

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SELECCIÓN DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

TUTOR ACADÉMICO: Ingeniero de Petróleo. Escalona, Victor

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Gómez, Marina Desiree
Para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo

Caracas, Noviembre 2005

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por darme la salud y voluntad para poder llegar a este punto de la vida en que he conseguido lo que muchos sueñan y pocos pueden concretarlo.

Reitero las gracias a mi madre Cira que con su paciencia y amor han sabido esperar este momento.

En memoria de mi hermana María Matilde Williams Gómez por su apoyo incondicional y por lo orgullosa que estaría de presenciar este momento.

A mi esposo Maiel Jesús Álvarez quien no me faltó como amigo, padre y esposo durante estos últimos años de mi vida.

Agradezco a todos los compañeros y amigos que me ayudaron en momentos claves de mi carrera. A los profesores tanto de la Escuela Básica como los de la Escuela de Ingeniería de Petróleo, por su aprecio y dedicación.

Al Profesor Victor Escalona por su apoyo en todo instante de este proceso de educación y su amistad durante mi embarazo.

DEDICATORIA

Para todas las personas que en algún momento
me dieron aliento a continuar
y luchar por esta carrera, en especial a
mi madre Cira Gómez
quien en todo instante me daba fuerzas
y ánimo a persistir en mi meta.
Gracias madre.

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de tutor del Trabajo Especial de Grado presentado por la bachiller Marina Desiree Gómez, para optar al Título de Ingeniero de Petróleo en su proyecto de EVALUACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SELECCIÓN DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL, considero que dicha Tesis reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometida a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Caracas a los 28 días del mes de Noviembre del 2005.

Victor Escalona

C.I. 3.485.009

ÍNDICE GENERAL

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Objetivo General	2
1.2. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO 2: 2.1 ANTECEDENTES	4
2.2 MARCO TEÓRICO. 2.3 Consideraciones Generales. 2.4 ANÁLISIS	10
2.4.1 Definición	12
2.4.2 Problema analítico	13
2.4.3 Determinación del análisis	17
2.4.4 Categorización de procedimientos analíticos	20
2.4.5 Definición de unidades de análisis	24
2.5 Sistemas de Levantamiento Artificial	25
2.5.1 Bombeo Mecánico	
2.5.1.1 Funcionamiento	26
2.5.1.2 Equipos de subsuelo	27
2.5.1.3 Tipos de Bombas de Subsuelo	30
2.5.1.4 Equipos de Superficie	31
2.5.1.5 Ventajas del BM	33
2.5.1.6 Limitaciones del BM	34
2.5.1.7 Avances Tecnológicos	34
2.5.2 Sistemas de Bombeo Electrosumergible	36
2.5.2.1 Equipo de Subsuelo	37
2.5.2.2 Equipo de Superficie	38
2.5.2.3 Clasificación de las Bombas	39
2.5.2.4 Eficiencia de la Bomba	41
2.5.2.5 Ventajas del BES	42
2.5.2.6 Limitaciones del BES	42

2.5.2.7 Avances Tecnológicos en BES_____	43
2.5.3 Sistema de Bomba de Cavidad Progresiva_____	45
2.5.3.1 Equipo de subsuelo_____	46
2.5.3.2 Equipo de superficie_____	46
2.5.3.3 Ventajas de BCP_____	47
2.5.3.4 Limitaciones de BCP_____	48
2.5.3.5 Avances Tecnológicos en BCP_____	49
2.5.4 Sistemas de Bombeo Hidráulico_____	50
2.5.4.1 Equipo de superficie_____	51
2.5.4.2 Equipo de subsuelo_____	52
2.5.4.3 Ventajas de BH_____	52
2.5.4.4 Limitaciones de BH_____	53
2.5.4.5 Avances Tecnológicos en BH_____	54
2.5.5 Sistemas de Levantamiento Artificial por Gas_____	55
2.5.5.1 Equipo de subsuelo_____	56
2.5.5.2 Ventajas de LAG_____	57
2.5.5.3 Limitaciones de LAG_____	58
2.5.5.4 Avances Tecnológicos en LAG_____	59
2.6 Modelos de Selección de Sistemas de LA_____	61
2.6.1 Proceso Analítico Jerárquico_____	66
2.6.1.1 Descripción del modelo_____	67
2.6.1.2 Jerarquización_____	68
2.6.1.3 Base matemática del PAJ_____	70
2.6.1.4 Principios del PAJ_____	73
2.6.1.5 Axiomas del PAJ_____	74
2.6.1.6 Inconsistencia_____	75
2.6.1.6.1 Causas de inconsistencia_____	75
2.6.1.7 Definición de los participantes_____	76
2.6.1.8 Información requerida_____	77
2.6.1.9 Tiempo y otros recursos asociados con el proceso_____	77

2.6.1.10 Estructuración del modelo jerárquico_____	78
2.6.1.11 Selección de la medida_____	81
2.6.1.12 Evaluación del Modelo_____	83
2.6.1.13 Resultado Final y Síntesis_____	86
2.6.1.14 Análisis de Sensibilidad_____	86
2.6.1.15 Ventajas del Método_____	87
2.6.1.16 Limitaciones del Método_____	88
2.6.2 Sistema Experto de LA_____	89
2.6.2.1 Estructura básica de los Sistemas de Expertos_____	90
2.6.2.2 Módulos del Sistema de Expertos_____	91
2.6.3 Matriz de Evaluación Tecnológica_____	96
2.6.3.1 Fases de la Metodología de Evaluaciones_____	97
2.6.4 Método de Curvas de Valoración_____	103
2.6.4.1 Descripción del Método_____	103
2.6.4.2 Semejanzas entre Métodos_____	104
2.6.4.3 Diferencias entre Métodos_____	105
2.6.4.4 La Escala de Comparación_____	105
2.6.5 Programa Expert Choice_____	107
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	
3.1 Tipo y diseño de la investigación_____	114
3.2 Técnicas de recolección de datos_____	114
3.3 Matriz de metodología_____	114
3.4 Operatoria específica del análisis y evaluación_____	116
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS_____	
4.1 Perspectiva Psicológica_____	120
4.2 Problema Analítico_____	122
4.3 Análisis y Producción_____	126
4.4 Categorización de Procedimientos Analíticos_____	132
4.4.1 Categorías de Análisis_____	134
4.5 Análisis del “Proceso de Interlocución”_____	135

4.6 Definición de Unidades de Análisis_____	139
4.7 Deficiencias y Fallas en el Proceso de Análisis_____	141
4.8 Coincidencias_____	150
4.9 Oposiciones_____	151
4.10 Críticas_____	153
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	
5.1. Análisis del PAJ_____	155
5.2. Evaluación del PAJ_____	157
5.3. Análisis del SEDLA_____	158
5.4. Evaluación del SEDLA_____	160
5.5. Análisis de la MET_____	163
5.6. Evaluación de la MET_____	165
5.7. Análisis del Expert Choice (Opción Experta)_____	167
5.8. Evaluación del Expert Choice (Opción Experta)_____	170
CONCLUSIONES_____	172
RECOMENDACIONES_____	174
BIBLIOGRAFÍA_____	176
APÉNDICES: N°1 - Criterios que afectan la selección de los Sistemas de L.A. _____	183
APÉNDICES: N° 2 - Comentarios del Trabajo de Araque (MET_____	197
APÉNDICES: N° 3 - Análisis del Modelo de Curvas de Valoración _____	203
APÉNDICES: N° 4 - Creación de un Modelo con el Programa Expert Choice _	204
APÉNDICES: N° 5 – Índice de Inconsistencia_____	218
ANEXOS: N° 1 – Tabla de Consideraciones Generales de L. Artificial_____	221
ANEXOS: N° 2 – Tabla de Consideraciones Normales de L. Artificial_____	226
ANEXOS: N° 3 - Tabla de Consideraciones de Levantamiento Artificial_____	229
ANEXOS: N° 4 – Priorización de Factores de la Tesis de Rodríguez y Salazar_	234
ANEXOS: N° 5 - Método Delphi_____	236
ANEXOS: N° 6 - Cuestionarios del Modelo de MET_____	238
ANEXOS: N° 7 - Comentarios de las Tesis de Yamila Reyes (SEDLA) _____	242
GLOSARIO_____	244

LISTA DE TABLAS

N°		Pag.
1	Escala de prioridades empleada en el PAJ_____	67
2	Índice aleatorio de constancia_____	73
3	Matriz de comparaciones_____	84
4	Ponderación de criterios generales_____	198
5	Definición de criterios específicos_____	199
6	Ponderación de criterios específicos_____	200
7	Matriz de evaluaciones_____	201
8	Situaciones fundamentales de preferencia y relaciones binarias____	104
9	Escala de calificación para la obtención de las curvas de valoración_____	106
10	Escogencias tasa vs método de levantamiento_____	192
11	Escogencia profundidad vs método de levantamiento_____	192
12	Problemas comunes que afectan la selección de un método de L.A.	193
13	Matriz metodológica_____	115
14	Categorías del PAJ_____	146
15	Categorías del SEDLA_____	147
16	Categorías de la MET_____	148
17	Categorías del programa Expert Choice_____	149
18	Consideraciones Generales de L. A._____	221
19	Consideraciones Normales de L. A._____	226
20	Consideraciones de Levantamiento Artificial_____	229
21	Priorización de factores de la Tesis de Rodríguez y Salazar_____	234
22	Jerarquización de factores_____	235

LISTA DE GRÁFICOS

	Pag
Gráfico 1 Estudio general normativo_____	12
Gráfico 2 Estudio de caso normativo_____	13
Gráfico 3 Espiral de desarrollo_____	22
Gráfico 4 Método de iteración_____	22
Gráfico 5 Sistema de bombeo mecánico_____	27
Gráfico 6 Etapas en el funcionamiento de una bomba de subsuelo_____	28
Gráfico 7 Principales elementos de una bomba de BM_____	29
Gráfico 8 Cabilla de fibra de vidrio_____	31
Gráfico 9 Elementos básicos que constituyen un pozo petrolero con BM_____	32
Gráfico 10 Prensa estopa y barra pulida _____	33
Gráfico 11 Completación típica para el BES_____	36
Gráfico 12 Esquema de una etapa_____	40
Gráfico 13 Levantamiento artificial por flujo continuo de gas_____	55
Gráfico 14 Sistemas de expertos y programas convencionales_____	91
Gráfico 15 Esquema del módulo de preselección_____	93
Gráfico 16 Esquema del módulo de evaluación económica_____	94
Gráfico 17 Árbol lógico del PAJ_____	144
Gráfico 18 Arbol lógico del SEDLA_____	144
Gráfico 19 Árbol lógico de la MET_____	145
Gráfico 20 Árbol lógico del programa Expert Choice_____	145
Gráfico 21 Caja diálogo del Expert Choice (Opción Experta)_____	204
Gráfico 22 Modelo de las vacaciones de la muestra_____	206
Gráfico 23 La ventana verbal de la comparación_____	210
Gráfico 24 Prioridades derivadas de las alternativas con respecto a las act. _____	213
Gráfico 25 Resultados sintetizados con respecto a la meta_____	215
Gráfico 26 Ventana de síntesis_____	216

Gráfico 27	Gráficos de sensibilidad_____	218
Gráfico 28	Diagrama de dos dimensiones_____	218
Gráfico 29	Rejilla de datos_____	221
Gráfico 30	Ventana definición de las intensidades de las actividades_____	222
Gráfico 31	Prioridades de las intensidades de Grados, de las actividades__	223
Gráfico 32	Intensidades de los grados de la muestra_____	224
Gráfico 33	Igual al cuadro 32_____	226
Gráfico 34	Cuestionarios N° 2, MET_____	239
Gráfico 35	Cuestionarios N° 3, MET_____	240
Gráfico 36	Cuestionarios N° 4, MET_____	241

NOMENCLATURAS Y ABREVIATURAS

% A y S	Porcentaje de Agua y Sedimentos
API	American Petroleum Institute
BCP	Bombeo de Cavidad Progresiva
BM	Bombeo Mecánico
BNPD	Barriles Normales por Día
BBL	Barriles Normales (bbl)
Cp	Centipoise
H	Espesor del Estrato Productor, pies
IP	Índice de Productividad, BNPD / Lpc
IPR	Relación de Comportamiento de Afluencia
Kro	Permeabilidad Relativa al Petróleo, darcy
LC	Longitud de la carrera, pulg
Lpc	Libras por pulgada cuadrada
PCN	Pies cúbicos normales
Pe	Presión estática del yacimiento, lpc
Pi	Presión inicial del yacimiento, lpc
PIP	Presión de entrada de la bomba, lpc
Pr	Presión promedio del yacimiento, lpc
Pth	Presión del cabezal, lpc
Pulg	Pulgadas
Pwf	Presión de fondo fluyente, lpc
Psi	Libras por pulgada cuadrada
qo	Tasa de petróleo, BNPD
q_{rax}	Tasa máxima de petróleo, BNPD
re	Radio de drenaje del pozo, pies
RGL	Relación Gas / Líquido, PCN/BN
RGP	Relación Gas / Petróleo, PCN/BN

RPM	Revoluciones por minuto
rw	Radio del pozo, pies
SPM	Embolada por minuto
TPR	Relación de Comportamiento de Afluencia
Bo	Factor Volumétrico del Petróleo, BY/BN
μo	Viscosidad del Petróleo, cp
L.A.	Levantamiento artificial
BM	Bombeo Mecánico
BES	Bombeo Electrosumergible
BCP	Bomba de Cavidad Progresiva
BH	Bombeo Hidráulico
LAG	Levantamiento Artificial por Gas
PAJ	Proceso Analítico Jerárquico
MET	Metodología de Evaluación Tecnológica
SEDLA	Sistema Experto de Levantamiento Artificial
EC	Expert Choice
SIT	Sistema de Inteligencia Tecnológica
gpm	Galones por minuto

Gómez, Marina D.

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SELECCIÓN DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Tutor Académico: Ingeniero de Petróleo Victor Escalona

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería de Petróleo.

Año 2005, 268 p.

Palabras Claves: Levantamiento Artificial, Proceso Analítico Jerárquico (PAJ Software), Metodología de Evaluaciones Tecnológicas (MET Software), Sistema de Experto de Levantamiento Artificial (SEDLA Software), Expert Choice (EC Software)

RESUMEN. Este es un proyecto con el objetivo fundamental de discutir los diversos procedimientos, metodologías y/o modelos que han sido (en el caso del Sistema de Experto de Levantamiento Artificial) o pueden ser empleados en la Selección de Sistemas de Levantamiento Artificial, de forma tal de permitir la posibilidad de aplicarlos en los campos petroleros venezolanos.

El Modelo 1 (Proceso Analítico Jerárquico), Modelo 3 (Metodología de Evaluaciones Tecnológicas) y Modelo 4 (Expert Choice) tienen grandes facultades para ser aplicados en situaciones reales de campo a la selección de Sistemas de Levantamiento Artificial. El Modelo 2 (Sistema de Experto de Levantamiento Artificial) es el programa desarrollado por INTEVEP (PDVSA) aplicado en gran número de pozos venezolanos con resultados exitosos.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela durante muchos años se han explotado los yacimientos petrolíferos, lo cual conduce a una disminución de la presurización de la mayoría de los mismos trayendo como consecuencia el uso de sistemas de Levantamiento Artificial.

Hasta mediados de los años 80, los métodos de L.A. eran Bombeo Mecánico Convencional (BMC) para crudos pesados y Levantamiento Artificial por Gas (LAG) para crudos medianos y livianos. A finales de ésta misma década se inicia la aplicación de métodos no convencionales en el campo, tales como: Bombeo Electrosumergible (BES), Bombeo por Cavidad Progresiva (BCP) y otros esfuerzos de levantamiento artificial mediante gas, específicamente en la inyección intermitente con sus diversas modalidades.

Al comienzo de la década de los 90, el porcentaje de pozos produciendo mediante Levantamiento Artificial (L.A.) era aproximadamente del 87%. Para mediados del 98, aumenta al 96% aportando el 78% de la producción total de petróleo.

Se hace evidente la importancia que representan los sistemas de L.A. tanto en el país como en muchas partes del mundo, por lo tanto se necesita saber tomar decisiones correctas al momento de la elección del sistema de L.A. más eficiente y ajustado a las condiciones de campo y pozo determinadas.

Existen diversos factores que afectan a estos sistemas de L.A. y de ahí la importancia en el momento de su aplicación, es así como esas variables deben ser analizadas, desglosadas, evaluadas y comparadas; es de notar que muchas son vinculadas directamente con el área de Ingeniería de Producción, pero otras son propiamente del área de Ingeniería de Yacimientos.

CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde los comienzos de la explotación petrolera en Venezuela se ha incurrido en una disminución progresiva de las presiones en los yacimientos de distintos campos en todo el país, conduciendo al uso intensivo de Sistemas de L.A. Hasta mediados de 1980 se usaba frecuentemente BM Convencional para extraer crudos pesados y LAG para extraer crudos livianos y medianos. Fue hasta finales de esta década que comienza la aplicación de métodos no convencionales en los campos venezolanos, como Sistemas BES, BCP y otros esfuerzos de LAG, específicamente en la inyección intermitente con sus diversas modalidades. Durante la última década del siglo pasado el porcentaje de pozos produciendo bajo sistemas de L.A. se incrementó de 87% a 96%, con un aporte del 78% de la producción total de petróleo.

Lo anterior lleva a concluir que es de suma importancia la toma de decisiones más convenientes respecto a sistemas de L.A. para las condiciones imperantes en los pozos a los cuales van a ser aplicados.

Los criterios que influyen en los diversos sistemas de L.A. son variables que deben ser analizadas, desglosadas, evaluadas, comparadas, y donde se hace muy acentuada la relación entre la Ingeniería de Producción con la Ingeniería de Yacimientos.

1.2 PROBLEMA

¿Cuál es la mejor metodología de selección y evaluación en Sistemas de Levantamiento Artificial para obtener resultados más eficientes en la Ingeniería de Producción?

1.3 OBJETIVO GENERAL:

Comparar los diferentes métodos de selección de sistemas, con diversas variables, aplicados a la Industria Petrolera para Sistemas de Levantamiento Artificial para obtener la metodología de selección más eficiente.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

La organización de la investigación a partir del análisis de éste estudio comparativo de diferentes metodologías en la selección de Sistemas de Levantamiento Artificial tiene los siguientes objetivos:

- Definir los métodos de selección y evaluación de varias variables desarrollados: Proceso Analítico Jerárquico, Sistema Experto de Levantamiento Artificial, Matriz de Evaluación Tecnológica y Programa Computacional Expert Choice
- Realizar la comparación de los diferentes métodos implementados en la selección y evaluación de varias variables a través de una metodología analítica para deducir cual es el método más completo y eficiente aplicado a un Sistema de Levantamiento Artificial, con base en el estudio sistemático de Análisis de Información presentado por el Prof. Ulises A. Faúndez Académico Instituto de Ciencia Política Universidad de Chile.

- Analizar y evaluar el estudio comparativo de los diferentes métodos para la selección de Sistemas de Levantamiento Artificial en el proceso de producción mediante el estudio sistemático antes mencionado con la finalidad de establecer las diferencias entre los mismos.
- Establecer ventajas y limitaciones de los diferentes métodos comparados y problemas relacionados con los diferentes Sistemas de Levantamiento Artificial.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Con el presente trabajo se intenta realizar una evaluación y análisis comparativo de diferentes métodos de selección de sistemas de L.A., que le permita al ingeniero lograr los objetivos de producción de cada pozo de la manera más eficiente y al más bajo costo. En esta investigación se pretende realizar una comparación de los diferentes procedimientos y programas usados para la selección de los sistemas de levantamiento artificial, hasta ahora evaluados independientemente uno de los otros. También se destacarán una evaluación de los diversos sistemas de L.A. empleados en la industria petrolera junto al análisis de los diferentes criterios de valoración en un proceso de comparación.

Este es un proyecto que por su tendencia metodológica puede presentar ciertas limitaciones u obstaculizaciones al querer hacer validas las hipótesis elaboradas en los objetivos. Los obstáculos a que hago referencia vienen a ser, que para diversas zonas del Venezuela han sido aplicadas estas metodologías (SEDLA, MET, PAJ) por separado y es difícil que al momento de realizar una comparación se pueda tener un conjunto de metodologías que hayan sido aplicadas para el mismo yacimiento y/o pozo en cuestión. Es por ello que este trabajo no posee base matemática como tal, sino la que proporciona cada modelo a evaluar, la cual es limitada para el caso del SEDLA (por ser un programa exclusivo de INTEVEP).

2.1. ANTECEDENTES

Actualmente existen en el mercado diversos sistemas de levantamiento artificial (L.A.) así como diferentes metodologías de evaluación, que permiten la producción en pozos en estado de agotamiento. Se han utilizado un gran número de alternativas en sistemas de L.A., cada una de las cuales poseen ventajas y desventajas, dependiendo de las condiciones presentes en el pozo.

La selección del apropiado método de sistema de L.A. es un factor de gran incidencia en la rentabilidad de un pozo, es por eso que varios autores como **Lea y Kol (1995)**, **Clegg, Buccaram & Hein Jr. (1993)**, **Kermit Brown (1982)**, **Bennett (1980)**, **Neely (1980)** y **Jhonson (1968)** se abocaron al estudio y desarrollo de posibles rangos de comportamiento para los diversos métodos de L.A. así como diferentes factores que influyen en el proceso de evaluación económica.

Kermit Brown (1982), establece lo concerniente a la planificación para una comparación de sistemas de L.A. En su trabajo se introducen una serie de factores que influyen en cada sistema de L.A., por ejemplo las características de producción, del pozo y del yacimiento. Define diferentes sistemas de L.A.

Clegg, Buccaram & Hein Jr. (1993), en un artículo titulado “ *New Recommendations and Comparisons for Artificial Lift Method Selection*”, desarrolla un procedimiento fundamentado en los principios de Kermit Brown. Estos autores elaboran unas tablas donde se comparan métodos de producción vs. criterios (ó parámetros), lo cual viene siendo una medición relativa de los distintos métodos de L.A. en cuánto a una diversidad de factores que influyen y tienden a establecer ventajas relativas de un método con relación a otro. Observaron que la eficiencia de

los métodos de L.A. varían desde 5% hasta 70%, donde el sistema de bombeo por cavidad progresiva (BCP) resultó ser el más eficiente, seguido por el de bombeo mecánico (BM), bombeo electrosurgible (BES), bombeo hidráulico (BH) tipo reciprocante y jet, gas-lift continuo y gas-lift intermitente.

Escalona, Víctor (1992), en su trabajo de ascenso “*Modelo de Selección del Método de Levantamiento Artificial aplicados a pozos y/o yacimientos*”, propone un modelo basado en experiencias de campo para la selección del método óptimo de L.A. aplicable al Lago de Maracaibo, sobre la base de diez (10) criterios: índice de productividad, tasa de flujo, corte de agua, relación gas / líquido, profundidad, arenamiento de pozos, mecanismo de producción del yacimiento, presión del yacimiento, gravedad API y plataforma.

Posteriormente en su trabajo titulado “*Procedimiento para la escogencia del método óptimo de producción adaptable a Cerro Negro*” (1997), basado en los trabajos de Clegg, Buccaram & Hein Jr. (1993), Kermit Brown (1982) y en la experiencia de campo, en el área de Cerro Negro, desarrolla un procedimiento que mejora la escogencia del método de producción en dicha zona, ampliando a (21) el número de criterios.

Giusti, Gustavo (1999), realizó un análisis, evaluación y selección de los factores que afectan a la escogencia de un sistema de L.A. en el área de Cerro Negro y Morichal, basándose en los criterios de comparación entre los principales métodos de L.A. publicados por Clegg, Buccaram y Hein en su artículo, adaptándolo a las condiciones particulares de Cerro Negro y el Morichal. En su análisis abarco el comportamiento de los métodos como Bombeo Mecánico, Bomba de Cavidad Progresiva y Bombeo Electrosurgible para cada uno de los criterios para la selección del método óptimo de L.A.

Reyes, Yamila (1999), en su trabajo menciona algunas ventajas del Sistema Experto de Levantamiento Artificial (desarrollado por INTEVEP) el cual es un programa de computación donde se han incluido una recopilación de conocimientos y procedimientos que razonan su manejo. El Sistema de Expertos se fundamenta en la aplicación del conocimiento acerca de un área específica, los cuales son almacenados en una base de datos para así manejar dicha información y resolver problemas específicos del área.

Silva, Luis (2000), en su trabajo de un Diseño de una Metodología para la Selección de un Sistema óptimo de Levantamiento Artificial, elabora una propuesta para la selección óptima de los métodos de L.A., basándose en el Proceso Analítico Jerárquico y Método de Curvas de Valoración; el primero es una técnica de medición desarrollada según el pesaje o mayor influencia de las variables con respecto a su importancia en la toma de decisiones multicriterios, se basa en un proceso matemático de comparaciones entre parejas de criterios para alcanzar un nivel de preferencia entre un conjunto de alternativas previamente seleccionadas; y el segundo es una modificación del Método de Construcción de Curvas de Valoración menos refinado desarrollado originalmente por el profesor Néstor Carrasquero para aislar y explotar un conjunto de soluciones de compromiso para la estimación interactiva de curvas de valoración.

Este método pretende crear, a través de la interacción con la unidad de decisión, algún tipo de orden sobre los distintos valores que puede tomar una variable dada, para producir un resultado acorde a las preferencias de la unidad de decisión. Para determinar el método que mejor se adapta a las condiciones particulares de producción para un determinado pozo, Silva consideró quince (15) criterios: índice de productividad, tasa de flujo, corte de agua, relación gas / líquido, profundidad, arenamiento de pozos, mecanismo de producción del yacimiento, presión del yacimiento, gravedad API, plataforma, temperatura de la formación, localización del pozo/ yacimiento, pericia del método, fuentes de energía disponibles y diámetro de la tubería.

Carrillo, Jesús (2002), la realización de su trabajo se fundamenta en el Proceso Analítico Jerárquico, antes destacado, proponiendo una metodología para la determinación de una familia de criterios para la selección de sistemas de L.A., propuesta por Thomas Saaty para la toma de decisiones multicriterios. Inicialmente estableció 64 criterios de comparación, los cuales fueron sometidos a un proceso de decantación, en el cual se eliminaron los criterios redundantes, de escasa importancia y/o que conducían a complicaciones posteriores. Finalmente se aceptaron 19 criterios: índice de productividad, tasa de líquido, corte de agua, relación gas / líquido, profundidad de asentamiento de la bomba, presión estática del yacimiento, gravedad API, temperatura de fondo, problemas de arenamiento, mecanismo de producción, pericia en el método, diámetro del revestidor, diámetro del eductor, tipo de completación, grado de desviación del hoyo, producción de parafinas y asfaltenos, acumulación de escamas, problemas de corrosión y comportamiento de afluencia. Con ayuda de ciertas entrevistas realizadas a un grupo de especialistas en métodos de producción concluyó acerca de las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de los distintos sistemas de L.A. reduciendo la lista de 19 criterios generales a una de: 14 criterios para Bombeo Mecánico, 18 criterios para Bombeo Electrosomergible y Bomba de Cavidad Progresiva, 14 criterios para Bombeo Hidráulico y 11 criterios para Levantamiento Artificial por Gas.

Posteriormente, basándose en los datos aportados por los especialistas consultados pudo determinar los pesos (influencias) relativos de los criterios y efectuó la jerarquización de éstos para cada uno de los métodos de producción estudiados, de acuerdo a la metodología establecida por Saaty (1980). Es importante destacar el hecho de que no se tomaron en cuenta criterios de tipo económicos ni criterios de diseño en el proceso de selección de los métodos de L.A.

Febres, Gustavo (2003), en su trabajo del Estudio de Priorización de Factores que afectan el Comportamiento de los Métodos de Producción de Levantamiento Artificial presenta una herramienta de apoyo en la toma de decisiones para escoger el sistema más apropiado para el campo Mene Grande, basándose en el Proceso Analítico Jerárquico y el Programa Computacional Expert Choice el cual, es un programa computacional entre otros presentes en el mercado, trabaja en ambiente “Windows”, que determina la prioridad de las alternativas con respecto a un criterio “X” utilizando el método del autovalor, la comparación se repite para todos los demás criterios con el fin de priorizar los factores que afectan el estudio.

CAPITULO 2

2.2. MARCO TEÓRICO

2.3. Consideraciones Generales

El Marco Teórico o Marco Referencial en una investigación se define como un compendio de elementos conceptuales que sirven de base a la indagación a realizar (Carrillo, 2002).

Una vez citado el planteamiento del problema y definidos los objetivos, tanto generales como específicos que tienen el propósito de fijar la finalidad de la investigación, se hace indispensable señalar los aspectos teóricos sobre los distintos Sistemas de L.A., Modelos de Selección y Criterios en los cuales está basada la investigación.

En esta parte de la investigación se plantean las consideraciones generales del análisis, seguidamente se hace referencia sobre los sistemas de L.A. y los modelos de selección de sistemas de L.A. presentes en la industria petrolera, y al final se realiza un análisis descriptivo de los diferentes criterios para posteriormente efectuar la selección de los mismos.

2.4. Análisis

El inicio del Siglo XXI está definido por la creciente circulación de flujos de datos e informaciones, cuya cuantía suele escapar a la capacidad de aprehensión normal de las personas, mas aún cuando se trata de áreas o sectores especializados del conocimiento. Por tanto, los procesos de gestión y resolución se ven atiborrados e influidos por dicha circunstancia, surgiendo en consecuencia, la necesidad de

discriminar con certeza dentro de grandes volúmenes con el propósito de extraer, mediante adecuados procesamientos, aquellas informaciones principales, atinentes y útiles que permitan resolver dentro de los procesos de toma de decisiones.

Dicha realidad genera dos situaciones específicas; por una parte, el creciente posicionamiento del analista, y por otra, el perfeccionamiento de las metodologías del trabajo analítico que le ayuden a alcanzar mayores niveles de eficiencia, con mínima inversión de tiempo y recursos, para el mejor aprovechamiento de datos e informaciones disponibles.

Todo lo expuesto, junto a la experiencia mundial en este ámbito, lleva a pensar que, en los actuales asuntos de Información, no hay fase que sea más importante que aquella que estudia la relación entre los productores y los consumidores de información procesada. Esta relación no se establece de manera automática, sino que es el resultado de un esfuerzo consciente de búsqueda de una vinculación positiva y sinérgica entre las partes mencionadas.

La experiencia indica que el análisis ha evolucionado desde la simple recopilación y lectura de textos hasta la actual interpretación proyectiva (o prospectiva); ello significa que el análisis ha logrado ser reconocido como una actividad intelectual que se equilibra entre una base académica junto al cultivo de la virtud y el arte de perfeccionar capacidades profesionales por parte del analista, gracias al empleo de métodos y procedimientos que le permiten separar lo principal de lo accesorio y lo trascendental de lo pasajero o superfluo.

Por consiguiente, el producto del análisis debe ser transmitido en un lenguaje sencillo, directo, sin ambigüedades y con un orden lógico que resista cualquier crítica o duda, especificando claramente lo que se sabe, lo que no se sabe y las opciones respecto de lo que podría suceder a futuro, si no surgen variables independientes externas que cambien el escenario. Una tarea fundamental, es determinar, "qué se sabe", establecer las posibilidades de maniobra de un sujeto-grupo, o bien, el

probable desarrollo futuro de una situación. Es por ello que el análisis aparece en algunas ocasiones, como un proceso ambiguo, porque son demasiadas y múltiples las variables que deben ser consideradas para la organización del conocimiento disponible, así como las herramientas metodológicas a utilizar en su proceso.

2.4.1. Definición

Existen muchos tipos de análisis, tales como: el análisis de oportunidad, que busca establecer el mejor momento para una decisión, el análisis de valor agregado, que busca potenciar el valor del significado de informaciones aparentemente inconexas o, en el campo de defensa, el análisis de objetivos, que permite no sólo identificar un blanco, sino además, el mejor modo de abatirlo al menor costo posible. A este respecto, la tecnología de vanguardia está colaborando con datos valiosos y precisos que sirven de materia prima para el analista, obtenidos por instrumentos cada vez mas sofisticados.

Los proyectos de **investigación descriptiva** generalmente nos dicen *hechos* sobre el objeto del estudio. En cambio, en la **investigación normativa** no es sólo recolectar hechos sino también precisar en qué aspectos puede ser mejorado el objeto del estudio. Generalmente el proyecto incluye la planificación de un enfoque práctico que se podría usar para realizar las mejoras necesarias al objeto. Dependiendo de si el proyecto continúa como desarrollo práctico o no, hay dos estilos de la investigación normativa:

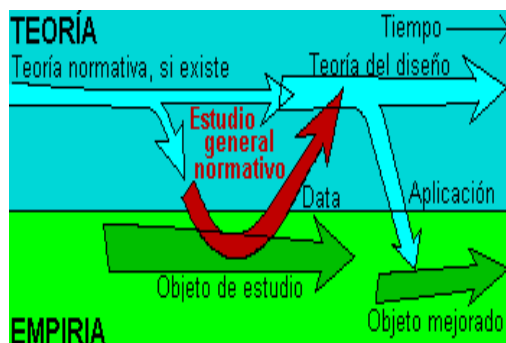
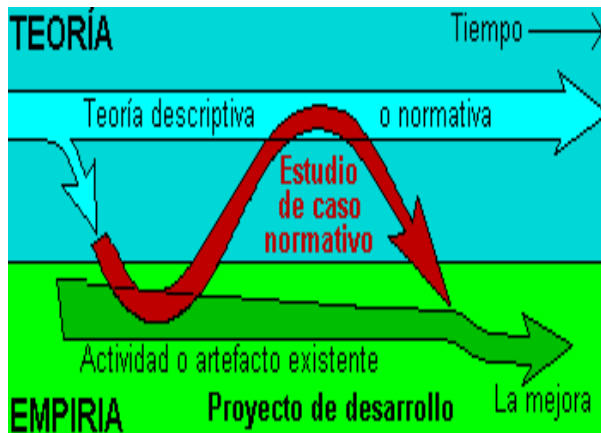


Gráfico 1. Estudio general normativo
Fuente: www2.uiah.fi/projects/metodi/278.htm

1. **Estudio general normativo** (*Gráfico 1*) produce la teoría del diseño (u otro desarrollo) como regulaciones gubernamentales, estándares, patentes, algoritmos, tablas, consejos y otras herramientas para el diseño, pero no incluye operaciones verdaderas del desarrollo.



2. En un **estudio de caso normativo** o *proyecto del desarrollo* (*Gráfico 2*) el blanco está en la empiria: mejorar físicamente el objeto, por ejemplo reduciendo problemas humanos y los procesos diarios del trabajo de las personas, o desarrollando una actividad o un producto nuevo.

Gráfico 2. Estudio de caso normativo

Fuente: www2.uiah.fi/projects/metodi/278.htm

2.4.2. *El Problema Analítico*

A principios de siglo, se imaginaba que la confiabilidad de la información tenía forma de pirámide y mientras mas amplia era su base, mejor comprobada estaba una información. Eso pudo ser cierto en algunas oportunidades, pero en la actualidad, cuando las fuentes se multiplican y el flujo de datos se hace inmanejable, es obvio que el procesamiento debe cambiar su modalidad porque las condiciones prácticas y el tiempo disponible han instaurado dos requisitos insoslayables: tiempo real y precisión de objetivos.

Para algunos, un método no va desplazando a los otros sino que se va construyendo un escalonamiento progresivamente complejo, brindando un abanico de posibilidades para escoger, de acuerdo a la situación planteada; es el caso de utilizar o

no hipótesis de trabajo o solamente ordenación mecánica y clasificación tradicional. Si se acepta este tipo de operatoria, se debe tener una base racional frente al objetivo o problema en estudio, donde la extrapolación y la interconexión de hechos y actitudes sean los mejores indicadores del rumbo que debe tomar el procesamiento, el nivel de sensibilidad del trabajo y las necesidades de saber del usuario.

En síntesis, cuando se exploran opciones de futuro, las variables internas y externas al problema son infinitas y, por lo tanto, se debe aceptar que el "factor imponderable" (también conocido como el "factor X") puede surgir donde y cuando menos se lo espera; de allí la necesidad de estudiar la visión prospectiva como una disciplina separada, de valor científico, seria y profunda, que privilegie lo conceptual y la esencia, mas allá de analogías y relevancias temporales.

Hasta la década de los 70, se sintetizaban los textos o documentos de gran volumen para incorporarlos en bases de datos no siempre explotadas en plenitud. Entonces se procedía a tomar estos resúmenes y compararlos con un flujograma metodológico lineal que lo llevaba hasta una síntesis definitoria del problema en estudio, a partir de lo cual era posible deducir conclusiones, conjeturas, posibilidades y recomendaciones al usuario.

Este modelo de análisis tiene básicamente dos inconvenientes; por una parte, el analista debe confiar en la acertada labor del sintetizador previo y por otra, no es evidente ni sencillo aplicar esquemas de refutación, auto-cuestionamiento y diseño creativo de hipótesis, ya que, los antecedentes están orientados en un solo sentido de pensamiento.

Hasta esa década existía la convicción que la tecnología no era ni sería capaz de intervenir positivamente en el trabajo del análisis; es objetivamente cierto que las máquinas no piensan, pero, adecuadamente programadas, pueden acelerar el proceso de disponibilidad y acceso a datos o asuntos específicos con un considerable ahorro de tiempo.

Durante la década de los 80, el avance informático, tanto en equipos tecnológicos como programas, se perfeccionó y comenzó a ofrecer aportes concretos para los procesadores de información, en sus diversas facetas de trabajo.

A partir de ese tiempo, el analista se ve enfrentado a grandes y crecientes volúmenes de datos e informaciones que deben ser contrastadas para determinar su pertinencia respecto de determinado asunto en estudio, pero ningún cerebro humano normal es capaz de procesar esos enormes volúmenes, en especial para cumplir las siguientes tareas:

- Determinación del significado de un texto en forma concisa.
- Capacidad efectiva de síntesis, sin perder los contenidos esenciales.
- Capacidad efectiva de acceso rápido a grandes bases de datos.
- Comprensión cabal de distintos tipos de lenguaje, según el problema que se trate, considerando aspectos semánticos, figuras lingüísticas y estructuras morfológicas.

Simultáneamente continúa expandiéndose por el mundo, el ambiente computacional "Windows", que hizo mas asequible al usuario respecto de complejas bases de datos y redes internacionales como Internet, lo cual permite, hasta hoy, el despliegue exitoso de grandes volúmenes de información, su permanente actualización y, al mismo tiempo, la priorización de aquellos elementos gravitantes en algún asunto específico, debido a la capacidad incremental de establecer relaciones entre tipos de fenómenos, sus causas y sus condicionantes.

Por su parte, los nuevos programas computacionales no resuelven el trabajo analítico por sí, pero son capaces de conjugar el aporte tecnológico con las destrezas del analista, a la vez que plantean un desafío profesional a este último, imponiendo necesidades de capacitación técnica y el diseño de nuevas metodologías de procesamiento y producción que garanticen resultados cada vez mas útiles para la mejor decisión de los usuarios.

Como ejemplo de lo anterior, diversas empresas transnacionales que diseñan, fabrican y comercializan programas computacionales de nivel científico han creado los denominados "textoanálisis" que son aplicaciones estandarizadas de estructuras lógicas, organizadas en red, que permiten descomponer un problema u objeto de estudio en, a lo menos, seis (6) aspectos que deben ser estudiados en el proceso de análisis:

- **Evidencia**, dentro de un texto, son los términos mas importantes de la estructura semántica, lo cual ayuda en la comprensión de la orientación central que éste contiene.
- **Resumen de textos**, mediante la combinación de estructuras lingüísticas y métodos de investigación, estructurados como redes neurales, hacen posible relacionar o discriminar elementos comunes y estructuras de lenguaje, lo que acorta el lapso de procesamiento básico en la formación del corpus.
- **Capacidad de "exploración " de textos**, mediante el enfoque dual: sujeto-objeto, gracias a la incorporación en un programa computacional de diccionarios morfológicos, ideográficos, de lógica formal y de significado, todo lo cual permite "enfocar" con rapidez los "elementos pivote" de un texto o un grupo de textos afines.
- **Acceso eficiente al interior de las bases de texto**, mediante redes semánticas organizadas que detectan: términos claves, conceptos, frases asociadas y neologismos, permitiendo al analista la determinación del grado de amplitud y vinculación entre los elementos y factores identificados.

- **Estructuración de "temas-texto"**, es decir, el computador es capaz de representar en pantalla un árbol lógico y sus vinculaciones con la estructura semántica del texto analizado, lo cual permite entender el sentido de la relación "origen-destino" de la lógica utilizada por el autor del o los textos analizados.
- **Recuperación y agregación de informaciones relacionadas**; esto significa que el sistema permite derivar, a partir de palabras claves y un modelo semántico determinado, las frases y los párrafos que se consideran esenciales para entender la esencia y la sustancia de una serie de textos, documentos, etc. Además, estos programas están diseñados para relacionar, por derivación lingüística: términos, ideas-fuerza, conceptos, denominaciones, etc., con el propósito de identificar lo esencial de lo complementario y lo insustituible del "relleno" textual que sólo se incluye para ayudar a la mejor comprensión del lector.

En consecuencia, el analista está en condiciones de minimizar el tiempo necesario para su trabajo formal y rutinario, dejándose mas tiempo para reflexionar y diseñar la estructura de la fase de producción de información final.

En 1999, surgen los primeros "texto-análisis de lógica y coherencia completa", destinados no sólo a los analistas tradicionales, sino, a editores de prensa, investigadores de todas las Ciencias, analistas financieros, juristas, politólogos y gestores de capitales en las bolsas de comercio. Desde esa fecha, el consumo de este tipo de programas ha sido exponencialmente incremental, por cuanto los analistas han comprobado que la máquina no reemplaza al hombre pero, le permite poner en evidencia: términos lingüísticos de importancia, palabras claves y jerarquización de términos, debido a su presencia recurrente en los documentos estudiados.

No obstante, cualquiera sea el área temática o el nivel tecnológico disponible, se está en presencia de procedimientos y apoyos instrumentales, donde el soporte a la gestión es indagar para superar obstáculos de apariencia irreducible pero cuyo

determinante matriz es la capacidad humana para extraer las conclusiones mas precisas.

2.4.3. *Determinación del Análisis*

Formalmente, en el análisis se debe planificar, definir y orientar los objetivos y métodos; posteriormente reunir la información disponible, para luego proceder a su interpretación, extraer conclusiones o definir hipótesis de futuro (según corresponda); a partir de ello será posible proyectar los resultados.

En todo análisis se focaliza el estudio y descripción de lo que dicen los textos, definiendo y separando lo complementario de lo principal. Para ello, existen varias perspectivas de acercamiento al problema. Por una parte, el análisis de FORMA, que se centra en cómo se están diciendo los mensajes dentro del contenido y aquello que narran, es decir, como se presentan explícitamente, usando al efecto ciertos signos o claves paralingüísticas. Por otra parte, es interesante conocer los alcances de las informaciones y para ello es preciso entender "QUÉ se dice", examinando lo expuesto, sin atribuir importancia a los rasgos del continente, sino privilegiar el contenido. En cuanto a lo que DICE un mensaje, éste siempre refleja intenciones, propósitos y circunstancias de algún tipo, que explican un entorno.

En todo caso, el análisis debe ser verificable, mediante referencias a elementos presentes y ausentes en el texto; de allí la necesidad de enfrentar esta tarea con una acumulación de métodos prediseñados, pero adaptativos, según sea el objetivo a cumplir.

Algunas personas piensan que hay que comenzar por una síntesis de contenido y la definición de los términos clave; otros piensan que es preciso separar primero el contexto y luego enfrentar el texto, por cuanto no sólo es preciso conocer lo que está dicho y cómo se dice, sino entender sus significantes y profundidad en el documento, de acuerdo a las circunstancias que generaron su redacción (enfoque genético). Cualquier documento contiene potencialmente una cantidad de información que habla

básicamente de tres fenómenos: su grupo de pertenencia, los hechos relatados y los efectos buscados.

En consecuencia, los resultados más seguros serán los que provengan de aquellos análisis cuyos objetivos se limiten a obtener, a lo menos, información del mensaje fundamental: ¿cuál es y cómo se dice?. Por lo tanto, el análisis es antes que nada un procedimiento de descripción, clasificación y transcripción de los contenidos de un texto, siguiendo las normas de un código; ello conlleva la definición de categorías las que, basadas en un esquema metodológico, son utilizadas para acceder a los mensajes y a las significaciones fundamentales de los contenidos.

Desde el punto de vista operacional, se busca identificar primeramente el concepto central, que es la propiedad o atributo que se supone está siempre presente tras el mensaje principal; es decir, lo que se pretende determinar con el propósito de descubrir como se manifiesta y actúa en el conjunto del contenido. Es la característica observable principal que interesa examinar, así como su relación con los mensajes asociados (si los hay). Esos parámetros relacionados pueden ser considerados metodológicamente como variables dependientes y pueden ser medidos o comparados en consecuencia.

Una vez considerado lo anterior, se sugiere definir, ya sea el objeto de análisis o el sujeto de la observación, precisando la característica que se examinará, la valoración de la misma (importancia) y el rol del objeto-sujeto, en sus expresiones o bien, respecto del modelo de entorno.

2.4.3.1 Explotar las ventajas del enfoque iterativo

En un proyecto de desarrollo es la evaluación final lo que cuenta. Las propuestas del proyecto generalmente toman forma gradualmente, y en la etapa introductoria son apenas preliminares. El trabajo en un nivel inferior de la exactitud en las fases iniciales del proyecto significa no solamente velocidad y economía. Sólo en la fase final de planear cuando las propuestas se deben evaluar tan cuidadosamente como sea

posible (preferiblemente por muestras aleatorias seleccionadas de los usuarios futuros de los resultados), la evaluación final tendrá validez porque las propuestas finales son más detalladas y más realistas.

