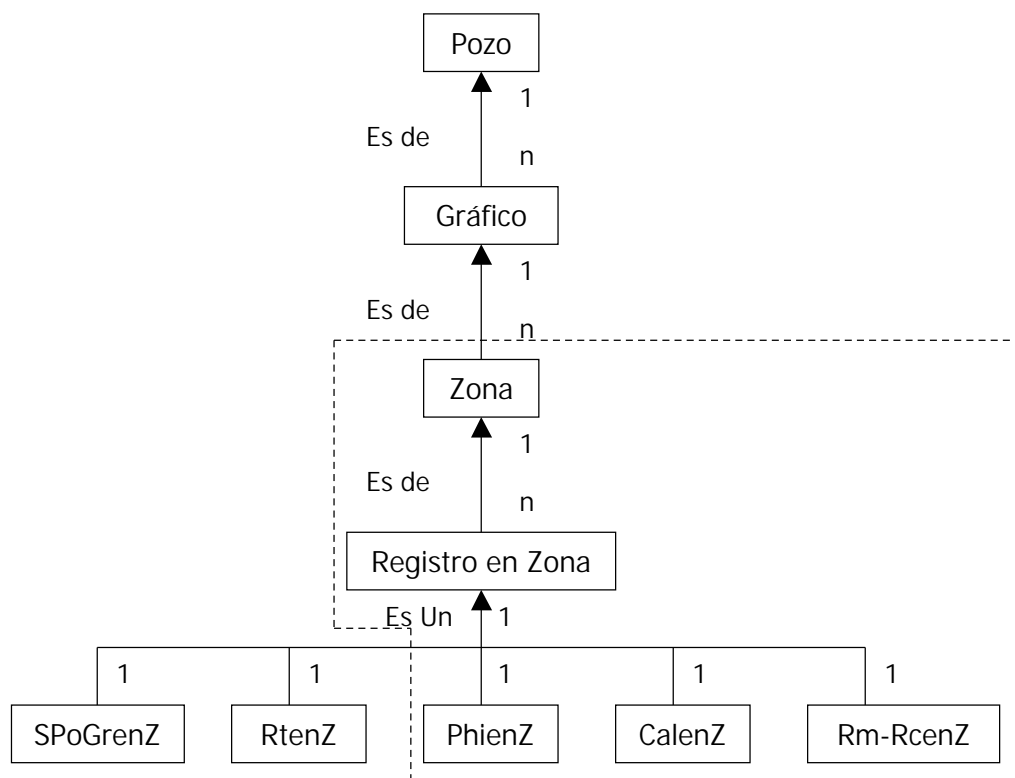


Conceptos que intervienen en el proceso de Analizar si CP es No Permeable

Establecer si CP es Permeable o No Permeable por Phi
<p>Propósito: Dado un IdZona se establecerá si CP es No Permeable por Phi y en caso que lo sea, finalizará la ejecución devolviendo ese valor de CP de Zona. Caso contrario, se establecerá si CP es Permeable por Phi devolviendo la salida obtenida en su invocación.</p>
<p>Entradas Requeridas: IdZona</p>
<p>Salidas Producidas: CP de Zona</p>

Establecer si CP es Permeable o  
No Permeable Por Phi

Jerarquía de Actividades del proceso de Establecer si CP es Permeable o  
No Permeable Por Phi

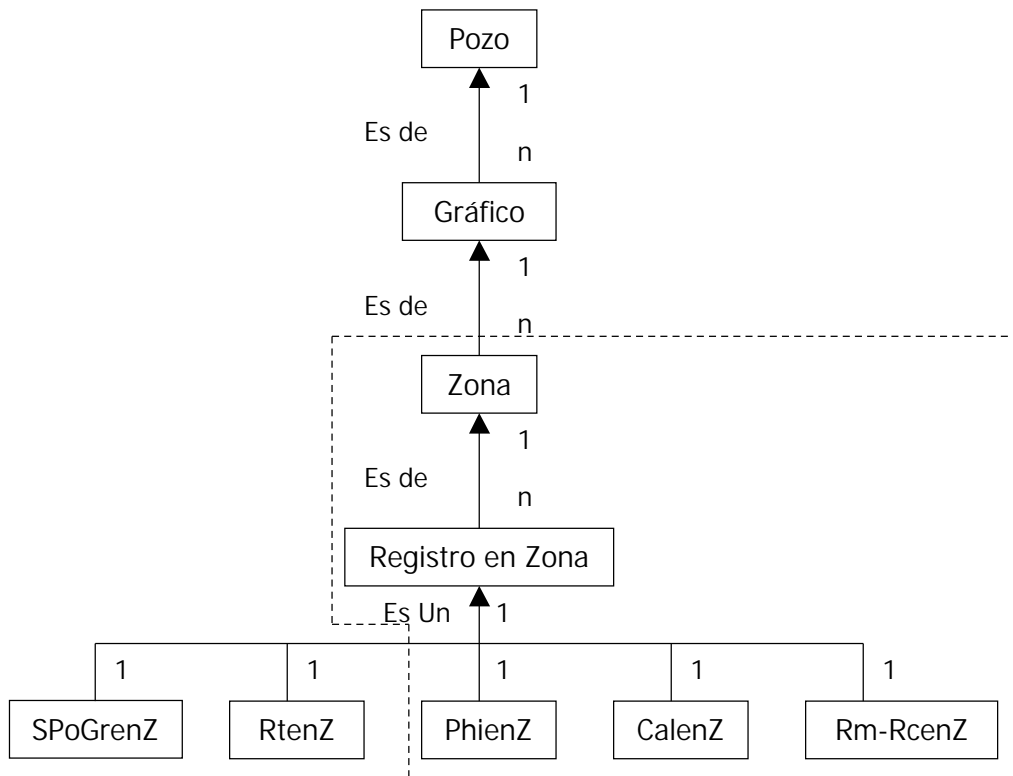


Conceptos que intervienen en el proceso de Establecer si CP es Permeable o No Permeable Por Phi

Establecer si CP es Probablemente Permeable o Indefinida
<p>Propósito: Dado un IdZona Si el valor de Phi es Ausente, la CP será Indefinida, salvo que el valor de Cal sea Con Revoque o Rm-Rc sea Zona Invasada, donde será Probablemente Permeable.</p>
<p>Entradas Requeridas: IdZona</p>
<p>Salidas Producidas: CP de Zona</p>

Establecer si CP es Probablemente Permeable o Indefinida

Jerarquía de Actividades del proceso de Establecer si CP es Probablemente Permeable o Indefinida



Conceptos que intervienen en el proceso de Establecer si CP es Probablemente Permeable o Indefinida

### 3.6.2 – Modelo Estático

El modelo estático está formado por los siguientes componentes que han sido documentados y actualizados durante el proceso de análisis de los conocimientos fácticos:

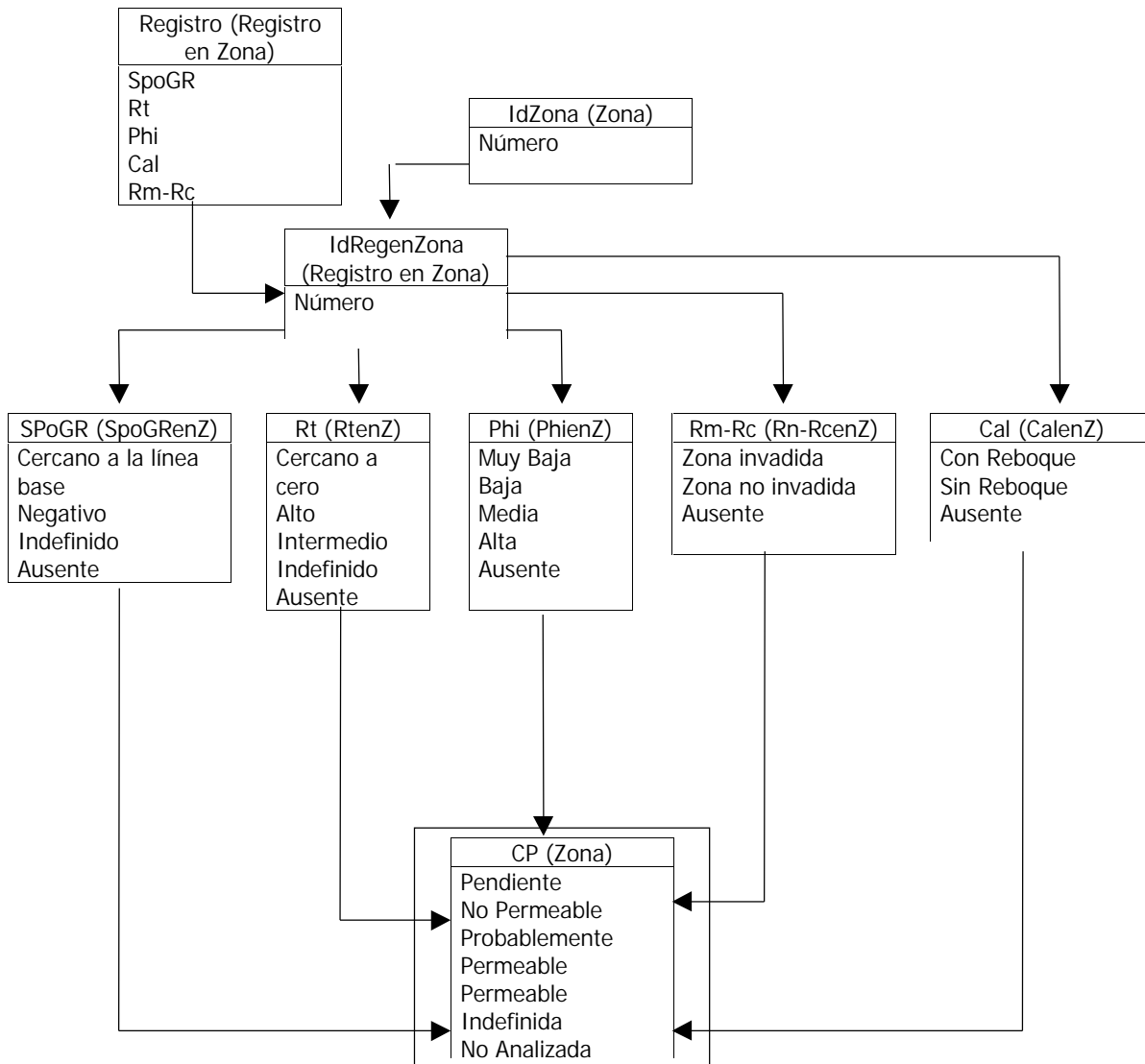
- ◆ 2.1 Glosario de Términos
- ◆ 2.2 Diccionario de conceptos
- ◆ 2.3 Tabla de Concepto Atributo Valor
- ◆ 3 Paso 2 – Identificación de la relación entre conceptos.

### 3.6.3 – Mapa de Conocimientos

A través del mapa de conocimientos se representa el proceso de inferir valores enlazando los atributos que permiten hacerlo.

En nuestro caso, vamos a representarlo a partir del IdZona obtenido de la selección sucesiva del Pozo, Gráfico y finalmente, Zona.

Se recuadra la condición de permeabilidad (CP) de la zona (meta a alcanzar).



Mapa de Conocimientos para Establecer CP



## 4 Formalización

En la fase de Conceptualización se desarrollaron la tabla de concepto-atributo-valor y las seudorreglas. En la etapa de Conceptualización prepararemos esos datos para aplicarlos a herramientas computacionales.

Los formalismos a utilizar serán:

- Reglas de producción
- Marcos para la tabla Concepto-atributo-valor.
- Procedimientos para los procesos a realizar

### 4.1 Reglas de producción

Las seudorreglas ya definidas en el capítulo de Conceptualización serán utilizadas para transformarlas en reglas de inferencia. Ya que Kappa-PC no permite el uso del else, desdoblaremos aquellas seudoreglas que incluyen el 'Sino' a fin de contemplar los casos complementarios en una nueva regla. También se hace uso de la sintaxis de Kappa-PC, donde por ejemplo la igualdad en comparaciones se escribe  $\# =$ .

- Se verificará que ni el valor de SPoGR ni el de Rt sean Ausente. Si alguno lo es se devolverá que la CP es No Analizada, sino, Pendiente.

#### Regla 1 – CPNoAnalizada

```
If (SpoGrenZ:SpoGR  $\# =$  Ausente) Or  
  (RtenZ:Rt  $\# =$  Ausente);  
Then SetValue (Zona: CP, "No Analizada");
```

#### Regla 2 – CPAnalizable (Agregada, Complementaria a Regla1)

```
If Not (SpoGrenZ:SpoGR  $\# =$  Ausente) And  
  Not (RtenZ:Rt  $\# =$  Ausente);  
Then SetValue (Zona: CP, Pendiente);
```

- Se verificará que el valor de SPoGR sea Negativo y el de Rt sea Alto o Intermedio. Si esto es cierto, seguirá CP como Pendiente, caso contrario, como No Permeable.

#### Regla 3 – CPNoPermeable

```
If (Zona:CP  $\# =$  Pendiente) And  
  Not (SpoGrenZ:SPoGR  $\# =$  Negativo) And  
  Not ((RtenZ:Rt  $\# =$  Alto) Or  
    (RtenZ:Rt = Intermedio));  
Then SetValue(Zona:CP, "No Permeable");
```

- Si el valor de Phi es Baja o Muy Baja, la CP será No Permeable sin importar los demás valores.