2.4.4. *Categorización de Procedimientos Analíticos*

Las categorías son conceptos clasificatorios a través de los cuales se intenta encontrar respuestas a un problema ya definido. Conceptualmente, una categoría se entiende como una noción general que representa un conjunto o un tipo definido de características y atributos, lo que autoriza a agruparlas en una misma clase.

Operacionalmente, la tarea que se debe realizar, es definir una pregunta de fondo que se dirige al contenido y sus mensajes; para ello, realiza el llamado Análisis Estructural, que privilegia el uso de conceptos específicos, tales como:

a) RELACIÓN ASOCIATIVA entre SUJETO < -> OBJETO -> DESTINATARIO, entendida como una cadena lingüística que privilegia la comunicación como el instrumento que permite informar determinados contenidos y mensajes. Un tipo de relación (de entre varias posibles), se produce en las denominadas relaciones sintagmáticas.

b) RELACIONES SINTAGMATICAS, son aquellas combinaciones de dos o más palabras o expresiones consecutivas, en una cadena hablada. Al concatenarse, las palabras establecen relaciones basadas en el carácter lineal del lenguaje, que excluye la posibilidad de pronunciar dos elementos al mismo tiempo; Por ejemplo: "un tremendo choque", "cada hombre", etc. En un SINTAGMA, un término sólo adquiere su valor en la medida que se opone al que le precede o al que le sigue, o a ambos. Pero ello no basta entender plenamente el discurrir de un texto; hace falta

conocer el fondo del problema, es decir los ROLES que cumple cada término, en sus respectivas FUNCIONES.

c) **FUNCIONES**, son aquellas descripciones de la estructura del lenguaje, definidas como instrumentos de comunicación. En este caso, todas las unidades lingüísticas y sus interrelaciones son analizadas y descritas, tomando en cuenta su desempeño en la comunicación estudiada.

De la aplicación de lo antes expuesto, se constatará que se derivarán dos tipos fundamentales de "ejes lingüísticos":

- El eje SINTAGMATICO o de OPOSICIÓN, cuyo carácter lineal ya se ha descrito y
- El eje PARADIGMÁTICO o de SIGNIFICACIÓN, que recuerda el desglose de un árbol lógico, donde prima el carácter asociativo, pues a partir de un término dado (tomado como centro), convergen o se derivan otros términos, cuyo alcance es indefinido.

Estos dos "ejes" servirán de guía, tanto en la búsqueda del origen de la forma lingüística analizada, como en su estructura interna.

Otro tipo de análisis es el Normativo, que es un proceso de investigación y desarrollo como una serie de decisiones simples, pero cuando un proyecto se ocupa de problemas prácticos complejos, el proceso puede llegar a ser más complicado, y es a menudo imposible proceder directamente a la síntesis y la propuesta.

Complicaciones como éstas pueden obligar a hacer de nuevo una parte del trabajo, en otras palabras volver a una etapa más temprano del proceso. Si tales regresos se repiten muchas veces, el proceso comienza a asemejarse más a un círculo que a una sucesión lineal de decisiones. De hecho, una *espiral* (**Gráfico 3**) se ha definido a

veces como modelo típico de un proyecto del desarrollo. Las fases típicas en una "espiral del desarrollo" son como sigue:

1. **Descripción normativa** del estado inicial (también su historia) y definición de la necesidad de mejoras
2. **Análisis** de relaciones y de posibilidades para su alteración
3. **Síntesis:** propuesta para la mejora
4. **Evaluación** de la propuesta.



Gráfico 3. Espiral de desarrollo

Fuente: www2.uiah.fi/projects/metodi/278.htm

Repitiendo la secuencia a partir del 2 al 4, y gradualmente mejorando la propuesta, generalmente se encuentra un resultado aceptable. El proceso es, en otras palabras, *iterativo*. **Iteración** significa hacer modificaciones pequeñas "incrementales" a la propuesta, compararla con la vieja propuesta y continuar con cualquiera de ellas que es la mejor. Es un método poderoso, pero al usarlo se debe tener en cuenta dos **debilidades** inherentes de él:

1. El método iterativo puede manejar solamente *una* característica del objeto al mismo tiempo. Si se tienen varias alternativas en los cuales diverja la una de la otra en más de una variable, será difícil compararlas con el método iterativo.

2. Mientras se guía generalmente hacia una solución *mejor*, puede sin embargo no poder encontrar la mejor alternativa *de todas*. Un ejemplo de esto se ilustra



en el **Gráfico 4**: si el proceso de la iteración se comienza en la opción **A**, dirigirá eventualmente a la alternativa **C**.

Gráfico 4. Método de iteración.

Fuente: www2.uiah.fi/projects/metodi/278.htm

- Esta es, sin embargo, solamente un óptimo parcial: mientras que es ciertamente mejor que los vecinos, está lejos del grado óptimo absoluto **S**, que es radicalmente diferente y nunca podía haber sido encontrado por iteración solamente. Obviamente, si se consideran solamente alternativas que no se diferencian mucho de las anteriores, nunca se creará algo radicalmente nuevo. A causa de esta debilidad es recomendable complementar el enfoque iterativo con otros métodos más innovadores que sean capaces de elaborar las propuestas que son más distantes a las ya sabidas.

Desde una óptica clasificatoria, es dable informar que, las CATEGORIAS DE ANÁLISIS pueden dividirse en:

- Categorías de Materia (temas tratados en el texto)
- Categorías de Forma (cómo se trata el tema)
- Categorías de Apreciación (cómo se evalúa el tema)
- Categorías de Actores (status, carácter, orígenes).

Las categorías actuarán entonces, como el código a través del cual se leerá los mensajes del contenido, que pueden surgir, tanto de la interrogante inicial, como del material de información disponible sobre el tema en estudio.

En cuanto a la constitución del CORPUS, éste se define como el conjunto de material que contiene las informaciones y características que interesa descubrir; son las partes del contenido en que se busca la razón última de un problema analizado. Puede estar conformado por textos completos o sólo "unidades de muestreo", según el tamaño del material en estudio. En términos objetivos, el Corpus es el conjunto de documentos que se reúne para el trabajo analítico, cuando ya se ha establecido con precisión el objetivo de búsqueda que se persigue, al llevar a cabo el proceso de análisis y, por ello, si es muy abundante, se tomará sólo una muestra representativa. Por extensión, se considera al Corpus como el conjunto de mensajes y contenidos de un texto, donde hay razones para presumir que se encontrará respuesta a la interrogante inicial y que representa el motivo para realizar el trabajo de análisis.

2.4.5. Definición de Unidades de Análisis

Al proceder al análisis de una materia, se deben utilizar criterios categorizados para clasificar y dividir la documentación que a primera vista parece caótica, para facilitar la tarea de encontrar respuestas al problema planteado. Gracias a ello, se crearán entonces, unidades de significado, cuya dimensión es variable, de acuerdo a su naturaleza, pero que poseen una raíz común. Como ejemplos de Tipos de Unidades de Significado Clasificadoras pueden citarse:

- Tipo de acontecimiento (público, privado).
- Origen geográfico de los datos (continente, país, región, provincia). Escenario y temporalidad de los datos (entorno, época, fecha).
- Agencia informativa responsable (prensa escrita, TV, agencia de gobierno).

Los ejemplos genéricos anteriores justifican su empleo en la medida que las Unidades de Análisis son segmentos en que se divide el corpus para su estudio. Son trozos de un TODO que permiten observar, decodificar, clasificar, reordenar y examinar datos e informaciones, para facilitar al trabajo de análisis y ayudar a obtener el conocimiento de su significado real.

Principales Tipos de Unidades de Análisis:

- a) **Unidades de contexto:** tienen un significado global, en el tiempo y en el espacio y hablan del ambiente donde ocurre el problema o situación.
- b) **Unidades de numeración:** tienen un significado mas bien cuantitativo y se preocupan de la forma o presentación de las cifras que perfilan un asunto.
- c) **Unidades de información:** tienen un alcance más específico y son producto de fragmentaciones del texto, basadas principalmente en su espíritu y no en su letra. Designan el nivel de información donde *denotantes* y *connotantes* de los signos que lo transmiten, pierden su sentido; es por tanto, un "tipo" de información, es el sujeto de los predicados de la información.

2.5. SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL (L. A.)

Los estudios realizados en la Ingeniería de Producción comprenden una gama de procesos que va desde el comportamiento de afluencia y el levantamiento de los fluidos del pozo hasta los procesos en superficie, como: recolección, separación, tratamiento, almacenamiento y transporte del crudo.

Cuando se comienza la producción de un pozo se crea una diferencia entre la presión del yacimiento y la presión del fondo del pozo, lo cual genera el desplazamiento de los fluidos desde la formación hacia el pozo (cuando la presión de la formación es mayor que en el pozo). A la par se crea una diferencia de presión entre el fondo del pozo y la presión en la superficie que hace posible la extracción de los fluidos. Así de igual manera influyen otros parámetros o factores que afectan directamente a la productividad de un pozo (ver Apéndice N° 1).

A medida que se produce un pozo mediante la energía natural del yacimiento, la misma se ve disminuida a lo largo del tiempo hasta un momento en que no es suficiente para impulsar los fluidos desde el yacimiento hasta el fondo del pozo, y de allí hasta la superficie. Es cuando se adopta el uso de un sistema que permita proporcionar energía de manera artificial al pozo, los llamados Sistemas de Levantamiento Artificial, descritos a continuación:

2.5.1. *Sistema de Bombeo Mecánico (BM)*

Es el sistema de L.A. más antiguo aplicado en el ámbito mundial debido a las ventajas que representa y a las pocas limitaciones que tiene. En Venezuela se utiliza extensamente para la producción, usualmente, de crudos pesados y extrapesados (también se usa para la extracción de crudos medianos y livianos).

Es un sistema que consiste en el accionamiento de un balancín por medio de una sarta de cabillas que transmite el movimiento a una bomba de succión ubicada en el fondo del pozo logrando así la transferencia del fluido hasta la superficie.

2.5.1.1. *Funcionamiento*

El sistema está formado por una unidad de superficie y un equipo de subsuelo, donde su acción conjunta va a permitir el desplazamiento del fluido desde el fondo del pozo hasta la superficie (ver Gráfico 5). El volumen de fluido que desplaza la bomba entra a la tubería de producción, desplazando a la vez un volumen igual hacia la línea de flujo y ésta a su vez a la estación recolectora.

La unidad de superficie es la que permite transmitir la energía requerida por la bomba de subsuelo desde la superficie hasta la profundidad donde se encuentra ubicada ésta última. Los elementos de una unidad de superficie son: una Unidad Motriz, compuesta por un motor el cual transmite toda la energía a la caja de engranaje a través de las correas y genera la potencia necesaria para la operación de la unidad de superficie, y El Balancín, cuya función es de proporcionar el movimiento reciprocante apropiado para accionar la sarta de cabillas y éstas a su vez a la bomba de subsuelo, que mediante la acción de correas y engranajes logra reducir la velocidad de rotación. El movimiento rotatorio resultante se transforma en un movimiento reciprocante a través de la manivela, la biela y el propio balancín.

2.5.1.2 Equipos de Subsuelo

El Equipo de Subsuelo está compuesto por: una Bomba de Subsuelo, formada por el cilindro o barril, en donde se moverá el pistón en sus carreras ascendente y descendente permitiendo confinar los fluidos dentro de la bomba, el émbolo o pistón, que es el que desplaza el fluido dentro y fuera de la bomba, la válvula viajera, está ubicada en el pistón y permite el desalojo del fluido que está dentro de la bomba y, la válvula fija, que permite la entrada de los fluido desde el fondo del pozo al interior de la bomba. Las Cabillas de Succión, sirven de conexión entre la bomba de subsuelo y la unidad de superficie, cumplen con las funciones de transmitir energía, soportar las cargas y accionar la bomba. Las Anclas del Eductor, se encargan de regular el movimiento de la tubería eductora (donde se instalan), en el punto donde se controla el movimiento del pozo. El ancla se asienta en el revestidor para aprisionar el eductor. Ver Gráfico 5.

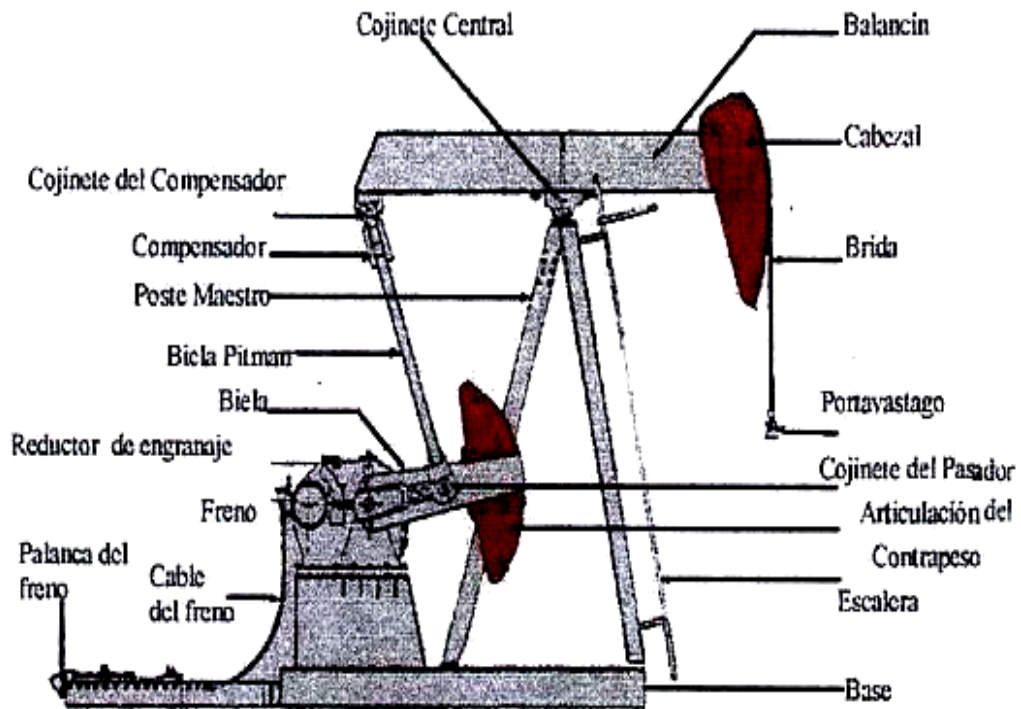


Gráfico 5: Sistema de Bombeo Mecánico

Fuente: Tesis Cipriano Solórzano, 2003

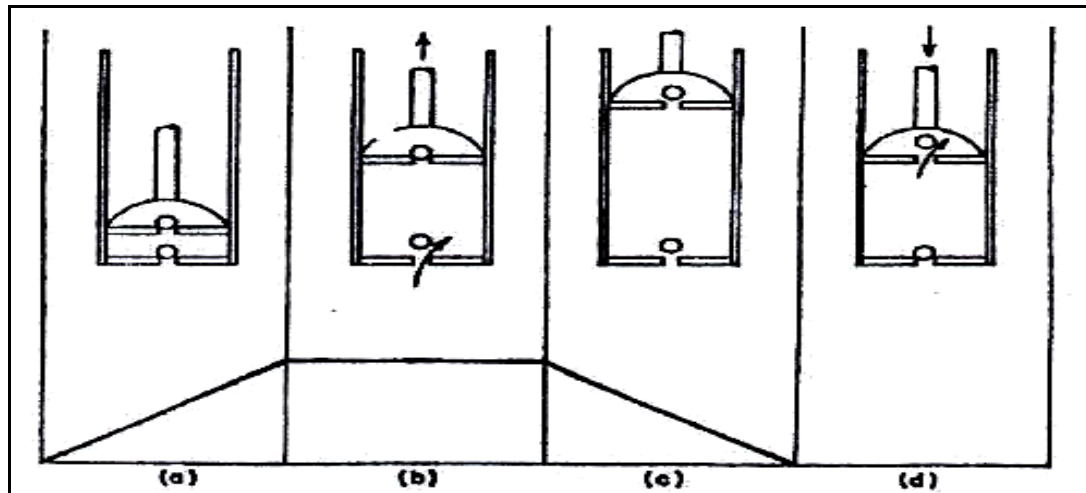


Gráfico 6: Etapas en el funcionamiento de una bomba de subsuelo

Fuente: Manual de Ingeniería Petrolera, 2002

En el gráfico 6 (Manual de Ingeniería Petrolera, 2002) se muestra el comportamiento de cargas en función del desplazamiento del pistón. La carga se transfiere de la tubería de cabillas.

En el gráfico 6-(a) (Ob. City) la válvula viajera está cerrada y soporta todo el peso del fluido en la tubería de producción, mientras que la válvula fija está comenzando a abrirse para dejar pasar el fluido del pozo a la bomba. Esta situación ocurre inmediatamente al comienzo de la carrera o recorrido ascendente del pistón.

En el gráfico 6-(b) (Ob. City) el pistón se mueve hacia arriba levantando la carga total de la columna de fluido. La válvula viajera permanece cerrada mientras que la válvula fija permanece abierta. En estas condiciones la presión debida al nivel de fluido en el revestidor actúa directamente sobre la parte inferior del pistón.

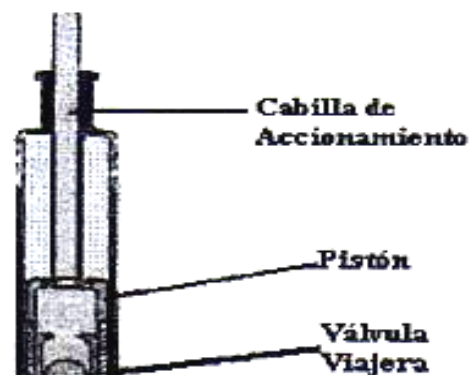
El gráfico 6-(c) (Ob. City) muestra el extremo superior del recorrido del pistón en la cual la carga es transferida de la bomba a la tubería de producción; la válvula viajera empieza a abrirse y la válvula fija comienza a cerrarse.

Finalmente el gráfico 6-(d) (Ob. City) muestra el pistón en su recorrido descendente moviéndose a través del fluido contenido en el cilindro de la bomba. La válvula viajera permanece abierta y la fija cerrada. La carga final en esta etapa es igual a cero. Una vez concluida esta etapa el ciclo se repite sucesivamente.

El equipo que se instala en el pozo, al nivel del subsuelo, (ver Gráfico 7) y sus componentes son:

1. La bomba: Controla el resto del diseño de una instalación de bombeo mecánico para un pozo ya que de su tipo, tamaño y ubicación dependerá la selección del resto de los componentes. Está formada por los siguientes elementos:

a) El Cilindro o Barril: La parte dentro de la cual se mueve en su recorrido de ascenso y descenso. Su largura se



predetermina por la carrera máxima del pistón y su dureza deberá resistir la acción abrasiva del pistón.

b) *El émbolo o Pistón:* La parte móvil que succiona y desplaza el líquido. En él se encuentra la válvula viajera que controla la entrada de fluidos de la bomba al interior del pistón.

c) *La Válvula Viajera:* Dispositivo ubicado dentro del pistón, está conformado por una esfera de acero y su respectivo asiento. Permite la entrada de fluidos al pistón en su carrera de descenso y hace un sello hermético en su carrera de ascenso.

Gráfico 7: Principales elementos de una bomba de Bombeo Mecánico

Fuente: Tesis Cipriano Solórzano, 2003

d) *La Válvula Fija:* Dispositivo similar a la válvula viajera ubicado en la base del barril. Permite la entrada de fluidos a la bomba en la carrera de ascenso del pistón y hace un sello hermético en la carrera de descenso.

2. Las Cabillas: Las cabillas de succión conectan el pistón de la bomba con la unidad de bombeo en la superficie. Tiene como función transferir energía, soportar cargas y accionar el pistón de la bomba. Existen clases y, entre las más conocidas, se tienen: Las cabillas convencionales, las continuas y las de fibra de vidrio (Gráfico 8). Las Cabillas de mayor uso son las convencionales que se fabrican en longitudes de 25' a 30' y que pueden ser instaladas en combinación de dos y tres diámetros distintos dependiendo de: La profundidad de la bomba, el tamaño de la tubería de producción, la tasa de producción y las características de los fluidos a ser bombeados.

3. Ancla de Tubería: Es una empacadura especial que sirve para anclar la tubería al revestidor de producción, reduciendo la contracción y el alargamiento de la ocasionada por la carrera de ascenso y descenso del pistón.

4. Ancla de gas: Es un tubo perforado en su parte superior que se coloca debajo de la bomba. Su función principal es la separación del gas que viene asociado al crudo.

2.5.1.3. Tipos de bomba de subsuelo:

Las bombas de subsuelo se clasifican en dos grupos principales: Las de tubería y las de inserción:

a) Las de tubería: El cilindro o barril se enrosca en la sarta de la tubería de producción. El pistón de esta bomba es de mayor diámetro que los de las bombas de inserción, lo cual genera una capacidad de desplazamiento superior. Presenta las desventajas de mayor frecuencia de reparaciones y por tanto mayores costos en mantenimiento (levantar toda la tubería).

b) Las de inserción: El ensamblaje completo de la bomba, incluyendo el cilindro o barril, se baja colgando al final de las cabillas y se asienta en un dispositivo especial para tal fin (niple o zapata), ubicado dentro de la tubería de producción.

Los criterios principales de selección de estos tipos de bombas de subsuelo son: Profundidad de operación, tipos de fluidos, productividad del pozo, temperatura de los fluidos y costos.

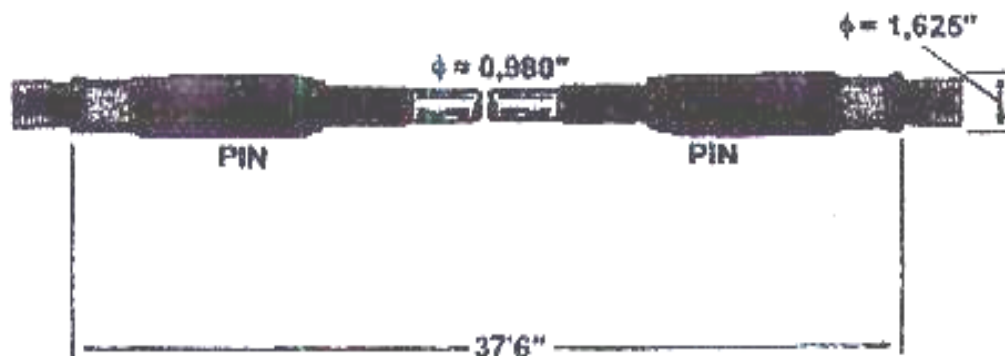


Gráfico 8: Cabilla de Fibra de Vidrio

Fuente: Tesis Cipriano Solórzano, 2003

2.5.1.4. Equipo de Superficie:

La unidad de superficie transmite la energía desde la superficie hasta el fondo del pozo, donde se encuentra ubicada la bomba de subsuelo, con el fin de elevar los fluidos hasta la superficie. Esto se puede apreciar en el Gráfico 8. Estas unidades se dividen en:

- Unidad de Bombeo o Balancín: Su función principal es proporcionar el movimiento reciprocante apropiado con el propósito de accionar la sarta de cabillas y consecuentemente a la bomba de subsuelo (Manual de Ingeniería Petrolera, 2002). El diseño de la unidad de balancín presenta tres aspectos esenciales (Ver Gráfico 9). Está conformada por los siguientes componentes:
 - a) Sistema reductor de velocidades: El cual utiliza para convertir la energía del movimiento rotacional sometido a las altas velocidades del motor primario a energía de movimiento rotacional de baja velocidad.
 - b) Sistema de articulación: Esta tiene por objeto trasladar el movimiento rotatorio primario a movimiento reciprocante, lo cual se lleva a cabo a través de la manivela-viga-balancín.
 - c) Sistema de Contrapeso: Proporciona una distribución equilibrada de las cargas durante el ascenso y el descenso a fin de reducir la potencia máxima efectiva y el momento máximo rotacional.

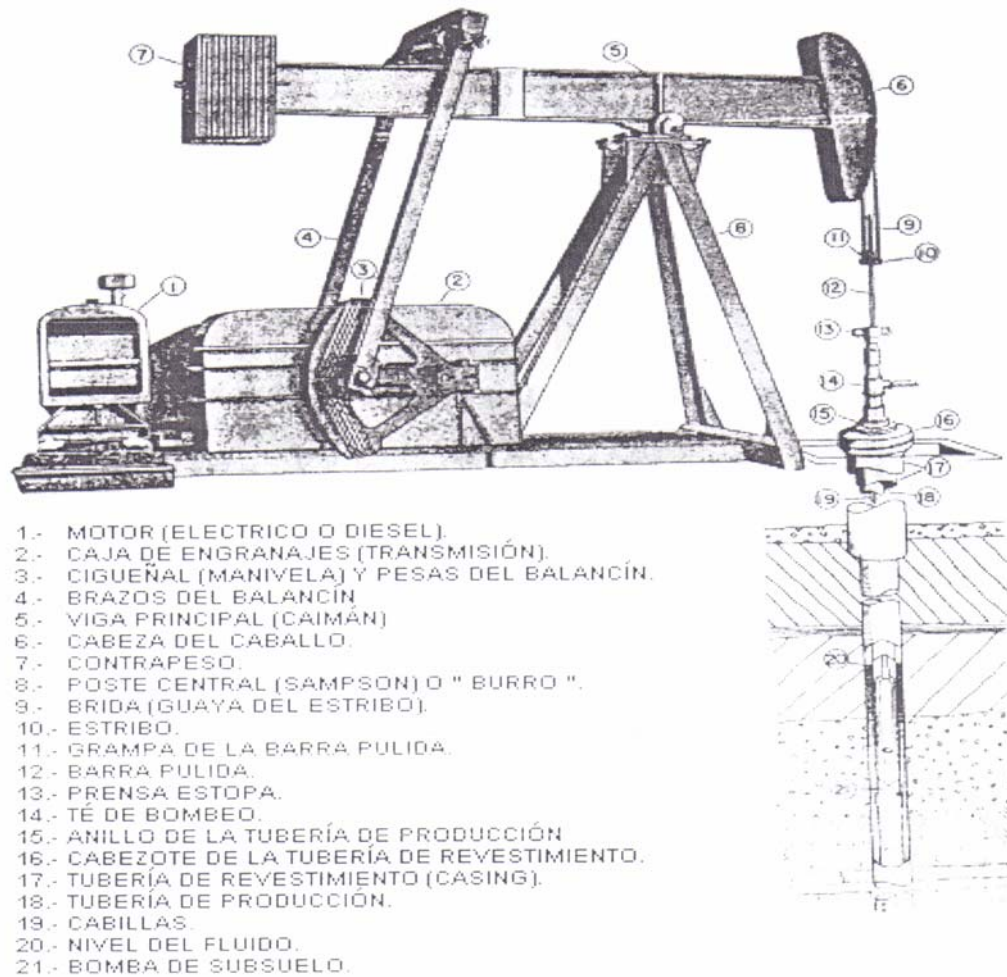


Gráfico 9: Elementos básicos que constituyen un pozo petrolero con Bombeo Mecánico

Fuente: Manual de Ingeniería Petrolera, 2002

2. Barra Pulida: Dispositivo de acero que conecta el tope de la sarta de cabillas a la cabeza del balancín.

3. Prensa estopa: Artefacto que forma el sello entre la barra pulida y el tope de la tubería de producción evitando derrame de crudo.(Gráfico 10)

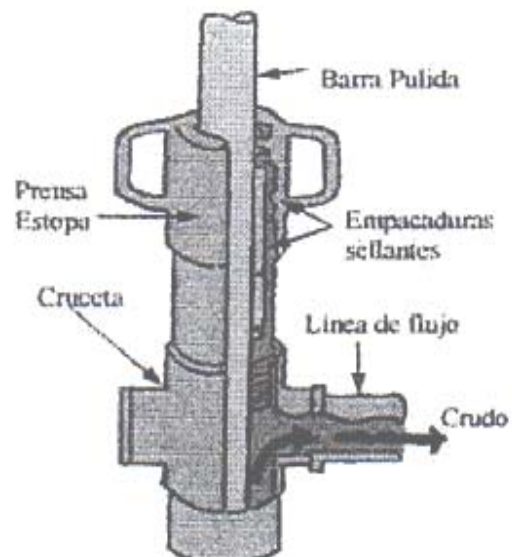


Gráfico 10: Prensa estopa y barra pulida

Fuente: Tesis Cipriano Solórzano, 2003

2.5.1.5. Ventajas:

Las principales ventajas del sistema de BM. se enuncian a continuación:

- Las unidades se pueden instalar fácilmente en otros pozos a un costo mínimo.
- El sistema es eficiente, simple y fácil de operar para el personal de campo.
- Es aplicable en pozos con completaciones sencilla y/o múltiple.
- Puede bombear un pozo con presión muy baja (dependiendo de la profundidad y la tasa).
- Tiene la flexibilidad para equilibrar la tasa de desplazamiento con la capacidad del pozo, cuando éste comienza a declinar.
- Existen métodos para analizar la efectividad del sistema.
- Puede realizar levantamientos de crudos a altas temperaturas, así como fluidos viscosos.
- Puede utilizar gas o electricidad como fuente de energía.
- Los tratamientos para resolver problemas de corrosión y escamas son fáciles de realizar.
- El sistema permite el uso de equipos detectores de fallas.
- Se pueden disponer de diversos diámetros.
- Las cabillas de bombeo huecas son utilizables para completaciones sencillas, ya que facilitan el tratamiento con inhibidores.
- El sistema puede poseer válvulas dobles, lo que permite bombear tanto en la carrera ascendente como en la descendente.

2.5.1.6. Limitaciones:

Las principales desventajas del sistema de BM. son:

- En pozos desviados se presentan problemas de fricción.
- Se tienen problemas cuando hay producción elevada de sólidos.
- Se limita a pozos poco profundos (profundidad menor a 12.000 pies).
- En pozos costa afuera se presentan problemas por el peso y el espacio que ocupa el equipo de superficie.
- En pozos con alta relación de gas / líquido se ve afectada la eficiencia de la bomba, reduciendo la producción.

2.5.1.7. Avances tecnológicos en BM.:

- a) Mejora en los conectores de cabillas –embolo para bombas de subsuelo: Intevep desarrollo el sistema de conexión AVF-AA que puede ser adaptado entre la sarta de cabillas con el émbolo en las bombas de subsuelo tipo tubería, ofreciendo menos resistencia al flujo y a la vez son altamente resistentes a la fatiga y la corrosión.
- b) Centralizadores Forceliner: Intevep desarrolló dos tipos de centralizadores, uno para la sarta de cabillas y otro para la barra pulida –vástago de tiro-, y consisten en un dispositivo que evita o reduce los efectos de centralización de los componentes del tren de bombeo en pozos desviados.
- c) Unidad de bombeo de mayor tamaño: las industrias Lufkin en Lufkin, Texas; diseñaron una bomba tradicional de cabilla de gran tamaño para Amoco, Canadá; esta unidad tiene un engranaje reducido capaz de transmitir un torque máximo de 1.824.000 pulgadas-libras con unas emboladas de 216 pulgadas.
- d) Eje reductor de velocidad: esta unidad es comercializada por Beatech Inc, en Perryton, Texas, la cual permite que se genere una operación con un mínimo de rpm (revoluciones por minuto) mientras se realizan las emboladas empleando una gran bomba de subsuelo; entre las ventajas que ofrece se tienen: se extiende la vida de la bomba, de la tubería de producción, de las cabillas y los equipos de superficie, se incrementa la eficiencia de bombeo, reduciendo los caballos de fuerza requeridos y permite una mejor sincronización de las emboladas desde la superficie hasta la bomba, reduciendo o eliminando la desviación de la sarta.

e) Utilización de las anclas de gas para reducir la interferencia de gas: la compañía Oryx Energy, opera en los pozos del campo Pearsall, EEUU, los mismos necesitan levantamiento artificial al iniciar sus vidas productivas para poder mantener altas tasas de producción. Inicialmente sólo se perforaron pozos verticales completados con equipo de bombeo mecánico por debajo de las perforaciones, creándose de manera automática un ancla de gas con el diseño implementado, el ancla de gas es un dispositivo usado en los pozos con L.A. mediante BM. y sirve para separar los fluidos del gas antes de entrar a la bomba de subsuelo, logrando incrementar la eficiencia del sistema al disminuir la interferencia causada por el gas libre dentro de la bomba.

2.5.2. Sistema de Bombeo Electrosumergible (BES)

Una instalación de bombeo electrosumergible típica (Gráfico 11), consta de un motor eléctrico, una sección sellada, una sección de entrada, una bomba centrífuga multi-etapa, cable eléctrico, un tablero de control en superficie, una caja de conexión(entre el pozo y el tablero) y un banco de transformadores.

En condiciones de operación, el equipo debe estar en el fondo del hoyo, suspendido de la tubería de producción y sumergido en el fluido del pozo. La presión

del pozo, a la profundidad de asentamiento del equipo, no genera problemas ya que la sección sellada iguala la presión interna del motor con la presión del hoyo.

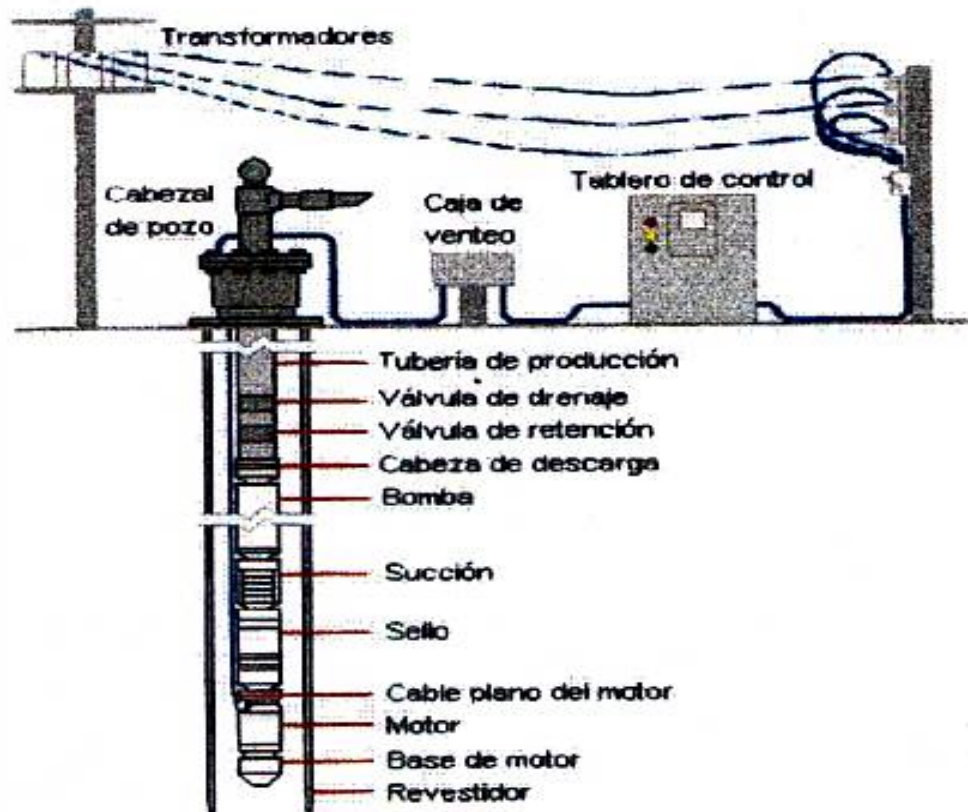


Gráfico 11: Completación típica para el Bombeo Electrosumergible
Fuente: Tesis Cipriano Solórzano, 2003

2.5.2.1. *Equipo de Subsuelo*

1. El motor es eléctrico: es el encargado de suministrar la potencia a la bomba, ubicado en el fondo del pozo pudiendo estar por encima o por debajo de la bomba y gira a una velocidad relativamente constante, 3475 a 3560 RPM para una frecuencia de 60 Hz y de 2900 a 2915 RPM para 50 Hz. La energía se transmite desde superficie, a través de un cable trifásico el cual se fija a la tubería de producción durante la completación del pozo. Los motores están llenos de aceite mineral para lubricar el sistema y permitir la disipación del calor para el enfriamiento del mismo.

2. Sección Protectora: está ubicado entre la bomba y el motor. Se usa para prevenir que los fluidos del pozo entren en contacto con el motor y el aceite dieléctrico, el diseño permite que se igualen las presiones internas y externas del aceite a la salida del motor por expansión y contracción del mismo.
3. Eje: está alojado en la bomba y el motor permitiendo el manejo directo de la bomba.
4. Bomba de Subsuelo: es de tipo centrífuga de múltiples etapas, cada etapa consiste en un impulsor rotatorio y un difusor estacionario; puede contener un separador de gas incluido si las condiciones del pozo lo ameritan. Se caracteriza por manejar altas tasas de fluidos con alta eficiencia y rentabilidad. El rango de estos equipos va desde 200 hasta mas de 100.000 barriles de fluido por día, con profundidades de bombeo que superan los 15.000 pies.
5. Cable Conductor: es un cable conformado por tres guayas aisladas de los fluidos del pozo en una resina, está envuelto por una cubierta metálica flexible para protegerlo de sufrir daño durante la instalación y remoción dentro del pozo; este va unido por una serie de grapas a la tubería de producción en intervalos de aproximadamente 15 pies de separación y pasa a la bomba a través del protector por una unión plana que deja un espacio libre entre ambos.

2.5.2.2. *Equipo de superficie*

- 1 Cabezal del Pozo: es el encargado de sustentar todo el sistema, permite el paso del cable y sirve de elemento sellante alrededor de éste y la tubería de producción.
- 2 Variador de frecuencia y transformadores: se utilizan para controlar las frecuencias y voltajes variables del motor de fondo. Adicionalmente lleva un banco de tres transformadores monofásicos, un transformador trifásico o un autotransformador.

- 3 Controlador eléctrico de superficie: consiste en un interruptor y un protector para el motor (donde usualmente existe un variador de frecuencias).
- 4 Caja de conexión: se utiliza como medida de seguridad, también se le conoce como caja de venteo; su función es la de permitir una conexión segura entre el cable que supe la energía y el cable de potencia del motor, se encuentra colocada entre el cabezal del pozo y el tablero de control.
- 5 Fuente de poder: puede venir de un generador o del sistema común doméstico de electricidad y depende de las facilidades de superficie.
- 6 Otros: además de estos equipos se utilizan válvulas check, tuberías de descargas, empacaduras, herramientas de cruce para completaciones dobles, transformadores especiales de voltaje, sensores de presión y un tanque atmosférico despojador de agua o una bomba de transferencia para mantener la presión del cabezal lo más baja posible.

Este método de levantamiento artificial es aplicable cuando se desea producir grandes volúmenes de fluidos, en pozos profundos y con grandes potenciales. Sin embargo, los consumos de potencia por barril diario son también elevados, especialmente en crudos viscosos. Una instalación de este tipo, puede operar dentro de una amplia gama de condiciones y manejar cualquier fluido o crudo, con los accesorios apropiados para cada caso. La función principal del sistema de bombeo es transmitir en forma de presión, la energía de un motor eléctrico sumergido en el fluido del pozo.

Es recomendable la aplicación del Bombeo Electrosomergible en pozos que se encuentren bajo las condiciones siguientes: Altas tasas de producción, altos índices de productividad, baja presión de fondo, alta relación agua-petróleo (factor que es considerado de abandono para otros métodos) y baja relación gas líquido. En yacimientos fracturados el recobro puede ser incrementado por que una disminución en las fracturas permite la expulsión de petróleo atrapado en la matriz.

El Bombeo Electrosomergible es eficiente en pozos donde el mecanismo de producción es por empuje de un acuífero activo, pozos sometidos a recuperación secundaria mediante inyección de agua y extensión de la vida productiva del pozo al mantenerse activos con cortes de agua hasta 98%. Para producir grandes volúmenes de fluidos se necesitan emplear grandes bombas lo cual implica un alto consumo de energía, pero se pueden usar bombas más pequeñas para pozos de bajo potencial. La eficiencia de la bomba depende de la cantidad de gas libre que se mueve junto con el líquido, pero en general, si la cantidad de gas libre es mínima o nula, la bomba alcanza eficiencias bastantes elevadas.

En referencia a la experiencia en Venezuela es importante destacar que en el área de Barinas (Campo Guafita) y Apure (Campo La Victoria) existen 95 Y 32 pozos, respectivamente, produciendo por Bombeo Electrosomergible. En el Campo Bare, existe una población de 56 pozos horizontales producidos por este método. Se utiliza inyección con diluyente de grado mediano para diluir el crudo del fondo del pozo disminuyendo su viscosidad y en consecuencia mejorar la eficiencia de la bomba.

2.5.2.3. *Clasificación de las bombas*

Las bombas son clasificadas de varias formas: de acuerdo a sus aplicaciones, de acuerdo a los materiales con que se construyen, los líquidos que ellas manejan, su orientación en el espacio, o el tipo de mecanismo que las impulsa.

Todas estas clasificaciones están limitadas a un propósito, y muchas veces, coinciden unas con otras. Otras formas de clasificarlas se basan en el principio de transferencia de la energía al fluido. De acuerdo a este sistema las bombas se clasifican en dos grupos básicos: Bombas dinámicas y bombas de desplazamiento.

En las bombas dinámicas, la energía se transmite continuamente al fluido y es utilizada para incrementar su velocidad. La diferencia de velocidad es

subsecuentemente convertida en diferencia de presión. La Bomba Centrífuga, consiste básicamente en la parte móvil, denominada impulsor (impeller), montada en un eje rotativo y una parte fija o inmóvil denominada difusor, la cual es una serie de canales donde gradualmente se incrementa el área seccional.

Las paletas del impulsor deben amoldarse de una forma apropiada, para que su rotación genere desplazamiento de las partículas de fluido desde la entrada hacia la zona de descarga. De esta manera dichas partículas son aceleradas, lo cual se traduce en un aumento de su energía cinética. Esta energía es parcialmente convertida en energía potencial (presión) en el impulsor y el difusor. Básicamente el conjunto impulsor-difusor constituye una etapa de la bomba y se muestra su esquema en el Gráfico 12.

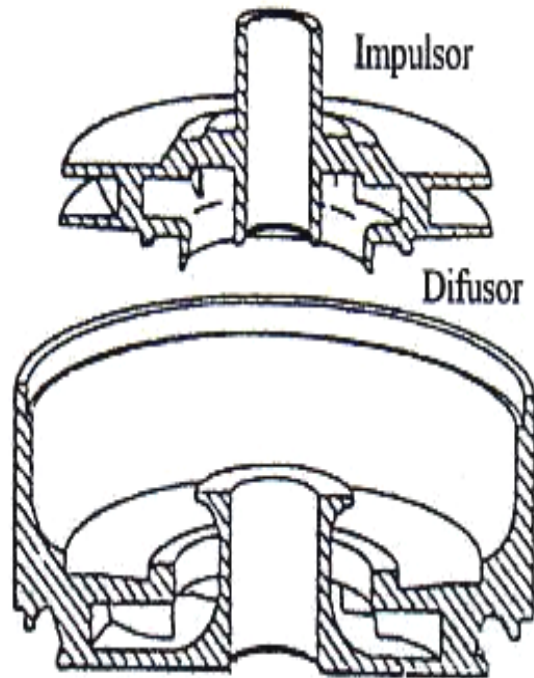


Gráfico 12: Esquema de una etapa
Fuente: Tesis Cipriano Solórzano, 2003

2.5.2.4. Eficiencia de la bomba

Las bombas pueden ser descritas en términos de eficiencias hidráulicas, volumétrica y mecánica. El producto de estos tres componentes es llamado comportamiento ante fluidos de diferentes gravedades específicas, viscosidades y variaciones en el equipo:

1. *Efecto de un cambio de velocidad:* En una bomba la tasa de flujo es directamente proporcional a la rapidez de giro. De forma similar la altura dinámica de fluido que la bomba puede alcanzar, es proporcional al cuadrado de su velocidad, y la energía suministrada al equipo por unidad de tiempo es proporcional al cubo de ese mismo parámetro.
2. *Efecto de la gravedad específica:* La altura dinámica producida por un impulsor no depende de la gravedad específica ni tampoco de la eficiencia de la bomba, pero la energía que debe suministrarse al equipo varía directamente con ella.
3. *Efecto de un cambio en el diámetro del impulsor:* Aunque la eficiencia de la bomba no cambia cuando varía el impulsor, su capacidad de elevar un líquido depende del cuadrado del diámetro.
4. *Efecto de la viscosidad:* El efecto de la viscosidad en el comportamiento de una bomba centrífuga, no se conoce con exactitud, pero se sabe que fluidos viscosos tienen una alta resistencia para fluir. Consecuentemente, las pérdidas por fricción y la fricción en los discos se incrementa, lo cual resulta en un aumento de la energía requerida por el equipo y en una disminución de la capacidad de elevación.

2.5.2.5. Ventajas

- Puede extraer volúmenes altos, 20.000 B/D (pozos poco profundos con revestidores grandes).
- En el mercado se encuentran unidades de 720 hp (537 Kw.) y 1000 hp (kw).
- No causa problemas en zonas urbanas.
- Es de fácil operación.

- Es de sencilla instalación del sensor de presión en el fondo del pozo para realizar la telemetría de presiones hacia la superficie por medio de cables.
- Es adaptable a perforaciones oblicuas y a pozos desviados sin problemas.
- Se aplican a instalaciones costa afuera.
- Se pueden aplicar tratamientos contra la corrosión y la formación de escamas.
- Disponibles diversos tamaños.
- Los costos de levantamiento son bajos para volúmenes apreciables de fluido.

2.5.2.6. Limitaciones

- Debe ser instalado arriba de las perforaciones con un anillo reforzado, para evitar que el fluido entre al motor.
- El sistema tiene limitaciones de profundidad: 1000 pies (3048 m); esto es por el costo del cable y a la incapacidad para instalar suficiente potencia.
- El cable causa problemas en el manejo de la tubería de producción y el mismo se deteriora a altas temperaturas.
- No es analizable fácilmente sin poseer buenos conocimientos de ingeniería.
- No se puede aplicar a completaciones múltiples.
- Es solamente aplicable cuando se usa energía eléctrica (altos voltajes 1000 v).
- No es práctico en pozos poco profundos con bajos volúmenes de producción.
- Carece de flexibilidad en la tasa de producción.
- La producción de gas y sólidos constituye un problema.
- Tiene como limitación el diámetro del revestidor.
- El cambio de equipo, debido al agotamiento del pozo resulta costoso.
- Se necesita más tiempo que en otros sistemas de L.A. para corregir fallas.

2.5.2.7. Avances en Bombeo Electrosomergible

El bombeo electrosumergible representa un método de levantamiento artificial día a día más popular en pozos donde se espera altos volúmenes de fluido. Los adelantos tecnológicos han introducido mejoras continuas y hoy se cuenta con bombas electrosumergibles recuperables y suspendidas por cable, que se introducen en el pozo únicamente para arrancarlo, produciéndolo luego por flujo natural.

1. Sistema de Monitoreo: la compañía Ecotek Corp., ofrece una herramienta para medir la presión y temperatura de fondo del pozo y transmitirla hasta la superficie.
2. Secciones de Sellos / protectores: Main Services International Inc., desarrollo un protector que no tiene puerto de venteo en el tope sino que comienza en la parte baja del protector igualando la presión interna y permitiendo la salida del agua desde el protector por gravedad.
3. Vector Controlador de Flujo: Unico, Inc., ofrece el vector controlador de flujo para el control de variable de la velocidad de las bombas electrosumergibles, con disponibilidad superior a los 300 caballos de fuerza, tecnología de flujo vectorial.
4. Controlador del Motor: Permian Electronics, Inc., ofrece controladores para pozos “Welltronics” de bajo costo para bombas electrosumergibles que realizan los ajustes necesarios según los requerimientos y características de cada pozo.
5. Separación de Agua / petróleo: Center Engineering desarrollo este sistema, probado en distintos tipos de bombas, y un hidrocyclon colocado en la parte inferior del conjunto de bombeo electrosumergible, que se encarga de realizar la separación del petróleo y el agua de formación que es depositada en el fondo del pozo por debajo de una empacadura que aísla ambas zonas, mientras que el petróleo es producido hasta la superficie.
6. Manejador de Gas Mejorado: La empresa Reda, introdujo un sistema avanzado para manejar el gas en bombeo electrosumergible utilizando trampas de gas.
7. Cable resistente a altas temperaturas en revestimiento de plomo: la compañía Centrilift, desarrollo un revestidor para cables de potencia para las BES, se considera que este cable puede conducir hasta una temperatura mayor a los 450°F.

8. Bombas electrosomergibles para altas temperaturas: la compañía Centrilift realizó pruebas de campo con bombas a alta temperatura aplicando inyección de vapor, en donde la temperatura máxima interna del motor se estimó cerca de 500°F.
9. Avance para pozos en ambientes gaseosos: la empresa Centrilift introdujo dos componentes adicionales para aplicaciones en ambientes gaseosos. El primero es una bomba de múltiples etapas que maneja grandes cantidades de gas libre sin tener que emplear trampas de gas, y el segundo componente suministra un ciclo separador que provee la separación del gas por la inducción del movimiento rotatorio tipo ciclón de los fluidos (gas y líquido).
10. Separadores de gas por compresión: la empresa ODI ha cambiado la aplicación del separador dinámico con la compresión de gas de las bombas ahusadas.
11. Separador de arena tipo vórtice: el separador de gas tipo vórtice “Vortex” de la compañía ODI está diseñado para operar bajo condiciones adversas, se pueden utilizar con la bomba de arena ODI para separar el gas en condiciones de alta producción de arena.
12. Desarenador en el fondo del pozo: este sistema fue desarrollado por Cavins Corp. el cual se utiliza para proteger las BSE de los daños causados por sólidos como arena o sulfuro de hierro; el dispositivo previene la entrada de sólidos al interior de la bomba. Se han desarrollado nuevas bombas diseñadas con mayor área de flujo por etapa, menos afectadas por deposición de escamas, fluidos viscosos y sólidos, por ejemplo la FC-450 con un flujo entre 200 – 625 B/D, la GC-1150 con flujo entre 750 – 1500 B/D, la GC 10000 con flujo entre 33.500 – 44.000 B/D.

2.5.3. Sistema de Bomba de Cavidad Progresiva (BCP)

Consiste en una bomba de tipo tubular con un rotor helicoidal sencillo, rotando concéntricamente dentro de un estator helicoidal elastomérico, el cual constituye una doble hélice con una longitud del doble del recorrido del rotor un giro. La geometría

del ensamblaje determina una serie de cavidades separadas idénticas. Cuando el rotor realiza un giro dentro del estator, estas cavidades se desplazan axialmente de una punta del estator a otra, desde la succión a la descarga, creando la acción de bombeo de fluidos viscosos, abrasivos, multifásicos y gaseosos con amplio rango de tasas de fluido y diferenciales de presión.

Esta bomba es de desplazamiento positivo, ya que las cavidades se encuentran selladas una respecto a la otra. Este desplazamiento además de ser función de la velocidad a las tres constantes de diseño: el diámetro seccional del rotor, su excentricidad (radio de la hélice) y el espaciado de la hélice del estator. El desplazamiento por revolución varía con el tamaño del área de la cavidad.

La capacidad de presión de estas bombas depende del número de veces que se repiten las líneas de sello formadas por el rotor y estator, el número de etapas dentro de la bomba; a mayor número de líneas de sello o etapas, mayor es el incremento de la capacidad de presión, permitiendo a la bomba actuar a una mayor profundidad en el pozo. A medida que la presión se incrementa para un número dado de etapas y velocidad, la tasa de flujo disminuye; esta reducción causada por la mayor presión es llamada deslizamiento o resbalamiento. La cantidad de resbalamiento es determinada por la presión y es independiente de la velocidad, así mismo hay tres factores que afectan la cantidad de resbalamiento: el número de líneas de sello o etapas, la viscosidad del fluido y el ajuste de compresión entre el estator y el rotor.

Elas también exhiben baja inercia rotacional y tienen baja velocidad interna de los fluidos, lo cual minimizan la acción de los mismos.

2.5.3.1. *Equipo de Subsuelo*

- Sarta de cabillas: son similares a las empleadas por bombeo mecánico, pero diseñadas con una mayor resistencia a los esfuerzos axiales.
- Bomba de subsuelo: esta constituida por los siguientes componentes:

1. Rotor metálico: constituye la parte móvil de la bomba, su forma es del tipo tornillo sin fin; la misma está formada por una hélice de metal, se encuentra al final de la sarta de cabillas y tiene un asiento especial diseñado dentro del estator.
2. Estator: es la parte exterior de la bomba, formado por un cilindro de acero en su interior que contiene un elastómero sintético con forma de doble hélice cuyo diámetro interno es igual al del rotor pero con una longitud equivalente al doble del recorrido del rotor en un giro.
3. Niple de paro: es una tubería colocada en la parte inferior del estator y define la base del mismo. Su importancia consta en que es punto base para el espaciamiento de la bomba, en el interior de éste se pueden colocar herramientas como anclas de gas, anclas de tubería, filtros de arena, empacaduras, etc.

2.5.3.2. *Equipo de superficie*

- Barra pulida: se encarga de acoplar la sarta de cabillas al motor; además permite realizar el espaciamiento durante la instalación.
- Cabezal de rotación: soporta todo el peso del conjunto de fondo, producido por la sarta de cabillas y el peso generado por el fluido sobre el estator, ambos efectos generan un esfuerzo axial que debe ser soportado por el cabezal de rotación.
- Cono centralizador: se utiliza para centralizar la barra pulida por encima del motor variador mecánico, así mismo evita altas vibraciones en el sistema que pueden dañar los elementos sellantes en la caja reductora y en el cabezal de rotación.
- Grampa: sujeta la barra pulida y la sarta de cabillas al cabezal de rotación.
- Base del conjunto motor: acoplada directamente al cabezal del pozo, conteniendo la prensa estopa.
- Conjunto motriz: el diseño de este equipo depende directamente del tipo de mecanismo que se utiliza para accionar el equipo de subsuelo, el cual puede ser de dos tipos: (a) poleas, que esta formado por el motor eléctrico o de combustión interna,

reductor de engranajes y el conjunto de poleas. (b) motovariador, consiste de un variador mecánico de velocidad conectado al motor y luego a un reductor de engranajes; se encarga de generar la potencia necesaria para inducir el movimiento del conjunto encabillado/rotor, conformado por tres elementos: motor eléctrico de corriente trifásica, un sistema mecánico de variación de velocidad y una caja reductora.

2.5.3.3. *Ventajas*

El sistema de BCP presenta ciertas ventajas acotadas a continuación:

- Menor costo de adquisición, instalación y mantenimiento que otros métodos alternos de L.A.
- Alta eficiencia total (50 y 60%, mayor que otros métodos de L.A.)
- Bajo costo por barril producido.
- Bajo consumo de energía eléctrica.
- Reduce el problema de flotabilidad de cabillas en crudos muy pesados, incrementando su vida útil y la habilidad de producir estos crudos de alta viscosidad.
- Habilidad de producir altas concentraciones de arena y de tolerar altas concentraciones de gas.
- No tiene válvulas o partes reciprocantes que obstruyen el flujo.
- Bajas tasas de corte interna (limita emulsificación de fluidos aun con agitación).
- Maneja cortes de agua relativamente altos.
- Menor costo de capital, comparados con otros sistemas de L.A.
- Preserva el ambiente en áreas urbanas, debido al menor contorno en superficie y más bajo nivel de ruido.
- Aplicable a instalaciones costa afuera.

2.5.3.4. *Limitaciones*

A continuación se mencionan algunas de las desventajas que presenta el sistema de BCP:

- No se utiliza este sistema para la producción de crudos livianos.
- Tasa de producción limitada (3000 B/D).
- Levantamiento limitado (7000 pies)
- No es aplicable a pozos con altas concentraciones de aromáticos, ya que afecta al elastómero.
- La temperatura es una limitante, debido a que el elastómetro del estator trabaja hasta cierta temperatura (máximo 330°F).
- Sensible al ambiente del fluido, ya que el elastómetro se puede hinchar en presencia de ciertos fluidos.
- Maneja sólo ciertas cantidades limitadas de gas, debido a que la goma se calienta con la fricción del mismo (el crudo actúa como lubricante y enfriador).
- Tendencia del estator a sufrir daño permanente si la bomba trabaja sin fluido, aún por periodos cortos de tiempo.
- El daño de la sarta de cabillas y tubería de producción puede ser un problema en pozos direccionales y horizontales.
- La mayoría de las resistencias requieren sacar la tubería de producción para reemplazar la bomba.
- El sistema está propenso a excesiva vibración en aplicaciones con altas velocidades, necesitando el uso de ondas de tuberías y estabilizadores de la sarta de cabillas.
- Se necesita que el personal operador tenga experiencia en el diseño de sistemas, instalación y operación.

2.5.3.5. Avances Tecnológicos en Bombas de Cavidad Progresiva

1. Bombas Insertables: la empresa Geremia, Brasil, ha introducido en sur-América una bomba por cavidad insertable, la cual puede ser removida utilizando el rotor para

halar el estator de la bomba. Se puede utilizar en pozos de bajo potencial de producción. En Venezuela, la empresa Maraven, introdujo esta tecnología en 23 pozos de la Costa Bolívar, con excelentes resultados.

2. Bombas de cavidad progresiva con motores electrosumergibles: son bombas con motores de fondo que buscan desarrollar el bombeo de cavidad progresiva con motor electrosumergible, el cual eliminaría el desgaste de la sarta de cabillas y de la tubería, la necesidad de girar la sarta de cabillas y ordenarlas correctamente en el diseño para hacerlas girar y soportar el máximo esfuerzo, extendiendo así su aplicación a cualquier pozo.

3. Diseño del separador: cuando en el pozo se coloca un separador de gas cerca de la pared del pozo por medio de un desentralizador, de modo que exista un área mayor en una de las caras del separador, se permite el flujo de gas hacia arriba; los puertos de entrada están colocados en la otra cara del separador en donde hay una mayor acumulación de líquido, por lo tanto la entrada de fluidos a la cámara del separador es tranquila pues existe menos gas que si el separador estuviera concéntrico.

4. Sistema de Bombeo Rotalift: es un sistema de B.C.P. que posee un manejador directo, incorporando un método simple para el espaciado de las cabillas.

5. Motovariadores de B.C.P.: la empresa IterRep Inc., ofrece una línea completa de manejadores internos de superficie y paneles controladores, diseñados para las bombas de cavidad progresiva.

2.5.4. *Sistema de Bombeo Hidráulico (BH)*

Es el sistema de L.A. más costoso desde el punto de vista de gastos operacionales. Existen dos modalidades en este sistema, el Bombeo Hidráulico Tipo Pistón y el Bombeo Hidráulico Tipo Jet.

El B.H. Tipo Pistón se basa en el uso de bombas reciprocantes cuyo principio de acción es semejante al de las bombas de B.M. Las bombas hidráulicas emplean un pistón accionado por el flujo inyectado a alta presión, una cabilla y dos o más válvulas de retención. El flujo a alta presión acciona la sección motriz en el fondo del pozo de manera recíproca al exponer alternadamente diferentes áreas de un pistón impulsor al flujo presurizado. El movimiento recíproca del pistón impulsor se transfiere a través de un acoplamiento mecánico a una bomba pistón.

El B.H. Tipo Jet es similar al antes mencionado en cuanto a su principio de funcionamiento, basado en la inyección de un fluido presurizado (fluido de potencia o fluido motor); también son parecidos en equipos e instalaciones de superficie, pero lo que los diferencia es la bomba de subsuelo. Los fluidos de potencia más usados son el agua y crudos livianos.

Los sistemas de B.H. combinan el uso de altas presiones y bajas tasas de flujo para reducir las pérdidas por fricción e incrementar la capacidad de levantamiento y eficiencia del sistema. En el sistema el flujo de potencia puede estar cerrado o abierto.

En el sistema cerrado el fluido de potencia retorna a la superficie por un conducto separado y no requiere de instalaciones de superficie para su tratamiento; este sistema tiene mayor aplicación en áreas cercanas a poblaciones y en plataformas marinas, donde generalmente se utiliza agua como fluido de potencia.

En el sistema abierto se efectúa la mezcla del fluido de potencia y los fluidos producidos en el fondo del pozo (al nivel de la bomba de subsuelo), esta mezcla pasa a través de las instalaciones de superficie. La mezcla realizada en el fondo del pozo tiene varias ventajas: se disminuyen los efectos corrosivos de los fluidos de formación y al producir crudos pesados y extrapesados se reduce la viscosidad cuando se usan crudos livianos como fluidos de potencia.

2.5.4.1. Equipos de Superficie

- Tanques de almacenamiento, tanques de lavado, separadores y/o tratadores. Cuando se utiliza petróleo como fluido de potencia en un sistema abierto, dicho fluido se obtiene de los tanques de almacenamiento o de los oleoductos. Si se está produciendo en un sistema cerrado con un fluido de potencia, bien sea agua o petróleo, se debe disponer de un tanque de almacenamiento y equipos de control para limpieza de sólidos.
- Bomba múltiplex o triplex: son bombas de acción recíprocante; la bomba múltiplex consta de un terminal de potencia (cigüeñal, biela y engranajes) y de un terminal de fluido (pistones individuales con válvulas de retención a la entrada y a la descarga).
- Válvulas de control: usadas para regular y distribuir el suministro de fluido de potencia de uno o más pozos. La válvula de cuatro vías es la que permite diferentes procesos durante el bombeo.
- Múltiplex de control: se utiliza para dirigir los flujos a cada uno de los pozos; una válvula de presión regula constantemente la presión del flujo de potencia del múltiplex así como la cantidad del mismo que se necesita en cada pozo cuando se usa una bomba recíprocante.
- Lubricadores: es una pieza de la tubería extendida con una línea lateralmente para desviar el flujo cuando se baja o extrae la bomba del pozo.

2.5.4.2. Equipo de subsuelo

- Arreglo de tubería: permite clasificar los diferentes tipos de instalaciones, tales como el insertador fijo, el entubado fijo, el de bomba libre tipo paralelo y el de bomba libre tipo entubado.

- Bomba hidráulica de succión: el principio de operación de las bombas hidráulicas reciprocantes es similar al de las bombas de cabillas en B.M., sólo que en una instalación de B.H. Tipo Pistón la cabilla se encuentra en el interior de la bomba.

2.5.4.3. Ventajas

Entre las ventajas del B.H. se pueden mencionar:

- La profundidad no es limitante para levantar grandes volúmenes, 500 B/D (79,49 m³/d) desde 1500 pies (4572 mts). Se ha instalado hasta 18.000 pies.
- Las perforaciones oblicuas representan mínimos problemas.
- No crea problemas en localidades urbanas.
- Las fuentes de energía pueden estar ubicadas en localidades remotas (puede usar gas y/o electricidad como fuente de energía).
- Es flexible, usualmente puede equiparar el desplazamiento con la capacidad del pozo cuando el mismo comienza a declinar.
- Las bombas de subsuelo pueden ser extraídas con facilidad en sistemas libres, sin necesidad de cabria o equipo de guaya.
- Puede bombear pozos que tengan baja presión.
- Es aplicable a completaciones múltiples e instalaciones Costa Afuera.
- En los sistemas cerrados se puede inhibir la corrosión.
- La caja de engranaje ajustable para triplex ofrece más flexibilidad.
- Mezclando fluidos de potencia con crudos pesados o extrapesados se puede reducir la viscosidad de los últimos.
- El tamaño de la bomba así como su velocidad pueden ser cambiados fácilmente, manteniendo las condiciones del pozo.
- Es posible subir la bomba hasta la superficie sin remover la tubería de producción.
- Una estación central en superficie es capaz de manejar varios pozos.
- El B.H. es más flexible para adaptarse a cambios con respecto a la tasa de producción.

- Las bombas hidráulicas son utilizadas exitosamente en pozos direccionales.
- Una bomba hidráulica con pistón tiene una mejor eficiencia a grandes profundidades que una bomba que emplee cabillas, ya que no existe el estiramiento de las mismas.

2.5.4.4. Limitaciones

Entre las limitaciones del B.H. se pueden mencionar:

- o La producción de los sólidos es dificultosa.
- o Los costos de operación pueden llegar a ser altos.
- o Los sistemas de potencia que emplean petróleo como fluido de trabajo constituyen un riesgo de incendio.
- o Las altas temperaturas pueden causar fallas en las empaaduras.
- o Se necesita un gran inventario de crudos livianos en los sistemas de potencia, lo que disminuye su aprovechamiento.
- o Generalmente es sensible a las concentraciones de gas, que normalmente no es venteado.
- o Las instalaciones venteadas son más costosas, ya que necesitan tubería adicional.
- o Realizar tratamientos para quitar escamas debajo de la empaadura es dificultoso.
- o No es sencillo para el personal de campo diagnosticar y corregir fallas con prontitud.
- o Es difícil obtener pruebas válidas de pozos cuando estos poseen bajos volúmenes de producción.
- o Alta inversión inicial. Se requieren equipos de alta presión, líneas para los fluidos de potencia, bomba triplex, filtros para el tratamiento de fluidos de potencia y cabezales en los pozos. Además la tubería debe ser de diámetro lo suficientemente grande y resistente para soportar altas presiones.
- o Se requiere todo un tratamiento para acondicionar al fluido motriz.

- o El mantenimiento de los equipos para altas presiones en la superficie es altamente costoso. Adicionalmente, las altas presiones en superficie representan un riesgo para la seguridad de las zonas urbanas cercanas.
- o Las altas RGL en la entrada de la bomba afectan la eficiencia de la misma.
- o Para algunas instalaciones es necesario dos sarta de tuberías.
- o Presentan problemas en el tratamiento del agua usada como fluido de potencia.
- o Presentan pérdidas de potencia debido a fallas en los equipos de superficie.
- o En Venezuela no se cuenta con personal suficientemente calificado en conocimiento y pericia para operar y realizar el mantenimiento de estos equipos.

2.5.4.5. Avance tecnológico en Bombeo Hidráulico

- Bomba hidráulica de gas (BHG): las bombas hidráulicas de gas pueden considerarse como excelente opción a la hora de instalar un método de L.A. para pozos con producción de gas; puede ofrecer diversas ventajas sobre los otros métodos como por ejemplo que el gas no interfiere en las operaciones de levantamiento y es altamente resistente a los daños causados por los sólidos, debido a su configuración mecánica de pocas piezas y baja cantidad de partes móviles. Estas bombas trabajan por presión de gas, se inyecta un volumen de gas presurizado por medio de una línea de inyección dentro de la cámara de subsuelo para desplazar los fluidos hasta la superficie, luego es venteado en la cámara permitiendo el recambio. Un pozo completado con BHG produce gas a través del espacio anular y cuando el sistema ventea en la cámara, la presión del gas es liberada hacia el anular, el compresor presuriza el gas que es separado y producido desde el anular y provee de poder a la bomba de subsuelo.

2.5.5. Sistema de Levantamiento Artificial por Gas

Una instalación de L.A.G. consta de una sarta de producción con su equipo asociado, la línea de flujo, el separador, equipos de medición y control, planta compresora o fuente de gas de levantamiento de alta presión y líneas de distribución

de gas. El equipo de producción está conformado por uno o más piezas tabulares denominadas mandriles, en los cuales se inserta o enrosca una válvula de levantamiento a través de la cual pasa el gas destinado a levantar el fluido de producción.

El sistema de L.A. por Gas (LAG), puede ser de dos maneras inyección de gas continuo o inyección de gas intermitente.

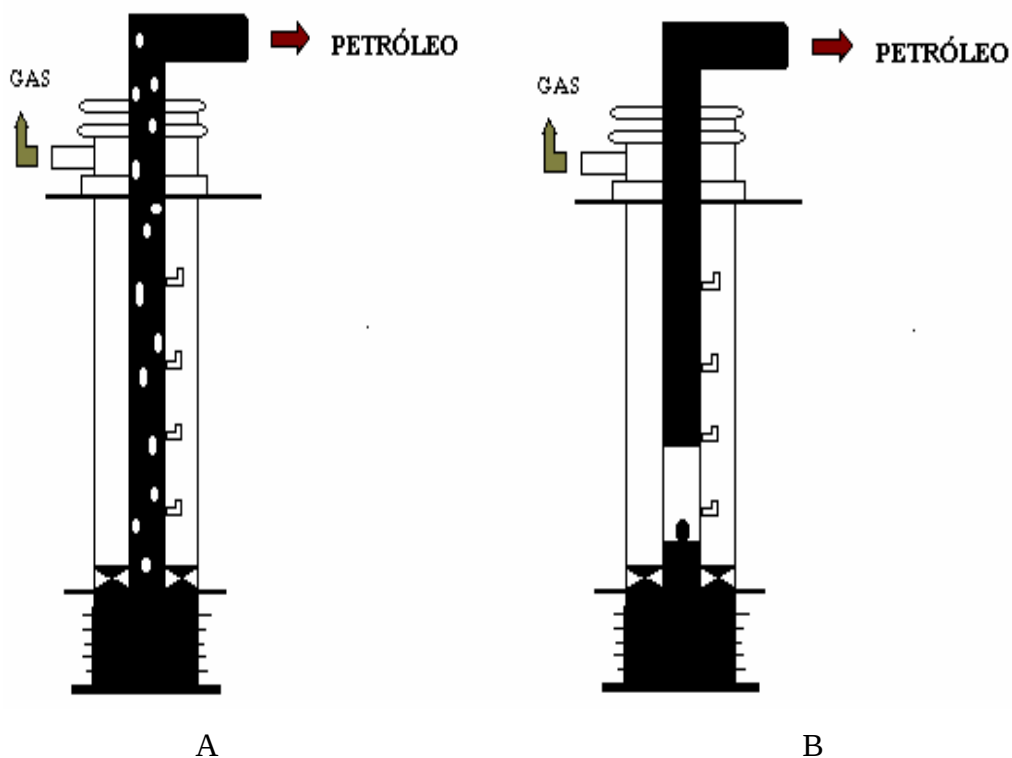


Gráfico 13: Figura A: Levantamiento artificial por flujo continuo de gas

Figura B: Levantamiento artificial por Flujo cíclico de gas

Fuente: Manual de Ingeniería de Producción Petrolera, 2002

El primero se fundamenta en la inyección continua de gas a alta presión en la columna de fluido de producción (flujo continuo), con el objeto de disminuir la densidad del fluido y reducir el peso de la columna hidrostática sobre la formación, obteniendo de esta manera un diferencial de presión entre el yacimiento y el pozo, lo

que permite que el pozo fluya adecuadamente; esto causa el aumento de la relación gas / líquido (RGL) por encima del punto de inyección.

Este método se aplica en pozos con presiones de fondo y tasas apreciables, dentro de un amplio rango de índices de productividad. También es capaz de manejar sólidos (arena) y aplicarse tanto en pozos someros como en pozos profundos.

Este método posee dos variantes, una es el LAG en tubería continua, en la cual el gas se inyecta por el espacio anular y la producción se realiza por la sarta de tubería; y la otra es el LAG continuo por el anular, en el cual el gas es inyectado por la sarta de tubería y la producción se lleva a cabo por el espacio anular. El segundo sistema de LAG, se basa en la inyección de gas a intervalos regulares, para desplazar los fluidos hacia la superficie en forma de tapones de fluidos (flujo intermitente). Como variantes de estos métodos se han desarrollado otros como la cámara de acumulación, el pistón metálico y el flujo pistón.

2.5.5.1 Equipos de Subsuelo

El equipo de subsuelo es una de las partes fundamentales del L.A.G. y está constituido por las válvulas de L.A.G. y el mandril. Las válvulas de L.A.G. son las que permiten la inyección de gas a alta presión del gas que se encuentra en el espacio anular. Sus partes principales son: la nariz a través de la cual se logra la admisión del gas desde el cuerpo de la válvula a la tubería de producción, el cuerpo de la válvula que permite la entrada de gas desde el anular y mediante el control de la presión lo transmite a la tubería, y por último la traba o candado, cuya función es permitir el agarre de la válvula para su asentamiento (mandril) para la pesca.

El mandril es una sección tubular que permite colocar la válvula a profundidad deseada y admite el gas del anular hacia la válvula de L.A.G., se instala junto con la tubería de producción (puede ser de tipo convencional) en donde la válvula va

enroscada externamente con un protector superior; para la recuperación de dicha válvula es necesario sacar la sarta de producción tipo bolsillo.

2.5.5.2 Ventajas

Entre las ventajas del sistema de L.A. por inyección de Gas continuo se pueden mencionar las siguientes:

- Maneja grandes volúmenes de fluido en pozos con altos índices de productividad (50.000 B/D o 7.949,37 m³/d).
- Puede manejar grandes volúmenes de sólidos con problemas mínimos.
- Con una planta de compresión, este método es aplicable a varios pozos a la vez.
- Es flexible al momento de conversión de L.A.G. continuo a intermitente.
- No crea problemas en localidades urbanas.
- La fuente de energía puede estar localizada remotamente.
- Es fácil obtener las presiones y los gradientes en cualquier parte del pozo.
- El levantamiento de los fluidos en los pozos de gas no constituye un problema.
- En algunos de los casos se pueden recuperar las válvulas con equipo de guaya.
- Las completaciones desviadas no representan un problema.
- Es aplicable en instalaciones Costa Afuera.

Entre las ventajas del sistema de L.A. por inyección de Gas intermitente se pueden mencionar las siguientes:

- Puede obtenerse menor presión de fondo que en flujo continuo y con menor relación de gas de inyección.
- Se realiza la recuperación de válvulas con técnicas de guaya fina o con tuberías.

2.5.5.3 Limitaciones

Algunas de las limitaciones de sistema de L.A. por Gas se pueden mencionar las siguientes:

- o Presenta pérdidas de fluido por resbalamiento. La fracción del tapón que cae es la diferencia entre el tapón original y la fracción del tapón que se produce.
- o La tasa máxima de producción es limitada, frente a otros métodos de L.A.
- o Está limitado a bajas profundidades.
- o Se necesita disponer de una fuente de gas de alta presión.
- o Se presenta canalización del gas través del tapón de fluido, el cual produce una disminución del tapón de líquido.
- o No es posible obtener presión mínima de fondo durante la producción del pozo, debido a incrementarse tanto por la profundidad como por el volumen inyectado.
- o El pozo debe contar con un alto Índice de Productividad.
- o La RGL de los fluidos producidos debe ser medianamente alta, para justificar la inyección continua de gas.
- o En muchos campos no se dispone del gas necesario para aplicar LAG.
- o No es eficiente en campos relativamente pequeños y más aún si se necesita un equipo de compresión.
- o Existe dificultad al momento de levantar fluidos viscosos o/y emulsiones.
- o Tiene problemas de formación de hidratos y congelación de gases.
- o Presenta problemas con líneas superficiales sucias.
- o El revestidor debe resistir la presión de levantamiento.
- o Presenta problemas de seguridad con el gas a altas presiones.
- o Se dificulta realizar el análisis adecuado sin supervisión en ingeniería.
- o Para pozos profundos con presiones de abandono, no es eficiente el LAG.
- o Está limitado a levantar crudos medianos y livianos.
- o Para bajas presiones de yacimiento se requiere grandes volúmenes de gas.
- o En sistemas reciprocantes necesita gas de formación para los motores de combustión interna.

El sistema de LAG continuo, es normalmente más eficiente que el de inyección intermitente de gas, por lo tanto, debe tomarse la decisión correcta al momento de la

elección. La finalidad de la inyección en forma intermitente es impulsar hacia la superficie un tapón de fluido que inicialmente se encuentra por encima del punto de inyección. Esta es la causa por la cual el proceso requiere altas cantidades de inyección de gas, para que el fluido acumulado viaje a una velocidad mayor que en la inyección continua y así incrementar la eficiencia de producción, disminuyendo las pérdidas por resbalamiento del líquido.

2.5.5.4 Avances tecnológicos en L.A.G.

A lo largo de estos últimos años se han introducido algunas mejoras en los sistemas de L.A.G. con la finalidad de adaptarlos a las necesidades y requerimientos de los campos donde se quiere aplicar y así reducir los costos totales. El sistema de L.A.G. es uno de los métodos más utilizados en la industria tanto nacional como internacional; a continuación se presentan algunas de las mejoras realizadas en este campo:

- 1. Válvula internamente rediseñada:** la empresa Halliburton Energy Services de Carolto, Texas, ofrece una válvula denominada “NOVA” para pozos con problema de cabeceo en el revestidor o en el eductor, permite una inyección desde el revestidor al eductor con una presión constante de revestidor (aguas arriba) hasta alcanzar el flujo crítico en la presión del eductor significativamente alta (aguas abajo).
- 2. Válvula estranguladora de fondo ajustable hidráulicamente:** la empresa Halliburton Energy Services, ha desarrollado una válvula hidráulica estranguladora en el fondo del pozo (HDAC), la cual es de tipo extraíble con guaya y puede ser selectivamente ajustada desde la superficie del pozo a uno de los orificios equivalentes de los muchos disponibles.
- 3. Sarta de velocidad o Sifón:** la sarta de velocidad consiste en instalar una tubería de menor diámetro dentro de la tubería de producción, con el objeto de

mejorar la hidráulica de flujo en la tubería y mantener o mejorar la producción. Utilizando este método se obtienen beneficios económicos adicionales como la eliminación del taladro para realizar el reacondicionamiento, se emplea en pozos que no tienen energía suficiente para levantar el fluido hasta la superficie debido al diámetro considerablemente ancho de la tubería de producción.

4. Válvulas de gas lift interna a la tubería continua: las empresas Camco Products & Services de Houston, Texas, elaboraron una nueva serie de válvulas concéntricas usando tecnología “through-bore”, la ventaja de este sistema se fundamenta en la posibilidad de introducir al fondo del pozo un conjunto de herramientas con el empleo de equipos de guaya fina y además poder realizar diferentes trabajos a altas presiones y temperaturas sin la necesidad de extraer las válvulas internamente montadas en la sarta de producción; la presión para operar la válvula es suministrada por un área anular creada por un par de fuelles concéntricos.

2.7. *Modelos de selección de sistemas de L . A .*

Los modelos desarrollados para la selección óptima del sistema de L.A. apropiado, según las condiciones imperantes en el pozo, se fundamentan en procedimientos precisos que proporcionan al ingeniero una herramienta confiable al momento de tomar una decisión respecto al tipo de levantamiento a aplicar.

Entre los modelos de Selección de Sistemas de L.A. se encuentran los siguientes:

- Modelo de selección óptima del Lago de Maracaibo (**MSOLM**)
- Procedimiento para la escogencia del método óptimo de producción adaptable a Cerro Negro
- Metodología de selección óptima de Levantamiento Artificial (**MSOLA**)
- Proceso Analítico Jerárquico (**PAJ**)
- Sistema de Experto de Levantamiento Artificial (**SEDLA**)
- Matriz de Evaluación Tecnológica (**MET**)
- Método de Curvas de Valoración
- Programa Computacional Expert Choice

En este trabajo se van a describir, analizar y comparar los últimos cuatro (4) modelos. El proceso de selección entre varias alternativas se basa en un conjunto de criterios y variables que influyen al momento de tomar una decisión, con el propósito de obtener el mejor resultado.

Un proceso de toma de decisiones comprende, en forma general, los siguientes pasos:

1. Definición del Problema: para resolver un problema, se revisan las condiciones actuales y futuras para definirlo, también se reúne y analiza la mayor información posible para confirmar si el problema es real. Es recomendable utilizar diagramas tipo espina de pescado y modelo jerárquico.
2. Generar soluciones potenciales: se realiza de distintas formas, como tormenta de ideas, investigaciones o diseñando actividades; la creatividad es muy importante en esta etapa y se pueden generar una o más soluciones.
3. Seleccionar y planificar la solución: se identifican las soluciones basadas en los objetivos y se eliminan las que no cumplen estas condiciones.
4. Implementar la solución: se generan vías para seleccionar una alternativa que cumpla con los objetivos. Se estructura un modelo de decisión incluyendo metas, objetivos, sub-objetivos y alternativas; utilizando la data disponible se relaciona con los objetivos y además se aplican conocimientos, experiencias e intuición para los aspectos cualitativos del problema.
5. Evaluar la solución: se examina la solución y se elabora un análisis de sensibilidades; si la solución es sensible a factores en el modelo en el cual no se tiene la suficiente y confiable data, se considera invertir tiempo y dinero para tener la data necesaria. Si el problema no es resuelto, se debe a una deficiencia en el proceso de solución o a un evento inesperado y en consecuencia se regresar al paso anterior.

La generación de soluciones potenciales, como la tormenta de ideas, la cual es una técnica útil para identificar soluciones a un problema, en donde se generan tantas alternativas como sea necesario y donde las críticas deben ser evitadas.

Las reglas en una tormenta de ideas se mencionan a continuación:

- ❑ Todos deben contribuir.
- ❑ Utilizar la imaginación, la cantidad y no la calidad de las ideas es necesaria durante la fase inicial de la tormenta de ideas.
- ❑ No criticar las ideas.
- ❑ Pensar en la mejor y la peor de las situaciones.

Las etapas en una tormenta de ideas se mencionan a continuación:

- ✓ Creatividad: es parte esencial de la tormenta de ideas, en la cual se estimula al individuo con información para incrementar la cantidad de ideas.
- ✓ Discusión: obtener la solución de un problema, en la cual se debe argumentar acerca de su forma práctica, factibilidad y costos para obtener las mejores ideas.
- ✓ Categorización y combinación: esta etapa se refiere a la agrupación de ideas, donde algunas pueden pertenecer a otros problemas bajo consideración y son empleadas para condiciones futuras; otras ideas pueden pertenecer a un solo aspecto del problema y pueden ser combinadas con otras ideas.
- ✓ Selección: se permite votar sólo por una alternativa sin exponer las causas de su escogencia.
- ✓ Puntuación: la calidad de los resultados se puede mejorar, permitiendo evaluar cada una de las alternativas en una escala de 1 a 9, obteniendo la puntuación promedio para cada una de las alternativas.

La opinión de un único individuo en la toma de decisión puede tomarse insuficiente, cuando se analizan problemas complejos, sobre todo aquellos cuya solución puede afectar a otros individuos. Es por lo anterior que se debe generar discusión e intercambio entre los actores, que por su experiencia y conocimiento pueden ayudar a estructurar el problema y a evaluar las posibles soluciones.

Para abordar un problema de toma de decisión, en la que se presentan varios objetivos y/o criterios, ha surgido la Metodología Multicriterio como sistema de ayuda a la toma de decisiones.

Los métodos de evaluación y decisión multicriterios se fundamentan en la selección de entre un conjunto de alternativas factibles y la optimización de los procedimientos de evaluación, para ser utilizados en la toma de decisiones frente a problemas complejos. Sin embargo, se considera la posibilidad de no encontrar una solución óptima.

En función del agente decisor y de los objetivos predefinidos, el problema central de los métodos multicriterios consiste en seleccionar las mejores alternativas, aceptar alternativas que pudieran ser “buenas” y rechazar las que pareciesen “malas” y generar una ordenación (ranking) de las alternativas consideradas (de la “mejor” a la “peor”), por esto han surgido diversos enfoques, métodos y soluciones.

El número de las alternativas a tener en cuenta en la decisión puede ser finito o infinito, dependiendo de esta situación existen diferentes métodos. Para un número infinito de valores distintos que conducen a un número infinito de alternativas posibles de solución del problema, se llama “Decisión Multiobjetivo). En cambio, para aquellos problemas en los que las alternativas de decisión son finitas se denominan problemas de “Decisión Multicriterio Discreta” (estos son los casos de mayor frecuencia).

Los métodos de Decisión Multicriterio Discreta se emplean en la realización de tareas de evaluación y solución de problemas que, por su naturaleza o diseño, admiten un número finito de alternativas de solución, por medio de:

1. Un conjunto de alternativas estables (soluciones factibles que cumplen con las restricciones -posibles o previsibles-); se asume que cada una de las alternativas es perfectamente identificable, aunque no necesariamente conocidas, en forma exacta y completa, todas sus consecuencias cuantitativas y cualitativas.
2. Una familia de criterios de evaluación (atributos, objetivos, etc.), que permiten evaluar cada una de las alternativas (analizar sus consecuencias), conforme a las ponderaciones asignadas por el agente decisor y que reflejan la importancia (preferencia) relativa de cada criterio.
3. Una matriz de decisión o de impactos que resumen la evaluación de cada alternativa respecto a cada criterio; una valoración (precisa o subjetiva) de cada una de las soluciones a la luz de cada uno de los criterios; la escala de medida de las evaluaciones puede ser cuantitativa o cualitativa, y estas medidas pueden ser expresadas en escala cardinal (razón o intervalo), ordinal, nominal y probabilística.
4. Una metodología o modelo de agrupación de preferencias en una síntesis global, ordenación, clasificación, partición o jerarquización de dichos juicios, para determinar la solución que globalmente recibe la mejor evaluación.
5. Un proceso de toma de decisiones (contexto de análisis) en el cual se lleva a cabo una negociación consensual entre los interesados (análisis “experto” decisor y usuario).

2.6.1. *Proceso analítico jerárquico (P. A. J.)*

El problema fundamental en la teoría de toma de decisiones, es obtener pesos o prioridades de un determinado número de variables o características a evaluar de acuerdo a su importancia. El pesaje de las variables con respecto a su importancia es la base de la toma de decisiones multicriterio dentro de la cual se fundamenta el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) como una de las múltiples técnicas de medición desarrolladas.

Esta técnica fue elaborada por Thomas Saaty en 1972 para resolver un problema específico de planeación de contingencias, adaptándolo posteriormente a la determinación de alternativas futuras de desarrollo de la República de Sudán.

El PAJ ha sido empleado por una diversidad de empresas y/o instituciones, entre las cuales se destacan: **IBM (1992), XEROX (1980), NASA.** El PAJ puede ser aplicado a problemas reales, siendo útil para la asignación de recursos y planificación corporativa, análisis del impacto de políticas, resolución de conflictos, planificación de infraestructura y evaluación de recursos naturales (Saaty, 1982).

El empleo de jerarquías en el enfoque multicriterio.

Jerarquía es una abstracción de la estructura de un sistema, en donde cada uno de los elementos que lo conforma consta de muchos elementos o factores, y que tiene por finalidad estudiar las interacciones funcionales de sus componentes y sus impactos en el sistema entero (Wilby, 1994).

La estructura se establece en las jerarquías y se va desarrollando hacia abajo, comenzando por el factor más general y menos controlable (***metas, objetivos, criterios y subcriterios***) y finalizando en el nivel de alternativas, las cuales suelen ser más concretos y controlables.

Un criterio útil para comprobar la validez de una jerarquía es determinar si los elementos de un nivel superior pueden utilizarse como atributos comunes para comparar entre sí, a los elementos del nivel inmediato inferior (Saaty, 1980).

El planteamiento anterior supone la independencia del nivel superior de la jerarquía. Entendiéndose que existe independencia entre dos elementos o factores cuando no existe interacción entre ellos, es decir, cuando es posible establecer intercambios entre cualquier par de elementos, sin considerar la influencia de los otros (Móndelo, 1996).

2.6.1.1. Descripción del Modelo

Consiste en la construcción de un modelo jerárquico, de manera eficiente y gráfica, que organiza la información respecto a un problema, desglosando y organizándola por partes, para visualizar los efectos de cambios en los niveles y poder así sintetizar. Se emplea una matriz formada con la información del decisor y cuyos elementos son comparaciones pares de criterios; la información que demanda del decisor es un matriz $n \times n$, $A=(A_{ij})$, donde A_{ij} es una medida subjetiva de la demanda relativa del criterio i frente al criterio j , según una escala normalizada de 1 (de igual importancia) a 9 (sumamente importante), desglosada de siguiente manera:

TABLA N° 1
ESCALA DE PRIORIDADES EMPLEADAS EN PAJ

1	3	5	7	9	2,4,6,8
Igual Importancia	Débil Importancia.	Esencial Importancia	Demostrada Importancia	Absoluta Importancia	Valores Intermedios

Fuente: tomada del libro “Hierarchical Process Analitic”

El P.A.J. “trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los sub-problemas en una conclusión”(Thomas Saaty, 1998).

El P.A.J. esta basado en:

- La estructuración del modelo jerárquico (representar el problema por medio de la definición de metas, criterios, subcriterios y alternativas)
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante la asignación de “pesos”.
- Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- Síntesis.

Frente a otros métodos decisión multicriterio, el P.A.J. presenta ciertas ventajas como: se basa en un sustento matemático, permite desglosar y analizar un problema por partes, permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común, incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso, permite verificar el índice de consistencia y realizar correcciones si el caso lo amerita, generar una síntesis dando la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad, y es fácil de utilizar, ya que la solución se puede complementar con métodos matemáticos de optimización.

2.6.1.2. Jerarquización

En la práctica, la toma de decisiones consiste en la valoración de diferentes alternativas que se presentan para la solución de un problema determinado, con el objeto de seleccionar aquellas que sean más consolidadas con los objetivos planteados; para ello se debe jerarquizar desde el nivel mas bajo hasta el nivel mas alto de dificultad.

Es importante destacar, que para diferentes individuos al tratar de resolver un problema en particular, pueden estructurarlo jerárquicamente en forma diferente, pero si sus criterios son similares las decisiones tienden a ser semejantes; así pues,

jerarquía es una abstracción de la estructura de un sistema en el cual se van a estudiar las interacciones funcionales de sus componentes y sus impactos.

También se define “**jerarquía**” como un sistema particular en el cual las partes que lo integran pueden ser agrupadas en conjunto, de acuerdo a sus características y donde las entidades de un grupo influyen a otro grupo; los elementos de cada grupo, llamados “niveles de jerarquía”, se asumen independientes, pero si existe dependencia entre ellos deben estudiarse separadamente en dos grupos y luego combinar los resultados de ambos.

Se puede utilizar la “**jerarquía**” de dos maneras básicamente, una es graficando el mundo real de manera jerárquica y la otra se fundamenta en descomponer las cosas en grandes grupos y luego a esos grupos descomponerlos en otros mas pequeños y así sucesivamente. El objeto de éstas agrupaciones consiste en obtener las prioridades de todos los elementos por grupos pequeños, lo que resulta más eficiente que estudiarlos todos juntos como un solo conjunto de elementos.

Para agrupar un gran número de elementos del mismo nivel de jerarquía, se procede a reunirlos según su importancia relativa, unos quedarán unidos por ser los mas importantes, otros por ser de moderada importancia y así sucesivamente. Después que las agrupaciones se han realizado, los elementos de cada grupo son comparados por pares, de acuerdo a su importancia relativa dentro del grupo, entonces nuevamente los grupos son separados en nuevos grupos; debido a que pertenecen a mas de una agrupación reciben varios pesos.

Es importante destacar la “**eficiencia de una jerarquía**”, que viene siendo el radio entre el número de comparaciones por pares obtenidos, requerido por el conjunto entero de elementos envueltos en la jerarquía y el número de comparaciones resultantes de la agrupación de los elementos.

Destacan dos ventajas de las jerarquías, la primera es que la representación jerárquica de un sistema se puede emplear para describir la manera en que los cambios de prioridad en los niveles más altos afectan la prioridad de los niveles inferiores; la segunda es que dan una información detallada de las funciones y la estructura de los sistemas en los niveles inferiores, y la influencia de los mismos en los niveles de mayor jerarquía.