#### Regla 4 – CPNoPermeablePorPhi

```
If ((Zona:CP  $\# =$  Pendiente) And  
  ((PhienZ:Phi  $\# =$  Baja) Or  
  (PhienZ:Phi  $\# =$  "Muy Baja")));
```

Then SetValue(Zona:CP, "No Permeable");

- Si el valor de Phi es Media o Alta, la CP será permeable, salvo que el valor de Cal sea Sin Revoque o Rm-Rc sea Zona No Invasada, donde será Probablemente Permeable.

#### Regla 5 – CPermeable

```
If ((Zona:CP # = Pendiente) And
    ((PhienZ:Phi # = Media) Or
     (PhienZ:Phi # = Alta)) And
    Not (CalenZ:Cal # = Sin Revoque) And
    Not (Rm_RcenZ:Rm_Rc # = "Zona No Invasada"));
Then SetValue(Zona:CP, Permeable);
```

#### Regla 6 – CProbablPermeablePorPhi (Agregada, Complementaria a Regla6)

```
If (Zona:CP # = Pendiente) And
    Not ((
        ((PhienZ:Phi # = Media) Or
         (PhienZ:Phi # = Alta)) And
        Not (CalenZ:Cal # = "Sin Revoque") And
        Not (Rm_RcenZ:Rm_Rc # = "Zona No Invasada")));
Then SetValue(Zona:CP, "Probablemente Permeable");
```

- Si el valor de Phi es Ausente, la CP será Indefinida, salvo que el valor de Cal sea Con Revoque o Rm-Rc sea Zona Invasada, donde será Probablemente Permeable.

#### Regla7 – CPIndefinida

```
If (Zona:CP # = Pendiente) And
    (PhienZ:Phi # = Ausente) And
    ( (CalenZ:Cal # = "Con Revoque") Or
     (Rm_RcenZ: Rm_Rc # = "Zona Invasada"));
Then SetValue(Zona:CP, Indefinida);
```

#### Regla 8 – CProbablPermeableSinPhi (Agregada, Complementaria a Regla7)

```
If Not ((Zona:CP # = Pendiente) And
    (PhienZ:Phi # = Ausente) And
    ( (CalenZ:Cal # = "Con Revoque") Or
     (Rm_RcenZ: Rm_Rc # = "Zona Invasada")));
Then SetValue(Zona:CP, "Probablemente Permeable");
```

#### 4.2 Marcos para la tabla Concepto-atributo-valor.

Cada concepto de la tabla Concepto-Atributo-Valor será un marco clase.

Cada Atributo de la tabla Concepto-Atributo-Valor será una ranura del correspondiente marco.

Marco clase Pozo

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesito	Valor Omisión	Si Modifico	Si Borro
(*) Nombre	Texto	1/1	No	--	--	--	--	--	--
Grafico	Marco	1/n	Sí	<sup>^</sup> MC Grafico	--	--	--	--	--

Marco clase Grafico

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesito	Valor Omisión	Si Modifico	Si Borro
(*) IdGraf	Número Entero	1/1	No	--	$\geq 0$	--	--	--	--
(*) ProfInicial	Número Punto Flotante	1/1	No	--	$\geq 0$ $< \text{ProfFinal}$	--	--	--	--
(*) ProfFinal	Número	1/1	No	--	$\geq 0$ $> \text{ProfInicial}$	--	--	--	--
(*) Unidades	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros</li> <li>• Pies</li> </ul>	--	--	--	--
Zona	Marco	1/n	Sí	<sup>^</sup> MC Zona					

Marco clase Zona

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesit o	Valor Omisión	Si Modific o	Si Borro
(*) IdZona	Número Entero	1/1	No	--	$\geq 0$	--	--	--	--
(*) ProfInicial	Número Punto Flotante	1/1	No	--	$\geq 0$ $< \text{ProfFinal}$	--	--	--	--
(*) ProfFinal	Número	1/1	No	--	$\geq 0$ $> \text{ProfInicial}$	--	--	--	--
(*) CP	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendiente</li> <li>• No Permeable</li> <li>• Probablemente Permeable</li> <li>• Permeable</li> <li>• Indefinida</li> <li>• No Analizada</li> </ul>	--	--	--	--
RegEnZona	Marco	1/n	Sí	$\wedge \text{MC RegEnZona}$	--	--	--	--	--

Marco clase RegEnZona

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesit o	Valor Omisión	Si Modific o	Si Borro
(*) IdRegEnZona	Número Entero	1/1	No	--	$\geq 0$	--	--	--	--
(*) ProbValorCorrecto	Número Punto Flotante	1/1	No	--	$\geq 0$ $\leq 1$	--	--	--	--
SpoGRENZ	Marco	1/1	No	$\wedge$ MC SpoGRENZ	--	--	--	--	--
RtEnZ	Marco	1/1	No	$\wedge$ MC RtEnZ	--	--	--	--	--
PhiEnZ	Marco	1/1	No	$\wedge$ MC PhiEnZ	--	--	--	--	--
Rm-RcEnZ	Marco	1/1	No	$\wedge$ MC Rm-RcEnZ	--	--	--	--	--
CalEnZ	Marco	1/1	No	$\wedge$ MC CalEnZ	--	--	--	--	--

Marco clase SPoGREnZ

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesit o	Valor Omisión	Si Modific o	Si Borro
(*) SPoGR	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercano a la línea base</li> <li>• Negativo</li> <li>• Indefinido</li> <li>• Ausente</li> </ul>	--	--	--	--
(*) Tipo	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SP</li> <li>• GR</li> </ul>	--	--	--	--

Marco clase RtenZ

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesit o	Valor Omisión	Si Modific o	Si Borro
(*) Rt	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cercano a cero</li> <li>• Alto</li> <li>• Intermedio</li> <li>• Indefinido</li> <li>• Ausente</li> </ul>	--	--	--	--
(*) Tipo	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad Total</li> <li>• Resistividad Lejana</li> </ul>	--	--	--	--

Marco clase Rm-RcenZ

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesit o	Valor Omisión	Si Modific o	Si Borro
(*) Rm-Rc	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona invadida</li> <li>• Zona no invadida</li> <li>• Ausente</li> </ul>	--	--	--	--

Marco clase PhienZ

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesit o	Valor Omisión	Si Modific o	Si Borro
(*) Phi	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy Baja (Phi &lt;= 5%)</li> <li>• Baja(5% &lt;= Phi &lt;= 8%)</li> <li>• Media(8% &lt;= Phi &lt;= 16%)</li> <li>• Alta(Phi &gt;= 16%)</li> <li>• Ausente</li> </ul>	--	--	--	--
(*) Tipo	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sónico</li> <li>• Neutrón</li> </ul>	--	--	--	--

Marco clase CalenZ

Ranura	Tipo Ranura	Min/Max	Multiv.	Propiedad General	Valores Permitidos	Si Necesit o	Valor Omisión	Si Modific o	Si Borro
(*) Cal	Texto	1/1	No	--	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con Reboque</li> <li>• Sin Reboque</li> <li>• Ausente</li> </ul>	--	--	--	--



### 4.3 Procedimientos para los procesos a realizar

En este apartado, se procederá a formalizar los métodos enunciados en el modelo dinámico de la etapa de conceptualización.