2.6.1.3. Base Matemática del Proceso Analítico Jerárquico

“El Proceso Analítico Jerárquico trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión. Creemos que éste es el método natural (pero refinado) que la gente siguió al tomar decisiones mucho antes que se desarrollaban funciones de utilidad y antes que se desarrollara formalmente el método” (Thomas Saaty, 1998).

“El Proceso Analítico Jerárquico hace posible la toma de decisiones grupales, mediante el agregado de opiniones, de tal manera que satisfaga la relación recíproca al comparar dos elementos; luego toma el promedio geométrico de las opiniones. Cuando el grupo consiste en expertos, cada uno elabora su propia jerarquía y el P.A.J. combina los resultados por el promedio geométrico” (Thomas Saaty, 1998).

A continuación, se presenta el apéndice matemático presentado por el Dr. Thomas Saaty, en el Capítulo 2 – Método Analítico Jerárquico – Principios Básicos, que está contenido en el libro “Evaluación y Decisión Multicriterio, Reflexiones y Experiencias”, publicado en Junio de 1998.

“Suponga que se tienen n piedras, $A_1, \dots, A_n$, con ponderaciones conocidas $w_1, \dots, w_n$, respectivamente, y suponga que se forma una matriz de relaciones paralelas cuyas filas dan la relación de las ponderaciones de cada piedra con respecto a todas las otras. Por lo tanto se tiene la ecuación:

$$A_1, \dots, A_n$$

$$Aw = \begin{pmatrix} A_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ A_n \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} w_1/w_1 \dots w_1/w_n \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n/w_1 \dots w_n/w_n \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{pmatrix} =$$

Donde A multiplicado a la derecha por el vector de ponderaciones W , que el resultado de esta multiplicación NW . Por lo tanto, para recobrar la escala de la matriz de relaciones, se debe resolver el problema $AW = NW$ o $(A - NL)W = 0$. Este es un sistema homogéneo de pasiones. Tiene una solución no trivial si sólo así que el determinante de $A - NL$ es nulo, o sea, N es un valor propio de A . Ahora A tiene rango unitario, ya que cada fila es un múltiplo constante de la primera fila: por lo tanto, todos sus valores propios excepto uno son cero.

Las uno de los valores propios de una matriz es igual a su traza, las uno de sus elementos diagonales, y en este caso la traza de A es igual a N . Por lo tanto, N es un valor propio de A , y uno tiene una solución no trivial contra la solución consiste en entradas positivas y es única dentro de una constante multiplicativa. Para hacer W único, uno puede normalizar sus entradas dividiendo por su segunda. Por lo tanto, dada la matriz de comparación, uno puede recobrar la escala. En este caso, la solución es cualquier columna de A normalizada. Note que en la A la propiedad recíproca

$a_{ij}=1/a_{ji}$ se aplica, por lo tanto, también $a_{ii}=1$. Otra propiedad de A es que es consistente: sus entradas satisfacen la condición $a_{jk}=a_{ik}/a_{ij}$. Por lo tanto, toda la matriz puede ser construida de un conjunto de N pedimentos que forman una cadena a través de las filas y las columnas truncan.

En el caso general, el valor preciso de w_i/w_j no se puede dar, sino sólo una estimación de él como juicio. Por el momento, se considera una estimación de estos valores por un experto que se supone perturba muy poco a los coeficientes. Esto significa perturbaciones pequeñas a los valores propios. El problema ahora se convierte $A'W'=h_{\max}W'$ donde $h_{\max}$ es el mayor valor propio de A' . Para simplificar la anotación, se seguirá escribiendo $AW=h_{\max}W'$, donde A es la matriz de padres ordenados.

El problema es ahora que tan buena es estimación de W . Si W se obtiene resolviendo problema, la matriz cuyas entradas son w_i/w_j es una matriz consistente.

Es una estimación consistente de la matriz A , la cual en sí misma no necesita ser consistente. De hecho, las entradas de A ni siquiera precisan ser transitivas; o sea, $A1$, puede preferirse a $A2$ y $A2$ a $A3$ puede preferirse a $A1$.

A es consistente si sólo así $h_{\max}=N$. cambios pequeñas en a_{ij} implican un cambio pequeño en $h_{\max}$, la desviación de la última de N es una desviación de consistencia y puede ser representada por $(h_{\max}-N)/(N-1)$, lo que se denomina el índice de consistencia (C.I.).

Cuando la consistencia ha sido calculada, el resultado se compara con aquellos que el mismo índice de una matriz recíproca aleatoria de una escala de este uno hasta nueve, con recíprocos forzados. Este índice se llama índice aleatorio (R.I.). La ilustración siguiente da el orden de la matriz (primera fila) y el valor promedio de R.I (segunda fila):

TABLA N° 2
INDICE ALEATORIO DE CONSTANCIA

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio de Constancia	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fuente: libro "Hierarchical Analithic Process"

La relación de C.I. con el promedio R.I. para la misma matriz de orden se llama relación de consistencia (C.R.). Una relación de consistencia de 0.10 o menos es evidencia positiva para un juicio formado.

Las relaciones $a_{ji}=1/a_{ij}$ y $a_{ii}=1$ se conservan en estas matrices para mejorar la consistencia. La razón de ello es que si la piedra N°1 se estima que es k veces más pesada que la piedra N°2, uno debería exigir que la piedra N°2 se estime $1/k$ veces el peso de la primera. Si la relación de consistencia es muy pequeña, las estimaciones se aceptan; de lo contrario se intenta mejorar la consistencia mediante la obtención de información adicional. Lo que contribuye a la consistencia de un juicio es:

"La homogeneidad de los elementos de un grupo, o sea, no comparar un grano de arena con una montaña; la escasez de elementos de un grupo, porque un individuo no puede mantener en su mente simultáneamente las relaciones de muchos objetos y el conocimiento y cuidado de que si sólo sobre el tema en estudio"

2.6.1.4. Principios del Proceso Analítico Jerárquico

- a)** Descomposición: se estructura un problema complejo dentro de una jerarquía de grupos y subgrupos.
- b)** Juicios Comparativos: se construyen comparaciones prioritarias de todas las combinaciones de elementos de un grupo con respecto al origen del grupo.
- c)** Composición Jerárquica (síntesis de prioridad): se multiplican las prioridades locales de los elementos, en un grupo de prioridades globales, generando las alternativas.

2.6.1.5. Axiomas del Proceso Analítico Jerárquico

Axioma N°1: Referente a la condición de juicios recíprocos: cuando se realiza una comparación paritaria de los elementos A_i y A_j con respecto a su origen, y si el elemento A_i es mayor que el elemento A_j , entonces, la intensidad de preferencia de A_i/A_j es inversa a la preferencia de A_j/A_i , por ejemplo se A_i es 5 veces mayor que A_j , entonces, A_j es una quinta parte de A_i .

Axioma N°2: Referente a la condición de homogeneidad de los elementos: los elementos que son comparados no deben de diferir mucho, si no existen errores en los juicios; cuando se construye una jerarquización de objetivos, se deben acomodar los elementos en grupos que no difieran mucho en el orden de magnitud (el orden de magnitud va desde 1 hasta 9).

Axioma N°3: Referente a la condición de estructura jerárquica o síntesis de prioridades: las prioridades de los elementos en una jerarquía no dependen de los niveles inferiores, mientras que la preferencia por alternativas es casi siempre dependiente de los niveles superiores; éste axioma es referido del principio de composición jerárquica y requiere una examinación cuidadosa, mientras que los dos (2) anteriores están vinculados con las aplicaciones al mundo real. La importancia de los objetivos no depende de los niveles inferiores (alternativas), por ejemplo: al cambiar una impresora, la importancia relativa de velocidad versus peso depende de las alternativas específicas que se consideran, si las alternativas se basan en el mismo peso, pero difieren en velocidad (puede que no sea importante), se dice que existe una retroalimentación desde las alternativas hasta los objetivos, por lo tanto este axioma no aplica cuando existe una retroalimentación.

Axioma N°4: Referente a la condición de expectativas de orden de rango: este último axioma es introducido por Saaty, en el cual afirma que los individuos que tienen razón por sus creencias o expectativas deben asegurarse de que sus ideas estén adecuadamente representadas por sus resultados; este axioma suena un poco divagante pero es muy importante ya que las expectativas deben estar representadas en la estructura, en términos de criterios y alternativas.

2.6.1.6. *Inconsistencia*

La teoría del proceso analítico jerárquico no demanda consistencia perfecta, es decir, permite una cierta inconsistencia en la cual puede medirse para un grupo de opiniones; esta medición es muy importante para el proceso de prioridades basado en las comparaciones paritarias.

Es natural que las personas deseen ser consistentes, ya que ser consistente es un pre-requisito para poder entender los problemas, sin embargo que el mundo real no es perfectamente consistente y que puede aprender cosas nuevas permitiendo algo de inconsistencia, si nosotros somos perfectamente consistentes, no podríamos decir que nuestras opiniones son buenas, sólo diríamos que no están equivocadas.

El mundo real es poco consistente y algunas veces bastante inconsistente debido a una fluctuación al azar o por causa del personal sin tener en cuenta la razón de inconsistencia del mundo real existe y aparece en muchos juicios.

2.6.1.6.1 *Causas de inconsistencia:*

- 1 Error numérico: la mayor causa de inconsistencia es el error que ocurre cuando se introduce uno o más valores que una computadora, el valor equivocado o quizás el inverso de lo que fue entendido es introducido y frecuentemente es detectable en muchas computadoras.
- 2 Falta de información: una segunda causa de inconsistencia es la falta de información que los factores que son comparados y los resultados tendrán una alta inconsistencia, es necesario saber que existe una falta de información y determinar si la información adicional tiene un impacto en la decisión.
- 3 Falta de concentración: otra causa de inconsistencia es la falta de concentración durante el proceso de asignación de los pesos. Esto puede ocurrir si la persona está cansada, fatigada o no está interesada.

4 Modelo estructural inadecuado: una causa final de inconsistencia es el inadecuado modelo estructural; idealmente se tiene un modelo jerárquico tal que los elementos de un nivel son comparados dentro de un orden de magnitud o con relación a otros factores, consideraciones prácticas podían excluir tal estructura y por lo tanto tener resultados importantes, por ejemplo que se compara varios valores que difieren a lo mucho en dos órdenes de magnitud, uno podría erróneamente concluir que la escala de el proceso jerárquico es incapaz denotar la diferencia en los rangos de esta escala de 1 hasta 9, sin embargo debido a la prioridad de los resultados basados en el orden de importancia, el AHP puede predecir prioridades más allá que el orden de magnitud.

Es importante que una baja consistencia no llegue a ser el objetivo del proceso de toma de decisiones, ya que una baja inconsistencia no es suficiente para una buena decisión, es posible ser consistente pero estar equivocado, es más importante ser preciso que consistente.

2.6.1.7. Definición de los Participantes

Definición del equipo de trabajo: estará conformado por todas las personas directamente involucradas en coordinar la aplicación del proceso analítico jerárquico. Este tipo de trabajo es el responsable de identificar cuidadosamente los actores que deben participar en el proceso de toma de decisión. Deben quedar resueltas preguntas como: quienes, cuántos, nivel de educación requerido, a quien representan, porque deben formar parte del proceso, ya sea por su conocimiento de la situación del problema o, porque representan a un grupo de interés, entre otros.

En algunos casos, la aplicación del proceso analítico jerárquico se lleva a cabo en diferentes etapas del proceso de toma de decisión. Cada resultado actuará como una retroalimentación para la siguiente etapa. Esto puede implicar que los actores (directos, indirectos) puedan ir variando o incorporándose grupos nuevos a medida

que así lo requieran las diferentes fases del proceso. La institución coordinadora debe hacer posible que los actores identificados como relevantes en el proceso, estén adecuadamente representados y actúan en igualdad de condiciones para expresar sus opiniones.

Entre más amplias sea la participación se requerirán mayores esfuerzos por parte del grupo coordinador, quien deberá identificar y utilizar las técnicas adecuadas para facilitar la aplicación del proceso analítico jerárquico, dependiendo de los grupos sociales con los que esté trabajando, los cuales seguramente presentarán distintos niveles de información y diferentes intereses, por eso, es necesario estar de acuerdo sobre unos principios básicos claros. Estos principios ayudan a ordenar, comparar y compartir información.

2.6.1.8. Información Requerida

Este es un elemento básico para la toma de decisión. Es necesario identificar la cantidad y calidad de información requerida para el proceso. Esta información puede ser de índole científica, técnica y la dada por la experiencia y conocimiento de los participantes.

Puede darse el caso, que en el proceso de aplicación surja la necesidad o interés por parte de los participantes de disponer información nueva o complementaria de la que se dispone en la sesión. En ese caso se debe analizar la pertinencia de la misma, el tiempo y el proceso requerido para disponer de ésta información adicional y poder continuar el proceso de toma de decisión.

2.6.1.9. Tiempo y otros recursos asociados con el Proceso

Es necesario establecer el tiempo con el cual se dispone para llevar a cabo el proceso de decisión. Esto afectará la elaboración y desarrollo del Plan de Trabajo: fechas, agenda, logística, materiales a utilizarse, número de participantes convocados, etc.

No se recomienda aplicar el método si se cuenta con escaso tiempo para tomar decisiones referentes a problemas complejos, puesto que tratar de acelerar algunas etapas del mismo para tener resultados inmediatos puede afectar negativamente la validez de los resultados.

Adicionalmente se requiere nombrar al facilitador, este debe tener la habilidad de guiar el proceso, animar y orientar a los participantes y hacer un buen uso del tiempo disponible, sin llegar a dominar o manipular la sesión; el facilitador debe buscar que los participantes tengan una comprensión del método y su filosofía y así mismo lograr homogeneidad en el lenguaje para la definición del objetivo y la construcción y evaluación del modelo. Por ejemplo, en lo concerniente a los términos a utilizar para que todos los participantes entiendan lo mismo y diferencien los conceptos: objetivo, criterio, sub-criterio, y en el significado de los valores de la escala a utilizar para evaluar el modelo. Seguramente el facilitador deberá enfrentarse a "situaciones sorpresa", como confrontación entre algunos miembros, falta de voluntad de algunos participantes para expresar su opinión o sus verdaderas preferencias, entre otros.

Al formar grupos se debe ser cuidadoso en la organización de los mismos. Si hay dentro de un grupo muchos participantes con posiciones contrarias, pueden generarse conflictos durante toda la sesión. Debe tenerse en cuenta, tiempo requerido y disponible para aplicar eficientemente el método ya que en algunos casos, los participantes pueden mostrarse cansados al final del día y no dar mayor atención a la evaluación del modelo, lo cual puede afectar la validez de los resultados.

2.6.1.10. Estructuración del Modelo Jerárquico

Una de las partes más relevantes, consiste en la estructuración de la jerarquía del problema, etapa en la cual el grupo defensor involucrado debe desglosar el problema en sus componentes relevantes.

La jerarquía básica está conformada por: meta u objetivo general, criterios y alternativas.

Los pasos a seguir para la estructuración del modelo jerárquico son:

- 1** Identificación del problema: Es la situación que se desea resolver mediante la selección de una de las alternativas de las que se dispone o la priorización (ranking) de ellas, dichas alternativas serán comparadas unas con las otras mediante la evaluación de criterios establecidos que permitan conocer los pro y los contra incorporados en cada una de ellas, normalmente se requiere invertir tiempo para identificar el problema real y principal, lo cual suele darse después que una serie de discusiones en las que se han listado muchos problemas y es necesario priorizarlos y decidir cual se solucionará por su análisis.
- 2** Definición del objetivo: Objetivo es una dirección identificada para mejorar una situación existente. El objetivo está en un nivel independiente y los otros elementos de la jerarquía que serán los sub-objetivos o criterios, sub-criterios y alternativas que apuntan en conjunto a la consecución del mismo, hay objetivos de largo, mediano y corto plazo y esta diferenciación influirá directamente en la construcción del modelo jerárquico. El objetivo u objetivos serán establecidos por el grupo decisor involucrado. Vale la pena tener en cuenta que la definición de objetivos puede ser una tarea difícil porque algunas veces serán contrapuestos entre las personas. No obstante, los objetivos determinados finalmente deben representar las necesidades e intereses generales.

3 Identificación de los criterios: Se refiere a los objetivos y deben expresar las preferencias de los implicados en la toma de decisiones. Se deben cubrir aspectos fundamentales cuantitativos y cualitativos a tener en cuenta en la toma de decisiones. Normalmente hay aspectos cualitativos que deben influir fuertemente en la decisión, pero que no son incorporados debido a su complicidad para definirles algún esquema de medición que revele su grado de aporte en el proceso de toma de decisión.

4 Identificación de las alternativas: Corresponden propuestas factibles mediante las cuales se podrá alcanzar el objetivo general, cada una de las cuales presenta características con pro y contra. Una alternativa es cada uno de los objetivos, decisiones o proyectos mutuamente excluyentes, que serán explorados en el proceso de decisión. El conjunto de alternativas puede estar definido por extensión (enumerados dados sus elementos) o por compresión (enunciado las propiedades o característica de los elementos del conjunto), el conjunto de las alternativas no es una realidad objetiva, su definición forma parte de la actividad de modelización y puede condicionar el resto del proceso.

Cuando se construye la Jerarquía, se puede hacer de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. La construcción de arriba hacia abajo se inicia con la identificación de los criterios más globales, es decir, desde el más general hasta el más particular. De esta manera, todos los aspectos generales recopilados en la definición del problema están presentes en este primer nivel a manera de criterios. Cada criterio identificado debe ir acompañado de una descripción de lo que significa, si se requiere de los criterios pueden desprenderse subcriterios. Y deben guardar una relación jerárquica con el criterio del que se desprende.

En la construcción de abajo hacia arriba el proceso se desarrolla a la inversa. Primero se generan todas las características que permiten identificar entre las alternativas y posteriormente se construye el modelo jerárquico agrupando aquellas características que mantienen un factor común a manera de criterios o subcriterios, según sea el caso, hasta llegar al objetivo general.

El sentido en que se comienza a construir va a depender de los datos disponibles e inclusive del grupo decisor. Si en la elaboración están definidas las alternativas y se conocen sus ventajas y desventajas, se puede iniciar el modelo de abajo hacia arriba. En el caso contrario, se recomienda iniciar desde arriba hacia abajo, por cuanto es un enfoque para situaciones de planeación estratégica en donde los objetivos están más claros que las alternativas.

2.6.1.11. Selección de la Medida

Antes de continuar con el tema de la evaluación del modelo, es conveniente precisar sobre un concepto relevante del proceso analítico jerárquico: la medida.

Los seres humanos utilizan en su vida diariamente una serie de escalas de medición con unidades como: kilómetros, litros, horas, grados, kilos, etcétera. Además por la percepción se pueden conocer otras características de las cosas que están alrededor: olor, textura, etc.

El proceso permite justamente incorporar factores cualitativos y cuantitativos a tener en cuenta para dar una solución a un problema, para que luego las personas determinen sus preferencias por medio de juicios, representados estos juicios por medio de números, generando una escala de medida, a través de una secuencia matemática, sintetiza los juicios y entrega un resultado.

Las dos clases de medida que se pueden utilizar el proceso analítico jerárquico son: medida relativa y medida absoluta. Inclusive se puede hacer una combinación de ambas.

- La medida relativa: Esta se utiliza cuando el número de alternativas es hasta un máximo de 7; en esta medida el modelo se evalúa por medio de comparaciones entre criterios, subcriterios y las alternativas. Estas últimas se comparan frente a un tercer elemento común para ambas, una vez evaluado todo el modelo, la medida relativa entrega las alternativas priorizadas de la mejor a la peor.

- La medida absoluta: Con la medida absoluta se pueden manejar decenas y/o cientos de alternativas (porque las alternativas no se separan unas de las otras como si sucede en la medida relativa). Consiste en comparar alternativas contra un estándar. Esta escala suele usarse cuando se están resolviendo problemas de selección de personal, priorización de proyectos, evaluación de proyectos de investigación, entre otros.

El modelo se construye igual que la medida relativa: meta, criterios, subcriterios. La diferencia consiste en que no se incluyen las alternativas en el modelo. En lugar de alternativas, se generan escalas (cuantitativas o cualitativas) para cada uno de los criterios. Por ejemplo si existe un criterio: Aptitud, la escala para ese criterio puede corresponder a: apto, moderadamente apto, no apto.

Y así se deben generar escalas para todos los criterios. Estas escalas dependiendo de los criterios, deben ser construidas por los expertos y/o conocedores del área en cuestión (aspectos financieros, económicos, de mercadeo, biofísicos, infraestructura, sociales, culturales, entre otros).

Seguidamente se inician las comparaciones de pares, para conocer las preferencias (los pasos) entre los criterios, subcriterios y las escalas. De esa forma se tiene un estándar, contra el cual evaluar en una forma independiente cada una de las alternativas (nótese que las alternativas que se evalúan, una a una y no de varios, como en medida relativa). A cada alternativa le corresponde un puntaje, lo cual se generará al final un rango de valores para el total de ellas, mostrando una lista de la mejora hasta la peor. Vale la pena aclarar que no debe escogerse obligatoriamente el uso de este enfoque solamente porque el problema incluya una gran cantidad de alternativas.

2.6.1.12. Evaluación del Modelo

En la evaluación se examinan los elementos del problema aisladamente, por medio de comparaciones de a pares. Las evaluaciones o juicios son emitidos por cada analista o grupo de interés. De ésta forma, el éxito en esta etapa dependerá de la inclusión de los grupos de interés o decisores (en el documento se hace referencia a actores) que se verán representados en el modelo construido y podrán evaluar el modelo consensuado de acuerdo con sus intereses y necesidades propias.

Los pasos seguidos al evaluar los componentes del modelo jerárquico son:

- 1** Establecimiento de las prioridades: Una vez que se define el modelo jerárquico, se determina la importancia relativa de sus partes. Para facilitar el proceso de asignación de juicios y evaluaciones se recomienda priorizar previamente los elementos del modelo.
- 2** Emisión de juicios y las evaluaciones: Los juicios son la base del proceso llevado a cabo, pueden estar guiados por información científica, técnica y la dada por la experiencia y conocimientos del grupo decisor útiles para evaluar los diferentes componentes del modelo. Es esta situación lo que hace al proceso analítico jerárquico diferente a otros modelos, puesto que dentro de la evaluación del modelo se toman en cuenta los juicios, que en éste caso son las opiniones de cada uno de los individuos y/o grupos de interés involucrados en la toma de decisión.

Esta evaluación se realiza por medio de comparaciones binarias (de a pares) frente a un tercer elemento; permite conocer y medir las preferencias de los individuos o grupos de interés (actores) respecto a los diferentes componentes del modelo (criterios, subcriterios, alternativas), cada persona expresa su preferencia haciendo la pregunta apropiada mediante los términos de: importancia, preferencia o probabilidad, asignando un valor numérico en cual se mide con la intensidad de su preferencia.

El proceso analítico jerárquico dispone de una escala creada por el propio Saaty, que mide los juicios emitidos por el grupo decisor (ver tabla 1). Este paso de la emisión de juicios consiste en que para cada elemento "e" de un nivel de jerarquía, se comparan de a pares de elementos del nivel inmediatamente inferior, con respecto de su influencia en "e". Luego se debe encontrar el valor propio asociado al mayor valor propio de la matriz de comparación a pares:

Vector propio: Ranking u orden de prioridad

Valor propio: medida de consistencia del juicio

Tabla 3
Matriz de Comparaciones

Criterios	C1	C2	C3	C4
C1	C1/C1	C1/C2	C1/C3	C1/C4
C2	C2/C1	C2/C2	C2/C3	C2/C4
C3	C3/C1	C3/C2	C3/C3	C3/C4
C4	C4/C1	C4/C2	C4/C3	C4/C4

Fuente: libro "Hierarchical Analithic Process"

C 1 = criterio 1

C2 = criterio 2

C3 = criterio 3

C4 = criterio 4

En la matriz representada arriba, se encuentra la tabla de preferencias para el nivel del modelo referente a los criterios. Se muestra el total de comparaciones que deben realizarse (en el supuesto de que el modelo tiene cuatro criterios). Por lo tanto, a cada posición (celda) de la matriz le corresponderá uno de los valores de la escala de Saaty. Nótese que:

La comparación del elemento consigo mismo da un valor de 1 ($C1/C1$, $C2/C2$, $C3/C3$, $C4/C4$). Las comparaciones presentadas en la Tabla 3 ubicadas al lado izquierdo de las sombreadas, tienen una intensidad de preferencia inversa a las ubicadas al lado derecho de las sombreadas. El proceso se repite hasta agotar todas las comparaciones de los componentes del modelo (criterios, subcriterios y alternativas). Las prioridades se ubican en la parte derecha de la matriz y son calculadas por el software para el usuario. Inclusive cuando se digita el valor numérico de un juicio, él automáticamente incorpora el recíproco con la posición (celda) de la matriz que corresponda.

"Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplican todos los números por un número arbitrario positivo. El objetivo de la evaluación es emitir juicios concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía, para crear escalas de prioridad de influencia" (Thomas Saaty, 1998). Ver Anexo N° 4, Priorización de factores de la Tesis de Rodríguez y Salazar.

Adicionalmente el proceso analítico jerárquico, muestra las inconsistencias resultantes de los juicios y el valor máximo que la mejoraría. Puede darse por ejemplo, por falta de información de alguno de los actores frente a la evaluación en cuestión y/o por error al tabular el dato de la evaluación.

No obstante, si se revisa el juicio y no hay error, no se debe cambiar el juicio para lograr mayor consistencia, puesto que esto no significará mayor prescripción, esta razón de consistencia la obtiene el programa al comparar la inconsistencia del total de opiniones en una matriz, con la que tendría si los juicios fueran dados de forma aleatoria desde la escala.

La calidad del resultado final dependerá de la fidelidad y rigurosidad con la cual el modelo representa la complejidad del problema en cuestión. Si la información de apoyo que se tiene en cuenta para hacer la evaluación no es fidedigna o no se cuenta con expertos o conocedores de los diferentes aspectos de la situación, por medio de sus conocimientos o experiencias conozcan el problema, o no hubo representatividad de los actores afectados o interesados, los resultados no van a ser los mejores.

2.6.1.13. Resultado Final y Síntesis

Resultado final: Una vez realizada la totalidad de comparaciones se obtiene el resultado final consensuado: ordenamiento de las alternativas. Este resultado está basado entonces, en las prioridades, en la emisión de juicios y la evaluación hecha a través de las comparaciones de los componentes de modelo jerárquico.

Síntesis: El proceso analítico jerárquico logra combinar todos los juicios u opiniones en un todo, en el cual las alternativas quedan organizadas desde la mejor hasta la peor; permite definir los pesos que reflejan las percepciones y valores propuestos con mucha precisión. Las prioridades deducidas para cada faceta del complejo problema que está en estudio, serán sintetizadas para obtener prioridades generales y una ordenación de las alternativas.

2.6.1.14. Análisis de Sensibilidad

Este análisis permite visualizar y analizar la sensibilidad del resultado (ordenación de las alternativas) respecto de los posibles cambios en importancia de los criterios (supuestos). Esta situación modifica el ordenamiento de las alternativas obtenido en el resultado final, habrá procesos de toma de decisión que los que se requieren repetir el método en un corto o mediano plazo porque son procesos dinámicos que requieren ser revisados y ajustados en el tiempo, y su entorno está en continuos cambios.

2.6.1.15. Ventajas del método

Numerosas son las VENTAJAS encontradas en el PAJ, respecto a otras metodologías de pesaje, entre ellas se tiene:

- ✓ Permite el estudio de los problemas de forma holística, al identificar, entender y evaluar todas las partes que componen el sistema de estudio.
- ✓ El modelo proporciona a los individuos o grupos la capacidad de formular sus ideas y definir problemas a través de sus propias suposiciones, derivando la solución de las mismas [Saaty, 1980].
- ✓ Es lo suficientemente flexible como para permitir su revisión una vez formulado por cuanto la unidad de decisión puede, tanto expandir los elementos dentro de la jerarquía como cambiar sus juicios respecto a todos ó algunos de los elementos en estudio.
- ✓ Se evalúa la sensibilidad de los resultados, sin importar el tipo de cambio que pueda considerarse de forma anticipada [Saaty, 1980].
- ✓ Es una técnica que sirve de complemento a otras (Análisis Costo - Beneficio, Minimización de Riesgos, Prioridades) para el proceso de toma de decisiones.
- ✓ Es una metodología que necesita el convencimiento de la unidad de decisión, lo cual se asegura confianza en los resultados que se obtenga en el proceso [Móndelo 1996-1].
- ✓ Se emplea tanto para atributos mensurables como para aquellos que no pueden ser cuantificados y medidos.
- ✓ Toma en cuenta elemento de una jerarquía, aunque su prioridad sea baja, no tiene sentido "alternativas irrelevantes" dentro de la jerarquía [Saaty, 1980].
- ✓ El PAJ acepta un cierto grado de inconsistencia de los juicios, proporcionando una manera de cuantificarla, permitiendo a la unidad de decisión la reconsideración de sus juicios [Pinawati, 1996].

2.6.1.16. Limitaciones del método

A pesar de las numerosas ventajas el PAJ tiene las siguientes LIMITACIONES:

- ✓ El número de iteraciones requeridas para la generación de la matriz de comparaciones, llega a ser considerablemente alto en función del número de atributos o variables y niveles jerárquicos considerados [Lim y Swenseth 1993], por lo que mientras más complejo resulta el problema en estudio, mayor número de comparaciones deberán efectuarse, en el consecuente cansancio de la unidad de decisión.
- ✓ Se supone la utilidad de la unidad de decisión como una función aditiva, es decir, sus objetivos son mutua y preferencialmente independientes y esto no se comprueba [Sánchez, 1997].
- ✓ Cuando la unidad de decisión debe emitir un juicio sobre una variable altamente especializada, se necesita la presencia de expertos durante el desarrollo de la evaluación.
- ✓ Incapacidad del método para mantener el orden de preferencias (fenómeno de inversión de preferencias) luego de la adición o eliminación de una alternativa.
- ✓ Cuando las variables a ser evaluadas no son del mismo orden de magnitud, encontrándose que un factor no puede ser estrictamente evaluado con respecto a otro, deben efectuarse técnicas de agrupación de manera que las comparaciones se efectúan dentro de los grupos así formados [Saaty y Vargas, 1991].

2.6.2. *Sistema de experto de L. A.*

Los sistemas expertos son programas de computación que tienen por finalidad reflejar el comportamiento o razonamiento de los expertos, a quienes les corresponden recomendar las decisiones o acciones a tomar en las distintas actividades profesionales, basados en su entrenamiento, experiencia y práctica profesional. Su estructura básica está conformada por elementos en el sistema y el usuario, los cuales son:

- a)** La base del conocimiento: la cual almacena los hechos que reflejan la experticia del sistema.
- b)** La fuente de inferencias: que contiene la interpretación del comportamiento (razonamiento) y el control de la búsqueda de soluciones y respuestas.
- c)** La interfase: la cual provee al usuario el lenguaje a través del cual recibe dichas respuestas.

El desarrollo de los sistemas expertos en el área de levantamiento artificial tiene un gran potencial, por ello la selección de los sistemas de levantamiento artificial representa una difícil labor ante la amplia gama de tecnologías de levantamiento existente en la actualidad.

El sistema experto de levantamiento artificial (S.E.D.L.A.), almacena en una base de conocimiento la experticia de un grupo de especialistas, para seleccionar 12 métodos de levantamiento artificial.

La adquisición de la mencionada base del conocimiento, se realizó mediante entrevista y cuestionarios a diez expertos mundialmente reconocidos, quienes aportaron su pericia y conocimiento en los distintos métodos de levantamiento artificial, originando la base de datos de SEDLA.

2.6.2.1. *Estructura básica de los sistemas de expertos*

Los tres elementos básicos son: **base de conocimientos**, **fuentes de inferencias** y la **interfaz** entre el sistema y el usuario. La base de conocimientos almacena los hechos que reflejan la experticia del sistema, la mente de inferencia contiene la interpretación del comportamiento (razonamiento) y el control de la búsqueda de soluciones y respuestas, la interfaz provee al usuario el lenguaje a través del cual recibe dichas respuestas

El método de razonamiento más común empleado en los sistemas expertos es la aplicación de reglas de producción y es empleado en **SEDLA**.

Las reglas de producción se definen como todas aquellas sentencias condicionales que se expresen de la siguiente manera:

"Si (premisa) Acción 1, Acción 2..." "Entonces (conclusión) Acción 1, Acción 2..."

Las reglas de producción, provienen de la terminología de la informática y ambientes de sistemas expertos, no debe confundirse con la producción de petróleo.

Haciendo la analogía de los sistemas de expertos con los programas convencionales de computación, se tiene que la base de conocimientos podría ser equivalente al código del programa, la fuente de inferencias y razonamientos se asemeja al proceso de compilación e interpretación, y para ambos existe la interfaz con el usuario. Sin embargo, la tecnología de sistemas expertos ofrece **VENTAJAS** que incluyen:

- ✓ La expansión de los horizontes de la programación: se expanden las aplicaciones de la programación en distintas áreas donde el problema es considerado de gran relevancia, requiere de sentencias con criterios e inferencias.

✓ Flexibilidad en el desarrollo del programa: el programa convencional requiere de largo tiempo, para diseñar la rígida estructura del código, el sistema de experto está siendo constantemente modificado. Así el problema puede ser definido más de una vez, incorporando nuevas experiencias adquiridas con el tiempo.

A continuación se muestra la comparación entre los sistemas expertos y los programas convencionales.

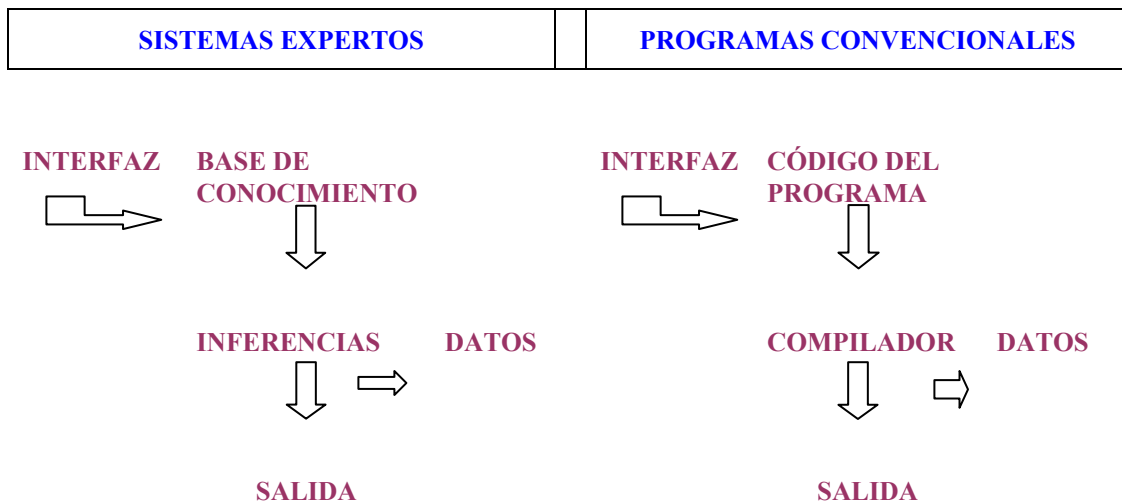


Gráfico 14: Sistemas de expertos y programas convencionales

Fuente: Reyes 1999

2.6.2.2. Módulos del sistema expertos

El SEDLA es un programa interactivo estructurado en tres módulos principales y una base de datos, los cuales por encontrarse interconectados, permiten el flujo de información a través de cada uno de ellos. Los módulos principales son:

El módulo de Preselección técnica.

El módulo de diseño.

El modulo de evaluación económica.

Módulo de Preselección Técnica

El módulo de evaluación técnica o módulo experto, incluye la base de conocimientos. Este módulo permite jerarquizar de acuerdo a la factibilidad técnica, la aplicación de cada método de levantamiento artificial por separado, considerando un conjunto de factores de carácter cualitativo, cuantitativo y de problemas de producción.

Cada uno de estos factores tienen asociado un peso, el cual es mayor o menor dependiendo del grado de importancia. Para cada método de levantamiento artificial en particular, los factores antes mencionados son evaluados de acuerdo con los datos suministrados del pozo en estudio.

Con el resultado de esta evaluación y con el peso de cada criterio, se le asigna una puntuación a cada método; siendo 100% el máximo valor posible, al mismo tiempo se van registrando las ventajas y advertencias que podrían afectar el desempeño del método o en última instancia destacar su factibilidad técnica. El Gráfico 15 muestra el esquema del modulo de preselección.

Cuando se termina la evaluación de los métodos, el sistema muestra una lista jerarquizada de cada uno de ellos y cada una de las desventajas generadas en las condiciones en la que se encuentra el pozo.

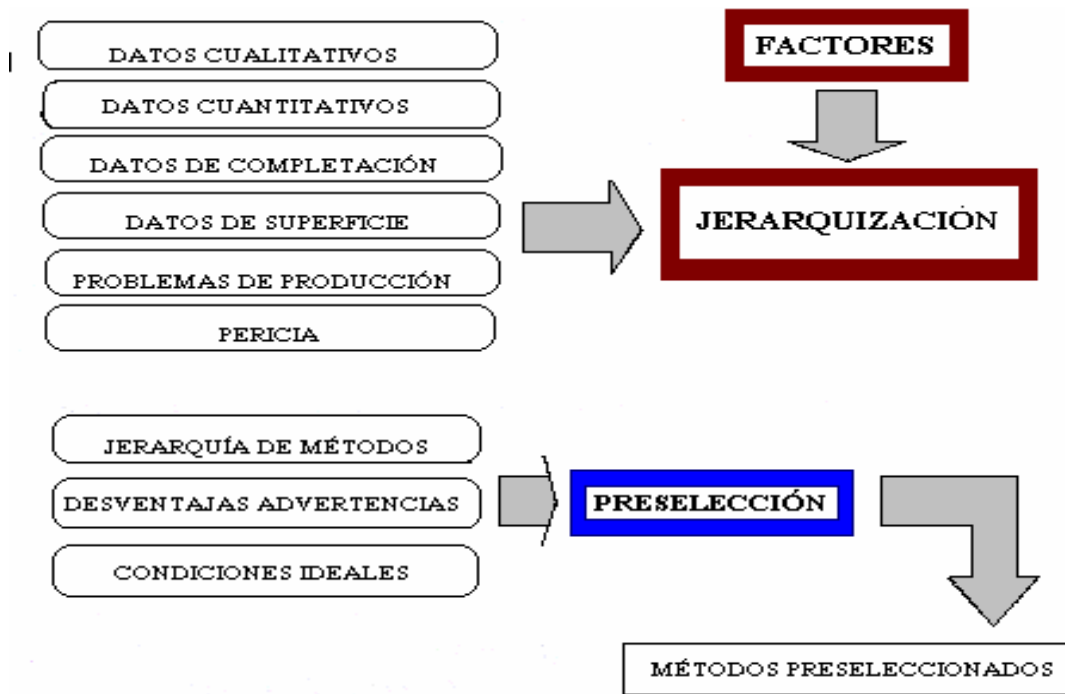


Gráfico 15: Esquema del Módulo de Preselección
Fuente: Reyes 1999

Módulo de Diseño

Este método tiene como finalidad asistir al ingeniero en el diseño de los diferentes equipos que conforman los métodos de levantamiento artificial, de acuerdo con las sugerencias realizadas en el módulo anterior, de manera que se aplican una serie de programas especializados o simuladores desarrollados para cada uno de los métodos. Para cada programa de diseño son solicitados al usuario datos adicionales que no fueron introducidos para la preselección.

El resultado obtenido en dimensionamiento de los equipos se muestra en forma numérica y en algunos casos completados con gráficas.

Módulo de Evaluación Económica

El módulo evalúa el método en términos económicos, visto como proyecto de inversión. Siguiendo la guía con los resultados del diseño, con los costos unitarios los equipos y a partir de parámetros económicos establecidos (año de base de estudio, horizonte económico y paridad cambiaria), se calculan los indicadores económicos de importancia para el proyecto, en el horizonte económico indicado; los cálculos se realizan en dólares constantes para el año base de estudio y sin tomar en cuenta la inflación. Los indicadores económicos que permiten calcular el SEDLA son: tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y eficiencia de Inversión (EI). Además el módulo permite visualizar de manera tabular la información de costos de: servicios, mantenimiento, seguros, gastos de operación, contingencias, depreciación, regalías, ingresos, impuestos y flujo de caja. En la figura se observa el Esquema del Módulo de Evaluación Económica.

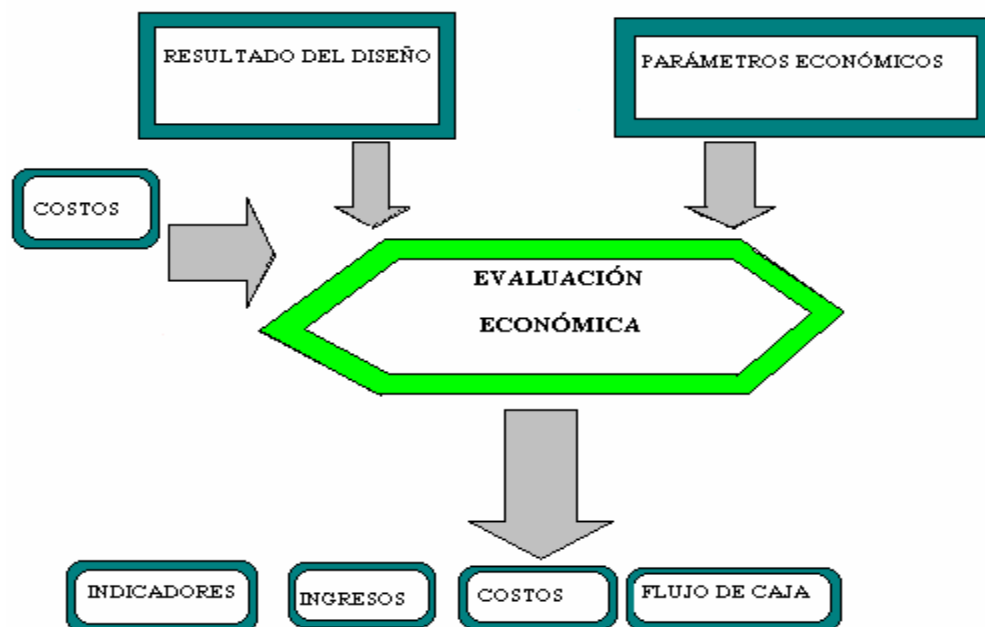


Gráfico 16: Esquema del Módulo de Evaluación Económica
Fuente: Reyes 1999

Base de Datos

La base datos permite manejar las diferentes tablas empleadas por el SEDLA, las cuales detallan a continuación:

Los catálogos: almacenan la información de equipos de subsuelo y superficie, las estructuras y sus especificaciones técnicas, los equipos de servicios, gastos de producción, áreas geográficas y métodos de levantamiento artificial. Los catálogos están agrupados en combinaciones y listas de costos unitarios. En las combinaciones se muestra la selección entre los métodos de levantamiento y los distintos equipos y servicios que necesita. Las listas contienen los costos de cada uno de los equipos involucrados en cada método de levantamiento.

Factores y parámetros del módulo de preselección: estas tablas contienen los factores y parámetros que forman la base del conocimiento en el método de preselección técnica, las cuales relacionan la experticia del sistema. La importancia de la base de datos radica en permitir realizar actualizaciones y consultas, obteniendo una mayor representación de la realidad en las evaluaciones.

Para mayor entendimiento sobre el modelo del SEDLA, referise al Anexo N° 7, Actualización de los comentarios del SEDLA tomados de la Tesis de Yamila Reyes.

2.6.3. *Matriz de evaluación tecnológica (M. E. T.)*

Es un modelo basado en el proyecto original de Gestión Tecnológica realizado por Pugh Roberts Associates, y a las actividades promovidas por un grupo interfiliar de PDVSA asesorados por la empresa SRI Internacional, para la generación de una cartera de proyectos tecnológicos. Producto de estos esfuerzos se crea el Sistema de Inteligencia Tecnológica (SIT).

Las funciones básicas del SIT están basadas en: crear los mecanismos para apoyar oportunamente los procesos de toma de decisiones (en especial los referentes al uso de tecnologías), establecer canales que permitan la comunicación e intercambio entre el personal y expertos técnicos, mejorar la diseminación de la información y por último fortalecer la competencia tecnológica a nivel global de PDVSA, proporcionando información que estimula la creatividad y mejor uso de la tecnología.

La Metodología de Evaluación de Opciones Tecnológicas implementada por PDVSA, se desarrolló a partir de criterios que miden los atributos cualitativos y cuantitativos, lo cual posibilita la evaluación y jerarquización en forma sistemática y objetiva, dentro de cualquier oportunidad tecnológica en las áreas de explotación, producción y cualquier otra relacionada al negocio. Los criterios utilizados en PDVSA para evaluar las tecnologías son: importancia estratégica de la tecnología, valor comercial, urgencia para el negocio y disponibilidad de la tecnología.

La MET comprende seis (6) fases:

1. Adaptación metodológica.
2. Selección y ponderación de criterios generales.
3. Definición y selección de criterios específicos.
4. Ponderación de criterios generales.
5. Evaluación y jerarquización de opciones tecnológicas.
6. Ponderación de criterios específicos.

2.6.3.1. Fases de la metodología de evaluaciones

La Metodología de Evaluaciones de Opciones Tecnológicas comprende seis (6) fases:

1. ADAPTACIÓN METODOLÓGICA

El responsable del área es el encargado de iniciar el proceso de aplicación de la Metodología. Debe considerar un marco mínimo de requerimientos operativos y legales establecidos por la organización de tal manera de garantizar las opciones que satisfacen dentro del proceso de evaluación, lo cual constituye un ahorro importante de tiempo y esfuerzo. Actividades requeridas por el responsable de evaluación en esta fase, son:

- 1.- Organizar una reunión para consolidar el equipo de trabajo para la evaluación.
- 2.- Identificar, ubicar y contactar a través de cualquier medio a los especialistas candidatos a participar en el proceso metodológico.
- 3.- Establecer un criterio de convergencias de respuestas que implique realizar una nueva consulta a los especialistas en cada fase de la metodología, hasta un máximo de tres (3) consultas.
- 4.- Realizar la programación general de actividades destinadas a cubrir cada fase de la metodología con el objeto de ajustar las mismas al tiempo requerido.
 - 4.1.- Preparar el material de consulta y los cuestionarios para los especialistas.
 - 4.2.- Establecer los medios de comunicación más eficientes para consultar a los especialistas.
 - 4.3.- Definir cronogramas de fechas secuenciados para la entrega y devolución del material de consulta, ajustadas al tiempo requerido para el caso.
 - 4.4.- Enviar el material de consulta a los especialistas.

2. SELECCIÓN Y PONDERACIÓN DE CRITERIOS GENERALES

Esta fase se inicia con la presentación a los especialistas participantes de los *Criterios Generales*, cuyo establecimiento constituye la columna vertebral de la *Metodología de Evaluación de Opciones Tecnológicas*.

Se utilizan las siguientes Ponderaciones en los Criterios Generales:

Distribución de Ponderaciones: Ordinal (uniforme o Potencial) o continua a fin de que el especialista pueda seleccionar la distribución que mejor se ajusta a su apreciación.

Las respuestas de cada uno de los especialistas son procesadas en el Software EOT.XLS y sus resultados son analizados e interpretados por el responsable. Dependiendo del grado de discrepancia entre las respuestas y el criterio del responsable de evaluación, se repetirá hasta alcanzar un consenso para la ponderación de los *Criterios Generales*.

Criterios Generales contemplado en esta fase:

1. Madurez
2. Alineación con Estrategia Tecnológica
3. Capacidad de Satisfacer Requerimiento Operativo
4. Sinergias con otras Tecnologías
5. Requerimiento de aprendizaje y Nivel de Riesgo
6. Impacto Ambiental
7. Valor Agregado Financiero

A continuación se describen brevemente las características de cada uno de estos criterios.

1. **Madurez:** Grado de confiabilidad y logros comprobados que ofrece determinado opción tecnológica (experiencia uso y aplicación).

2. **Alineación con Estrategia Tecnológica:** Grado de afinidad y alineación de cada opción tecnológica que se esté evaluando con las estrategias tecnológicas del área involucrada.

3. **Capacidad de Satisfacer Requerimientos Operativos:** Evaluación de las opciones tecnológicas en función del grado de satisfacción de necesidades que tiene la organización donde se aplicará la tecnología, contribución en la calidad de los productos a generar y/o facilidades de operación- proceso donde se empleará.

4. **Sinergias con otras Tecnologías:** Implicaciones en el uso o aplicación de tecnologías relacionadas (Sinergias Tecnológicas) en la obtención de productos, bien sea que las tecnologías pertenezcan a un mismo proceso o apliquen a procesos relacionados.

5. **Requerimientos de Aprendizaje y Nivel de Riesgo:** Grado de dificultad, tiempo y riesgos operacionales que implica llegar a operar con un mínimo deseado de eficiencia y efectividad de una determinada opción tecnológica.

6. **Impacto Ambiental:** Medir diversas opciones tecnológicas de diferente potencial de afectación ambiental, en cualquier dimensión: Sónica, humos, efluentes líquidos, salud, etc.

7. **Valor Agregado Financiero:** Valor agregado por medio del flujo de caja incorpore a una empresa en particular una determinada tecnología, sea por ahorro de costos y gastos o por contribuir a mayores ingresos. Se fundamenta en la evaluación financiera de las opciones tecnológicas, empleando **Jerarquización del Valor Presente Neto o Valor Equivalente Anual** con distintos horizontes económicos.

3. DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

Se parte de los *Criterios Generales Seleccionados*, para realizar la adaptación, conversión, traducción o desagregación de los parámetros más específicos que apliquen al diagnóstico del caso.

Durante este proceso se generan infinidad de *Criterios Específicos*, con una acentuada similitud lo cual conlleva a sintetizar el listado resultante de una consulta. Se da el caso de criterios inconsistentes o ambiguos dentro de la evaluación, en cualquier caso, el responsable tratará de lograr el mayor consenso entre los especialistas, lo cual es posible por medio de la aplicación del *Método Delphi* (Ver Anexo 5), en definitiva, se elabora el listado de *Criterios Específicos* que servirá para las Opciones Tecnológicas.

4. PONDERACIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

Los especialistas procederán a asignarles peso, de acuerdo al grado de importancia que cada uno de ellos tenga para el especialista consultado. Los especialistas seleccionan aquella que mejor represente la ponderación de las series de *Criterios Específicos* obtenida por cada *Criterio General*.

5. EVALUACIÓN Y JERARQUIZACION DE OPCIONES TECNOLÓGICAS

Una vez obtenida la ponderación de los *Criterios Específicos*, se procederá a realizar la evaluación de las *Opciones Tecnológicas* en la verificación del cumplimiento de las mismas para cada *Criterio Específico*:

El cuestionario N° 4 (ver Anexo N° 6) plantea una matriz de evaluación (*Criterios Específicos* vs *Opciones Tecnológicas*) para cada *Criterio General*, esto permite la evaluación por medio de *Distribución de Ponderaciones* a seleccionar por el especialista consultado. El responsable de la evaluación es el encargado de procesar y analizar las respuestas de esta fase de modo de validar la consistencia en las mismas.

En cuanto a los *Criterios Específicos* se refieren a unidades físicas (medibles) tales como: Presión, Temperatura, Corriente Eléctrica, Voltaje, etc., el responsable realiza directamente la evaluación de acuerdo a especificaciones técnicas en función de una

Distribución de Ponderaciones Continua y del Número de Opciones y sus Valores respectivos.

El objetivo de esta fase es obtener la *Jerarquización Cuantitativa de las diversas Opciones Tecnológicas* que se generan en un determinado caso. La Jerarquización se realiza en forma automática por medio del Software EOT.XLS, asegurando la introducción de la data de las cinco fases anteriores en forma secuencial y la misma es procesada mediante *Matrices de Evaluación Tecnológica*.

El Software genera un valor numérico por cada opción tecnológica evaluada, resultante de la operación de las ponderaciones/valoraciones descritas con anterioridad, se obtiene una jerarquización del conjunto de opciones bajo ordenamiento lógico, el cual permite una selección óptima y objetiva de tecnologías según la calificación resultante.

A continuación se destacan algunas ventajas y limitaciones de la metodología de evaluación, lo cual ayudará al análisis del mismo. Dentro de las ventajas que presenta la metodología de evaluación están:

- ✓ Emplea una herramienta gerencial para la toma de decisiones, usando un software y un equipo de trabajo que se denomina SIT.
- ✓ Es una herramienta apropiada para desagregar paquetes tecnológicos, seleccionar diferentes opciones tecnológicas y establecer criterios tanto generales como específicos.
- ✓ Su fundamentación técnica es de tipo estadístico, tomando en cuenta los diferentes modelos de distribución y aplicación donde es necesario manejar grandes volúmenes de información.
- ✓ La metodología es lógica, sistemática con rigor científico y esquemas gerenciales actualizados, empleada en la industria petrolera nacional e internacional.
- ✓ Se requiere el uso de especialistas con experiencia en el área que se esté analizando.

Dentro de las limitaciones que presenta la metodología de evaluación están:

- ✓ Inexistencia de la evaluación económica en la toma de decisiones, en la matriz de opción tecnológica.
- ✓ La metodología no está adaptada a la Selección óptima de los Sistemas de LA.
- ✓ Existen pocos especialistas, tanto a nivel nacional como internacional, en el área de LA y en concreto en la selección de sistemas de LA (Escalona, 2000).
- ✓ Carencia de adaptación de la metodología en campos venezolanos y no hay experiencia internacional.
- ✓ Aparentemente pudiese ser poco práctica la manera de efectuar las consultas, la búsqueda de consenso, elaboración de planillas, etc. (Ob. Cit)
- ✓ Los criterios se enfocan más hacia una decisión de tipo gerencial que de carácter técnico.

A pesar de ser una herramienta importante, con innegables ventajas, se requiere llevarla a la práctica y adaptarla a la selección de sistemas de levantamiento artificial.

6. PONDERACIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

Para obtener valores ponderados no se aplicó el *Método Delphi* (ver Anexo N° 5). A diferencia de la fase anterior estas fueron tomadas directamente de la primera consulta realizada, por la diversidad de respuestas aportadas por los especialistas y los resultados de la primera fase donde al ser consultados nuevamente estos mantienen su posición. Procesadas por medio del Software, los resultados obtenidos están dentro de un rango de aceptación, la media o promedio no se aleja de la *moda estadística* del espacio muestral, por esta razón puedan ser considerados como satisfactorios.

2.6.4. *Método de curvas de valoración (MCV)*

Es una modificación del Método de Construcción de Curvas de Valoración desarrollado originalmente por el Ingeniero Néstor Carrasquero para aislar y explorar un conjunto de soluciones de compromiso, el cual fue específicamente adaptado para el caso de la estimación interactiva de curvas de valoración. Para un mayor nivel de detalle de esta técnica, revisar el trabajo original del autor.

El Método de Curvas de Valoración no es tan refinado como el Método de la Construcción de Curvas de Valoración, pero si es más versátil y práctico a la hora de realizar estudio en el comportamiento de ciertas variables en un predeterminado intervalo de estudio.

2.6.4.1. *Descripción del método*

Este método pretende crear a través de la interacción con la unidad de decisión generara algún tipo de orden sobre los distintos valores que puede tomar una variable dada, para producir un resultado acorde a las preferencias de la unidad de decisión.

El concepto de curva de valoración desarrollado por el Ingeniero Néstor Carrasquero, se fundamenta en el esquema de B. Roy, la cual establece las cuatro relaciones binarias que se ilustran en la Tabla 8.

TABLA N° 8
Las situaciones fundamentales de preferencia y relaciones binarias asociadas

SITUACIÓN	DEFINICIÓN	RELACIÓN BINARIA Y PROPIEDADES
INDIFERENCIA	Cuando existen razones claras y positivas que justifican una equivalencia entre dos opciones.	I: relación simétrica y reflexiva
PREFERENCIA Estricta	Cuando existan razones claras y positivas que justifican una preferencia significativa a favor de una de las opciones.	P: Relación simétrica (irreflexiva)
PREFERENCIA DÉBIL	Cuando existan razones claras y positivas que justifican una preferencia a favor de una de las opciones, pero tales razones son insuficientes para discernir entre una preferencia estricta y una relación de indiferencia.	Q: Relación Asimétrica (irreflexiva)
NO COMPARABILIDAD	Cuando hay ausencia de razones claras positivas que justifiquen una de las relaciones anteriores.	R: Relación simétrica e (irreflexiva)

Fuente: Carrasquero, 1996; Roy, 1985

2.6.4.2. Semejanzas entre el método de curvas de valoración y el método de construcción de curvas de valoración

- ✓ Método de Curvas de Valoración, las abscisas correspondientes a una barra de calificación superior a otra, representan soluciones que gozan de mayor preferencia al igual que el método original.
- ✓ En ambos los valores de las abscisas tienen como imagen el mismo valor, están asociadas a soluciones que tienen un mismo nivel de preferencia, por cuanto reciben calificaciones similares y hay razones para suponer que ante todas ellas la unidad de decisión es indiferente.
- ✓ El método propuesto por el Ingeniero Néstor Carrasquero para la construcción de estas curvas, se centra en la generación de puntos en zonas donde se presentan las mayores desviaciones en los juicios emitidas por la unidad de decisión. Las calificaciones que otorga ésta se efectúan por comparación entre la variable en estudio y el valor más deseado de dicha variable en estudio, conocido como valor prototipo o ideal.

✓ Entre dos barras claramente distintas, hay un cambio en las calificaciones que otorga la unidad de decisión, existe un cambio en sus preferencias, ya que se atraviesa cierto umbral que permite discernir las preferencias de la unidad de decisión sobre las soluciones ubicadas en ambas barras.

2.6.4.3. Diferencias entre métodos de curvas de valoración y método de construcción de curvas de valoración

✓ En el Método de Construcción de Curvas de Valoración, las abscisas correspondientes a una barra con una calificación asociadas a las soluciones que poseen la mayor preferencia y en Método de Curvas de Valoración la de mayor preferencia es asignada mediante previo estudio de este intervalo en comparación con el valor prototipo previamente establecido.

✓ En el Método de Construcción de Curvas de Valoración los intervalos de estudios en comparación con el valor prototipo son el producto de múltiples interacciones con la unidad de decisión mientras que en el Método de Curvas de Valoración, estos intervalos ya están predefinidos por el usuario para evitar posibles cansancios de la unidad de decisión.

2.6.4.4. La escala de comparación

La escala de calificación fundamentada en las calificaciones sugeridas por el Prof. Escalona, que utiliza el método de las curvas de valoración, sigue los principios utilizados por Saaty en su Proceso Analítico Jerárquico. Esta condición establece el primer vínculo entre ambas metodologías y permite el desarrollo del estudio de Silva .

La escala de calificación, para el desarrollo de las curvas de valoración, consta de nueve puntos, dando lugar a cinco categorías claramente diferenciadas, estas se describen en la Tabla 9.

TABLA N° 9
ESCALA DE CALIFICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE
VALORACIÓN

VALOR	DEFINICIÓN	SIGNIFICADO
9	Excelente	La unidad de decisión no percibe razones para afirmar que el intervalo prototipo y el intervalo valor a calificar difieran en algo, por lo que su grado de similitud es el más elevado posible
7	Muy Bueno	La unidad de decisión percibe muchas razones para afirmar que el valor del intervalo prototipo y el valor del intervalo a calificar son semejantes, pero también percibe alguna diferencia, por lo que su grado de similitud es alto
5	Bueno	La unidad de decisión percibe tantas razones de semejanza como de diferencias entre el valor de intervalo prototipo y el valor del intervalo a calificar por lo que su grado de similitud es medio
3	Regular	La unidad de decisión percibe muchas razones para afirmar que el valor del intervalo prototipo y el valor del intervalo a calificar son distintos pero también percibe alguna semejanza, por lo que su grado de similitud es bajo
1	Malo	La unidad de decisión no percibe razones para afirmar que el valor del intervalo prototipo y el valor del intervalo a calificar se parece en algo, por lo que su grado de similitud es el más bajo posible
2,4,6,8	Grado Intermedio entre valores adyacentes	Estos valores se utilizan cuando se requiere un compromiso entre las situaciones descritas para valores adyacentes en la escala.

Fuente: Luis Silva, 2000

Por consiguiente, la curva de valoración a obtener dependerá de la capacidad de discriminación de la unidad de decisión sobre los valores del atributo y de la escala de calificación empleada. Se establece que la unidad de decisión es indiferente ante soluciones ubicadas en un mismo sub-intervalo de la escala de calificación empleada.

Para mayor entendimiento del método de Curvas de Valoración se refiere al Apéndice N° 3, el que describe un breve análisis del método.

2.6.5. Programa computacional Expert Choice

El software opción experta (EC) es un instrumento de apoyo multi-objetivo de decisión, basado en el proceso analítico de la jerarquía (PAJ), la cual es una teoría matemática desarrollada en la escuela de Wharton de la universidad de Pennsylvania por uno de los fundadores de la opción experta, Thomas L. Saaty. El PAJ es una metodología de gran alcance y comprensión, diseñada para facilitar la toma de decisión. El PAJ asiste en el proceso de toma de decisión proveyendo de una estructura para organizar y evaluar la importancia de varios objetivos y las preferencias de soluciones alternativas a una decisión, el cual trabaja en ambiente Windows y Dos. Es de fácil uso y sirve como mecanismo de derivación de consensos participativos.

A continuación se enumeran los componentes básicos que conforman al Expert Choice(EC) y se indica en la dirección en Internet, donde se encuentra disponible una guía ilustrada con las orientaciones generales y la explicación de la base matemática del Proceso Analítico Jerárquico(PAJ) y la versión Trial Del Expert Choice, que permite realizar ejercicios sencillos: **www.expertchoice.com/download/** Aun cuando las herramientas computacionales, como este programa, suelen ser fáciles de usar, no se recomienda aplicar el PAJ sin contar con una persona que domine en la metodología más allá de lo meramente operativo. Ver Apéndice N° 4, Creación de un modelo con el programa Expert Choice.

Estructuración (Structuring: Es un módulo que ayuda a quienes toman las decisiones, a identificar y organizar los elementos del problema en cuestión. Structuring construye el modelo. Hay dos formas para modelar en la estructuración:

1. La estructuración de arriba hacia abajo (afinidad Diagramming), satisface mejor las decisiones de naturaleza estratégica, donde los objetivos se entienden mejor que las alternativas. Se identifican los objetivos a escala superior, siguiendo la identificación de objetivos secundarios.

2. La estructuración abajo hacia arriba, satisface las situaciones donde las alternativas se entienden mejor que los objetivos. Los pro y el contra de las alternativas se utilizan para ayudar a identificar los objetivos que se pueden agrupar. Provee una interfase intuitiva que ayuda a crear el modelo jerárquico. Esto incluye conceptos como el pro y contra de las alternativas, los objetivos, criterios y subcriterios.

La estructura lograda en Structuring, puede pasarse directamente al módulo de Evaluation and Choice, para construir totalmente modelos jerárquicos y luego iniciar las comparaciones de rigor.

Construcción directa del modelo (Direct Model Building): El primer paso es crear el nombre para el archivo en el que se construirá el modelo. Seguidamente se debe ingresar la información respecto del objetivo, criterios, subcriterios y alternativas, incluyendo una breve descripción de cada uno de ellos.

Comparación de a Pares (Pairwise Assessment): Una vez construido el modelo, el siguiente paso es iniciar la evaluación de los elementos del modelo jerárquico haciendo las comparaciones de “a pares”. Una de las fuerzas principales de PAJ es el uso de comparaciones en parejas, de derivar prioridades exactas de la escala de cociente, en vez de usar los acercamientos tradicionales que asignan pesos. Este proceso compara la importancia, el funcionamiento o la probabilidad relativa de dos elementos con respecto a otro elemento en el nivel arriba. Se hace un juicio en cuanto al cual es más importante su cuantía. Las comparaciones en parejas se pueden realizar a través de un modelo escogido experto para establecer prioridades. Hay tres modos para las comparaciones en parejas: numérico, verbal, y gráfico.

Existen tres tipos de comparación en parejas: importancias, preferencias y probabilidades. La importancia es la más apropiada al comparar objetivos o criterios. La preferencia es apropiada al comparar alternativas con respecto a su objetivo.

La probabilidad es apropiada al comparar la probabilidad de acontecimientos o de panoramas inciertos, como en análisis del riesgo.

Es así como se debe escoger entre tres posibles maneras para que el grupo decisor emita su juicio:

1. Modo Numérico De la Comparación: El modo numérico de la comparación utiliza los números (1-9) para comparar dos elementos al elemento superior.
2. Modo Verbal De la Comparación: Los juicios verbales se utilizan para comparar factores usando las palabras iguales, moderado, fuerte, muy fuerte, extremo. El igual significa que los dos artículos que son comparados son de importancia igual. El extremo significa una orden de la magnitud - cerca de 9 o 10 a 1. Los juicios entre estas palabras, tales como moderado a fuerte son también posibles..
3. Modo Gráfico De la Comparación: Las comparaciones gráficas para dos elementos son hechas moviendo barras del juicio al izquierdo o derecho. La porción superior de esta ventana exhibe gráficamente los dos elementos que son comparados con respecto al nodo superior. La porción más baja de la ventana demuestra la transformación numérica del juicio gráfico.

Con CALCULATE se obtienen las prioridades de los elementos comparados.

Cociente e índice de la inconsistencia: Se calcula para cada sistema de juicio. La inconsistencia sigue la característica transitiva, por ejemplo, si usted dijera que $A > B$, y $B > C$, después dice ese $C > A$. Los juicios se hacen generalmente con una serie de comparaciones en parejas, aunque los juicios pueden también ser hechos incorporando prioridades directamente, usando el gravamen (implica el hacer en parejas de comparaciones entre los objetivos, los objetivos secundarios, y las alternativas de la decisión), directo que no se recomienda. Los juicios también son hechos de la rejilla de los datos, comparando cada alternativa con respecto al tipo de fórmula de cada objetivo de la cubierta de grados que dirigen la entrada de prioridades. Ver Apéndice N° 5, Índice de inconsistencia. Se puede verificar el índice

de Inconsistencia; si es mayor a 0.10 el programa señala cual es la comparación donde se originó tal inconsistencia y permite corregir el juicio si es del caso.

Síntesis (Synthesis): Este proceso muestra la solución total sintetizando (el combinar) todas las prioridades globales para cada alternativa y después presenta los resultados en formato gráfico. Una síntesis se puede también realizar para otros nodos en la jerarquía; esto se conoce como síntesis intermedia. El programa hará una serie de preguntas al decisor para generar automáticamente el modo de síntesis conveniente al problema en cuestión: ideal o distributivo. El modelo de síntesis distributivo se utiliza en situaciones de decisión en las que se quieren priorizar las alternativas. El modelo de síntesis ideal se utiliza cuando se quiere seleccionar la mejor alternativa.

La aritmética empleada para los modos distributivos e ideales es tal que para una síntesis distributiva, las prioridades que resultan serán iguales, bajo el objetivo principal evaluado de una manera relativa (alternativas evaluadas en parejas) o absoluta (alternativas evaluadas en la rejilla de los datos). Esto es porque el cociente de las prioridades de las alternativas con respecto a un objetivo principal se debe mantener siempre (sin importar si está realizada una síntesis ideal o distributiva). Sin embargo, las prioridades que resultan pueden diferenciar para una síntesis ideal puesto que la medida relativa en parejas, hay siempre una alternativa en cada racimo (quizás más de uno con la prioridad local más alta) que reciba toda la prioridad del objetivo principal; mientras que en la medida absoluta, puede haber objetivos de la cubierta para la cual allí no hay alternativa que se evalúe con el grado posible más alto, y por lo tanto puede haber los objetivos de la cubierta donde ninguna alternativa recibe toda la prioridad del objetivo de la cubierta.

Adicionalmente el programa tiene una opción de reportes de gran utilidad para documentar el proceso. Inclusive se puede generar información adicional y más detallada de aquellos juicios que requieran analizarse con mayor detalle.

Análisis de Sensibilidad (Sensitivity Analysis): El análisis de la sensibilidad se utiliza para investigar la sensibilidad de las alternativas a los cambios en las prioridades de los objetivos. Hay cinco tipos de análisis de la sensibilidad:

1. Funcionamiento: muestra cómo las alternativas fueron dadas, según la prioridad concerniente a otras alternativas, con respecto a cada objetivo.
2. Dinámico: se utiliza para cambiar dinámicamente las prioridades de los objetivos para determinar cómo estos cambios afectan las prioridades de las opciones alternativas.
3. Gradiente: muestra las prioridades de las alternativas con respecto a un objetivo a la vez.
4. Dos-Dimensional (2D Diagrama): muestra las prioridades de las alternativas con respecto a dos objetivos a la vez.
5. Head-to-head: muestra cómo dos alternativas comparadas, contra los objetivos en una decisión.

Los análisis se pueden realizar del nodo de la meta o del nodo actual en la jerarquía tal como un objetivo. Los nodos representan los elementos de una decisión. Un nodo puede representar la meta, un objetivo, un secundario-objetivo o una alternativa. Esta función permite analizar y observar gráficamente que tan sensible es el orden resultante de las alternativas, a cambios que se hagan en la importancia de los criterios del modelo.

Clasificación – Ordenación (Ratings): El módulo ratings se utiliza cuando se aplica la medida absoluta (recomendado cuando se tienen más de siete alternativas y hasta miles de ellas). El modelo debe tener su objetivo, sus criterios y subcriterios. En lugar de tener alternativas visibles en el modelo, se crean escalas debajo de los criterios y subcriterios, contra las cuales las alternativas serán evaluadas. Igual que en la medida relativa, los elementos del modelo se comparan de “a pares” y se mide su preferencia; la diferencia radica en que en la medida absoluta este procedimiento se hace sólo para los criterios y subcriterios.

Las alternativas no se comparan porque no aparecen en el modelo; en su lugar, se comparan y se mide las preferencias de las escalas creadas que desprenden de los criterios y subcriterios. Luego se selecciona la opción Ratings, la cual crea automáticamente una planilla con los criterios, subcriterios y escalas ya comparadas y medidas las preferencias emitidas por los actores. En esta planilla se debe evitar el total de las alternativas y luego se procederá a evaluar cada una de ellas contra el estándar. Parte de los datos requeridos para evaluar las alternativas corresponde a la información que se encuentra en los datos.

El Módulo Ratings crea automáticamente un archivo de Excel, a través del cual se pueden importar datos, a la planilla del modulo para realizar la evaluación de las alternativas. Cada alternativa se evaluará contra el estándar de la planilla, obteniendo un puntaje para cada una de ellas. Al final el resultado será una priorización (Ranking) de las mismas.

Curvas Para uso general: Dos curvas para uso general disponibles de la rejilla de los datos incluyen las curvas que aumentan o disminuyen) como la función del paso, las curvas para uso general traducen datos a prioridades. Además de ser de aumento o disminución, cualquier tipo puede ser lineal o no lineal, y cuando es no lineal, cóncavo o convexo.

Función Del Paso: La función del paso es uno de cinco tipos de fórmula de la rejilla de los datos y es similar a los grados, que consiste en una escala o intensidades dadas la prioridad. Sin embargo, la función del paso calcula automáticamente la intensidad apropiada para cada alternativa basada en los datos, incorporados en la rejilla de los datos. Los grados son un método de la rejilla de los datos usado para evaluar una gran cantidad de alternativas. Las escalas de intensidades se desarrollan y le dan la prioridad a estas medidas entonces, se utilizan de juzgar cada alternativa. La prioridad de un nodo es un valor numérico representado como porcentaje. Se deriva de comparaciones en parejas con respecto al nodo de nivel superior.

Alineador Del Recurso - Asignación De Recurso: El alineador del recurso de la opción experta es una manera de seleccionar la mejor combinación de alternativas, de proyectos, de vendedores, y de los similares que maximizan (optimizar) el logro de objetivos mientras que no exceden un presupuesto especificado. También especifica otros aspectos tales como tiempo, gente, dependencias y similares. El módulo de la optimización contiene una variedad de formas que permitan a una variedad amplia de aspectos ser especificadas y utiliza los algoritmos que son excepcionalmente rápidos.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología de proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el “cómo” se realizará el estudio para responder al problema planteado (Arias, 1999).

3.1. *Tipo y diseño de la investigación*

Teniendo en cuenta todas las características del problema planteado, para deducir cual es la mejor metodología de selección y evaluación en Sistemas de Levantamiento Artificial, el tipo de investigación imperante es el estudio sistemático de Análisis de Información elaborado por el profesor Ulises A. Faúndez.

3.2. *Técnicas de Recolección de Datos*

- ✓ Revisión Bibliográfica: consta de la documentación necesaria para el desarrollo del marco teórico. Descripción de análisis metodológico, los Modelos de selección, Métodos de L.A. y el impacto que tienen los diferentes factores o condiciones sobre los mismos.
- ✓ Entrevistas con especialistas en Sistemas de L. A. de INTEVEP.

3.3. *Matriz Metodológica*

En la realización de este estudio fue necesario plantear los objetivos, sobre los cuales se hizo la investigación. A tal efecto se elaboró una matriz metodológica que señala las actividades realizadas así como las técnicas implementadas. A continuación se muestra la matriz metodológica, tabla N° 13:

TABLA N° 13.
MATRIZ METODOLÓGICA

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES REALIZADAS	TÉCNICAS DE ANÁLISIS IMPLEMENTADAS
Definición de Métodos de selección y evaluación de varias variables desarrollados: PAJ, SEDLA, MCV, Expert Choice	Se recopilaron todo tipo de documentos, tesis y trabajos referentes a Sistemas de Levantamiento Artificial y Modelos de selección; así como datos sobre los criterios que afectan la selección de sistemas de levantamiento.	Documentación bibliográfica
Realizar la comparación de los diferentes métodos implementados en la selección y evaluación de varias variables a través de una metodología analítica para deducir cual es el método más completo y eficiente aplicado a un Sistema de Levantamiento Artificial, con base en el estudio sistemático de Análisis de Información presentado por el Prof. Ulises A. Faúndez Académico Instituto de Ciencia Política Universidad de Chile.	Se describieron tablas de Consideraciones Generales, Consideraciones Normales de Operación y Consideraciones de levantamiento Artificial. Se realizaron tablas de comparación entre los Modelos, Métodos y Criterios, en la selección del sistema de levantamiento artificial óptimo, en fundamentación del estudio sistemático analítico de información mencionado.	Documentación bibliográfica Estudio sistemático de Análisis de Información presentado por el Prof. Ulises A. Faúndez
Analizar y evaluar el estudio comparativo de los diferentes métodos para la selección de Sistemas de Levantamiento Artificial en el proceso de producción mediante el estudio sistemático antes mencionado con la finalidad de establecer las diferencias entre los mismos.	Se analizaron y evaluaron las tablas comparativas, en base del estudio sistemático antes mencionado.	Estudio sistemático de Análisis de Información presentado por el Prof. Ulises A. Faúndez. Se elaboraron árboles lógicos, cuadros de categorías y fichas de comparación, oposición y críticas de los modelos de selección.
Establecer ventajas y limitaciones de los diferentes métodos comparados y problemas relacionados con los diferentes Sistemas de Levantamiento Artificial.	Se establecieron ventajas y limitaciones de los diferentes modelos comparados.	Se realizó tanto un análisis comparativo como un análisis y evaluación individual, para cada uno de los modelos de selección.

Fuente: elaboración propia

3.4. *Operatoria específica del análisis y evaluación*

Fases de Trabajo (Ulises A. Faúndez, 2004):

1. "Levantar" información: se lee y relee con cuidado cada trozo de información, en este caso publicaciones, textos, informes, trabajos de grado y demás documentos relacionados con modelos aplicados para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial; extrayendo los conceptos y significados que correspondan para definir las categorías que se utilizarán en la evaluación y análisis comparativo de las diferentes modelos; por ejemplo:

- ✓ expresiones neutrales.
- ✓ expresiones favorables.
- ✓ expresiones desfavorables.
- ✓ sugerencias de crítica.

Luego, todas las expresiones y detalles correspondientes, ya identificadas, se clasifican dentro de cada una de las categorías. Para ello, el procedimiento mas simple es la denominada "ventana", que separa y ordena información al mismo tiempo. También es posible construir "árboles lógicos" simplificados; ver Gráficos N° 17, 18, 19 y 20 en las páginas siguientes de éste capítulo.

2. Verificar si se justifica algún reordenamiento de los datos, comprobar la fiabilidad de los mismos, llevarlos a tablas de categorías, hacer comparaciones, buscar semejanzas, oposiciones, coincidencias, etc.; y a partir de ese cúmulo de informaciones parciales, establecer si el procedimiento metodológico ha sido el adecuado, mediante el empleo de indicadores de coherencia interna y retroalimentación; ver Tablas N° 14, 15, 16 y 17 en las siguientes páginas de éste capítulo.

3. Describir de manera precisa los fenómenos que descubra en el "texto", buscando establecer relaciones entre categorías, tales como: frecuencia de aparición, cantidad de texto relacionado, rangos de importancia atribuida, ubicación en un tema más general, ilustraciones o ejemplificaciones y calidad de los mensajes.

4. Tratar la información: al relacionar lo que ocurre entre las diversas categorías, por vía de la comparación, descubre que son sólo algunos tópicos o temas los que presentan consistencia, en cuanto a la valoración que el medio les otorga; en consecuencia, se comprueba que será la combinatoria de preparación profesional, experiencia, creatividad, agudeza y habilidad, el elemento crucial para visualizar la pertinencia de las asociaciones de ideas que se tendrán en cuenta y ello será producto directo de los diversos factores involucrados de tipo profesional: aciertos anteriores, capacidad de productividad, capacidad de imaginación, intuición, motivación y constancia, entre otros. Es el factor humano, desempeñándose en todo su potencial, aportando lo que parece insustituible: la capacidad de **pensar creando**.

Esta etapa es, en síntesis, la búsqueda incesante de la respuesta a la pregunta inicial (el objetivo), mediante la comprensión de los textos, -según códigos preestablecidos por las categorías-. Bajo su directriz, se ordenan las unidades de análisis (en frases y palabras) y se orienta el resultado del procesamiento.

5. Interpretar: Es la etapa en la cual se propone entregar explicaciones tentativas respecto de las relaciones encontradas en la información, es decir, el origen de las razones que ha detectado. A partir de ello, es posible proponer hipótesis confiables. Es por tanto, el ejercicio de la búsqueda de significados, es preguntarse: ¿Qué quiere decir lo que se ha encontrado?

6. Concluir: Corresponde a un esfuerzo de síntesis para que "los árboles dejen ver el bosque". Es la ordenación esencial de los productos de información encontrados. Es la oportunidad de conectarlos, mediante una respuesta global, con el problema planteado en un principio, satisfaciendo así, la necesidad de saber cual es la mejor metodología de selección y evaluación en Sistemas de LA.

En esta etapa de operatoria específica, se desarrolla dos tipos de actividades intelectuales. Una de ellas es la **recapitulación**, donde aún no hay verdades absolutas o inamovibles; la otra es la **integración orgánica** de lo antes descrito, desde donde es dable proyecciones de hipótesis, efectos o relaciones con otras informaciones afines.

CAPÍTULO 4

COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS IMPLEMENTADOS EN LA SELECCIÓN DE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

La comparación de los modelos de selección de Sistemas de Levantamiento Artificial, se realizará planteando una breve descripción de cada uno de los factores, criterios y aspectos relevantes que influyen en la selección del mejor método.

En este capítulo se seguirá de acuerdo a la siguiente nomenclatura y el orden que aparece a continuación, la finalidad de hacerlo de esta manera, es con el propósito de poder compararlos, analizarlos y discutirlos.

Modelo 1.- Proceso Analítico Jerárquico (**PAJ**)

Modelo 2.- Sistema De Experto de Levantamiento Artificial (**SEDLA**).

Modelo 3.- Metodología de Evaluación de Tecnologías (**MET**).

Modelo 4.- Programa Computacional Expert Choice (**EC**).

Sobre lo antes expuesto, se han identificado cuatro (4) puntos claves para definir lo que toda decisión necesita para alcanzar sus objetivos:

- ✓ Los modelos de selección proporcionan el 90% del soporte de la información procesada para las decisiones.
- ✓ Existe un interés en particular, en la industria petrolera, del necesario acercamiento entre metodologías (modelos de selección) y los ingenieros o profesionales afines a la industria petrolera, para el diseño de procesos particulares de toma de decisiones.

- ✓ Los responsables de las decisiones deben estar bien informados, pues de ello depende el éxito de su trabajo.
- ✓ Los Profesionales del procesamiento de informaciones deben de explicar, acerca de la necesidad y utilidad que significa disponer de información procesada de buena calidad, oportuna y fácil de utilizar para el mejor ejercicio de sus funciones.

En consecuencia, los modelos de selección deben laborar organizados y agrupados en equipos de trabajo, eso se debe a varias razones, entre las que destacan: la especialización por áreas y temas, la disponibilidad de archivos y bibliotecas, junto a la continuidad en el tiempo de un tipo de actividad que se caracteriza por el estudio sistemático, permanente y pormenorizado de su área temática.

El producto del modelo de selección debe ser transmitido en un lenguaje sencillo, directo, sin ambigüedades y con un orden lógico que resista cualquier crítica o duda, especificando claramente los resultados y las opciones respecto de lo que podría suceder a futuro, si no surgen variables independientes externas que cambien el escenario.

Existen muchos tipos de modelos de selección que buscan establecer la mejor decisión, potenciar el valor del significado de informaciones aparentemente inconexas, o que permite no sólo identificar un blanco, sino, además, el mejor modo de corregirlo al menor costo posible. A este respecto, la tecnología de vanguardia está colaborando con datos valiosos y precisos que sirven de materia prima para el especialista en producción, obtenidos por instrumentos cada vez mas sofisticados.

En consecuencia, en palabras del antiguo estratega chino TSE MA: "no se puede decir que la verdad cambia como la dirección del viento; lo importante es saber la magnitud del viento y sus posibilidades de volver a cambiar de dirección".

Al trabajar, el modelo de selección utiliza todas las informaciones y datos necesarios y aplica sobre esta su capacidad profesional para organizar lo disponible, sintetizar la esencia de los contenidos y elaborar informes destinados a satisfacer las necesidades de saber del usuario. El paso del tiempo también está planteando nuevos desafíos, en la medida que la sofisticación de los sistemas les obligan a perfeccionar y multiplicar los procedimientos de su tarea.

4.1 *Perspectiva psicológica* (Ulises A. Faúndez, 2004)

El hombre parece ser el único animal que "entiende que sabe" y, en consecuencia, el proceso de análisis es un tipo de trabajo profesional "sui generis", especial, donde un proceso mental, llevado al máximo de las capacidades humanas, demuestra las fronteras del altruismo, la devoción por la búsqueda de la verdad y una síntesis cultural, como en ninguna otra profesión. Los secretos de su cultivo residen en la perseverancia serena, la búsqueda entre la diversidad y el seguimiento sistemático del funcionamiento de diversos procesos cognitivos. La profesión de Ingeniero emerge entonces con especial énfasis en un tiempo cuyo signo es la abundancia de datos e informaciones que complican los procesos decisionales y donde los escépticos no se atreven a entender la esencia de su carácter; esa función natural del cerebro humano, capaz de generar modelos creativos, establecer las expectativas de la relación causa-efecto y la elaboración de procesos para jerarquizar premisas. Cada vez es mas frecuente preguntarse por la localización del error, por las fallas del modelo metodológico en lo substancial, por la validez de la experiencia y la cambiante faz de lo que se espera de esta profesión, con sus significantes culturales y la búsqueda de un equilibrio óptimo entre raciocinio y proceso adaptativo, porque "cada caso, es un caso".

La idea de la mente humana se acepta entonces como un sistema, que DEBE procesar información para permitir la ocurrencia de los demás procesos mentales, en particular los vinculados con la elaboración de representaciones, que llevan en sí, códigos y símbolos que buscan asimilarse a la imagen de sujetos activos y que no limitan a responder pasivamente a estímulos del MEDIO. El individuo así "capacitado" por su mente, debe ser considerado como un ente activo, dotado de capacidades para establecer metas, adoptar decisiones, planificar estrategias, interactuar y, en suma, asociar factores abstractos y empíricos, de modo que en su discurrir se genere una suerte de coherencia interna, capaz de resolver situaciones consideradas problemáticas o de solución variable. Dicha proyección, aparece empero, parcialmente restringida por la naturaleza del sistema de ideas, la calidad de los datos disponibles, los recursos mentales de procesamiento y la capacidad de memoria, todo ello sucediendo de modo SERIAL en vez de PARALELO, para permitir la resolución de situaciones consideradas problemáticas, basándose en: PREPARACION, PRODUCCION y JUICIO.

En cada una de las múltiples perspectivas resultantes, la descripción de hechos observables hace preguntarse: ¿es aquello lo que realmente sucede?. Tal vez hay información de superficie disponible respecto de fenómenos de naturaleza interdependiente pero, no es menos cierto que la información que se obtiene en relación con la dependencia causal de hechos observables siempre será incompleta, porque el esquema de comparaciones entre modelos y hechos concretos no siempre demuestra correspondencia.

Se evidencia una ambigüedad lógica y también una perspectiva de realidades formadas por infinitos componentes, algunos manifiestos y otros como fenómenos sólo intuibles. Por consecuencia, no es fácil decir "donde está el eje si no se evidencia la periferia" y ello se debe a que, entre el pensar y el observar hay distancias reales y distancias conceptuales, como expresiones variadas de la intuición mental a lo que se agrega la natural imposibilidad humana de acceder al fondo absoluto de las cosas.

Por lo tanto, no es posible obtener conocimiento útil de un hecho aislado si se desea entender el todo, (la inferencia suele ser riesgosa). Es preciso entonces formar en la mente un modelo completo para acercarse al conocimiento y desde allí intentar ser preciso con certeza, para lograr un alcance efectivo del estudio de la realidad. Sólo desde allí será posible responder por la eterna duda del SER y el TRASCENDER, su medio, sus problemas y sus posibilidades de solución.

Por lo antes descrito, el Ingeniero de Producción de este tiempo debe ser un profesional autoconsciente de sus mejores capacidades para emplear el proceso de razonamiento y, a la vez, debe accionar principalmente en el empleo del COMO para simplificar lo complejo y hacer claridad donde otros se debaten en la incertidumbre. Sus armas metodológicas deben ser guiadas por la revisión crítica de los fenómenos bajo estudio, por la estrictez en el empleo del método científico y por la calidad de las múltiples vertientes cognitivas que permiten revalorizar el producto de diversas interconexiones de resultado de información, determinando ejes de análisis y modelos de análisis.

4.2. Problema analítico

Durante años y como fenómeno mundial, han prevalecido dudas sobre la credibilidad del "producto de información", debido a que muchos especialistas de la industria petrolera han hecho prevalecer su calidad de expertos por sobre su rol de procesadores. Esto es básico para entender que el contexto "Poco, bueno y a tiempo" de los años 40 no es suficiente y que debe ser complementada con el término "útil".

También se han ido diversificando los tipos de producto de información procesada, que consideraban tradicionalmente dos: trabajos específicos sobre un tema y/o, informes periódicos sobre temas generales por áreas de interés; este último tipo de producto requiere que el usuario sea un excelente lector para correlacionar mejor los informes y permitirle mantener el hilo entre períodos o lapsos de información.

La tendencia actual se orienta al usuario, es decir, al tipo de información verdadera que un Ingeniero de Producción requiere, mas allá de formatos o hábitos de procesamiento. Este ambiguo término, para los no conocedores, debe contener dos elementos: hechos y contexto, lo que implica la necesidad de asociar ambos y desde allí, establecer rangos de probabilidad, tales como: "probable, dudoso, altamente improbable, riesgoso, etc.". Esta modalidad es estadísticamente imprecisa y proviene de la subjetividad humana de apreciación, sobre la base de lo disponible.

No obstante lo anterior, en la medida que el Ingeniero de Producción posee mayor experiencia y puede disponer de varias fuentes de información, la modalidad descrita (modelo de selección) adquiere valor en cuanto representa una opción y una visión interpretativa de lo conocido, respecto de lo esperado. En mucho influye la capacidad y acertividad de los modelos metodológicos y como ya se ha visto, la relación con ellos debe ser de mutua y estrecha confianza, porque la visión no puede ser ni horizontal ni vertical, sino central o periférica, en una serie de anillos imaginarios que se acercan progresivamente al eje o meollo de un asunto, con el mínimo de manipulación posible.

Los viejos especialistas imaginaban, a principios de siglo, que la confiabilidad de la información tenía forma de pirámide y mientras más amplia era su base, mejor comprobada estaba una información. Eso pudo ser cierto en algunas oportunidades, pero en la actualidad, cuando las fuentes se multiplican y el flujo de datos se hace inmanejable (cantidad y diversidad de datos que se manejan en Internet) , es obvio que el procesamiento debe cambiar su modalidad porque las condiciones prácticas y el tiempo disponible han instaurado dos requisitos insoslayables: tiempo real y precisión de objetivos.

En síntesis, cuando se exploran opciones de futuro, las variables internas y externas al problema son infinitas y, por lo tanto, se debe aceptar que el "factor imponderable" (también conocido como el "factor X") puede surgir donde y cuando menos se lo espera; de allí la necesidad de estudiar la visión prospectiva como una disciplina separada, de valor científico, seria y profunda, que privilegie lo conceptual y la esencia, mas allá de analogías y relevancias temporales.

Por otra parte, existe un crecimiento de las futuras tareas y expectativas que se proyectan para el Ingeniero de Producción del futuro. Es evidente que todo apunta a un incremento de su rol y una redefinición de los productos que se le solicitarán; es decir, por una parte se le obligará a ser un prospectador de redes de fuentes abiertas, a partir de lo cual dirigirá la colección y la producción de inteligencia y, por otra, ocurrirá un segundo cambio paralelo al anterior, que lo perfilará como un administrador de recursos de información, que maneja resultados destinados a la mejor producción. Al mismo tiempo, tendrá un mayor control sobre proyectos de investigación y desarrollo, en temas cada vez más específicos, tal como sucede en el mundo académico, el Ingeniero de Producción será un administrador de relaciones de consumo, con tres (3) tareas primordiales:

- ✓ Mantener, si es necesario, la confidencialidad de su producción, lo cual es cada día más difícil de lograr.
- ✓ Asegurar al usuario la confiabilidad en el material enviado, en especial para sostener decisiones de corto plazo.
- ✓ Explorar y explotar toda fuente abierta posible, para enriquecer sus bases de datos y sus modelos de correlación de informaciones.

Por consiguiente, la profesión de Ingeniero de Producción, a semejanza de otras profesiones de la misma industria, requerirá cada vez más de una formación intelectual, metodológica y cultural de la mayor excelencia imaginable, incluso de capacidades innatas que le permitan ser competitivo frente a la avalancha de conocimiento de gran volumen y complejidad.