#### 4.3.1 Establecer CP de la Zona

Es el objetivo del sistema experto.

Dadas las características del Sistema que va a interfacear con un sistema principal, lo ideal será obtener los datos de un archivo de intercambio. En el mismo archivo se guardará el resultado. Veamos como se formalizan los distintos módulos enunciados en el modelo dinámico de la etapa de conceptualización.

Sucesivamente deberá Seleccionar la zona para luego Analizar CP de la Zona y finalmente dejar el valor de CP en un archivo de salida SALIDA.CPK.

##### 4.3.1.1 Seleccionar la zona

Kappa-PC permite utilizar el comando InterpretFile, por lo cual al implementar la función correspondiente a este módulo podremos directamente leer código Kappa del archivo de entrada. Por ejemplo, el archivo puede incluir una línea como las que siguen:

```
MakeInstance (Zona1, Zona);  
Zona1:IdZona = 1;
```

El Nombre del archivo será ENTRADA.CPK (Condición de Permeabilidad en Kappa).  
El archivo incluirá la asignación de valores de todas las ranuras de todos los marcos que intervienen en el proceso.

##### 4.3.1.2 Analizar CP de la Zona

Para este tipo de Sistemas en el cual hay que categorizar una determinada ranura de acuerdo a los valores de las entradas al proceso, se utiliza la búsqueda hacia delante (ForwardChain) con el motor de inferencias que posee Kappa-PC. Ello nos permitirá resolver nuestro sistema. Dada esta circunstancia, vamos a utilizar el modelo dinámico definido para asignar la prioridad de ejecución de las reglas de inferencia definidas en el punto 2.

###### 4.3.1.2.1 Establecer si CP es No Analizada.

Regla 1 - CPNoAnalizada: Prioridad 8 (máxima prioridad).

Regla 2 - CPAnalizable: Prioridad 7

###### 4.3.1.2.2 Establecer si CP es No Permeable

Regla 3 - CPNoPermeable: Prioridad 6

###### 4.3.1.2.3 Establecer si CP es Permeable o No Permeable por Phi

Regla 4 - CPNoPermeablePorPhi: Prioridad 5

Regla 5 – CPPermeable: Prioridad 4

Regla 6- CPProbPermeablePorPhi: Prioridad 3

#### 4.3.1.2.4 Establecer si CP es Probablemente Permeable o Indefinida

Regla 7 - CPIndefinida: Prioridad 2

Regla 8 – CPProbPermeableSinPhi: Prioridad 1

### 4.4 Aclaraciones Sobre la Formalización

Se ha realizado la formalización a partir de la conceptualización del sistema experto, y para hacerlo se ha iniciado el uso de la herramienta con la que se implementará. Esto trae aparejado que algunos presupuestos (en general basados en la experiencia del desarrollo de software tradicional) aplicados en la conceptualización que hayan sido analizados en forma excesiva.

Con ello, los módulos de la conceptualización, en su mayoría sólo sirvieron para asignar las prioridades de recorrida de las reglas por parte del motor de inferencias.

Finalmente, es probable que la implementación introduzca cambios sobre lo definido en esta etapa de formalización para hacer al sistema funcional simplificando lo innecesario.

Respecto de los marcos, cabe aclarar que no se han introducido Procedimientos en “Si Necesito”, “Si Modifico” y en “Si Borro”, dado que el sistema no es interactivo. Igualmente, se prevé dotarlo de cierta interactividad a los fines evaluativos.

## 5 Implementación

Se realizaron las siguientes adecuaciones a fin de llevar a la realidad el proyecto:

- Se simplificó la estructura de datos, dejando exclusivamente aquellos que aportaban valor a la resolución del problema, dado que aquellos datos informativos son de incumbencia de la aplicación que invoca al presente módulo experto.
- Para claridad, se presenta una ventana interactiva donde se pueden elegir todos los valores posibles de los datos que puedan variarse como así también el valor de la Condición de permeabilidad buscada.
- Sin embargo, se escribió una función (CargarDatos), que permite obtener los datos de un archivo externo que puede grabarlo la otra aplicación. El resto de los valores que no se muestran (nombre del pozo, idGraf, idZona, etc. Aparecen en ese archivo). Esta función está disponible y se incluye un archivo de ejemplo IntrCbio.FZE cuya extensión proviene de Fichero de Zona a Evaluar. Este archivo simplemente se evalúa en la función CargarDatos, ya que está escrito en código KAPPA para los objetos del sistema.
- La función Resolver permite precisamente disparar el proceso de búsqueda hacia delante. Antes de lanzar la búsqueda, se setea el modo como DEPTHFIRST (follow all paths of reasoning exhaustively, one at a time) e IGNORE (Skips an agenda item if there is an more recent version of the same item on the agenda). Luego resetea la imagen de pantalla para que se visualice la salida del proceso como el valor que adopta la condición de permeabilidad (CP). Asimismo, regenerará el archivo de intercambio IntrCbio.FZE en el cual, se pueden salvar los datos seleccionados y el resultado obtenido.
- Para adecuar correctamente la búsqueda, la misma se realizó en 2 pasos. El primero que determina si se puede analizar la CP o no (Reglas 1 y 2). Si no se puede analizar, se subclasea la zona a "No Analizada". Si se puede, además de definir CP=Pendiente, hacemos que la zona se transforme a la subclase "Pendiente". A partir de ahí se continúa con el resto de las reglas, donde según el caso se transforma la zona a la subclase correspondiente. La idea fue tomada del ejemplo que viene con la instalación de KAPPA del Auto dónde para hacer la clasificación se usa también ForwardChain y parece ser un adecuado método de clasificación que no se conocía al momento de la formalización. Para cambiar de la clase Zona a la subclase correspondiente se desarrolló un método de la clase llamado MoverZona, que se invoca desde el evento "AfterChange" del Slot CP de la clase Zona.
- A cada regla se le impuso una prioridad. En el proceso de formalización, las reglas se establecieron en forma de prioridad creciente. Este proceso de control es necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

Por último, a modo de ejemplos, se plantean distintos casos a probar con sus resultados correspondientes (\* significa cualquier valor):

SPOGR	Rt	Phi	Rm_Rc	Cal	CP
Ausente	*	*	*	*	No Analizada
*	Ausente	*	*	*	No Analizada
Negativo	Alto / Intermedio	Ausente	Con revoque	*	Indefinida
Negativo	Alto / Intermedio	Ausente	Zona Invasada	*	Indefinida
Negativo	Alto / Intermedio	Alta / Media	Ausente	Ausente	Permeable
Indefinido	Indefinida	*	*	*	No Permeable
*	Cercano a Cero	*	*	*	No Permeable
Negativo	Alto / Intermedio	Ausente	Ausente	Ausente	Probablemente Permeable

Las capturas de pantalla siguiente son las correspondientes al Primer y Cuarto casos.

A continuación se agrega el código fuente del proyecto.

```

/*****
**          ALL FUNCTIONS ARE SAVED BELOW          **
*****/

/*****
**** FUNCTION: Resolver

```

```

*****/
MakeFunction( Resolver, [],
{
SetForwardChainMode( BREADTHFIRST, IGNORE );
ForwardChain( [ NOASSERT ] );
ResetImage(CPstata);
/* Salvamos todos los datos en el archivo de intercambio */
OpenWriteFile(IntrCbio.FZE);
WriteLine("MakeInstance (Zonal, Zona);");
Write("Zonal:Pozo = ",SubString("\",2,2),GetValue(Zonal:Pozo),SubString("\;",2,3));
WriteLine(" ");
Write("Zonal:IdGraf = ", GetValue(Zonal:IdGraf), " ");
WriteLine(" ");
Write("Zonal:IdZona = ", GetValue(Zonal:IdZona), " ");
WriteLine(" ");
Write("Zonal:SPoGR =
",SubString("\",2,2),GetValue(Zonal:SPoGR),SubString("\;",2,3));
WriteLine(" ");
Write("Zonal:Rt = ",SubString("\",2,2),GetValue(Zonal:Rt),SubString("\;",2,3));
WriteLine(" ");
Write("Zonal:Rm_Rc =
",SubString("\",2,2),GetValue(Zonal:Rm_Rc),SubString("\;",2,3));
WriteLine(" ");
Write("Zonal:Phi = ",SubString("\",2,2),GetValue(Zonal:Phi),SubString("\;",2,3));
WriteLine(" ");
Write("Zonal:Cal = ",SubString("\",2,2),GetValue(Zonal:Cal),SubString("\;",2,3));
WriteLine(" ");
Write("Zonal:CP = ", SubString("\",2,2), GetValue(Zonal:CP),SubString("\;",2,3));
WriteLine(" ");
CloseWriteFile();
} );

/*****
**** FUNCTION: CargarDatos
*****/
MakeFunction( CargarDatos, [],
{
If Instance?( Zonal )
Then DeleteInstance( Zonal );
If FileExists?("IntrCbio.FZE")
Then InterpretFile( "IntrCbio.FZE", FALSE, YES, FALSE );
ResetValue( CPstata, Value );
ResetImage( CPstata );
ResetImage( rgbCaliper );
ResetImage( rgbSPoGR );
ResetImage( rgbRt );
ResetImage( rgbRm_Rc );
ResetImage( rgbPhi );
} );

/****
** ALL CLASSES ARE SAVED BELOW **
*****/

/****
**** CLASS: Menu
*****/

/****
**** CLASS: Image
*****/

/****
**** CLASS: SlotView
*****/

```

```

/ *****
**** CLASS: OutputView
***** /

/ *****
**** CLASS: StateBox
***** /

/ *****
**** CLASS: Meter
***** /

/ *****
**** CLASS: InputOutputView
***** /

/ *****
**** CLASS: ListBox
***** /

/ *****
**** CLASS: SingleListBox
***** /

/ *****
**** CLASS: ComboBox
***** /

/ *****
**** CLASS: MultipleListBox
***** /

/ *****
**** CLASS: Edit
***** /

/ *****
**** CLASS: Slider
***** /

/ *****
**** CLASS: CheckBox
***** /

/ *****
**** CLASS: CheckBoxGroup
***** /

/ *****
**** CLASS: RadioButtonGroup
***** /

/ *****
**** CLASS: Button
***** /

/ *****
**** CLASS: Text
***** /

/ *****
**** CLASS: Transcript
***** /

/ *****
**** CLASS: LinePlot
***** /

```

```

/***** CLASS: Bitmap *****/

/***** CLASS: Drawing *****/

/***** CLASS: KWindow *****/

/***** CLASS: KSession *****/

/***** CLASS: Zona *****/
MakeClass( Zona, Root );

/***** METHOD: MoverZona *****/
MakeMethod( Zona, MoverZona, [],
{
    If ( Self:CP #="No Analizada" )
        Then MoveInstance( Self, NoAnalizada )
    Else If ( Self:CP #="No Permeable" )
        Then MoveInstance( Self, NoPermeable )
    Else If ( Self:CP #="Pendiente" )
        Then MoveInstance( Self, Pendiente )
    Else If ( Self:CP #="Permeable" )
        Then MoveInstance( Self, Permeable )
    Else If ( Self:CP #="Indefinida" )
        Then MoveInstance( Self, Indefinida )
    Else If ( Self:CP #="Probablemente Permeable" )
        Then MoveInstance( Self,
            ProbablPermeable );
} );
MakeSlot( Zona:Pozo );
SetSlotOption( Zona:Pozo, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:IdGraf );
SetSlotOption( Zona:IdGraf, VALUE_TYPE, NUMBER );
SetSlotOption( Zona:IdGraf, MINIMUM_VALUE, 0 );
SetSlotOption( Zona:IdGraf, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:IdZona );
SetSlotOption( Zona:IdZona, VALUE_TYPE, NUMBER );
SetSlotOption( Zona:IdZona, MINIMUM_VALUE, 0 );
SetSlotOption( Zona:IdZona, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:SPoGR );
SetSlotOption( Zona:SPoGR, ALLOWABLE_VALUES, "Cercano a la línea base", Negativo,
Indefinido, Ausente );
SetSlotOption( Zona:SPoGR, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:Rt );
SetSlotOption( Zona:Rt, ALLOWABLE_VALUES, "Cercano a cero", Alto, Intermedio, Indefinido,
Ausente );
SetSlotOption( Zona:Rt, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:Rm_Rc );
SetSlotOption( Zona:Rm_Rc, ALLOWABLE_VALUES, "Zona invadida", "Zona no invadida", Ausente
);
SetSlotOption( Zona:Rm_Rc, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:Cal );
SetSlotOption( Zona:Cal, ALLOWABLE_VALUES, "Con revoque", "Sin revoque", Ausente );
Zona:Cal = FormatValue ( "\"Con revoque\"" );
SetSlotOption( Zona:Cal, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:Phi );
SetSlotOption( Zona:Phi, ALLOWABLE_VALUES, "Muy Baja", Baja, Media, Alta, Ausente );
SetSlotOption( Zona:Phi, IF_NEEDED, CargarDatos );
MakeSlot( Zona:CP );