Finalmente, la responsabilidad última de un Ingeniero de Producción será la de administrar "capacidades de clasificación", donde se reúnan tecnologías de punta, procedimientos únicos de su profesión y el desarrollo de habilidades individuales para separar lo primordial de lo prescindible en tiempo real y no en tiempo absoluto, como se piensa hasta hoy. Eso significa que algo considerado pivote puede llegar a ser accesorio o "para archivo", de un día para otro, sin que dicho dato pierda su validez en sí o su capacidad de explicar una situación del pasado. Por conclusión, será la circunstancia la que determinará al Ingeniero de Producción y éste solicitará del modelo metodológico las respuestas y bases argumentales para reaccionar con acierto.

Desde el punto de vista de su trabajo práctico y específico, el desafío es, por tanto, aumentar la certeza y la oportunidad de la producción, sin el desfase de la obsolescencia. El problema del modelo metodológico radica en entregar el mejor producto o resultado posible a un Ingeniero de Producción, apremiado por su circunstancia particular, quien debe ser acertivo para cumplir cabalmente con su rol.

También el Ingeniero de Producción se ve enfrentado a grandes y crecientes volúmenes de datos e informaciones que deben ser contrastadas por los modelos metodológicos para determinar su pertinencia respecto de determinado asunto en estudio, porque ningún cerebro humano normal es capaz de procesar esos enormes volúmenes, en especial para cumplir las siguientes tareas:

- ✓ Determinación del significado de un texto en forma concisa.
- ✓ Capacidad efectiva de síntesis, sin perder los contenidos esenciales.
- ✓ Capacidad efectiva de acceso rápido a grandes bases de datos.
- ✓ Comprensión cabal de distintos tipos de lenguaje, según el problema que se trate, considerando aspectos semánticos, figuras lingüísticas y estructuras morfológicas.

Lo anterior retrotrae entonces el problema a la condición sinérgica de la interacción hombre-máquina y, sólo una adecuada capacitación del personal ejecutivo permitirá el diseño de proyectos de modelos de procesamiento.

Simultáneamente continúa expandiéndose por el mundo el ambiente computacional "window", que hace más manejable al usuario respecto las complejas bases de datos y redes internacionales como Internet, lo cual permite, hasta hoy, el despliegue exitoso de grandes volúmenes de información, su permanente actualización y, al mismo tiempo, la priorización de aquellos elementos gravitantes en algún asunto específico, debido a la capacidad incremental de establecer relaciones entre tipos de fenómenos, sus causas y sus condicionantes.

Por otra parte, los nuevos programas computacionales no resuelven el trabajo analítico por sí, pero son capaces de conjugar el aporte tecnológico con las destrezas del Ingeniero de Producción, a la vez que plantean un desafío profesional a este último, imponiendo necesidades de capacitación técnica y el diseño de nuevas metodologías de procesamiento y producción que garanticen resultados cada vez mas útiles para la mejor decisión.

4.3. Análisis y producción

Un elemento adicional que complica aún más el intrincado panorama antes descrito es la proliferación exponencial de la denominada "literatura gris", la cual, procesada por expertos de alta capacidad, puede ayudar a entender hechos y situaciones pero, que no es siempre accesible en el fondo, para todos los especialistas de la profesión. Se entiende por literatura gris toda aquella información o grupo de datos que se exponen sin comentarios ni orientaciones explícitas, respecto de un tema, sea éste académico, estadístico, financiero, de almanaque, directorios telefónicos y de empresas, etc. Lo anterior quiere decir que su interpretación puede ser variada, dada su apariencia amorfa, pero en cuyo interior subyacen claves de

información sólo discernibles por expertos de larga experiencia; su origen puede ser diverso y su intención indefinida en la apariencia, pero una cifra entre miles o una frase entre centenares, pueden dar la clave de intenciones, dentro de una situación bajo estudio.

Por eso, se insiste que para el ingeniero continúan surgiendo nuevos desafíos: buscar nuevas formas de interpretar lo relevante, identificar él o los expertos más calificados para jerarquizar el valor de la variable bajo estudio, comprender y valorizar el nivel de las citas bibliográficas del autor, definir preguntas trascendentales que deberán ser respondidas antes de continuar, etc.

El producto obtenido del procesamiento de fuentes eruditas tan diversas, contiene dos tipos de elementos: por una parte, la evolución de la capacidad analítica para obtener lo esencial y por otra parte, la asociación única de datos y hechos que pueden explicar y sostener la veracidad de las conclusiones y proposiciones. Es este "valor agregado" lo que le otorga al producto elaborado un determinado nivel de confidencialidad, porque representa la puesta en evidencia de circunstancias que otros no perciben y por lo tanto surge por sí, un valor de uso que otros no disponen, aún cuando inviertan ingentes cantidades de dinero en equipos de análisis mal entrenados, novatos o mal dirigidos.

La mejor manera de obtener la producción de óptimos resultados, es disponer de expertos de alta calidad profesional que efectúen el proceso; esto significa proveer un flujo de recursos humanos que se constituya en una "carrera profesional", que atraiga a las mejores mentes jóvenes para formarse y desarrollarse en los diferentes niveles y especialidades. Una formación académica básica es imprescindible, como también una formación profesional acorde al área. Este es un proyecto de largo aliento que entraña años de preparación y experiencia, indistintamente de los contratistas o de la autoridad política de turno en los gobiernos, puesto que se trata de entregar lo más cercano a la verdad y jamás lo más cercano a la adulación ya que, una cosa es

estudiar el desarrollo de un proceso político y otra muy distinta es involucrarse en él. Por todo lo anterior, es necesario proteger la profesión encargada del procesamiento de informaciones respecto de situaciones contingentes y recurrentes, tales como la militancia subjetiva y la politización abierta, vicios tales que deforman el acceso a la verdad y transforman el procesamiento de información en simples opiniones respetables, pero de escaso valor para decisiones equilibradas. Ello es especialmente verdadero para situaciones como el manejo de crisis y la alerta temprana, donde un procesamiento frío y de la mayor objetividad posible producirá las mejores opciones para optar en una situación de emergencia.

Lo anterior, lleva a reflexionar que para cada situación o problema en el tiempo de plena vigencia será distinto, según se aceleren o congelen los acontecimientos. Esto es especialmente válido para las operaciones de cualquier campo, en las cuales la correcta interacción entre gestión y apresto de grupos de trabajo para el procesamiento de datos, dan la clave del éxito o fracaso de una compleja gestión; en cualquier caso, como se aprecia, son múltiples y variados los modelos posibles de aplicación para el procesamiento de datos, y en cada uno de ellos, el factor CREATIVIDAD es imprescindible para evitar que la situación escape de control, porque en este ámbito, los errores son los más caros e irreversibles que una empresa, institución o país pueden sufrir.

No obstante lo anterior, es indispensable insistir en las renovadas modalidades específicas de trabajo que se debe emplear en la labor cotidiana. Formalmente, se debe planificar, definir y orientar los objetivos y métodos; posteriormente reunir la información disponible, para luego proceder a su interpretación, extraer conclusiones o definir hipótesis de futuro (según corresponda); a partir de ello es posible proyectar los resultados.

Dentro de esa labor, es destacable la gravitación de la tarea de INTERPRETACION, donde se exige de este profesional el ejercicio de sus mejores condiciones de juicio metodológico y vocación personal, sobre todo en lo referido al análisis de contenidos y, dentro de ellos, la identificación de los mensajes que allí se incluyen. En todo caso, los resultados deben ser verificables, mediante métodos prediseñados, pero adaptables, según sea el objetivo a cumplir.

En consecuencia, analizar contenidos y mensajes es procesar, por medio de un método -evaluado como "seguro"-, las informaciones que se encuentran en ellos, registrando lo que contienen y descubriendo su significado profundo tras la forma en que se presentan. Por tanto, se trata de un proceso que asocia descripción, clasificación y transcripción, mediante sucesivas comparaciones y asociaciones, que se ejecutan siguiendo un código prediseñado al efecto (en función del objetivo).

Desde el punto de vista de la clasificación general de los contenidos esenciales, existen diversos tipos de objetivos presentes en los mensajes; ellos pueden ser, pragmáticos, ideológicos, instrumentales, circunstanciales, etc. En consecuencia, si lo que se desea es conocer cuales son los principales objetivos prácticos recurrentes para efectuar dichos análisis, es posible definir los siguientes:

- ✓ Descubrir si existe algún marco de ideas originario y subyacente, entendido como el esquema de pensamientos, verdades, supuestos y creencias en que se basa el discurso, cuyas ideas se hacen evidentes al proyectarse en el texto, manifestar concretamente su presencia y definir con su inspiración conceptual, la intencionalidad de los contenidos y mensajes presentes.
- ✓ Conocer expresiones de la realidad social de pertenencia, para detectar la presencia de situaciones, conceptos, percepciones y testimonios que definen las características más representativas del orden social existente en un medio, las posibles desigualdades, niveles de satisfacción o insatisfacción de las personas, así como la percepción que ellas tienen.

- ✓ Evidenciar la presencia de recursos posiblemente manipulados, de tipo emocionales o sensiblemente apelativos, que actúan por impacto, con el objeto de exaltar y exacerbar animosidades, sentimientos, fijación de percepciones parciales, distorsiones asociadas o elementos similares que puedan generar opiniones y apreciaciones subjetivas, basadas en la pasión o el sentimiento, por sobre la razón y los hechos.
- ✓ Develar la presencia de simple publicidad y/o propaganda encubierta, entendida esta última como expresiones subliminales, a veces difusas, cuyas informaciones buscan ganar voluntades a través de sutiles insinuaciones, pero cuya forma evidente parece informativa e incluso imparcial, subyaciendo la intencionalidad de prodigar o inducir opiniones favorables hacia una determinada persona, causa o situación que se desea apoyar.
- ✓ Reconocer estilos de presentación de contenidos y mensajes, que caracterizan o definen a grupos, personas o tendencias filosóficas los que a su vez, pueden obedecer a determinados intereses o motivaciones. Cada uno de ellos definirá y "marcará" su lenguaje, de acuerdo a su esquema de ideas, su perspectiva de pensar y el discurrir de su método de percibir y entender la realidad.
- ✓ Evidenciar la presencia de patrones culturales, entendidos como expresión de la ostensible presencia de tipos de ideas, modalidades de uso del lenguaje o, expresiones locales y únicas, que demuestran facetas de la identidad, idiosincrasia, usos y costumbres de personas, grupos o naciones, caracterizando al lenguaje con expresiones y formas originales.
- ✓ Conocer la operatoria del proceso comunicativo en el medio de origen, con el propósito de identificar la metodología de tratamiento de la información que se dio inicialmente a los datos de base que componen esa información, su organización en el texto y la forma en que se suceden para hacer llegar al destinatario los contenidos y mensajes de los cuales consta. A partir de ese conocimiento, entender el discurrir que se otorga al proceso de comunicación, sea éste masivo o personal.

✓ Determinar las ideas esenciales y sus motivos, entendiéndolas como aquellas fuentes o parámetros conceptuales de donde se derivan las consideraciones de los contenidos y mensajes, cuya ausencia haría imposible entender la articulación del cuerpo de opiniones y proposiciones del texto, o haría difícil entender su estructuración orgánica, y menos aún, la proyección de su significado.

De entre las numerosas dificultades que se encuentran, está el uso intencionado (por parte de los autores) de técnicas subjetivas de empleo de lenguaje, tales como Manipulación y Distorsión, utilizadas con el objetivo de engañar o direccionar al receptor. De esa manera, el cuerpo de conocimientos sobre el tema analizado debe enriquecerse, especialmente cuando el estudio práctico se conecta con alguna teoría o modelo interpretativo, pertinente o afín.

La idea central que se deriva de lo anterior, es que todo problema el de análisis derivado de cualquier metodología existe porque se perciben dudas acerca de verdadero discurrir lógico, lo que se resuelve examinando los mensajes y la esencia del contenido. Ello se realiza bajo la forma de identificación de una interrogante, que es una incógnita sobre la cual existe interés por conocer su significado, su proyección y las razones fundamentales que explican su ocurrencia.

Desde el punto de vista operacional, se busca identificar primeramente el concepto central, que es la propiedad o atributo que se supone está siempre presente tras el mensaje principal; es decir, lo que se pretende determinar con el propósito de descubrir como se manifiesta y actúa en el conjunto del contenido. Es la característica observable principal que interesa examinar, así como su relación con los mensajes asociados (si los hay). Esos parámetros relacionados pueden ser considerados metodológicamente como variables dependientes y pueden ser medidos o comparados en consecuencia.

Una vez considerado lo anterior, se sugiere proceder por definir, ya sea el objeto de análisis, precisando la característica que se examina, la valoración de la misma (importancia) y el rol del objeto-sujeto, en sus expresiones o bien, respecto del modelo de entorno. Por consiguiente, se produce la siguiente secuencia: FORMULACIÓN - VALORACIÓN - ACONTECIMIENTO - SUJETO - EXPRESIONES - REALIDAD.

4.4. Categorización de procedimientos analíticos

En cuanto a las modalidades de procedimiento, existen aspectos relevantes que se estudian al enfrentarse a un cuerpo de contenidos que debe ser desglosado, más allá del concepto central del problema. Para ello utiliza las denominadas CATEGORIAS DE ANALISIS, que son los códigos transcriptores de los mensajes analizados (esto es, su clasificación).

Las categorías son conceptos clasificatorios a través de los cuales se intenta encontrar respuestas a un problema ya definido. Conceptualmente, una categoría se entiende como una noción general que representa un conjunto o un tipo definido de características y atributos, lo que autoriza a agruparlas en una misma clase.

Operacionalmente, la tarea que debe realizar es definir una pregunta de fondo que se dirige al objetivo o/y problema; para ello, realiza el llamado Análisis Estructural, que privilegia el uso de conceptos específicos, tales como:

- ✓ **RELACIÓN ASOCIATIVA** entre SUJETO <- ->OBJETO -> DESTINATARIO, entendida como una cadena lingüística que privilegia la comunicación como el instrumento que permite informar determinados contenidos y mensajes. Un tipo de relación, -de entre varias posibles-, se produce en las denominadas relaciones sintagmáticas.
- ✓ **RELACIONES SINTAGMATICAS**, son aquellas combinaciones de dos o más palabras o expresiones consecutivas, en una cadena hablada. Al concatenarse, las

palabras establecen relaciones basadas en el carácter lineal del lenguaje, que excluye la posibilidad de pronunciar dos elementos al mismo tiempo; Por ejemplo: "un tremendo choque", "cada hombre", etc. En un SINTAGMA, un término sólo adquiere su valor en la medida que se opone al que le precede o al que le sigue, o a ambos. Pero ello no basta entender plenamente el discurrir de un texto; le hace falta conocer el fondo del problema, es decir los ROLES que cumple cada término, en sus respectivas FUNCIONES.

✓ **FUNCIONES**, son aquellas descripciones de la estructura del lenguaje, definidas como instrumentos de comunicación. En este caso, todas las unidades lingüísticas y sus interrelaciones son analizadas y descritas por el analista, tomando en cuenta su desempeño en la comunicación estudiada.

De la aplicación de lo antes expuesto, se constata que se derivan dos tipos fundamentales de "ejes lingüísticos":

1. El eje SINTAGMATICO o de OPOSICIÓN, cuyo carácter lineal ya se ha descrito y;
2. El eje PARADIGMÁTICO o de SIGNIFICACIÓN, que recuerda el desglose de un árbol lógico, donde prima el carácter asociativo, pues a partir de un término dado (tomado como centro) convergen o se derivan otros términos, cuyo alcance es indefinido.

Estos dos "ejes" servirán de guía, tanto en la búsqueda del origen de la forma lingüística analizada, como en su estructura interna, ayudándole en su tarea descubridora de significados y características.

Las características de mayor riqueza de contenido heurístico (manifiesto), son las que provienen de una erudición mas profunda sobre el tema que se está investigando, apoyada en un cuerpo de conocimientos disponibles, más o menos estructurado. Pero ese logro sólo es posible si interviene el especialista del procesamiento de datos junto con la aplicación de la metodología correspondiente al caso. Es él quien

metodológicamente determina y emplea con propiedad los procedimientos del análisis, en función de las interrogantes con que se enfrenta al contenido por analizar y sus mensajes incorporados.

4.4.1 Categorías de análisis

Desde una óptica clasificatoria, es dable informar que, las CATEGORIAS DE ANÁLISIS pueden dividirse en:

- ✓ Categorías de Materia (temas tratados en el texto)
- ✓ Categorías de Forma (cómo se trata el tema)
- ✓ Categorías de Apreciación (cómo se evalúa el tema)
- ✓ Categorías de Actores (status, carácter, orígenes).

Las categorías actúan entonces, como el código a través del cual se leen los mensajes del contenido, que pueden surgir, tanto de la interrogante inicial como del material de información disponible sobre el tema en estudio.

En cuanto a la constitución del CORPUS, éste se define como el conjunto de material que contiene las informaciones y características que interesa descubrir; son las partes del contenido en que se busca la razón última de un problema analizado. Puede estar conformado por textos completos o sólo "unidades de muestreo", según el tamaño del material en estudio. En términos objetivos, el Corpus es el conjunto de documentos que se reúne para el trabajo analítico, cuando ya se ha establecido con precisión el objetivo de búsqueda que se persigue, al llevar a cabo el proceso de análisis y, por ello, si es muy abundante, se toma sólo una muestra representativa.

Por extensión, se considera al Corpus como el conjunto de mensajes y contenidos de un texto, donde hay razones para presumir que se encuentra la respuesta a la interrogante inicial y que representa el motivo para realizar el trabajo de análisis.

Ver tablas N° 14,15,16 y 17.

4.5. Análisis del “proceso de interlocución”

El marco general del proceso de interpretación de informaciones, -dentro del cual se inscribe la tarea de análisis metodológico-, considera con gran importancia al denominado fenómeno de interlocución, faceta del proceso de comunicación que supone las siguientes dos interacciones:

- ✓ ESCRITOR (AUTOR) <- -> TEXTO (CONTENIDOS Y MENSAJES) y
- ✓ ESCRITOR (AUTOR) <- -> LECTOR (DESTINATARIO).

En cuanto a su desarrollo específico, éste se proyecta basándose en dos componentes:

- ✓ ANALISIS DISCURSIVO DEL TEXTO y
- ✓ ANALISIS LINGÜÍSTICO.

En lo referido a su realización práctica, considera la existencia de tres planos de procedimiento:

- ✓ un registro (Ej.: científico, periodístico, cronístico, etc.)
- ✓ un género (Ej.: resumen, cuento, relato, etc.)
- ✓ una lengua (Ej.: Castellano, Inglés, Francés, etc.)

En consecuencia, al estudiar el discurrir del fenómeno denominado creación intelectual, se descubre la ocurrencia de una serie de interacciones entre el autor y sus ideas que, al final, se expresan en una serie de decisiones que el autor realiza antes y durante las diferentes instancias de elaboración, lo que conlleva el proceso de reunir, organizar y comunicar los resultados de su pensamiento.

Dichas opciones son importantes objetos de estudio para todo profesional del sector petrolero, porque manifiestan de una u otra forma la orientación que el autor de cada texto o publicación (pertinente al ámbito de la Industria Petrolera y/o otros) quieren resaltar en sus estudios y están orientados hacia una nueva perspectiva.

En la comunicación científica, por ejemplo, (tradicionalmente considerada como reflejo fiel de fenómenos observados en el mundo, con carácter supuestamente neutral y objetivo), se analiza actualmente el producto de diferentes líneas de pensamiento, inmersas en la cultura, que se expresan a través de un texto dotado de algún tipo de retórica. Ello está referido además, a los esquemas de ideas de la disciplina que se trate (en este caso la Ingeniería) y a las convenciones del género o tipo de trabajo (área de Producción). En consecuencia, para el profesional se plantean tres desafíos inmediatos en este ámbito:

- ✓ conocer el discurso de las informaciones,
- ✓ conocer los objetivos de los autores y
- ✓ la respuesta de los destinatarios.

En consecuencia, se debe hacer énfasis en identificar y evaluar las conexiones intencionales y contextuales que ocurren en el dominio de un área temática (Ingeniería), que se desarrollan mediante un tipo de discurso dado y que se expresan en un "producto-texto" determinado. Por ejemplo, es el caso de las conexiones intencionales que permiten identificar la existencia de una fuentes enunciativa (tesis de grado, trabajo de ascenso, estudio de equipo departamental dentro de la industria) que sirve para reconocer en ella los objetivos del comunicante, esto es, saber "quien" está presentando sólo información o bien, "quien" está proporcionando pruebas (pruebas de presiones de fondo, perfiles de pozo, etc.), "quien" está proporcionando un método o procedimiento (MET, SEDLA, PAJ, etc.), o "quién" está evaluando evidencia (base de datos del pozo, del yacimiento, de superficie, etc.), la suya o la de otros.

El "auditorio" puede ser un grupo restringido de especialistas o bien, un conjunto que conforme una comunidad (nacional o internacional) que cultive la profesión de la Ingeniería, y por tanto, es dable evaluar los efectos que tales acciones pueden provocar en los receptores, a diferencia de los efectos que provocaría entre un auditorio NO-EXPERTO. Es evidente que las reacciones de los receptores resultan ser de: "acuerdo" o de "desacuerdo" y pueden representarse a su vez en cambios de

puntos de vista, expresadas en acciones opcionales tales como planteamientos, procedimientos, pruebas, y/o recomendaciones.

También se producen las llamadas conexiones de contexto, que son efectos provocados en el receptor por los factores y parámetros que inciden en la representación textual, es decir, a las opiniones y puntos de vista comunicados, que se relacionan con ese contenido. Si para la adecuada evaluación de las conexiones intencionales, el análisis debe enfocarse en las interacciones entre los actores o participantes (representadas por los parámetros "quién /a quién"), las conexiones contextuales deben analizarse a la luz de los parámetros "cómo" y "dónde", los cuales representan las convenciones y restricciones del "género" y de las normas del vehículo de comunicación, respectivamente.

Desde el punto de vista de la actividad del procesador de las informaciones o modelo metodológico, es posible encontrar tres "PLANOS-FUENTE" de extracción de datos:

- ✓ EXTERNO: que relaciona el texto con un marco de referencia del mundo exterior: considera el medio de publicación, el status del mismo, los actores involucrados, el tipo de destinatario, el "público cautivo", la lengua de comunicación, la frecuencia de envío y el lugar de publicación.
- ✓ INTERMEDIO: que especifica la referencia, el título y los términos clave, que anuncia la especialidad, el tema y el contenido de información.
- ✓ INTERNO: que se constituye en el CUERPO de una síntesis, donde se produce la relación con la audiencia o destinatario, y el vínculo específico entre AUTOR -> PROPOSICION -> ENUNCIADO, del texto.

En cuanto a las proposiciones de los ENUNCIADOS su veracidad y su atingencia, se pueden considerar desde tres perspectivas posibles:

- ✓ Conforme a un juicio de **EXISTENCIA**, ya sea como un saber, conjetura o deseo, donde se atribuye un valor al fenómeno observado u observable. Dicho juicio es el que se somete a comparación con el texto (o textos) discursivo(s) de origen, antes conocido(s).
- ✓ Conforme a un principio de **PERTINENCIA**, donde se revisan datos, temas e información atinente, continua y permanente, a partir de lo cual es posible evaluar los fundamentos de las variaciones de comportamiento frente a un tema, ya sea por llegada de información nueva o remanente de anteriores sucesos.
- ✓ Conforme a los **LAZOS VINCULANTES** que se desea precisar, ya sea entre sujetos de análisis, fenómenos o problemas, comparados con el texto que los pone en relación "Interactiva". Pueden ser expresados mediante términos clasificatorios.

Método de Empleo

Una vez que se ha reunido un CORPUS de información, le es posible emplear un método lógico-deductivo para el estudio de los fenómenos considerados, que aplica una fórmula clásica de referencia a posibilidades, tales como: presencia/ausencia, diferencias de grado o pesaje (grado de importancia), o intensidad/tiempo, entre otras. Ello le permite detectar e interpretar diferencias de modo y grado, útiles para una eventual predicción, tanto para evaluaciones objetivas como para evaluaciones subjetivas, evidenciables a través del léxico y su estructura de relaciones, de acuerdo a la siguiente lógica:

UNA **SECUENCIA** TEXTUAL "S" CONTIENE O NO CONTIENE
INDICIOS "I" EN EL **CONTEXTO** "C" CON LA NATURALEZA DE
CATEGORIAS "N".

Explicación:

- ✓ **Secuencia "S"** implica una progresión lógica temporal.
- ✓ **Indicios "I"** designa entidades espacio/temporales (aquí/ahora).
- ✓ **Contexto "C"** habla de condiciones de producción/recepción (status-condición).
- ✓ **Naturaleza "N"** categoriza de modo discriminatorio situaciones opuestas (vida-muerte) (blanco-negro).

En síntesis:

- ✓ PRESUPOSICION EXISTENCIAL, que opone ser/parecer y sus contrarios.
- ✓ CATEGORIZACION MODAL, que se refiere a lo necesario o lo posible y que opone: superfluo/indispensable, previsible/improbable.
- ✓ CATEGORIZACION SINTACTICA, que determina, cuantifica y opone: conocido/desconocido, poco/mucho.
- ✓ CATEGORIZACION AXIOLOGICA, que atribuye valor o beneficio, sobre la base de la oposición que se deriva de la dicotomía: bueno/malo.

4.6. Definición de unidades de análisis

Al proceder al análisis de una materia, se debe utilizar criterios de categorización para clasificar y dividir la documentación que a primera vista parece caótica, para facilitarse la tarea de encontrar respuestas al problema planteado. Gracias a ello, se crea entonces, unidades de significado, cuya dimensión es variable, de acuerdo a su naturaleza, pero que poseen una raíz común.

Como ejemplos de Tipos de Unidades de Significado Clasificadoras pueden citarse:

- ✓ tipo de acontecimiento (público, privado).
- ✓ origen geográfico de los datos (continente, país, región, provincia).
- ✓ escenario y temporalidad de los datos (entorno, época, fecha).
- ✓ agencia informativa responsable (prensa escrita, TV, agencia de gobierno).

Los ejemplos genéricos anteriores justifican su empleo en la medida que las Unidades de Análisis son segmentos en que se divide el corpus para su estudio. Son trozos de un TODO que permiten observar, decodificar, clasificar, reordenar y examinar datos e informaciones, para facilitar el trabajo de análisis y ayudar a obtener el conocimiento de su significado real. Principales Tipos de Unidades de Análisis:

- ✓ **Unidades de contexto:** tienen un significado global, en el tiempo y en el espacio, y hablan del ambiente donde ocurre el problema o situación.
- ✓ **Unidades de numeración:** tienen un significado más bien cuantitativo y se preocupan de la forma o presentación de las cifras que perfilan un asunto.
- ✓ **Unidades de información:** tienen un alcance más específico y son producto de fragmentaciones del texto, basadas principalmente en su espíritu y no en su letra.

Designan el nivel de información donde **denotantes** y **connotantes** de los signos que lo transmiten, pierden su sentido; es por tanto, un "tipo" de información, es el sujeto de los predicados de la información. En consecuencia:

- ✓ Cuando se necesita establecer categorías, se pregunta: ¿Qué voy a buscar? (actores, valores, actividades);
- ✓ Cuando necesita determinar unidades de observación que integran el **CORPUS**, se pregunta: ¿Dónde voy a buscar aquello que deseo encontrar? (en informes, en alocuciones, en programas, en titulares, en ilustraciones) y
- ✓ Cuando necesita reconocer las unidades de registro, se preguntará, ¿Cómo lo voy a encontrar? (¿de qué forma?) (revisando grupos de palabras, oraciones, gestos, temas, imágenes, titulares).

Todo ello se entiende porque en el análisis, el procesador examina prolijamente el CORPUS y luego procede a decodificar los mensajes de su contenido, a la luz de las categorías que estableció previamente.

4.7. Deficiencias y fallas en el proceso de análisis

Si se tiene presente, como se ha explicado, que la interpretación de las informaciones sujetas a un metódico proceso de análisis es una tarea esencialmente humana, es dable pensar que, dada su naturaleza intrínseca, se genera una cierta medida de falibilidad y diversas formas de sesgo, ya sea por omisión o por orientación personal involuntaria del que analiza, lo cual incide directamente en las conclusiones que puede obtener y por tanto, en las respuestas (informes) que se remitirán a futuro.

En consecuencia, el primer paso hacia la comprensión de este fenómeno, - netamente humano-, es la distinción de cada una de las principales debilidades del proceso analítico, partiendo por las eventuales carencias de entrenamiento y formación del que analiza para terminar por la orientación directiva y las metodologías empleadas. No se debe olvidar que los problemas relacionados con el empleo de la mente sólo pueden ser solucionados mediante cambios de actitud y corrección de juicios, a la luz de una doctrina profesional junto a una orientación temática, capaces de realimentar el esquema de principios, valores y conceptos del individuo.

Es un hecho que la inhabilidad para predecir el futuro es, en términos reales, una situación incontestable; pero no es menos cierto que, cuando las orientaciones fundamentales de un proceso en curso se han perdido, sólo es posible reemplazarlas, en subsidio, por alternativas de factibilidad, basándose en la tendencia humana de explicar los eventos futuros de acuerdo a expectativas o creencias.

Por causa de la humana costumbre de establecer y fijar juicios o percepciones de la realidad y luego aceptar sólo aquellos hechos acordes a esas percepciones (rechazando todo aquello que parezca distinto), no siempre se cumple la tarea de realizar una evaluación objetiva de las condiciones que llevaron a aceptar la

percepción inicial. Esa ilógica **persistencia dogmática** frente a la evolución de los hechos, produce un abierto rechazo frente a las informaciones realimentadoras; entonces, la falla puede producirse no sólo por falta de datos originales y confiables, sino por una evaluación errónea que les otorga un carácter irrelevante. Esto es sensiblemente riesgoso tanto cuanto los peligros potenciales bajo estudio se transforman en amenazas reales y, pueden significar daños irreparables, por causa de insuficiencias en la prevención.

En consecuencia, es indispensable conocer y evaluar, para luego tratar de disminuir al máximo, los factores y variables que inciden en la ocurrencia de fallas tanto para cada metodología como para cada Sistema de Levantamiento artificial; pero ello es posible sólo si se les define y aísla, tanto en sus orígenes, como en la mecánica de su aparición.

La experiencia proveniente del estudio de los errores más comunes, -que afectan el trabajo analítico-, (desde una perspectiva histórica de los últimos cien años), define las siguientes causales recurrentes:

- ✓ capacidad inadecuada para almacenamiento de datos.
- ✓ fuentes de información de dudosa calidad.
- ✓ insuficiencia de información confiable y precisa.
- ✓ deficiente preparación intelectual, profesional y cultural del personal.
- ✓ priorización inadecuada de los datos disponible.
- ✓ tiempo de procesamiento demasiado breve.
- ✓ especulación a partir de pre-conceptos valóricos.
- ✓ corpus difuso a causa de contenidos contrapuestos.
- ✓ evaluación deficiente de la gravitación de cada elemento de información.
- ✓ reticencia al abandono de conceptos metodológicamente ya superados.
- ✓ permeabilidad frente a grupos o instancias de presión.
- ✓ valoración excesiva de detalles triviales.
- ✓ incapacidad de discernir entre "ruido" y "señales".

- ✓ cambios imprevistos en el discurrir de la situación.
- ✓ presencia de eficiente actividad de decepción o encubrimiento.
- ✓ sub-estimación de las potencialidades de maniobra de los actores analizados.
- ✓ aceptación (para el medio del asunto en estudio) de condiciones similares a las presentes en el MEDIO PROPIO (síndrome del "espejo").
- ✓ alerta sobredimensionada sin fundamento ("que viene el lobo").
- ✓ flujo de comunicaciones interno: deficiente.
- ✓ flujos de información general: lentos.
- ✓ inadecuada distribución de las informaciones y del producto final: pérdida de oportunidad.

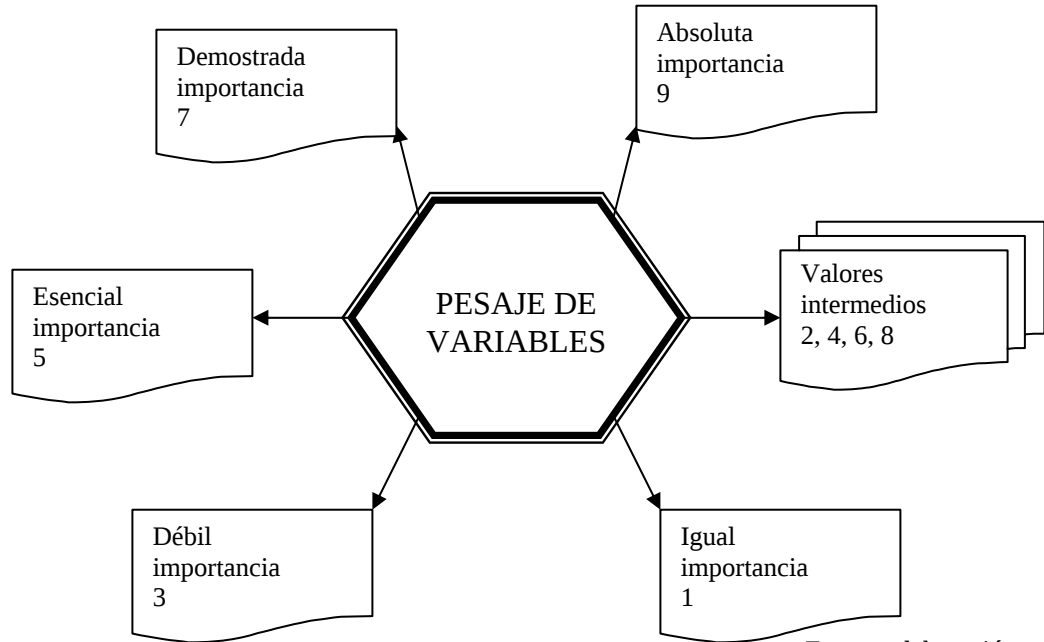
Son entonces las capacidades de discernir, conjeturar y priorizar, los factores decisivos que deben motivar la respuesta humana frente al discurrir de un proceso que no es dable modificar, pero que es vital entender y proyectar a futuro.

Por otra parte, es un hecho que muchos decisores del más alto nivel procesan información a través de sus propias y legítimas pre-concepciones. De allí la necesidad de optimizar el juicio de la autoridad, agregando a su natural aptitud de gestión, la asesoría de la sistemática y los procedimientos analíticos de especialistas, creando una actitud de serena tolerancia frente al abanico de opciones que una situación puede adoptar, en virtud del comportamiento de sus constituyentes.

Pero tal vez, lo más importante sea la aspiración por lograr una permanente actitud equilibrada entre alerta y serenidad, desde donde sea posible estimar la lógica de un proceso complejo, sus parámetros esenciales y accesorios, las motivaciones originarias, las probabilidades de impacto en el Medio de Pertenencia y por tanto, las respuestas que se puedan generar en cada caso.

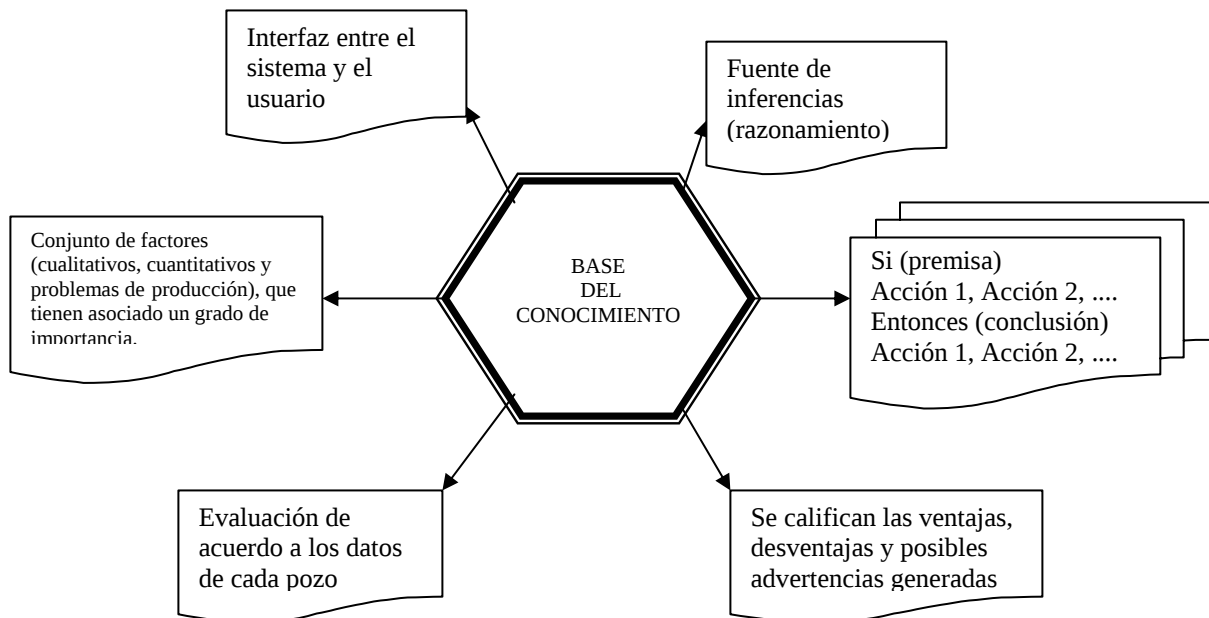
A continuación se muestra el desarrollo de la metodología descrita con la elaboración de árboles lógicos, tablas de categorías y un conjunto de características para cada modelo comparado:

Gráfico N° 17

ÁRBOL LÓGICO DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Fuente: elaboración propia

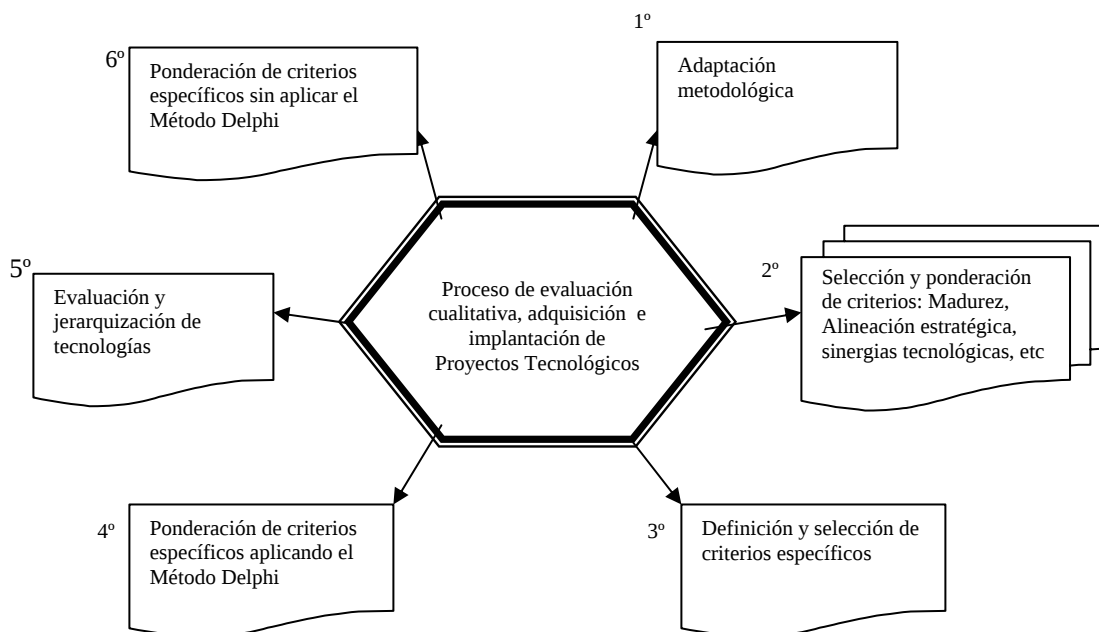
Gráfico N° 18

ÁRBOL LÓGICO DEL SISTEMA EXPERTO DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Fuente: elaboración propia

Gráfico N° 19

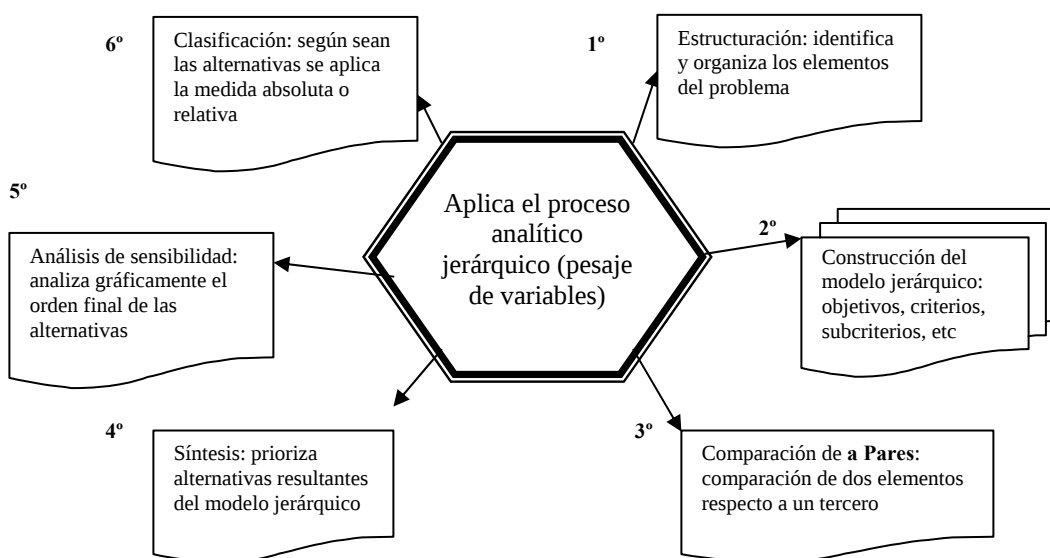
ÁRBOL LÓGICO DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA



Fuente: elaboración propia

Gráfico N° 20

ÁRBOL LÓGICO DEL PROGRAMA EXPERT CHOICE



Fuente: elaboración propia

Tabla N° 14

	CATEGORÍAS PARA EL P. A. J.						
	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	BASAMENTO	INFORMACIÓN	EVALUACIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
C O N S I D E R A C I Ó N	Problemas reales. Recursos y planificación de cooperativas, análisis de impacto de políticas, resolución de conflictos, planificación de infraestructura y evaluación de recursos naturales.	Emplea una matriz con los datos y cuyos elementos son comparaciones pares de criterios. Trata de desmenuzar todo el problema y luego unir todas sus soluciones de los sub-problemas en una conclusión final. Conforman un equipo de trabajo para el proceso de toma de decisión.	Representa el problema por medio de la definición de metas, criterios, subcriterios y alternativas. Priorización de los criterios Comparaciones binarias entre elementos. Evaluación mediante la asignación de pesos.	Puede ser de índole científica, técnica y la dada por la experiencia y conocimiento de los participantes. Se estructura el modelo jerárquico: -Identificación del problema, -Definición del objetivo, -Identificación de criterios, -Identificación de alternativas.	Se realiza mediante combinaciones binarias, estableciendo prioridades, emitiendo juicios y las evaluaciones. Muestra ciertas inconsistencias resultantes de los juicios, cuantificándola permitiendo la reconsideración de los mismos. Resultado final. Síntesis. Análisis de sensibilidad.	Describe la manera en que los cambios de prioridad en los niveles más altos afectan la prioridad de los niveles inferiores. Da información detallada de las funciones y estructura en los niveles. Es una técnica que sirve de complemento a otras, para el proceso de toma de decisiones. Es lo suficientemente flexible para permitir su revisión, expandir los elementos de la jerarquía y cambiar sus juicios.	Mientras más complejo es el problema en estudio mayor es el número de iteraciones que deben efectuarse. El método no puede mantener el orden de preferencia luego de la adición o eliminación de una alternativa. Cuando las variables a ser evaluadas no son del mismo orden de magnitud (no puede ser comparado estrictamente), deben efectuarse técnicas de agrupación, de manera que las comparaciones se efectúen dentro de los mismos grupos.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 15

	CATEGORÍAS PARA EL S. E. D. L. A.						
	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	BASAMENTO	INFORMACIÓN	EVALUACIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
C O N S I D E R A C I Ó N	Programas convencionales de computación. Ingeniería de Producción y Yacimiento.	Su estructura básica está conformada por elementos del sistema y el usuario: la base del conocimiento, la fuente de inferencias y la interfase. Trata de reflejar el comportamiento o razonamiento de los expertos, quienes toman decisiones en distintas actividades según su entrenamiento, experiencia y práctica profesional.	Almacena en una base de conocimientos la experticia de un grupo de 10 especialistas para seleccionar 12 métodos de L. A. Se aplican reglas de producción como método de razonamiento. Aplica criterio de jerarquización de los métodos en la preselección técnica.	Puede ser de índole científica, técnica y la dada por la experiencia y conocimiento de los especialistas. Se estructura en tres módulos: -Módulo de preselección, -Módulo de diseño, -Módulo de evaluación económica.	Para evaluar utiliza las reglas de producción como relaciones entre uno o más parámetros. Las reglas de producción son: -Reglas de iniciación, -Reglas de conocimiento y Reglas de cálculo. Emplea la preselección técnica mediante una actualización relativa, a través del tiempo, en factores como pericias adquiridas y cambios de tecnologías.	Se expanden las aplicaciones de programación en distintas áreas donde el problema es considerado. El programa convencional requiere largo tiempo para diseñar la estructura del código y permitir su actualización. Es lo suficientemente flexible para permitir incorporación de avances técnicos y pericias adquiridas en los métodos de L. A.	El uso en pozos inclinados y horizontales es limitado. No considera la inyección de diluyentes en la producción de crudos pesados y extrapesados. No toma en cuenta la vinculación existente entre pozo / yacimiento (empuje hidráulico, gas en solución, presencia de capa de gas, etc). Este modelo hace dos (2) años que desincorporó el Módulo de Evaluación Económica en la toma de decisiones.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 16

	CATEGORÍAS PARA EL M. E. T.						
	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	BASAMENTO	INFORMACIÓN	EVALUACIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
C O N S I D E R A C I Ó N	Actividades reales dentro de PDVSA. Generación de proyectos tecnológicos. Producto de este esfuerzo se crea el Sistema de Inteligencia Tecnológica (SIT).	Se enfoca hacia la resolución de evaluaciones tecnológicas complejas que ameriten el tiempo y el esfuerzo que el proceso metodológico conlleva. Trata de desarrollar criterios que miden los atributos cualitativos y cuantitativos, a partir del software diseñado para tal fin. Conforma un equipo de trabajo.	Crea los mecanismos para apoyar oportunamente los procesos de toma de decisiones. Establecer canales que permitan la comunicación e intercambio entre el personal y los expertos técnicos. Mejorar la disseminación de la información. Fortalecer la competencia tecnológica a escala global de PDVSA.	Puede ser de índole encuestas, entrevistas personales, consultas por teléfono y correo electrónico. Es procesada en el software EOT.XLS cuyos resultados son analizados e interpretados por el responsable.	Se realiza mediante las siguientes fases: 1 Adaptación metodológica 2 Selección y ponderación de criterios generales 3 Definición y selección de criterios específicos 4 Ponderación de criterios generales 5 Evaluación y jerarquización de opciones tecnológicas 6 Ponderación de criterios específicos.	Se dispone de una matriz de evaluación validada por especialistas de la empresa. Posibilita la evaluación y jerarquización en forma sistemática y objetiva, dentro de cualquier tecnología en áreas de explotación, producción y otras relacionadas con esta rama. La metodología planteada realiza una evaluación cualitativa de diferentes opciones tecnológicas a través del software EOT.XLS. Tienen consideración de condiciones tecnológicas del área, riesgos e impactos de implantación y valor agregado financiero que genera el área. La metodología es lógica, sistemática con rigor científico y esquemas gerenciales actualizados.	No realiza una evaluación económica en la toma de decisiones.. La metodología no está basada a la selección de los sistemas de levantamiento artificial. Carencia de adaptación metodológica en campos venezolanos y no hay experiencia internacional. Puede ser poco práctica la manera de efectuar consultas, la búsqueda de consenso, elaboración de planillas, etc. Los criterios se enfocan mas a la decisión de tipo gerencial que de carácter técnico.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 17

	CATEGORÍAS PARA EL Expert Choice						
	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN	BASAMENTO	INFORMACIÓN	EVALUACIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
C O N S I D E R A C I Ó N	Procesos realizados en ambiente Windows y Dos. Ayuda a los tomadores de decisión a identificar y organizar los elementos del problema en cuestión.	Se identifican y organizan los elementos del problema, integrando una interfase para crear un modelo jerárquico. Esto incluye conceptos como el pro y contras de las alternativas, los objetivos, criterios y subcriterios.	Representa el problema por medio de la definición de objetivos, criterios, subcriterios y alternativas. Priorización de los criterios Comparaciones de dos elementos respecto un tercero.	Puede ser de índole científica, técnica y la dada por la experiencia. Se estructura de la siguiente forma: 1 Estructuración 2 Construcción del modelo jerárquico 3 Ingreso del objetivo, criterio, alternativas, etc. 4 Comparación de a pares, según su importancia, preferencia o probabilidad. 5 Se emite un juicio, ya sea Verbal (moderado, fuerte, débil), Numérico (1 al 9) o de Modo Gráfico (barras, etc).	Se realiza mediante comparaciones relativas de dos elementos con un tercero. Se obtiene prioridades de los elementos comparados, pudiendo verificar un margen de inconsistencias. Se sintetiza las prioridades obtenidas por los componentes del modelo y entrega el orden resultante para las alternativas (priorizar las alternativas). Análisis de sensibilidad. Clasificación.	Se organizan los criterios que inciden en la decisión y sus interrelaciones en un proceso de estructura jerárquica. Se organizan las decisiones complejas a través de una serie de simples comparaciones y ponderaciones, definiendo sus pesos relativos, sintetizando sus resultados y obteniendo la mejor alternativa.	El programa no ha sido diseñado específicamente para la selección de los sistemas de levantamiento artificial. No realiza una evaluación económica en la toma de decisiones.