```

```

SetSlotOption( Zona:CP, ALLOWABLE_VALUES, NULL, Pendiente, "No Permeable", "Probablemente
Permeable", Permeable, Indefinida, "No Analizada" );
SetSlotOption( Zona:CP, AFTER_CHANGE, MoverZona );

/***** CLASS: NoAnalizada *****/
MakeClass( NoAnalizada, Zona );

/***** CLASS: Pendiente *****/
MakeClass( Pendiente, Zona );

/***** CLASS: Permeable *****/
MakeClass( Permeable, Zona );

/***** CLASS: ProbablPermeable *****/
MakeClass( ProbablPermeable, Zona );

/***** CLASS: Indefinida *****/
MakeClass( Indefinida, Zona );

/***** CLASS: NoPermeable *****/
MakeClass( NoPermeable, Zona );

/***** ALL INSTANCES ARE SAVED BELOW *****/

/***** INSTANCE: SESSION *****/
SESSION:X = 77;
SESSION:Y = 77;
SESSION:Width = 598;
SESSION:Height = 363;
SESSION:Visible = FALSE;
SESSION:State = HIDDEN;
ResetWindow ( SESSION );

/***** INSTANCE: Zonal *****/
MakeInstance( Zonal, NoAnalizada );
Zonal:Pozo = "Mi Pozo w";
Zonal:IdGraf = 1;
Zonal:IdZona = 1;
Zonal:SPoGR = Ausente;
Zonal:Rt = Ausente;
Zonal:Rm_Rc = Ausente;
Zonal:Phi = Ausente;
Zonal:Cal = Ausente;
Zonal:CP = "No Analizada";

/***** INSTANCE: CPstata *****/

```



```

MakeInstance( CPstata, StateBox );
CPstata:SessionNumber = 0;
CPstata:Title = "Cond. Permeabilidad";
CPstata:Visible = TRUE;
CPstata:X = 406;
CPstata:Y = 93;
SetValue( CPstata:ForegroundColor, 0, 0, 255 );
SetValue( CPstata:BackgroundColor, 255, 255, 255 );
SetValue( CPstata:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( CPstata:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
CPstata:Width = 170;
CPstata:Height = 210;
CPstata:Owner = Zonal;
CPstata:OwnerSlot = CP;
CPstata:Font = "MS Sans Serif";
CPstata:TextSize = 10;
CPstata:Bold = TRUE;
CPstata:Underline = FALSE;
CPstata:Italic = FALSE;
CPstata:StrikeOut = FALSE;
CPstata:ShowBorder = TRUE;
CPstata:Transparent = TRUE;
CPstata:Value = "No Analizada";
ResetImage ( CPstata );

/*****
**** INSTANCE: rbgCaliper
*****/
MakeInstance( rbgCaliper, RadioButtonGroup );
rbgCaliper:SessionNumber = 0;
rbgCaliper:Title = "Caliper (Cal)";
rbgCaliper:Visible = TRUE;
rbgCaliper:X = 275;
rbgCaliper:Y = 178;
SetValue( rbgCaliper:ForegroundColor, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgCaliper:BackgroundColor, 255, 255, 255 );
SetValue( rbgCaliper:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgCaliper:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
rbgCaliper:Width = 123;
rbgCaliper:Height = 125;
rbgCaliper:Owner = Zonal;
rbgCaliper:OwnerSlot = Cal;
rbgCaliper:Value = Ausente;
rbgCaliper:TabStop = 0;
rbgCaliper:Font = "MS Sans Serif";
rbgCaliper:TextSize = 8;
rbgCaliper:Bold = TRUE;
rbgCaliper:Underline = TRUE;
rbgCaliper:Italic = FALSE;
rbgCaliper:StrikeOut = FALSE;
rbgCaliper:Transparent = TRUE;
rbgCaliper:Font2 = "MS Sans Serif";
rbgCaliper:TextSize2 = 8;
rbgCaliper:Bold2 = TRUE;
rbgCaliper:Underline2 = FALSE;
rbgCaliper:Italic2 = FALSE;
rbgCaliper:StrikeOut2 = FALSE;
ResetImage ( rbgCaliper );

/*****
**** INSTANCE: rgbSPoGR
*****/
MakeInstance( rgbSPoGR, RadioButtonGroup );
rgbSPoGR:SessionNumber = 0;
rgbSPoGR:Title = "Potencial Espontáneo o Rayos Gamma (SP o GR)";
rgbSPoGR:Visible = TRUE;
rgbSPoGR:X = 15;
rgbSPoGR:Y = 37;

```

```

SetValue( rgbSPoGR:ForegroundColor, 0, 0, 0 );
SetValue( rgbSPoGR:BackgroundColor, 255, 255, 255 );
SetValue( rgbSPoGR:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( rgbSPoGR:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
rgbSPoGR:Width = 206;
rgbSPoGR:Height = 130;
rgbSPoGR:Owner = Zonal;
rgbSPoGR:OwnerSlot = SPoGR;
rgbSPoGR:Value = Ausente;
rgbSPoGR:TabStop = 1;
rgbSPoGR:Font = "MS Sans Serif";
rgbSPoGR:TextSize = 8;
rgbSPoGR:Bold = TRUE;
rgbSPoGR:Underline = TRUE;
rgbSPoGR:Italic = FALSE;
rgbSPoGR:StrikeOut = FALSE;
rgbSPoGR:Transparent = TRUE;
rgbSPoGR:Font2 = "MS Sans Serif";
rgbSPoGR:TextSize2 = 8;
rgbSPoGR:Bold2 = TRUE;
rgbSPoGR:Underline2 = FALSE;
rgbSPoGR:Italic2 = FALSE;
rgbSPoGR:StrikeOut2 = FALSE;
ResetImage ( rgbSPoGR );

/*****
**** INSTANCE: rbgRt
*****/
MakeInstance( rbgRt, RadioButtonGroup );
rbgRt:SessionNumber = 0;
rbgRt:Title = "Resistividad Total (Rt)";
rbgRt:Visible = TRUE;
rbgRt:X = 232;
rbgRt:Y = 36;
SetValue( rbgRt:ForegroundColor, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgRt:BackgroundColor, 255, 255, 255 );
SetValue( rbgRt:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgRt:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
rbgRt:Width = 165;
rbgRt:Height = 131;
rbgRt:Owner = Zonal;
rbgRt:OwnerSlot = Rt;
rbgRt:Value = Ausente;
rbgRt:TabStop = 2;
rbgRt:Font = "MS Sans Serif";
rbgRt:TextSize = 8;
rbgRt:Bold = TRUE;
rbgRt:Underline = TRUE;
rbgRt:Italic = FALSE;
rbgRt:StrikeOut = FALSE;
rbgRt:Transparent = TRUE;
rbgRt:Font2 = "MS Sans Serif";
rbgRt:TextSize2 = 8;
rbgRt:Bold2 = TRUE;
rbgRt:Underline2 = FALSE;
rbgRt:Italic2 = FALSE;
rbgRt:StrikeOut2 = FALSE;
ResetImage ( rbgRt );

/*****
**** INSTANCE: rbgRm_Rc
*****/
MakeInstance( rbgRm_Rc, RadioButtonGroup );
rbgRm_Rc:SessionNumber = 0;
rbgRm_Rc:Title = "Diferencia entre Resistividad media y Cercana (Rm_Rc)";
rbgRm_Rc:Visible = TRUE;
rbgRm_Rc:X = 145;
rbgRm_Rc:Y = 178;