Fuente: Elaboración Propia

4.8 COINCIDENCIAS ENTRE PARES MODELOS

PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (PAJ) y SISTEMA EXPERTO DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL (SEDLA).

- Son aplicados a problemas reales dentro de la empresa.
- Emplean matrices para organizar los elementos.

PAJ y METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA (MET).

- Durante el procedimiento de cada metodología se asignan grados de importancia para la evaluación.
- Descomponen el problema en criterios, sub-criterios y alternativas para encontrar la solución.

PAJ y PROGRAMA COMPUTACIONAL. EXPERT CHOICE (EC)

- Asignan pesaje a los elementos, según su importancia relativa.
- Se comparan pares de elementos.
- Priorizan de elementos en orden jerárquico.
- Evalúan mediante la previa asignación de pesos.
- Se obtienen prioridades de los elementos comparados verificando las posibles inconsistencias.
- Sintetizan y realizan un análisis de sensibilidad.
- No han sido diseñados para la selección de sistemas de LA., sino para un ambiente administrativo – económico.

SEDLA y MET

- Contienen una base de datos suministrada por encuesta a especialistas con comprobada experiencia en el área.
- La información es analizada empleando un programa computacional.

SEDLA y EC

- Consta de un programa computacional con la finalidad de evaluar factores en una estructura jerárquica.

MET y EC

- Se determina la prioridad de cada elemento con respecto a un criterio específico.
- Cada criterio general contiene criterios específicos (MET) o sub-criterios (Expert Choice) que cumplen con la misma función de desglosar el problema en varias partes para analizarlas por separado y después unir las.

4.9 OPOSICIONES ENTRE PARES DE MODELOS

PAJ y SEDLA

- Para el PAJ emplea una escala de calificaciones de acuerdo al pesaje para medir los atributos similares en orden de magnitud, mientras el SEDLA emplea reglas de producción para definir las sentencias condicionales.

PAJ y MET

- El PAJ trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los sub-problemas, en cambio el MET desarrolla criterios que miden factores cualitativos y cuantitativos del problema.
- El PAJ se fundamenta en el grado de importancia de cada elemento, en cambio la MET se basa en la evaluación a partir del grado de importancia de los criterios específicos.
- La matriz empleada en el PAJ compara pares de elementos, mientras que en la MET emplea una matriz de evaluación a partir de criterios generales fundamentada en consultas a especialistas del área.

PAJ y EC

- En el PAJ se describe la manera en que los cambios de prioridad en los niveles superiores afectan a la prioridad de los niveles inferiores. En cambio en EC oculta cualquier cambio de prioridad.
- En el PAJ da una información detallada de las funciones y estructura en los niveles, a diferencia del EC sintetiza al máximo su estructura.
- El PAJ no puede mantener el orden de preferencia luego de la adición o sustracción de un elemento, pero el EC puede incorporar o desincorporar automáticamente cualquier elemento.

SEDLA y MET

- El SEDLA emplea una serie de conocimientos y procedimientos (reglas de producción) para el proceso de razonamiento lógico, mientras que la MET utiliza la evaluación y jerarquización de criterios generales en forma sistemática de diferentes opciones tecnológicas.

SEDLA y EC

- El SEDLA trata de reflejar el comportamiento o razonamiento de especialistas para la toma de decisiones en distintas actividades, en cambio el programa EC ayuda a identificar y organizar los elementos de un problema creando un modelo jerárquico para la toma de decisiones.

MET y EC

- La MET enfoca la evaluación a partir de criterios generales que tienen en consideración condiciones de conocimiento y aprendizaje de las tecnologías, mientras que el programa EC evalúa según comparaciones relativas de los elementos para obtener prioridades y sintetizarlas.

4.10 CRITICAS ENTRE PARES DE MODELOS

PAJ y SEDLA

- En los inicios del SEDLA se realizaba un módulo de Evaluación Económica, pero por diferentes causas desde hacen dos (2) años no se realiza. Para el PAJ en ningún momento ha contado con soporte de evaluación económica.

PAJ y MET

- No realiza una evaluación económica.
- Se emplea una herramienta gerencial para la toma de decisiones, uso de un software y creación de un equipo de trabajo.
- El responsable del área será el encargado del análisis y evaluación de las necesidades consolidando un equipo de trabajo.

PAJ y EC

- Se organizan los elementos que inciden en la decisión y sus interrelaciones en una estructura jerárquica.
- No realiza una evaluación económica.
- Mientras más complejo es el problema en estudio, mayor es el número de iteraciones que deben efectuarse.
- Se organizan las decisiones complejas a través de una serie de comparaciones y ponderaciones, definiendo sus pesos relativos, sintetizando sus resultados y obteniendo la mejor alternativa.
- El análisis de sensibilidad permite examinar en forma rápida y fácil como se ven afectados los resultados cuando se produce un cambio en las variables.

SEDLA y MET

- Se emplea una herramienta gerencial para la toma de decisiones, uso de un software y creación de un equipo de trabajo.
- Las metodologías son lógicas, sistemáticas y científicas con esquemas gerenciales actualizados y aplicados en la Industria Petrolera
- Sistema de evaluación tecnológica empleado por PDVSA. Con la diferencia de que el SEDLA es la metodología que emplea INTEVEP para seleccionar los métodos de L.A., a diferencia de la MET no ha sido adaptada para tal fin.
- Se requiere de especialistas de alto nivel científico y tecnológico, pero pocos son los especialistas tanto nacional como internacionalmente con experticia en el área de L.A.
- Inexistencia de la evaluación económica en la toma de decisiones.

SEDLA y EC

- Son programas interactivos que permiten jerarquizar de acuerdo a la factibilidad técnica de cada variable por separado, considerando un conjunto de factores de carácter cualitativo y cuantitativo.

MET y EC

- Es un procedimiento flexible, ya que es posible simplificarlo cuando las condiciones del caso y el criterio del responsable de la evaluación lo consideren necesario.

En el siguiente capítulo se continúa con el desarrollo de la metodología del análisis y evaluación de cada uno de los modelos.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

5.1 Análisis del PAJ

El análisis del modelo PAJ se focaliza en la visualización de sus ventajas y limitaciones.

Entre las ventajas del PAJ destacan:

- Permite el estudio del problema en forma holística, al identificar, entender y evaluar todas las partes que comprende el estudio.
- El modelo PAJ proporciona al grupo (o individuo) la capacidad de formular sus ideas y definir problemas a través de sus propias suposiciones, derivando la solución de las mismas (Saaty, 1980).
- Es lo suficientemente flexible como para permitir su revisión una vez formulado, por cuanto la unidad de decisión puede, tanto expandir los elementos dentro de la jerarquía como cambiar sus juicios respecto a todos ó algunos de los elementos en estudio.
- Se evalúa la sensibilidad de los datos, sin importar el tipo de cambio que pueda considerarse de forma anticipada (Saaty, 1980)
- Es una técnica que sirve de complemento a otras (Análisis de Costo – Beneficio, Minimización de Riesgos, Prioridades) para el proceso de toma de decisiones.
- Es una metodología que necesita el convencimiento de la unidad de decisión, hace que tenga mayor confianza en los resultados que se obtenga en el proceso (Mondelo, 1996).
- Se emplea tanto para atributos mensurables como para aquellos que no pueden ser cuantificados ni medidos.

- Toma en cuenta elementos de una jerarquía, aunque su prioridad sea baja no tiene sentido “alternativas irrelevantes” dentro de la jerarquía (Saaty, 1980).
- El PAJ acepta un cierto grado de inconsistencia de los juicios, proporcionando una manera de cuantificarla, permitiendo a la unidad de decisión la reconsideración de sus juicios (Pinawati, 1996).

A pesar de las numerosas ventajas que posee el PAJ se pueden destacar ciertas limitaciones, a continuación:

- El número de iteraciones requeridas para la generación de la matriz de comparaciones, llega a ser considerablemente alto en función del número de atributos (o variables) y niveles jerárquicos considerados (Lim y Swenseth, 1993), por lo tanto, mientras más complejo sea el problema en estudio, mayor número de comparaciones deberán efectuarse en el consecuente trabajo de la unidad de decisión.
- Se supone, la utilidad de la unidad de decisión como una función aditiva, es decir, sus objetivos son mutua y preferencialmente independientes y esto no se comprueba (Sánchez, 1997).
- Cuando la unidad de decisión debe emitir un juicio sobre una variable altamente especializada, se necesita la presencia del (os) experto (s) durante el desarrollo de la evaluación.
- Incapacidad del método para mantener el orden de preferencias (fenómeno de inversión de preferencias) luego de la adición o eliminación de una alternativa.
- Cuando las variables a ser evaluadas no son del mismo orden de magnitud, encontrándose que un factor no puede ser estrictamente evaluado con respecto a otro, deben efectuarse técnicas de agrupación de manera que las comparaciones se efectúen dentro de los grupos así formados (Saaty y Vargas, 1991).

5.2. Evaluación de PAJ

La modalidad de evaluación empleada en el PAJ consiste en comparar el comportamiento de cada uno de los métodos con respecto a cada uno de los criterios utilizados en una matriz de jerarquización.

En el trabajo de Rodríguez y Salazar se puede observar la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico para evaluar un estudio comparativo de dos (2) sistemas de LA, en el Campo Melones (ver Anexo N° 6). Se pueden destacar ciertos aspectos:

- Se creó una matriz de comparación, por cada factor, con el objeto de determinar cuál método presentaba el mejor comportamiento y en qué grado.
- Luego, se procedió al cálculo de los autovalores de las matrices de comparación. Se generó como consecuencia una matriz con los autovalores determinados (ver Anexo N° 6)
- Finalmente, se multiplicó el autovalor de la matriz de jerarquización por la matriz generada a partir de los autovectores de comparación. El vector resultante, de la multiplicación anterior, arroja **la evaluación final** que determina el sistema de levantamiento óptimo de acuerdo con los criterios considerados.
- Cabe destacar que la **validez de esta evaluación** corresponde única y exclusivamente a condiciones en las que se verifique la existencia de todos los factores o criterios contenidos en la matriz de jerarquización. Por lo tanto, en caso de que uno o más de los factores no estén presentes, se debe realizar una nueva evaluación, tomando en cuenta sólo los factores existentes.
- Luego de aplicar el PAJ se obtuvo un orden jerárquico (ver Anexo N° 6) donde el factor más importante resultó ser los Costos Operacionales y el menos importante el Equipo de Subsuelo. Como sistema óptimo de LA resultó ser el de Bombeo por Cavidades Progresivas, en lugar de Bombeo Mecánico. Sin embargo el margen porcentual de diferencia entre ellos no indica un sólido resultado para preferir uno en vez del otro.

5.3. Análisis del SEDLA

El SEDLA como sistema experto poseía la ventaja de ser el único procedimiento de optimización con Módulo de Evaluación Económica (Escalona 2000), pero desde hace dos (2) años se desincorporó debido a que malgastaba “horas hombre” en un trabajo que era de departamento; sin embargo este módulo es de vital importancia, ya que permite sustentar la decisión técnica de la optimización de los sistemas que levantamiento artificial.

En el Módulo de experto o de preselección Técnica se incorporan mejoras periódicamente en: evaluaciones, actualizaciones, correcciones a las reglas de preselección y mejoras a la estructura de la base del conocimiento, mediante la incorporación de parámetros que reflejan avances técnicos y pericias adquiridas en los métodos levantamiento artificial.

Se destacan entre los parámetros cuantitativos: profundidad y temperatura al tope de las perforaciones, índice de productividad, relación gas / líquido de formación, tasa de producción bruta, corte de agua y presión estática del yacimiento.

Entre los parámetros cualitativos se tienen: ubicación del pozo, volumen del gas disponible, disponibilidad de la fuente eléctrica y necesidad de adaptación del método de declinación, otros datos más relevantes en el módulo de preselección son: tipo de completación (simple, doble o selectiva), la longitud (0 a 20.000 pies), el diámetro nominal del revestidor (23/8 a 10 pulgadas) y el diámetro nominal de los eductores (23/8 a 41/2 pulgadas).

Tiene la flexibilidad en cuanto a su constante modificación y a la redefinición del problema, incorporando nuevas experiencias adquiridas en el tiempo y en consecuencia le da la posibilidad de incorporar nuevas tecnologías y/o mejoras

tecnológicas de los distintos equipos de levantamiento; lo cual conlleva a una revisión periódica en el módulo de diseño para incorporar nuevas mejoras.

La consulta a expertos es sumamente importante, debido al aporte considerable de su experticia y elevado conocimiento de los Sistemas de LA. También se hace necesario una periódica revisión de la base de datos, en especial con relación a los catálogos, lo cual requiere una actualización continua en los precios y una revisión indirecta en la base de conocimientos.

En cuanto las desventajas que presenta este Modelo se tiene que, su uso tanto en pozos inclinados como en pozos horizontales es limitado, no considera la inyección de diluyentes en la producción de crudos pesados y extrapesados, así como la vinculación existente entre el pozo/yacimiento por no tomar en cuenta los mecanismos de producción de los yacimientos (empuje hidráulico, gas en solución, presencia de capa de gas, y la nueva teoría de los crudos espumantes), factores que son importantes al nivel del yacimiento pero que tienen una fuerte incidencia en la proporción del pozo y en la construcción de la curva de gradiente para la determinación del IPR.

En el anexo No. 7 se toman algunos comentarios del Trabajo de Reyes sobre la ACTUALIZACIÓN DE LOS COMENTARIOS IDEALES.

5.4. Evaluación del SEDLA

Se ha aplicado el SEDLA aceptablemente en el área Occidental del país: Lago de Maracaibo, Campo Costanero de Bolívar (Reyes Yamila, 1999).

Aparentemente ha tenido algunos problemas hacia la zona Oriental del país, en especial cuando se trata de crudos pesados y extrapesados: Campo Morichal, Cero Negro, Sur Monagas (Ob. City).

En la actualidad el SEDLA es el modelo más desarrollado y completo en el área de la optimización de Sistemas de Levantamiento Artificial.

El programa del SEDLA toma en consideración los siguientes criterios entre otros, tales como: **índice de productividad, presión estática del yacimiento, relación gas líquido, dimensiones de la sarta de producción, nivel de las perforaciones, profundidad del hueco bajo las perforaciones, corte de agua, etc.**

El Sistema de Expertos de Levantamiento Artificial (SEDLA) contempla doce (12) métodos de levantamiento artificial:

1. Bombeo Mecánico Convencional (BMC - balancín)	2. Bombeo Electrosumergible (BES)
3. Levantamiento Artificial por Gas Intermitente con Pistón Metálico (LAGIPM)	4. Bombeo Hidráulico tipo Pistón (BHP)
5. Levantamiento Artificial por Gas Continuo Anular (LAGCA)	6. Bombeo Hidráulico tipo Jet (BHJ)
7. Levantamiento Artificial por Gas Continuo Tubería (LAGCT)	8. Levantamiento Artificial por Gas Intermitente (LAGI)
9. Levantamiento Artificial por Gas Intermitente con Cámara Acumulación (LAGICA)	10. Pistón Metálico Convencional (PMC)
11. Levantamiento Artificial por Gas Flujo Pistón (LAGFP)	12. Bombeo de Cavidades Progresivas (BCP)

Durante este año (2005) se colocó a prueba la última versión 4.1 del SEDLA, en la cual se incorporan nuevos parámetros tales como: pozos inclinados, pozos horizontales e inyección de diluyente en la producción de crudos pesados y extrapesados, ésta última con la alternativa de calcular la gravedad °API. También incorpora modalidades como la de obtener la Relación Comportamiento Afluencia (IPR) según Darcy, Vogel o Fettkovich, con opciones de manipularlas a modo de disminuir la presión de fondo fluvente (Pwf) para maximizar la producción..

Con respecto a la incorporación al SEDLA de otros mecanismos de producción (empuje hidráulico, gas en solución, capa de gas, etc), este programa es muy limitado y no han sido incluídos, debido a que sólo busca encontrar la presión de fondo fluvente (Pwf) vs tasa de producción (Q) confiables. Es por eso que no le prestan la atención debida a los mecanismos de producción y binomio yacimiento/pozo.

Es relevante destacar en este análisis y discusión del SEDLA, las conclusiones del Trabajo de Reyes en especial:

Lo referente a la actualización de las reglas de evaluación del sistema que mejora la calidad de la **preselección técnica**, hay que hacer notar que la actualización es relativa, ya que requiere una minuciosa revisión a través del tiempo y tomar en consideración factores como: **pericias adquiridas y cambios de tecnologías**.

Es importante destacar la eliminación de las reglas excluyentes, que afectaban la correcta selección, en especial a los métodos emergentes que vienen a ser: **bombeo electrosumergible y la bomba de cavidad progresiva**, estos métodos son los que realmente han avanzado más desde el punto de vista tecnológico para poder competir con métodos tradicionales como el **bombeo mecánico y el levantamiento artificial por gas**.

Trabajar, mejorar y a su vez actualizar los otros módulos del **SEDLA: Módulo de Base de Datos y el Módulo de Evaluación Económica** proponer un trabajo especial de grado para alcanzar ese objetivo. Ampliar el criterio de

jerarquización de los métodos en la preselección técnica, no sólo considerando la puntuación obtenida, sino también el número de desventajas asignadas.

Se debe continuar la actualización de las reglas de evaluación periódicamente, a medida que se adquiere mayor grado de pericia en los distintos métodos de levantamiento artificial, cuando se requiera la incorporación de nuevas tecnologías o cuando sea necesario la desincorporación de tecnologías que ya no resultan aplicables.

Es importante destacar con respecto a los resultados del programa SEDLA en el Oriente del país, según el Ingeniero Santino Pilo (INTEVEP), que se han obtenido igualmente resultados incorrectos o erróneos con otros programas de optimización del Levantamiento Artificial de empresas privadas. Esto quiere decir, que como se trata con crudos pesados y extrapesados de muy baja °API dichos programas no han sido diseñados para correlacionar tan bajos valores, pero que no se confunda con los valores de viscosidad. Por ejemplo: el agua posee diez (10) °API y existen crudos de igual °API, pero la viscosidad del agua es completamente distinta a la del crudo de diez (10) °API. Otro ejemplo vendría siendo, un trozo de madera que flota en el agua, es decir, la madera es de menor de 10 °API (pesa menos que el agua), pero el trozo de madera es de viscosidad infinita (indeformable) a diferencia del agua que se deforma indiferentemente, en estado líquido.

5.5. Análisis de la metodología de evaluaciones tecnológicas (MET)

El análisis del modelo de la Matriz de Evaluación Tecnológica (MET) se enfocará de acuerdo a sus ventajas y limitaciones.

Entre sus ventajas se encuentran:

- Emplea una herramienta gerencial para la Toma e Decisiones, uso de un software y la creación de un equipo de trabajo especializado (Sistema de Inteligencia Tecnológica, SIT).
- Su fundamentación técnica es de tipo estadística, se analiza tomando en consideración los diferentes modelos de distribución, y aplicación donde es necesario manejar grandes volúmenes de información.
- Es una herramienta eficaz para desagregar paquetes tecnológicos, seleccionar distintas opciones tecnológicas y establecer tanto criterios generales como específicos.
- Su metodología es lógica, sistemática, con rigor científico y de esquemas gerenciales actualizados, empleado en la Industria Petrolera Nacional e Internacional.
- Se requiere de especialistas de alto nivel científico y tecnológico, con experticia en el área que se está analizando.
- Se enfoca hacia la resolución de evaluaciones de tecnologías complejas que ameriten el tiempo y esfuerzo que el proceso metodológico conlleva.
- Es un procedimiento flexible, ya que es posible simplificarlo cuando las condiciones del caso y el criterio del responsable de la evaluación lo considere pertinente.

Entre las limitaciones destacan:

- Inexistencia de la evaluación económica en la Toma de Decisiones de la Matriz de Opción Tecnológica.
- La metodología no está adaptada a la selección de Sistemas de L.A.
- Se cuenta con pocos especialistas, tanto nacional como internacionalmente, en el área de L.A. y en concreto en la selección de sistema de L.A.
- Carencia de aplicación de ésta metodología en campos venezolanos y no existe experticia internacional.
- Aparentemente pudiese ser poco práctica la manera de efectuar las consultas, la búsqueda de consenso, elaboración de planillas, etc.
- Los criterios se concentran más hacia una decisión de tipo gerencial que de carácter técnico.

Resumiendo, a pesar de ser una herramienta poderosa, con innegables ventajas, se requiere necesariamente llevarla a la práctica y adaptarla a la Selección de Sistemas de Levantamiento Artificial, minimizando en lo posible la tendencia aparente de la burocratización de la metodología.

5.6. Evaluación de la MET

Esta metodología posibilita la evaluación y jerarquización, en forma sistemática y objetiva de opciones dentro de cualquier oportunidad tecnológica en las áreas de Explotación, Producción y cualquier otra área relacionada al negocio.

La metodología de *Evaluación de Opciones Tecnológicas* es una fase de ejecución dentro del proceso de Evaluación, Adquisición e implantación de Proyectos Tecnológicos. La Metodología planteada realiza una evaluación cualitativa de diferentes Opciones Tecnológicas a través del software "EOT.XLS" basado en Matrices de Evaluación, con información suministrada por la Consulta de Especialistas correspondiente del área.

La Metodología enfoca la evaluación a partir de *Criterios Generales*, las cuales tienen en consideración condiciones de conocimiento y aprendizaje de las tecnologías, entorno estratégico, condiciones tecnológicas del área, riesgos e impactos de implantación y valor agregado financiero que genera el área / empresa.

Una vez identificados los escenarios durante este proceso, con diversas necesidades y oportunidades, se procede a jerarquizar las mismas según las estrategias de la corporación, arrojando como resultado la Jerarquización cualitativa de cada opción. Para ello identificará los especialistas idóneos, definiendo la lista de participantes dentro de la evolución, y da a conocer a cada especialista los aspectos principales de la metodología incluyendo el propósito, objetivo y alcance de la misma.

Selecciona el mecanismo más pertinente para consultarles de manera individual. Mantiene comunicación con el grupo de Especialistas a través de un proceso de encuesta aislada, para evitar previo acuerdo o sesgos en las respuestas dentro del grupo.

Finalmente, el responsable del área presenta la jerarquización del grupo de Opciones Tecnológicas bajo estudio, luego del desarrollo de las diversas fases en que su estructura la metodología, las cuales incluyen análisis y apreciación cualitativa de los Especialistas, así como también el apoyo en las herramientas estadísticas y financieras que permiten la correlación y la validación de la información obtenida facilitando la toma de decisiones.

Los principales actores en dicha metodología son los siguientes: ***Responsable del área, Grupo de Especialistas y el Facilitador Tecnológico.***

En el trabajo de ***Araque***, se aplicó esta herramienta en la Evaluación de Opciones Tecnológicas, para obtener mas detalles ver Apéndice N°2.

5.7 Análisis del Programa Expert Choice

El análisis del modelo del programa Expert Choice se enfocará de acuerdo a sus ventajas y limitaciones.

Entre sus ventajas se encuentran:

- Es un programa que ayuda a los tomadores de decisión a identificar y organizar los elementos del problema en estudio.
- Viene a ser uno de los modelos comparados más completos, ya que incorpora en su software el procedimiento del Proceso Analítico Jerárquico (modelo 1) con mejoras computacionales.
- El proceso modela juicios en comparaciones de parejas, para derivar las prioridades de los objetivos con respecto a la meta y para las alternativas con respecto a cada objetivo.
- Puede crear los documentos informativos para cada objetivo, objetivos secundarios y alternativas en la jerarquía.
- Los juicios sobre la importancia relativa de objetivos, se hacen con respecto al nodo superior en la jerarquía (la meta o un objetivo del nivel más alto). Los juicios sobre la preferencia relativa de alternativas se hacen con respecto a cada objetivo de la cubierta.
- Si las prioridades locales relativas que resultan no representan adecuadamente sus sensaciones, se puede repetir el proceso de la comparación en parejas, usando el modo verbal o cambiar al modo gráfico o numérico.
- Puede derivar prioridades directamente de costos reales
- Los cinco análisis gráficos de la sensibilidad muestran cómo las prioridades de las alternativas cambian cuando las prioridades de los objetivos aumentan o disminuyen.
- Exhibiciones de uso fácil que hacen el modelo directo y simple

- El ModelView que contiene lo siguiente:
 1. Ventana de TreeView - jerarquía de objetivos, más las alternativas y la documentación del usuario al final del texto, en la forma de documentos informativos.
 2. Ventana de Diagramming de la afinidad - presentación de la jerarquía de la decisión (objetivos, objetivos secundarios), más alternativas y documentos informativos.
 3. Los pro y contras se asocian a una alternativa seleccionada, a las alternativas y a los documentos informativos.
- El TreeView con la extensión automática de ramas incluyendo:
 1. Nombres de los objetivos o de los criterios a tener en cuenta (explicaciones profundizadas).
 2. Arrastre y manipulación de objetivos y de objetivos secundarios en el TreeView o la afinidad Diagramming.
 3. Los niveles ilimitados en jerarquía – construcción de modelos muy grandes, más complejos de la decisión.
- Documentos informativos - fácilmente accesibles en la mayoría de las ventanas, permitiendo importar videos, sonido o texto, aún funcionando otros programas. Notas – ofrece otra forma de documentación, donde cada participante del grupo puede incorporar sus propios comentarios relacionados con el proceso de decisión.
- Contiene parámetros muy importantes al momento de la toma de decisión, tales como: Acercamientos De la Rejilla De los Datos, Grados, Funciones Del Paso, Curvas para uso general de aumento y que disminuyen, Entrada directa de prioridades, Columnas De Desafío Del Usuario, etc.
- Conversión de datos - capacidad de convertir rápidamente cantidades grandes de informaciones de bases de datos existentes, a la información dada la prioridad que se utilizará para la toma de decisión.

- Alineador del recurso - capacidad de optimizar recursos y de asignar los fondos (presupuestos) con apremios que varían, grupos, piscinas de financiamiento y riesgos.
- Printing/Reporting - informes fácilmente exportables.
- Capacidades de la red Internet para la toma de decisión del grupo, incluyendo el portal de la decisión de la opción experta.
- La asignación de recurso - una manera de seleccionar una combinación de las alternativas que maximizan (optimiza) el logro de objetivos mientras que no excede un presupuesto especificado.
- La opción experta prevé la síntesis de los juicios del grupo. La opción experta es también útil para el pronóstico, determinar riesgo e incertidumbre, y derivar distribuciones de la probabilidad.
- Si los resultados del modelo de la decisión diferencian de su intuición; se puede modificar el modelo y/o los juicios hasta que el modelo incorpore su intuición.
- La opción experta tiene un método único de usar comparaciones en parejas para derivar las prioridades, que pueden reflejar más exactamente las opiniones y valores que cualquier otra manera. La opción experta sintetiza o combina las prioridades que se derivan de cada faceta del problema, para obtener las prioridades totales de sus alternativas. Realizándose los análisis de la sensibilidad, se puede determinar rápidamente, cómo un cambio en la importancia de un objetivo afectaría las alternativas de la opción.
- Importar los datos a la opción experta de bases de datos externas.

5.8 Evaluación del Programa Expert Choice

- El programa Expert Choice tiene la peculiaridad de que su evaluación es fundamentada en la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico. Es un programa comercial que trabaja en ambiente Windows y Dos.
- Se puede construir en la práctica un modelo en grupo aplicable por red o Internet. Después se hacen las comparaciones en parejas para cada uno objetivos, con respecto a la meta y, si es aplicable, se define la fórmula de cada objetivo de la cubierta tal como Grados. Entonces se clasifica cada alternativa con respecto a su objetivo. La opción experta provee de responsables para derivar prioridades o pesos de la escala de cociente por experiencia, la penetración y la intuición así como de datos. También asiste no solamente a responsables en el juicio de estructuración sino que incorpora los factores objetivos y subjetivos usados en la decisión.
- Una de las ventajas del proceso de la opción experta (Expert Choice) de la comparación en parejas, es que los pesos, o las prioridades, no están asignados arbitrariamente, pero se deriva de juicios verbales, numéricos o gráficos. Sabemos que este método para derivar prioridades es confiable puesto que se basa en una fundación matemática. La fundación de PAJ se ha probado con estudios numerosos de la validación.
- La opción experta se diseña para ayudar a individuos y a grupos en el análisis, la síntesis y la justificación de decisiones y de evaluaciones complejas. Los millares de negocios y de agencias de estatal por todo el mundo utilizan la opción experta para una variedad de usos incluyendo: Asignación de Recurso, Selección de la Fuente, Gerencia de Recurso Humano, Evaluación de Funcionamiento del Empleado, Decisiones del Sueldo, Formular Estrategia de la Comercialización, Seleccionar Alternativas, Resultados Probables que predicen, Planeamiento Analítico, Facilitar la Toma de Decisión del Grupo,

Análisis de Beneficios de Costos, Dirigir Evaluaciones de Diseño, Gerencia de la Producción y de las Operaciones, Formulación y Evaluación de la Política, Adquisiciones y Fusiones de Evaluación, Evaluación del Surtidor, Análisis de Crédito, Regeneración de Cliente, Gerencia de Lista, Decisiones de la Tasación de Producto y Gerencia de la Innovación.

- La evaluación en parejas implica medidas relativas entre las alternativas, en que los juicios dados por resultado de las prioridades están para una alternativa con respecto a otro. Según lo discutido anteriormente, la medida relativa es más fácil de realizarse y más exacta que la medida absoluta, sin embargo, si hay una gran cantidad de alternativas, puede ser demasiado desperdicio de tiempo realizar todas las comparaciones en parejas. En tales casos, las prioridades se pueden derivar de menos que en parejas una matriz completa de la comparación (la diagonal principal de la matriz sobre los juicios), o el juicio absoluto se puede utilizar en la rejilla de los datos.
- Si tuviéramos una gran cantidad de alternativas (posiblemente los centenares o los millares) a evaluar, no sería práctica hacer en parejas comparaciones de todas las alternativas. En lugar, un acercamiento de los grados se podría utilizar para clasificar las alternativas contra cierto uso definido de la(s) escala(s) usando las intensidades del radio de llamadas. Este proceso de clasificar alternativas contra intensidades, o los “estándares” se refiere a veces como ejecución de la medida absoluta. La medida absoluta (evaluación en la rejilla de los datos) se refiere para cada alternativa que se evalúa en un sentido absoluto, más bien que con respecto a otras alternativas.

CONCLUSIONES

- La selección del mejor Sistema de Levantamiento Artificial para un pozo representa una difícil labor frente a la amplia gama de tecnologías de levantamiento disponibles en la actualidad. A pesar de haberse escrito mucho acerca del diseño y las aplicaciones de los distintos sistemas, generalmente los Ingenieros a cargo están capacitados sólo en algunos de ellos. Además las implicaciones de carácter económico, como la inversión inicial, costos de reparación y mantenimiento, y los problemas de producción (arena, H₂S, parafina, etc), complican mucho más la selección; por lo tanto la selección del Sistema óptimo de Levantamiento Artificial en pozos petroleros representa un área de aplicación potencial para el desarrollo.
- El SEDLA es el único Modelo para la selección de sistema de LA probado, con satisfactorios resultados para el Occidente del país, pero con algunos problemas para el Oriente, en especial en áreas de crudos pesados y extrapesados. Es decir, el SEDLA aplica con mejores resultados a pozos con crudos medianos y livianos.
- El empleo de reportes de información procesada por cualquier modelo, para adoptar decisiones que vayan más allá de sus contenidos y alcances, pueden resultar altamente riesgoso, pues su base de sustentación no es ilimitada.
- Es responsabilidad única de los Ingenieros de Petróleo y no de los modelos o metodologías que la emplearon para la Selección de un Sistema de L.A., la utilización del producto o resultado del modelo, de acuerdo a su preparación profesional.
- Se establece que en la etapa de procesamiento de cualquier modelo, se tiene que saber preguntar y como saber responder, para lograr un mejor producto. Esto significa instituir medidas de control de calidad de la información.

- Un buen análisis es aquel que cumple a cabalidad con eficiencia y eficacia, todas las etapas metodológicas de un modelo, sumadas a la condición de producir resultados asertivos, precisos, útiles y oportunos para la toma de decisiones, respecto de un asunto en estudio.
- Un buen Ingeniero de Petróleo debe reunir en sí, las altas virtudes del estudio sistemático, la curiosidad científica y la imaginación prolífica, aunando a sus aportes con el valor de la experiencia y el trabajo profesional sistemático junto a una natural creatividad, en el ejercicio cotidiano de una profesión erudita.
- El Expert Choice (EC, modelo 4) viene a ser uno de los modelos comparados más completo, ya que incorpora en su software el procedimiento del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ, modelo 1) con mejoras computacionales. El proceso modela juicios en comparaciones de parejas, para derivar las prioridades de los objetivos con respecto a la meta y para las alternativas con respecto a cada objetivo; las prioridades no están asignadas arbitrariamente, sino que se deriva de juicios verbales, numéricos o gráficos. También posee modalidades de conexiones en red (Internet) para desarrollar cualquier modelo en estudio; un estudio económico sintetizado y una amplia gama de factores innovadores para la toma de decisión.

Conclusión genérica de la metodología de investigación

Útil, breve, objetivo y oportuno, son los nuevos rasgos concretos de la vieja máxima: Poco, Bueno y A Tiempo.

RECOMENDACIONES

- Elaborar un proyecto donde se tenga como problema la búsqueda de un “Pozo Perfecto o Ideal” así como un “Pozo Caos” o definitivamente imposible de ser aplicado para cada uno de los Sistemas de Levantamiento Artificial. Luego ser evaluado por el SEDLA. Pueden elaborar iguales proyectos, pero evaluándolo con en modelo PAJ, MET y Expert Choice, para la selección de Sistemas de Levantamiento Artificial. Estudiar un proyecto final en que se puedan comparar los resultados obtenidos de los mismos, y poder concluir cual sería la mejor metodología de evaluación (en este caso particular) para la selección de sistemas de L.A.
- Tomar un campo en estudio y evaluarlo para cada modelo (SEDLA, PAJ, MET y Expert Choice); así poder analizar cada resultado y compararlos con los demás. Cabe destacar que por la extensión de éste estudio, similar al anterior, se tendrían que realizar en proyectos independientes.
- Realizar un proyecto en el cual el problema planteado sea la búsqueda de un “Sistema de Levantamiento Artificial Perfecto para implementar según el SEDLA”, así como el “Sistema de Levantamiento Artificial imposible de aplicar” para la misma metodología. Luego efectuar el mismo estudio de un “Sistema de L. A. Perfecto para implementar según el Expert Choice”, así como su caso antagónico. Finalmente hacer una comparación para saber si serían los mismos Sistemas de Levantamiento Artificial para ambas metodologías.
- Un proceso deseable pero por sobre todo necesario para dignificar esta profesión. La esencia más prístina de la carrera de un profesional de INGENIERÍA, es el cultivo de la virtud de conocer, traducida en una vocación por alcanzar mejores niveles de pensamiento que lleven con el tiempo a la SABIDURÍA. Sólo metas difíciles de alcanzar demuestran la imprescindible voluntad por transcurrir hacia estados superiores de la conciencia, indispensables para la reflexión y el ejercicio profesional más íntegro.

- Facilitar la colaboración de todos los estamentos participantes en el Departamento de Producción y evitar la redundancia en la solicitud de trabajos repetitivos, incorporando los temas de larga vigencia en boletines de periodicidad regular, es la forma más efectiva para incrementar la productividad.
- Para un mejor aprovechamiento del flujo de información mundial y nacional (cada vez mayor), es indispensable la existencia y desempeño eficiente de analistas-sintetizadores-básicos, cuya misión (por área), debe ser la separación y clasificación de datos para permitir una labor de producción más fluida y oportuna en los niveles superiores.
- El apoyo tecnológico (como es el caso de los sistemas computacionales) en sus variadas expresiones, sólo permiten disponer de datos e información en forma más oportuna e interactiva. Sin embargo, detrás de su empleo, debe existir un concepto asimilado a una Doctrina Tecnológica, que considere en su expresión cuál es el verdadero rol y cuáles son los alcances que puede brindar la infraestructura tecnológica, en el esfuerzo de procesamiento informativo para permitir su mejor aprovechamiento.
- Profundizar en el estudio y aplicación del programa Expert Choice, debido a que es un modelo en expansión con herramientas muy innovadoras y eficientes para la toma de decisiones, esperando a ser aplicado en el ámbito de la Industria Petrolera.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Araque Arcides** .- Identificación de Tecnologías en Levantamiento Artificial en Fuentes Externas a LAGO VEN S.A.: Nacionales e Internacionales, UCV,

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo Especial de Grado, Octubre 1997, Págs. 2,3, 129-149, 150- 162.

2. **Brown Kermit-** The Technology of Artificial Methods Tulda, Oklahoma Penn Wells Books 1980 Vol 2b (Electric Submearble, Centrifuga Pumps, Hydraulics Pumping, Plunfer Lift, Other Methods of Artificial Lift Planning and Comparing Artificial Lift Systems.
3. **Carrasquero Néstor.-** La programación lineal meta en el contexto del soporte para la decisión, UCV, Facultad de Ingeniería, Departamento de Investigación de Operaciones, Trabajo de Ascenso, Septiembre 1993.
4. **Clegg, Buccaram- Hein Jr.-** Recomendations and Comparisons for Selecting Artificial Lift Methods- Diciembre 1993, JPT.
5. **Escalona T. Víctor J.-** Procedimiento para la Escogencia del Método Óptimo de Productos Adaptables a Cerro Negro. Informe de Progreso Nro.3 **B.L.T.O.R** S.A., Ingeniería de Producción , Levantamiento Artificial Junio/ Julio 1997, 98.
6. **Escalona T. Víctor J.-** Análisis y Discusión de los Procedimientos, Metodologías y Modelos de Selección de Sistemas Óptimos de Producción Petrolera y su Factibilidad de Aplicación a los Campos Venezolanos. UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo de Ascenso en Revisión, Julio 2000.
7. **Faúndez, Ulises A.-** Análisis de Información: Características, Metodologías y Proyecciones. Universidad de Chile, Instituto de Ciencia Política. Febrero 2004.

8. **Febres, Gustavo.-** Estudio de Priorización de factores que afectan el comportamiento de los Métodos de Producción de Levantamiento Artificial, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo Especial de Grado, Julio 2003.
9. **García, Raiza y Cestari, Francisco.-** Manual de Ingeniería de Producción Petrolera de la escuela de Ingeniería de Petróleo de la UCV. UCV, Caracas, Julio 2002.
10. **Giusti Herrera, Gustavo.-** Análisis, Evaluación y Selección de los Factores que afectan la escogencia de un Sistema de Levantamiento Artificial área tradicional de Cerro Negro Morichal.- UCV, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo Especial de Grado, Junio 1999. Págs. 133/139, 140/142.
11. **Gran Enciclopedia Espasa.** Edita Espasa Calpe, S. A. El Nacional, Banesco. 2005
12. **Guillén Armando.-** Optimización del Sistema de Levantamiento Artificial por Gas, Pozos de la Estación de Flujo GF - 2 2 - 5 Campo Lamar, Bloque V, Segregación Lago cinco Lagunillas, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo Especial de Grado, Diciembre 1999 Págs. 21,29, 30,31.
13. **Jhonson L. D-** Here are the Guidelines for Picking on Artificial Lift Method " The Oil-Gas Journal (August 26, 1968).
14. **Martinez Anibal R.-** Diccionario del Petróleo Venezolano. Editorial Ateneo de Caracas. 19843 p.: 13-98

15. **Michael J. Economides, A. Daniel Hill y Christine Ehlig – Economides.-** Petroleum Production System. Prentice Hall. New Jersey, 1994. p.: 17-54
16. **Móndelo N.** El proceso analítico jerárquico como herramienta para la toma de decisiones. Disertación presentada en la asignatura Toma de Decisiones Multicriterio. Maestría en Investigación de Operaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1996, 30pp.
17. **Nind, T. E.-** Fundamentos de Producción y Mantenimiento de Pozos Petroleros, 1ª Edición. Editorial Limusa S. A. México 1987.
18. **Pessmore R. G. Kusch NN.-** Electric Submersible Reducing Failures Through Improved. Field Procedures in the South Swan Hills Units, Petroleum Society of CIMpaper Nro. 82-33, June 1982.
19. **Rattia I. J.-** Diagnóstico, Evaluación y Optimización de los Métodos de Levantamiento Artificial en la unidad de explotación de Yacimientos Barinas Campo Sinco, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo Especial de Grado, Abril 2002.
20. **Reyes Yamila.** Optimización del Sistema de Experto de Levantamiento Artificial. *Trabajo Especial de Grado*, Escuela de Ingeniería de Petróleo. Mayo 1999. Capítulo I- Págs. 55-76 Capítulo II, págs. 59-76 Capítulo III-Págs 81-83.
21. **Rodríguez, Fernando y Salazar Andrés.-** Estudio Comparativo de los Sistemas de Levantamiento Artificial: Bombeo Mecánico y Bombeo de Cavidad Progresiva en el campo melones del área tradicional de crudos pesados de San Tomé. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo. UCV, Trabajo Especial de Grado, Noviembre 2003.

22. **Roy B.-** Problems and methods with múltiple objectives functions Mathematical Programming, Vol 1, N° 2, 1975, págs 239/266.
23. **Saaty Thomas. L.-** The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill. 1980. págs. 1-35, 53-67, 113-122.
24. **Silva, Luis.-** Diseño de una Metodología para la Selección de un Sistema Óptimo de Levantamiento Artificial, UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo Especial de Grado, Abril 2000. 101 Págs.
25. **Solórzano, Antonio C.-** Revisión de los Mecanismos de Producción Petrolera en el Campo Cerro Negro. UCV, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Petróleo, Trabajo Especial de Grado, Noviembre 2003.
26. **Solis.** Selecting the Optimum Artificial Production System for an Oil Field Mexican Petroleum Institute Magazine V II Nro. 2 págs. 38/48 Abril 1979, Exploitation Technology Subdivisión Mexican Petroleum Institute.
27. **Tamayo y Tamayo Mario.-** El Proceso de la Investigación Científica. Ed. Limusa. 4ta. Edición. México, 2001. p.: 137-179
28. **Zeleny M.** Múltiple Criterio Decisión Marking, McGraw-Hill Book Company, New York, 1982.