```

```

SetValue( rbgRm_Rc:ForegroundColor, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgRm_Rc:BackgroundColor, 255, 255, 255 );
SetValue( rbgRm_Rc:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgRm_Rc:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
rbgRm_Rc:Width = 120;
rbgRm_Rc:Height = 124;
rbgRm_Rc:Owner = Zonal;
rbgRm_Rc:OwnerSlot = Rm_Rc;
rbgRm_Rc:Value = Ausente;
rbgRm_Rc:TabStop = 0;
rbgRm_Rc:Font = "MS Sans Serif";
rbgRm_Rc:TextSize = 8;
rbgRm_Rc:Bold = TRUE;
rbgRm_Rc:Underline = TRUE;
rbgRm_Rc:Italic = FALSE;
rbgRm_Rc:StrikeOut = FALSE;
rbgRm_Rc:Transparent = TRUE;
rbgRm_Rc:Font2 = "MS Sans Serif";
rbgRm_Rc:TextSize2 = 8;
rbgRm_Rc:Bold2 = TRUE;
rbgRm_Rc:Underline2 = FALSE;
rbgRm_Rc:Italic2 = FALSE;
rbgRm_Rc:StrikeOut2 = FALSE;
ResetImage ( rbgRm_Rc );

```

```

/*****
****  INSTANCE: rbgPhi
*****/

```

```

MakeInstance( rbgPhi, RadioButtonGroup );
rbgPhi:SessionNumber = 0;
rbgPhi:Title = "Porosidad (Phi)";
rbgPhi:Visible = TRUE;
rbgPhi:X = 15;
rbgPhi:Y = 178;
SetValue( rbgPhi:ForegroundColor, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgPhi:BackgroundColor, 255, 255, 255 );
SetValue( rbgPhi:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( rbgPhi:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
rbgPhi:Width = 119;
rbgPhi:Height = 124;
rbgPhi:Owner = Zonal;
rbgPhi:OwnerSlot = Phi;
rbgPhi:Value = Ausente;
rbgPhi:TabStop = 0;
rbgPhi:Font = "MS Sans Serif";
rbgPhi:TextSize = 8;
rbgPhi:Bold = TRUE;
rbgPhi:Underline = TRUE;
rbgPhi:Italic = FALSE;
rbgPhi:StrikeOut = FALSE;
rbgPhi:Transparent = TRUE;
rbgPhi:Font2 = "MS Sans Serif";
rbgPhi:TextSize2 = 8;
rbgPhi:Bold2 = TRUE;
rbgPhi:Underline2 = FALSE;
rbgPhi:Italic2 = FALSE;
rbgPhi:StrikeOut2 = FALSE;
ResetImage ( rbgPhi );

```

```

/*****
****  INSTANCE: Button1
*****/

```

```

MakeInstance( Button1, Button );
Button1:SessionNumber = 0;
Button1:Title = Resolver;
Button1:Visible = TRUE;
Button1:X = 405;
Button1:Y = 54;

```

```

SetValue( Button1:ForegroundColor, 0, 0, 0 );
SetValue( Button1:BackgroundColor, 236, 233, 216 );
SetValue( Button1:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( Button1:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
Button1:Action = Resolver;
Button1:TabStop = 7;
Button1:Width = 170;
Button1:Height = 34;
ResetImage ( Button1 );

/*****
**** INSTANCE: Button1_0
*****/
MakeInstance( Button1_0, Button );
Button1_0:SessionNumber = 0;
Button1_0:Title = "Cargar Datos";
Button1_0:Visible = TRUE;
Button1_0:X = 405;
Button1_0:Y = 13;
SetValue( Button1_0:ForegroundColor, 0, 0, 0 );
SetValue( Button1_0:BackgroundColor, 236, 233, 216 );
SetValue( Button1_0:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( Button1_0:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
Button1_0:Action = CargarDatos;
Button1_0:TabStop = 7;
Button1_0:Width = 170;
Button1_0:Height = 34;
ResetImage ( Button1_0 );

/*****
**** INSTANCE: Text1
*****/
MakeInstance( Text1, Text );
Text1:SessionNumber = 0;
Text1:Title = "Seleccione los valores de la Zona a Evaluar";
Text1:Visible = TRUE;
Text1:X = 15;
Text1:Y = 13;
SetValue( Text1:ForegroundColor, 0, 128, 0 );
SetValue( Text1:BackgroundColor, 255, 255, 255 );
SetValue( Text1:ForegroundColor2, 0, 0, 0 );
SetValue( Text1:BackgroundColor2, 255, 255, 255 );
Text1:Width = 380;
Text1:Height = 16;
Text1:Font = "MS Sans Serif";
Text1:TextSize = 12;
Text1:Bold = TRUE;
Text1:Underline = FALSE;
Text1:Italic = FALSE;
Text1:StrikeOut = FALSE;
Text1:Justification = CENTER;
ResetImage ( Text1 );

/****
** ALL RULES ARE SAVED BELOW **
*****/

/*****
**** RULE: Regla_1_CPNoAnalizada
*****/
MakeRule( Regla_1_CPNoAnalizada, [miZona|Zona],
( miZona:SPoGR #= Ausente ) Or ( miZona:Rt #= Ausente ),
SetValue( miZona:CP, "No Analizada" ) );
SetRulePriority( Regla_1_CPNoAnalizada, 8 );

/****

```

```

**** RULE: Regla_2_CPAnalizable
*****/
MakeRule( Regla_2_CPAnalizable, [miZona|Zona],
  Not( miZona:SPoGR #= Ausente ) And Not( miZona:Rt #= Ausente ),
  SetValue( miZona:CP, Pendiente ) );
SetRulePriority( Regla_2_CPAnalizable, 7 );

/*****
**** RULE: Regla_3_CPNoPermeable
*****/
MakeRule( Regla_3_CPNoPermeable, [miZona|Pendiente],
  ( miZona:CP #= Pendiente ) And Not( miZona:SPoGR #= Negativo )
  Or Not( ( miZona:Rt #= Alto ) Or ( miZona:Rt #= Intermedio ) ),
  SetValue( miZona:CP, "No Permeable" ) );
SetRulePriority( Regla_3_CPNoPermeable, 6 );

/*****
**** RULE: Regla_4_CPNoPermeablePorPhi
*****/
MakeRule( Regla_4_CPNoPermeablePorPhi, [miZona|Pendiente],
  ( miZona:CP #= Pendiente ) And ( ( miZona:Phi #= Baja ) Or
  ( miZona:Phi #= "Muy Baja" ) ),
  SetValue( miZona:CP, "No Permeable" ) );
SetRulePriority( Regla_4_CPNoPermeablePorPhi, 5 );

/*****
**** RULE: Regla_5_CPPermeable
*****/
MakeRule( Regla_5_CPPermeable, [miZona|Zona],
  ( miZona:CP #= Pendiente ) And ( ( miZona:Phi #= Media )
  Or ( miZona:Phi #= Alta ) )
  And Not( miZona:Cal #= "Sin revoque" ) And Not( miZona:Rm_Rc
  #= "Zona no invadida" ),
  SetValue( miZona:CP, Permeable ) );
SetRulePriority( Regla_5_CPPermeable, 4 );

/*****
**** RULE: Regla_6_CPProbPermeablePorPhi
*****/
MakeRule( Regla_6_CPProbPermeablePorPhi, [miZona|Pendiente],
  ( miZona:CP #= Pendiente ) And Not( miZona:Phi #= Ausente )
  And Not( ( ( miZona:Phi #= Media ) Or ( miZona:Phi #=
  Alta ) )
  And Not( miZona:Cal #= "Sin revoque" )
  And Not( miZona:Rm_Rc #= "Zona no invadida" ) ),
  SetValue( miZona:CP, "Probablemente Permeable" ) );
SetRulePriority( Regla_6_CPProbPermeablePorPhi, 3 );

/*****
**** RULE: Regla_7_CPIndefinida
*****/
MakeRule( Regla_7_CPIndefinida, [miZona|Pendiente],
  ( miZona:CP #= Pendiente ) And ( miZona:Phi #= Ausente )
  And ( ( miZona:Cal #= "Con revoque" ) Or ( miZona:Rm_Rc
  #= "Zona invadida" ) ),
  SetValue( miZona:CP, Indefinida ) );
SetRulePriority( Regla_7_CPIndefinida, 2 );

/*****
**** RULE: Regla_8_CPProbPermeableSinPhi
*****/
MakeRule( Regla_8_CPProbPermeableSinPhi, [miZona|Pendiente],
  Not( ( miZona:CP #= Pendiente ) And ( miZona:Phi #= Ausente )
  And ( ( miZona:Cal #= "Con revoque" ) Or ( miZona:Rm_Rc
  #= "Zona invadida" ) ) ),
  SetValue( miZona:CP, "Probablemente Permeable" ) );
SetRulePriority( Regla_8_CPProbPermeableSinPhi, 1 );

```

```
/*****/
/**      ALL GOALS ARE SAVED BELOW      **/
/****/
```

## 6 Conclusiones

Llegado a este punto, se establecerán las consideraciones finales y conclusiones sobre el trabajo realizado en las sucesivas etapas de desarrollo del Sistema Experto “Determinación de la Condición de Permeabilidad de una Capa Petrolífera”. Cabe acotar que el orden de presentación no está dado por la importancia, ya que todas las consideraciones son experiencias aquilatadas de igual valía.

- El sistema desarrollado resultó de utilidad: Las primeras etapas (hasta la Conceptualización) facilitaron la definición de los alcances del sistema, permitiendo desarrollar el mismo a partir de la formalización con las ideas claras de lo que se podía y quería obtener. De la idea original al comienzo del proyecto, quedaron pendientes de resolución un módulo que define automáticamente las profundidades de la zona (desarrollo tradicional) y otro que categoriza cada curva en la zona a partir de la forma de la misma (desarrollo tradicional o redes neuronales). De todo ello se extrajo la experiencia que indica resulta extremadamente conveniente acotar los alcances del proyecto lo antes posible.
- Trabajar con expertos no es tarea fácil: En particular, mantener su interés a lo largo del tiempo, resulta tarea poco sencilla sobre todo en casos como el presente, en que el experto se ofrece a colaborar desinteresadamente, no cumpliéndose algunos de los requisitos estudiados en la viabilidad que hablan del compromiso de la dirigencia, el cual estimula la dedicación del experto.
- Los expertos no siempre interpretan adecuadamente las reglas de producción: Para aquel profesional que viene desde años desarrollando software tradicional, le resulta elemental analizar de condiciones If Then Else . Sin embargo, se detectó que expertos sin estos conocimientos de lenguajes de programación no es tan así. Esto trae aparejado el problema que para ellos, las sutiles diferencias entre un Or y un And le resulten indiferentes.
- La formalización requiere tener conocimientos, al menos básicos, de la herramienta en que se implementará el SSEE: En este caso, antes de completar la formalización se comenzó con el estudio básico de la herramienta de desarrollo KAPPA-PC, para no formalizar algo que luego no se pudiera implementar. Así y todo, durante la implementación hubo por ejemplo que agregar jerarquías que suplieran las dificultades que presentaba el modelo formalizado al realizar la búsqueda hacia delante.
- No hace falta que el problema a resolver sea excesivamente complejo: El sistema que se tenía en mente antes de comenzar el proyecto, resultó demasiado ambicioso. La experiencia sirvió para definir los tres módulos que compondrían al sistema completo desarrollando exclusivamente el único con tratamiento simbólico.
- Tratarlo con metodología de SSBCC facilitó su desarrollo: Siendo la primera experiencia en desarrollos de sistemas expertos, el seguir la metodología facilitó enormemente el desarrollo del mismo, que de otra manera difícilmente hubiera llegado a buen fin.

## 7 Bibliografía

MODERN OPEN-HOLE LOG INTERPRETATION – John T. Dewan -1983

LOG REVIEW 1 – Dresser Atlas - vs. Autores - 1974

LOG INTERPRETATION PRINCIPLES/APPLICATIONS - Schlumberger – vs. Autores - 1989

LOG ASCII STANDARD – version 2.0 – Canada Well Logging Society – [www.cwls.org](http://www.cwls.org)