A manera de consulta para los interesados en profundizar en el Estudio realizado por el profesor Ulises A. Faúndez, se agrega a continuación la Bibliografía Consultada por el Estudio:

29. **Libros.**
 - Balbi Eduardo R. "Capturando el futuro". Ed FORMATO. Buenos Aires. Argentina. 1997.

- Baumard Ph. "Stratégies et surveillance des environnements concurrentiels". Ed. Masson. Paris. France. 1991.
- Charter D., Farson S. and Hastedt P. "Intelligence Analysis and Assessment". Ed. Frank Cass London. UK. 1996.
- Choate Ph. "Agent of Influence". Ed. KNOFF. NEW YORK. USA. 1990.
- Delmas Ph. "Le maitre des horloges". Ed. Odile Jacob. Paris. France. 1991.
- Dept. of the Army US. "All-source Analysis System and the analysis and control element". FM 34-25-3. Washington. D.C. USA. 1995.
- Dóriga L. Enrique. "Metodología del pensamiento". Ed. Herder. Barcelona. España. 1986.
- Gill Peter. "Policing Politics". Ed Frank Cass. 1995. London. U.K.
- Godson R. May E. y Schmitt G. "Inteligencia en la Encrucijada". Ed. Brassey's. London. UK. 1996.
- Godson R. "Intelligence Requirements for the 90's". Ed. National Strategic Information Center. USA. 1990.
- Griffiths F. "Le Reciclaje de renseignement". Ed CSARS. Pac Meech. 1995. Toronto. Canadá.
- Guerrien Bernard. "Le Théorie des Jeux". Ed. Economica. Paris. France. 1995.
- Heuer Richards J. ["Psicología del Análisis de Inteligencia"](#). Centro para el estudio de la inteligencia. Consejo Nacional de Seguridad. Departamento de Historia de la Inteligencia. Gobierno de los Estados Unidos. 1999.
- Krippendorff Klaus. "Metodología de análisis de contenido". Ed. PAIDOS. Barcelona. España. 1990.
- León G. Orfelio. "Análisis de decisiones". Ed. Mc Graw Hill. Araraca. Madrid. España. 1993.
- Negroponte Nicolas. "Being Digital". Ed Alfred Knopf Inc. 1995. New 1995. New York. U.S.A.
- O'Connor J. y Seymour John. "Introducción a la programación neurolingüística". Ed. URANO. Barcelona. España. 1995.

- Pinto María y Gálvez Carmen. "Análisis Documental de Contenidos". Ed. SITESIS. Madrid. España. 1999.
- Ponjuán Dante Gloria. "Gestión de Información". Principios, conceptos y aplicaciones. Ed. Universitaria. CECAPI. Prorectoría. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- Rheingold Howard. "Realidad Virtual". Ed. Gedisa. Barcelona. España. 1996.
- Samson Pierre. "Conduire efficacement sa pensée: de l'idée au projet". Ed. Les Editions d'Organisation. Paris. France. 1987.
- Smith A. James. "Intermediarios de ideas". Ed. G.E.L. - SRL. Buenos Aires. Argentina. 1996.

30.- Artículos.

- Ben Israel Isaac. "Filosofía y Metodología de la Inteligencia: La lógica del proceso de apreciación".
- Ben Israel Isaac. "Fallas de análisis: la verdad en duda". Revista de las FDI. vol. IV. N°3. 1989. Tel Aviv. Israel.
- Coseriu Eugen. "Norsk Tidsskrift for Sprovidenskap". Dans la rue". Le Francais Moderne. N° 30. 1943. Paris. France.
- Davis Forrest L. "Inteligencia Predictiva". M.I.P.B. review. Fort Wachuca . AZ. USA. 1997.
- Faúndez Ulises. "Tecnología y Conflictos de Información". Documentos de Trabajo. Instituto de Ciencia Política. U. de Chile. N° 64. Santiago. Chile. 1997.
- Hjelmslev. "Prolegomena to a theory of language". Baltimore. USA. 1953 (pgs. 73-95).
- Levinson Paul. "On Behalf of Humanity". Foreign Affairs review. Washington D.C. USA. 1998.

APÉNDICES

APÉNDICE N°1

Criterios que afectan a la selección de los Sistemas de L.A.

Como se acotó anteriormente, los métodos de producción de crudos se ajustan a los cambios de crecimiento de la industria petrolera y a los parámetros de agotamiento del yacimiento; lo cual hace necesario la innovación de proyectos de recuperación secundaria, algunos ya en avances y otros previstos a mediano plazo. Todo esto trae como consecuencia un incremento importante de los cortes de agua en los pozos y una posible reducción de la producción neta de los hidrocarburos.

Así se concluye que hay numerosos factores que afectan la selección de un equipo particular de levantamiento artificial, estos factores son: características de producción, propiedades de los fluidos, características del hoyo, características del yacimiento, plan de recobro a largo plazo, facilidades de superficie, localización, fuentes de potencia disponibles, problemas operacionales, tipo de completación, automatización, personal de operación, viabilidad de servicio y economías relativas.

Características de producción: Las características de producción de los pozos tal como: comportamiento de afluencia, tasa de producción líquida, corte de agua y relación gas líquido, inciden en la selección del equipo de levantamiento artificial.

Comportamiento de Afluencia: La habilidad de un pozo para producir fluidos (comportamiento de afluencia) es un factor crítico en la selección de los equipos de levantamiento artificial. La capacidad de producir fluidos en el presente a una fecha futura -con o sin estimulación-, puede ser considerada en la decisión para optimizar el método de levantamiento.

Tasa de Producción de Líquido: La tasa total de líquido a ser producida es el factor controlador en la selección del método de levantamiento. Las tasas cambiarán según el método y de acuerdo a las condiciones del pozo. Tasas extremadamente altas requieren bombeo electrosumergible o levantamiento continuo por gas.

Corte de Agua: El corte de agua influye directamente en la tasa de producción total, por ejemplo, muchos pozos pueden producir 2.000 bld o más de agua en orden de obtener 100 bld o menos de petróleo. Altos cortes de agua afectan el comportamiento de afluencia debido al efecto de las permeabilidades relativas. El agua, cuando se compara con el petróleo resulta en una pérdida de presión adicional en la tubería debido a su mayor densidad.

Relación Gas-Líquido: La producción de gas / petróleo y, por consiguiente, la relación gas / líquido, influyen en la selección de los equipos de levantamiento artificial y en particular en el diseño de los mecanismos de levantamiento. Como una regla general todos los métodos de levantamiento tienden a reducir la eficiencia con el incremento de la relación gas / líquido (RGL). La producción de gas libre origina una reducción en la capacidad para manejar líquidos. Los métodos más afectados por el incremento de la RGL son: bombeo mecánico, bombeo con plunger, bombeo hidráulico y bombeo electrosumergible, ya que el gas ocupa un lugar que debe ser desplazado. Cuando altos volúmenes de gas están presentes en los fluidos del pozo, el levantamiento artificial por gas es una de las opciones más deseables.

Relación Gas / líquido de la formación: Se define como el volumen total de gas producido entre el volumen total de líquido producido. Es un factor significativo en la selección del método de levantamiento. Si altos volúmenes de gas pasan a través del mecanismo de levantamiento se produce una disminución de la capacidad de levantamiento de líquido para los métodos de bombeo, quedando aquellos métodos que involucren gas de levantamiento como las mejores opciones.

Relación Gas Libre a la entrada de la bomba: Conciérne a la cantidad de gas que no se encuentra disuelto en el petróleo. El gas libre en altas porciones a la entrada de la bomba resulta un severo problema para la mayoría de los métodos de bombeo, por la disminución de la eficiencia de la bomba. Para el método de bombeo hidráulico Jet, a medida que la relación de gas libre va aumentando, ocasiona una reducción de la eficiencia del equipo. En las bombas electrosumergibles, el paso de gas libre a través de las etapas de la bomba, disminuye su capacidad de levantamiento y puede ocasionar bloqueo por gas, capaz de quemar el motor de fondo. En el bombeo mecánico convencional se emplean separadores o anclas de gas diseñadas de acuerdo a las necesidades de la bomba, para ventear el gas por el espacio anular, disminuyendo el efecto de gas libre a la entrada de la misma.

Propiedades de los fluidos

Viscosidad y °API: Como una regla general, las viscosidades menores de 10 CPS (sobre 30 °API) no son un factor determinante del método de levantamiento. Para crudos altamente viscosos el bombeo con varilla es recomendable; además el golpeteo efectivo es reducido, pero tiene como desventaja que la varilla puede llegar a estar sobrecargada. El proceso de levantamiento se dificulta a medida que la gravedad °API es menor, debido a que la gravedad °API aumenta a medida que el crudo es más liviano y disminuye para crudos pesados y extrapesados. A bajas tasas de producción y con inyección de diluyente, es posible reducir crudos de baja gravedad °API.

Factor Volumétrico de Formación: El factor volumétrico de formación representa el número de barriles de líquidos que pueden ser levantados en orden de proveer una tasa de producción superficial deseada. Notar que un factor volumétrico de formación bajo o alto, no indicará el comportamiento superior en comparación con los otros métodos de levantamiento.

Características del hoyo: Frecuentemente, las características del hoyo tienen un efecto controlador en la determinación del método de levantamiento artificial.

Profundidad del Pozo: Así como el nivel de operación del fluido es fundamental sobre el mecanismo de levantamiento, la profundidad, pudiese tener efectos pequeños en la determinación del método de LA. Para profundidades por debajo de los 10.000 pies, todos los métodos de levantamiento artificial son ineficientes. El balancín es capaz de levantar desde mayores profundidades, pero la potencia adicional para levantar las varillas de bombeo, el golpe longitudinal, tamaño de las varillas y los esfuerzos, cargas y arrastre por fricción, y límites de diseño, tienden a bajar la eficiencia volumétrica. El BES requiere altas elevaciones de los fluidos y grandes profundidades, con el fin de eliminar el gas libre en la bomba. La temperatura elevada en el fondo del hoyo, es una de las limitaciones de este método. El levantamiento con gas intermitente es ineficiente, debido al resbalamiento del líquido pero es aplicable con asistencia del punzler. Diseños de cámaras de acumulación proveen capacidad de levantamiento a mayor profundidad, pero incrementando el volumen del tapón.

Diámetro de Tubulares; Diámetro del Revestidor: Los diámetros de los revestidores son determinados basándose en el tamaño del hoyo, en etapas preliminares de un programa de perforación. Muchas variables determinan el diámetro del revestidor para un pozo y en un área en particular, tales como los problemas del hoyo (zonas de presiones anormales, zonas ciénagas, pérdida de circulación, flujo salobre, etc.) y precio de la tubería entre otras. Las instalaciones de revestidores de diámetros relativamente pequeños impiden que se obtengan las tasas de flujo deseadas, limitan las dimensiones del equipo de recuperación de levantamiento por gas y/o equipo de bombeo. Además el diámetro del revestidor limita el diámetro externo de la tubería de producción: si otros revestidores (revestidor intermedio, liner de perforación, liner de producción) son usados, el diseño de la tubería es limitado. Las completaciones múltiples son también restringidas dependiendo del diámetro del revestidor.

Diámetro del Eductor: Similar al diámetro del revestidor, el diámetro del eductor está seleccionado con factores tales como: tamaño de las bombas y los motores de fondo a instalar, la tasa de producción deseada, el origen de pérdidas por fricción, etc. En BES, el caudal requerido determina la bomba que se va instalar, y ésta a su vez el diámetro de la tubería de producción en pozos nuevos. Cuando la tubería se encuentra instalada en el pozo, es ésta la que permite o no emplear determinado tamaño de bomba y por consiguiente obtener el caudal de producción deseado.

Tipo de Completación: El diseño de los equipos de LA puede depender si el pozo es completado en hueco abierto o en intervalo perforado. La principal consideración es el comportamiento de afluencia. En el hueco abierto hay cabeceo, entrada de arena o el hoyo está totalmente lleno, lo cual puede reducir el comportamiento de afluencia. En los intervalos perforados insuficientemente, la densidad o los hoyos taponados pueden reducir el comportamiento de afluencia. Completaciones dobles dificultan el control de la producción por LAG, y conllevan a limitaciones de espacio para métodos como el BH tipo jet y BES.

Producción de Arena: La producción de arena causa problemas de erosión en todos los tipos de levantamiento artificial. La presencia excesiva de arena en el tope de la bomba de subsuelo puede causar problemas al tratar de recuperarlas. En el caso de BMC solo se puede manejar hasta un 0,1% de arena con bombas especiales, y la BES requiere menos de 200 ppm de sólidos; mientras que el fluido de potencia de los métodos de BH debe trabajar con menos de 10 ppm de sólidos, y se puede considerar la inyección de agua fresca para solucionar problemas de levantamiento. Debido a todo lo anterior, los métodos que pueden ser recomendados para pozos con alta producción de arena son la BCP y LAG.

Producción de Parafina y Asfaltenos: Con frecuencia algunos pozos con alta producción de parafina y asfaltenos tienden a acumularse sólidos en el cabezal y en las paredes superiores de la tubería de producción, donde la presión y temperatura son menores, causando contrapresión y llegando incluso a tapar por completo el pozo. Para evitar este hecho es necesario remover o prevenir la formación de éstos sólidos. Las cabillas de succión tienen la ventaja (sobre otros métodos de levantamiento artificial) de proporcionar un continuo roce dentro de la tubería. Igualmente los raspadores pueden ayudar a remover la parafina del pozo (los pistones también sirven como raspadores de parafinas).

Acumulación de Escamas: La acumulación de escamas produce la reducción del diámetro interior de la tubería disminuyendo su capacidad. El LAG suele agravar la acumulación de escamas, debidos a los cambios de temperatura que suceden al nivel de las válvulas, ocasionando la precipitación de las mismas. En los métodos de BM y BH, se puede prevenir la acumulación de escamas mediante tratamientos con aditivos químicos por el anular o junto con el fluido de potencia en los hidráulicos, proporcionando a la bomba mayor vida útil y asegurando la capacidad normal de la tubería.

Problemas de Corrosión: La corrosión en el fondo puede ser causada por la electrólisis entre diferentes tipos de metales, la presencia de H_2S ó de CO_2 en el fluido producido, presencia de salmuera ó por la oxigenación de metales. Las cabillas de bombeo presentan problemas de debilitamiento por presencia de H_2S , y cuando están excesivamente cargadas se acelera el quiebre de las mismas.

Problemas de Formación de emulsiones: La formación de emulsiones en un pozo ocasiona altas pérdidas de presión en las tuberías y en general resulta difícil anticipar este problema, requiriendo de mayor potencia para contrarrestar la reducción de la eficiencia, en cualquier método de LA. Para LAG es difícil levantar emulsiones, debido a que se requiere mayor cantidad de gas inyectado.

Grado de Desviación del Hoyo: Un alto grado de desviación del hoyo afecta notablemente la selección del tipo de LA a instalar. En BM convencional y en BCP se incrementan los problemas de carga y de deterioro del equipo. Se pueden instalar BES e BH en pozos desviados, siempre y cuando la bomba pueda cerrar libremente a través de la tubería. El LAG es el método mas recomendado para pozos desviados, sus válvulas son cambiadas con guaya fina sin problemas hasta 70° de desviación, a pesar de hacerse necesario consideraciones especiales, dado que en hoyos desviados el gradiente bifásico cambia respecto a los pozos verticales. En definitiva, todos los tipos de levantamiento requerirán potencia adicional.

Pericia de Campo: La capacidad técnica del personal de operaciones de campo puede influir en la selección del método de LA. Por ejemplo, las cabillas de succión del BM convencional presentan operaciones de menor dificultad para el personal de campo respecto a métodos como LAG y BH. En muchos casos la falta de pericia en ciertos métodos de levantamiento se traduce en un incremento de los costos.

Localización del Pozo: La ubicación del pozo (zona urbana, no urbana ó costa afuera), la disponibilidad del volumen de gas inyectado (ó agua inyectada) y las fuentes de electricidad, son factores importantes en la selección del método de LA. En instalaciones costa afuera se limita al espacio disponible en superficie. Todos los métodos de LA pueden ser usados en pozos costa afuera. Sin embargo, para el método de BM convencional se necesita un área mayor para el cabezal en superficie, además de verse afectado por los ambientes corrosivos marinos y causar vibraciones. Los métodos LAG (siempre que existan las instalaciones de compresión de gas) y BH tienen gran aplicación en pozos costa afuera. Si se disponen de fuentes de electricidad, el método de BES también puede ser empleado. Se tienen que considerar factores como la seguridad y la contaminación ambiental, en áreas urbanas ó con poblaciones cercanas; para estos casos los métodos más recomendables son la BCP y BES. En zonas no urbanas se recomiendan los balancines por el espacio que ocupan, y el método de BH por las altas presiones manejadas en superficie.

Características del yacimiento

Yacimientos de Empuje con Depleción: La producción inicialmente sucede por el desplazamiento del petróleo y el gas en las cercanías del pozo, debido a la expansión de los fluidos. Cuando la presión del yacimiento tiene una declinación muy severa, la producción se debe principalmente al drenaje gravitacional con fluido que es levantado hasta la superficie. No hay un acuífero o inyección de fluido que permita la expansión de los mismos, en consecuencia, la recuperación es baja.

Yacimiento con Empuje de Expansión de Gas: En un yacimiento en estado bifásico, la fase gaseosa es la capa de gas y la fase líquida es la zona de petróleo. El desplazamiento de petróleo y gas en las cercanías del pozo es el resultado de la expansión del gas como continuación de la producción. Es conveniente notar que este yacimiento tiene gas libre, gas disuelto en el petróleo en la zona de petróleo y el recobro de líquido es en la capa de gas. La recuperación puede estar influenciada por una combinación de expansión de fluidos, desplazamiento de fluidos, drenaje gravitacional o efectos capilares.

Yacimiento con Empuje Hidráulico: El influjo de agua desde el acuífero y/o inyección de agua en pozos seleccionados, causa un desplazamiento del petróleo y el gas en las cercanías del pozo. La recuperación se obtiene por drenaje gravitacional o por efectos capilares.

Yacimientos de Crudos Espumantes: Corresponden a aquellos yacimientos de crudos pesados que exhiben un comportamiento excelente de producción primaria con menor declinación de presión y menor RGP de producción, que el obtenido por medio de un simulador de crudo negro empleando propiedades convencionales. Los altos porcentajes de recobro y de comportamiento anómalo de producción observado durante el agotamiento natural, han sido los principales motivos para despertar el interés de la investigación en yacimientos de estas características.

Presiones en el Yacimiento: Cuando la presión del yacimiento es suficientemente baja, que impide emplear ciertos métodos de LA, se utiliza el método de LAG Intermitente con cámara de acumulación, el cual permite mayor almacenamiento de líquido en el fondo del pozo. Aunque el método de BM no depende directamente de la presión estática del yacimiento, cuando éste parámetro disminuye, la producción del pozo también se reduce.

Índice de Productividad: El Índice de Productividad (IP), es un parámetro exclusivo del pozo y se define como los barriles totales de líquido diariamente por cada psi de extracción (psi/BBL), entendiéndose por extracción el término $(P_e - P_{wf})$, es decir, la diferencia entre la presión estática promedio del yacimiento y la presión fluyente en el fondo del pozo. En muy pocos pozos el IP suele permanecer constante por largos períodos de tiempo, durante el cual la tasa varía en forma casuística, proporcionalmente al diferencial de presión $(P_e - P_{wf})$. El IP representa un factor de mayor importancia en los métodos de LAG que para el método de BM. Así, para pozos con bajo IP se emplean métodos de LAG intermitente convencional ó pistón metálico. Y si el IP es alto, se sugiere la instalación de LAG continuo y dependiendo de que la P_e sea baja, se necesitará el método de LAG intermitente con cámara de acumulación.

Escogencia del sistema de levantamiento artificial

La escogencia entre los cuatro sistemas básicos de levantamiento artificial: por gas (LAG) Bombeo Electrosurgible (BES), Bombeo Hidráulico (BH), Bombeo Mecánico (BM), dependerá de muchos factores, como por ejemplo: costo de instalación y operación de los equipos. También es muy importante la productividad de los pozos.

Algunas escogencias pueden ser sencillas como las ilustradas por las siguientes condiciones:

TABLA N° 10
ESCOGENCIA TASA VS MÉTODO DE LEVANTAMIENTO

<u>TASA (bl / día)</u>	<u>METODO DE LEVANTAMIENTO</u>
>20.000	BES o LAG
Entre 2.000 - 10.000	Cualquiera excepto BM
Entre 100 - 1.000	Cualquiera
< 100	Cualquiera excepto BES

Fuente: propia

La presión del yacimiento es un parámetro importante para la selección del método de levantamiento artificial. Si la presión es muy baja la inyección continua de gas es ineficiente, porque la cantidad de gas requerida para levantar el líquido es excesiva. El Bombeo Electrosumergible puede operar a unos pocos cientos de libras (100 lpc) y los bombes mecánico e hidráulico, pueden operar esencialmente a muy bajas presiones de yacimiento, venteando el gas cuando se hace necesario.

La profundidad puede ser una limitación importante, como es ilustrado por las siguientes condiciones:

TABLA N° 11
ESCOGENCIA PROFUNDIDAD VS METODO DE LEVANTAMIENTO

<u>PROFUNDIDAD (PIES)</u>	<u>MÉTODO DE LEVANTAMIENTO</u>
> 12 000	BH solamente
Entre 10.000- 12.000	Cualquiera excepto BES
< 8 000	Cualquiera

Fuente: propia

Altas desviaciones de los pozos esencialmente gobiernan la salida del BM y favorecen el LAG, por el mínimo de equipo a correr en el pozo. Altas viscosidades de fluido pueden ser manejadas por el levantamiento artificial por gas o bombeo hidráulico. La producción de arena es comparativamente más manejable por LAG.

TABLA N^a 12

Problemas comunes que afectan la Selección de un Método de Levantamiento Artificial

PROBLEMA	<i>B. Mecánico</i>	<i>B. Hidráulico</i>	<i>B. Electrosumergible</i>	<i>L. Artificial Gas</i>
Arena	Regular	Regular	Regular	Excelente
Parafina	Pobre	Bueno	Bueno	Pobre
Alta RGP	Regular	Regular	Regular	Excelente
Corrosión	Bueno	Bueno	Pobre	Pobre
Altos volúmenes	Pobre	Bueno	Excelente	Bueno
Profundidad	Regular	Excelente	Regular	Bueno
Diseño Sencillo	Si	No	Si	No
Diámetro Revestidor	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Flexibilidad	Regular	Excelente	Pobre	Bueno
Escala	Bueno	Regular	Pobre	Excelente

Fuente: Propio

Se pueden considerar factores secundarios que incidirán en la escogencia del sistema de LA apropiado, para un pozo promedio, como una función de la vida útil del pozo. En las etapas iniciales del LA, la presión del yacimiento y la RGL son generalmente altas, tal que el gas lift es favorecido. Cuando declinan la presión yacimiento y RGL, el gas lift pierde ventaja y el Bombeo Electrosumergible (BES) llega a ser más apropiado.

Finalmente, a muy bajas presiones y baja productividad, el BM y el BH son recomendables, sin embargo la presión del yacimiento es mantenida por inyección de agua, el BES y el gas lift son métodos recomendables.

La baja producción con tiempo es característica de depleción, debido al decremento de la presión del yacimiento y declinación de la tasa de entrada. Estas características dictaran el tipo de levantamiento a ser aplicado en un yacimiento de empuje hidráulico, donde se incrementan los cortes de agua con la vida de producción. En un yacimiento con expansión de la capa de gas, cambia la relación Gas / Petróleo durante la vida productiva afecta la escogencia del método de levantamiento. Disminución de la producción de gas por levantamiento artificial, termina de restringir la capacidad de eficiencia. La escogencia del levantamiento lleva la anticipación de la RGP o el gas libre durante la vida del yacimiento y cuando el gas no puede ser venteado.

Como se mencionó en el capítulo de antecedentes, Clegg, Buccaram & Hein Jr. desarrollaron un procedimiento fundamentándose en Kermit Brown, los cuales elaboraron unas tablas donde se comparan Métodos de producción vs. Criterios (ó parámetros); estas tablas vienen siendo una medición relativa de los distintos métodos de levantamiento artificial, frente a una diversidad de factores que influyen y tienden a establecer ventajas de un método con relación al otro.

Las Tablas de Clegg, Buccaram & Hein Jr., se pueden dividir en tres grandes áreas:

CONSIDERACIONES GENERALES

CONSIDERACIONES NORMALES DE OPERACIÓN

CONSIDERACIONES DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Ver Anexos N° 1, N° 2 y N° 3.

Entre las CONSIDERACIONES GENERALES, se destacan los siguientes factores:

- Eficiencia Hidráulica
- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Valuación
- Costos de Operación
- Uso y Experticia

Entre las CONSIDERACIONES NORMALES DE OPERACIÓN, prevalecen las siguientes:

- Capacidad en la Entrada,
- Nivel de Ruido,
- Obstrucciones, Diagnóstico,
- Tiempo de Ciclo
- Aplicación de Control de Bombeo

Entre las CONSIDERACIONES DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL, se mencionan las siguientes:

- Habilidad y Manejo en la Corrosión y la Escala
- Hoyos Desviados
- Habilidad en el manejo del gas
- Habilidad para manejar sólidos / arenas
- Temperatura de Formación
- Capacidad en el Manejo de Fluidos Viscosos
- Capacidad para manejar Altos Volúmenes
- Capacidad para Manejar Bajos Volúmenes de Levantamiento

Para cada uno de estos factores, se le aplica a los distintos métodos de levantamiento artificial y se establece de manera comparativa las ventajas de un método con relación a otro. En las tablas que aparecen en el anexo, se presentan los diversos factores que influyen en los distintos métodos de levantamiento artificial.

Planificación para una Comparación de Sistemas de Levantamiento Artificial

La planificación en levantamiento artificial es fundamental hacerla en consideraciones de diseño antes de perforar un pozo o grupo de pozos. Mientras los pozos están fluyendo se comenzarán a hacer análisis del tipo de instalación específica. La aplicación de un cierto método de levantamiento dependerá del grupo de pozos, del campo, o de sí solamente un pozo aislado requiere de LA. El tipo de levantamiento requerido es influenciado dependiendo de las computaciones de los pozos, si son convencionales o múltiples. En consecuencia la selección del método de levantamiento artificial puede ser determinada no por diseños óptimos o criterios económicos sino por limitaciones físicas.

La localización del pozo es otro factor a considerar en la planificación del sistema de levantamiento. Plataformas de producción costa afuera son limitadas en la extensión areal. Aquí las completaciones múltiples y/o desviación del hoyo pueden dictar la escogencia del levantamiento. Costos de adquisición, transportación, almacenamiento y manejo pueden llegar a ser prohibitivos cuando el diesel o propano es requerido como materia prima de las fuentes de potencia. El diseño de LA depende sobre todo de las condiciones de producción. Consideraciones severas afectan la escogencia de levantamiento. Crudos sulfurosos, producción de salmueras, corrosión por oxígeno y CO₂, todos afectan la selección del método de levantamiento. Producción de sólidos tales como: arena, sal, parafina y formaciones finas están incluidas.

Hay más de un método de LA aplicable en cada pozo o grupos de pozos. Cada método puede ser clasificado desde excelente hasta pobre en acompañar cada objetivo por separado. Dependiendo sobre todo de las condiciones económicas el método de levantamiento seleccionado será el que satisfaga la mayoría de los objetivos. Dos o más tipos de levantamientos pueden ser viables para el mismo pozo o grupos de pozos, con las consideraciones económicas como factor decisivo.

APÉNDICE N°2

Trabajo especial de grado de Arcides Araque

En el trabajo de *Araque*, se aplicó esta herramienta en la Evaluación de Opciones Tecnológicas, con el propósito de crear una ***Matriz de Evaluación*** para seleccionar la mejor opción entre los distintos métodos de Levantamiento Artificial (técnicas variantes y nuevas tecnologías) que existen en la actualidad, adaptables a cualquier caso en las operaciones diarias de la empresa.

Se hace un ***Planteamiento de la Necesidad***, donde se trabaja bajo una serie de premisas. Se seleccionan los distintos métodos de levantamiento, a demás de las cinco (5) tradicionales y / o convencionales se incorporan el pistón metálico (***Plunger Lift***) y levantamiento Tipo Cochino (***Pig Lift***).

Se consideran las tecnologías disponibles en el mercado o próximamente disponibles. Especialistas Seleccionados deben tener experiencia en el área.

Una limitación importante es no realizar la evaluación económica. Se cuantifica los distintos criterios generales seleccionados, y los criterios específicos aportados por los especialistas en el momento de adoptar cualquiera de las operaciones.

Seguidamente se ***Procesa y Analiza las Encuestas***, método de comunicación: entrevistas personales, consultas por teléfono y correo electrónico.

A continuación se ***Selecciona y Pondera los Criterios Generales*** los criterios aportados por los especialistas, que se analizará mediante el programa EOT.XLS.

Consenso en la primera fase: dos consultas aplicando el ***Método Delphi***, en donde los valores obtenidos presentaron una desviación aceptable. Si los resultados alcanzados en

esta fase se consideran satisfactorios por el equipo evaluador, las mismas se muestran en la siguiente tabla:

TABLA N° 4
PONDERACIÓN DE CRITERIOS GENERALES

CRITERIO GENERAL	VALORES PROMEDIOS		
	MAX.	MIN.	PESO
MADUREZ	20.83%	3.70%	14.68%
ALINEACIÓN CON ESTRATEGIA TECNOLÓGICA	25.00%	3.57%	13.53%
SATISFACCION DE REQUERIMIENTOS OPERATIVOS	26.32%	3.57%	18.90%
SINERGIAS CON OTRAS TECNOLOGÍAS	21.43%	5.00%	12.89%
REQ. DE APRENDIZAJE Y NIVEL DE RIESGO	17.86%	4.00%	11.32%
IMPACTO AMBIENTAL	17.86%	0.00%	8.94%
VALOR AGREGADO FINANCIERO	26.32%	7.14%	19.56%

Fuente: Araque Arcides, 1997, pág 153

Seguidamente se Seleccionaron los Criterios Específicos, aportados por cada especialista, se analizaron y seleccionaron aquellos de mayor utilidad ajustados al caso en estudio. El objetivo fue establecer consenso entre los especialistas. En la tabla N° 5, se presentan los Criterios Específicos.

En las tablas *Ponderación de Criterios Generales y de Criterios Específicos* (Tabla 4 y 6), se observan los valores finales a partir de los cuales se continuará *la matriz de evaluación tecnológica*. Para el criterio: *Valor Agregado Financiero*, el peso obtenido corresponde al 100% se debe por no desagregar en la fase anterior y luego fue considerado por todos los encuestados en esta fase. Esto lo fortalece como uno de los criterios de mayor relevancia dentro de la *matriz de evaluación tecnológica*.

TABLA N° 5
DEFINICIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

CRITERIO GENERAL	CRITERIOS ESPECÍFICOS
Madurez	Conocimiento. Aplicación / Experiencias. Vigencia de la Tecnología
Alineación con Estrategia Tecnológica	Líder Selectivo. Seguidor Diferenciado. Comprador Inteligente. Seguidor Inteligente. Convenios Operativos. Estrategias del área
Capacidad de Satisfacer Requerimientos Operativos	Adaptable a casos en Estudio. Optimización del sistema. Eficiencia del sistema. Disponibilidad / Suplidores. Automatización.
Sinergias con Otras Tecnologías	Compatible: Yacimiento / Perforación / Instalaciones. Flexible (Modificable / Adaptable). Compatible con otros Sistemas.
Requerimientos de Aprendizaje y Nivel de Riesgo	Conocimiento / Preparación del Personal. Riesgo de Implantación. Riesgo / Accidentes. Asesoramiento Técnico. Posición ante el Cambio (rechazo, aceptación).
Impacto Ambiental	Normas Ambientales. Efectos / Niveles de Contaminación.
Valor Agregado Financiero	Valor Agregado Financiero.

Fuente: Araque Arcides, 1997. pág. 154

Todos los criterios específicos con altos valores o porcentajes tendrán un amplio peso en el momento de seleccionar cualquier tecnología con esta matriz, pero no olvidar que estos criterios están directamente relacionados a los pesos asignados a su correspondiente criterio general. Por ejemplo, ***Criterio Específico:*** Normas Ambientales (segundo peso más alto), esta atado al peso de su ***Criterio General:*** Impacto Ambiental y tendrá menor efecto en la evaluación que el criterio específico: Optimización del Sistema perteneciente al criterio capacidad de satisfacer requerimientos operativos, esto último tiene un mayor en la primera fase.

TABLA N° 6
PONDERACIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

CRITERIOS ESPECÍFICOS	VALORES PROMEDIOS		
	MAX.	MIN.	PESO
CONOCIMIENTO	50,00%	25,00%	32,82%
APLICACIÓN / EXPERIENCIAS	50,00%	20,00%	40,12%
VIGENCIA DE LA TECNOLOGÍA	35,71%	16,67%	27,06%
LÍDER SELECTIVO	31,58%	10,00%	22,28%
SEGUIDOR DIFERENCIADO	25,00%	9,52%	17,46%
COMPRADOR INTELIGENTE	19,23%	5,00%	13,81%
SEGUIDOR INTELIGENTE	25,00%	9,52%	15,71%
CONVENIOS OPERATIVOS	19,05%	0,00%	9,87%
ESTRATEGIAS	35,00%	14,29%	20,88%
ADAPTABLE AL CASO EN ESTUDIO	30,00%	5,00%	19,34%
OPTIMIZACION DEL SISTEMA	33,33%	10,00%	22,74%
EFICIENCIA DEL SISTEMA	30,00%	10,00%	17,15%
DISPONIBILIDAD / SUPLIDORES	22,73%	5,00%	15,80%
AUTOMATIZACIÓN	30,00%	18,18%	24,97%
INTEGRADO AL: YACIMIENTO / PERFORACIÓN / INSTALACIONES	40,00%	20,00%	30,91%
FLEXIBLE (MODIFICABLE / ADAPTABLE)	60,00%	33,33%	42,92%
COMPATIBLE CON OTROS SISTEMAS DE LA.	38,46%	16,67%	26,17%
CONOCIMIENTO / PREPARACIÓN DEL PERSONASL	27,27%	18,75%	23,62%
RIESGO DE IMPLATACION	23,81%	10,00%	17,62%
RIESGO / ACCIDENTES	19,05%	10,00%	15,72%
ASESORAMIENTO TÉCNICO	33,33%	20,00%	26,57%
POSICIÓN ANTE EL CAMBIO (RECHAZO - ACEPTACIÓN)	30,00%	6,67%	16,47%
NORMAS AMBIENTALES	55,56%	33,33%	45,56%
EFFECTOS / NIVELES DE CONTAMINACIÓN	66,67%	44,44%	54,44%
VALOR AGREGADO FINANCIERO	100,00%	100,00%	100,00%

Fuente: Araque Alcide, 1997. pág 156

Valores obtenidos en fases previas se procedieron a crear la siguiente matriz de evaluación tecnológica (Tabla N° 7), que servirá para efectuar una óptima selección cuando sea empleada.

PM: PISTÓN METÁLICO PL: PISTÓN LIFT

TABLA N° 7
MATRIZ DE EVALUACIÓN

	OPCIONES TECNOLÓGICAS						
	LAG	BM	BCP	BES	PM	BH	PL
MADUREZ							
CONOCIMIENTO							
APLICACIÓN / EXPERIENCIAS							
VIGENCIA DE LA TECNOLOGÍA							
ALINEACIÓN CON ESTRATEGIA TECNOLÓGICA							
LÍDER SELECTIVO.							
SEGUIDOR DIFERENCIADO.							
COMPRADOR INTELIGENTE.							
SEGUIDOR INTELIGENTE.							
CONVENIOS OPERATIVOS.							
ESTRATEGIAS.							
CRITERIOS GENERALES Y ESPECÍFICOS CAPACIDAD DE SATISFACER REQUERIMIENTOS OPERATIVOS							
ADAPTABLE A CASO EN ESTUDIO.							
OPTIMIZACION DEL SISTEMA.							
EFICIENCIA DEL SISTEMA.							
DISPONIBILIDAD / SUPLIDORES.							
AUTOMATIZACIÓN.							
SINERGIAS CON OTRAS TECNOLOGÍAS							
INTEGRADO: YACIMIENTO / PERFORACIÓN / INSTALACIONES							
FLEXIBLE (MODIFICABLE /ADAPTABLE).							
COMPATIBLE CON OTROS SISTEMAS DE L.A.							
REQUERIMIENTOS DE APRENDIZAJE Y NIVEL DE RIESGO							
CONOCIMIENTO / PREPARACIÓN DEL PERSONAL.							
RIESGO DE IMPLANTACIÓN.							
RIESGO / ACCIDENTES.							
ASESORAMIENTO TÉCNICO.							
POSICIÓN ANTE EL CAMBIO (RECHAZO A ACEPTACIÓN).							
IMPACTO AMBIENTAL							
NORMAS AMBIENTALES.							
EFFECTOS / NIVELES DE COMUNICACIÓN							
VALOR AGREGADO FINANCIERO							

Fuente: Araque Alcide, 1997. pág 160

Esta matriz disponible en una base de datos y el responsable del área se encargará de suministrar y exponer la metodología al equipo de **Especialistas**. Para esto es necesario una reunión en donde se entregará la consulta (cuestionarios de la MET, ver Anexo 3) y luego se analiza la información suministrada por personas involucradas en la selección, empleando el software: **EOT.XLS** que contiene los resultados de la fase anterior en la **Metodología de Evaluación**.

Es recomendable realizar distintas matrices de evaluación que se ajustan a las necesidades más frecuentes en las operaciones de la empresa y que ameritan de consenso para obtener una óptima solución. Estas matrices deberán ser incluidas en una base de Datos común junto con la matriz obtenida.

La aplicación de la matriz a necesidades específicas de Levantamiento Artificial dentro de las labores diarias de producción en la Empresa no se consideró en el planteamiento inicial del Trabajo de *Araque*. Sin embargo se dejaron sentadas las bases para su futura aplicación.

Para **optimizar la selección del método de Levantamiento Artificial** en los pozos de un área. El responsable del área será el encargado de efectuar el análisis y evaluación de las necesidades consolidando un equipo de trabajo y preparando los formatos para aplicar la consulta. Se dispone de una **Matriz de Evaluación** validada por Especialistas de la Empresa, lo cual significa la evaluación de cada opción.

APÉNDICE N°3

Análisis Método de Curvas de Valoración

El análisis de este modelo, se fundamenta en el diseño de una metodología que condujo al desarrollo de un Sistema Óptimo de Levantamiento Artificial. El programa de Selección de un *Sistema Óptimo de Levantamiento Artificial*, se desarrolló con la finalidad de suministrar al usuario, una herramienta de evaluación de los diferentes métodos de producción que son empleados comúnmente para el desarrollo de cualquier campo petrolero y lograr un mejor desempeño de los mismos.

Este programa explora zonas de aplicabilidad de ciertas variables en un determinado método de producción y ver como influyen estos cambios. El programa es una herramienta de aprendizaje y de soporte para la toma de decisiones, posee la particularidad al usuario de poder modificar ciertos criterios de acuerdo a su experiencia ó adelantos en el área, le permita incorporar nuevos criterios; con el objeto de dar una respuesta más acertada en la selección de un método en particular. El Programa está desarrollado bajo técnicas de programación más versátiles que proporciona el ambiente gráfico de windows 95 y windows 98.

En el trabajo de Silva¹¹, se presenta el Esquema de Selección Automática, Pantalla de Registros de Datos, Pantalla Aparte, Configuración del pozo / yacimiento, Pantallas de Datos Cualitativos, Esquema de Selección Manual, Pantalla modo Manual.

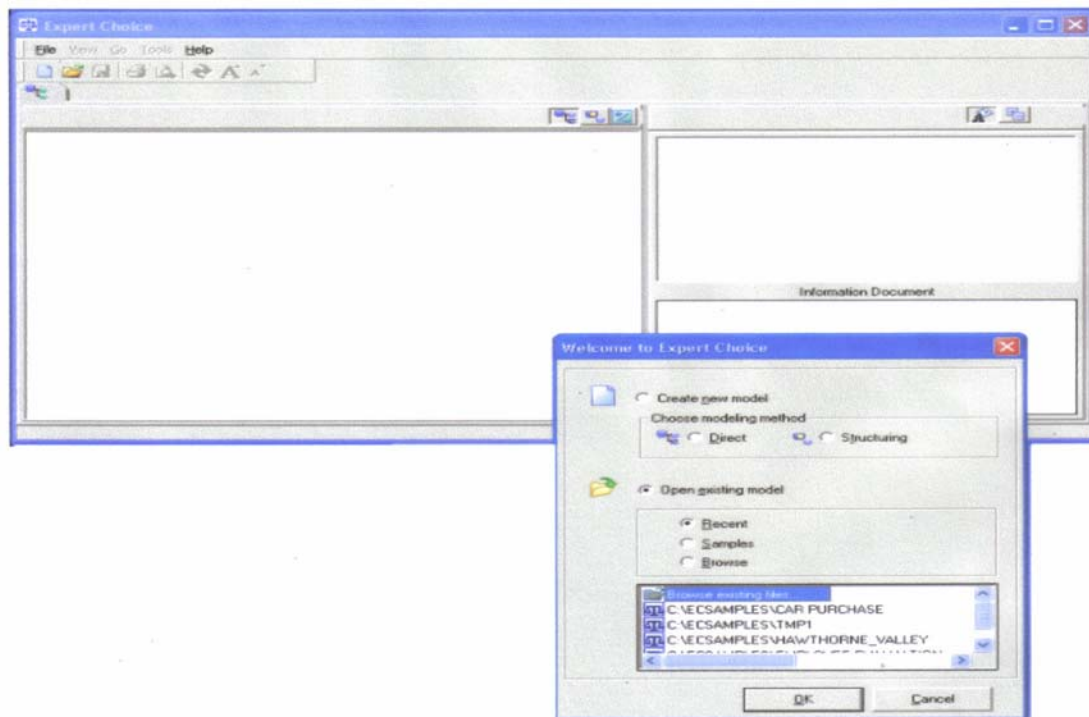
APÉNDICE N° 4

Creación de un Modelo con el Programa Expert Choice

Después de entrar en el programa de Opción Experta, comienza mostrando una caja de diálogo agradable con una ventana en blanco de **Model View** que consiste en tres formas en el fondo.

Para crear su modelo, eligiendo un punto de las vacantes, realiza los pasos siguientes:

- Con la recepción a la caja de diálogo de Opción Experta, se selecciona **Crear nuevo Modelo**.



Cuadro 21: Caja Diálogo de Opción Experta
Fuente: Programa Expert Choice

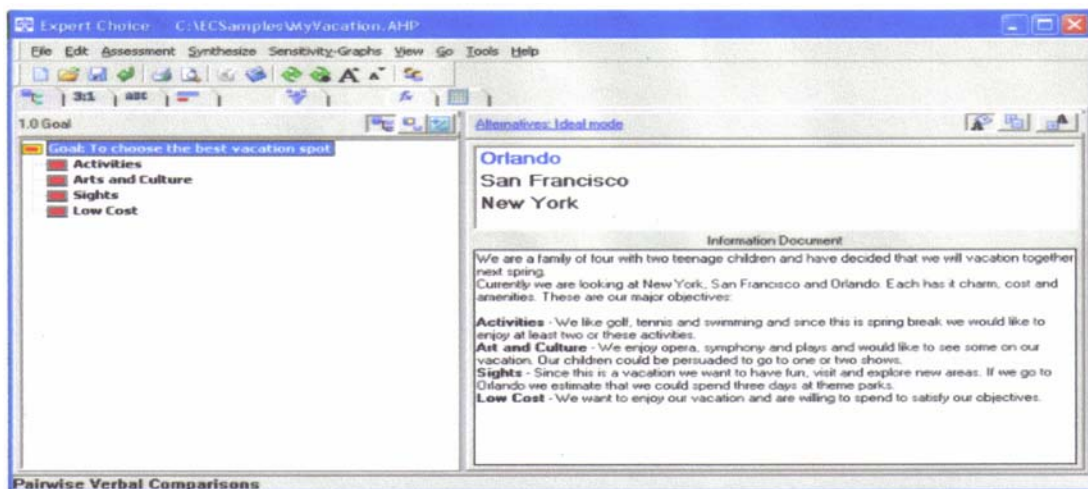
- Mecanografiar el nombre de su nuevo modelo tal como por ejemplo **Mis Vacaciones**, y seleccionar **Abierto**. Si desear seleccionar un diverso directorio navegar al directorio antes de incorporar el nombre modelo.
- Incorporar una descripción de su meta mecanografiando: **Elegir las mejores vacaciones**.
- Si usted hizo un error tipográfico, seleccionar **corregir, corregir el nodo**, o alternativamente, el derecho-tecleo en **la Meta** y el tecleo **corrigen nodo**. Entonces fijar su error y la presionar **Enter**.

Nota: Un nodo se define como elemento en la jerarquía que incluye una meta, objetivos y alternativas.

Visualización del Modelo

Cuando usted comienza la opción experta la primera ventana que aparece es una **Visualización del Modelo** en blanco. La **Visualización del Modelo** se divide en tres secciones importantes o partes.

- El **TreeView** (el parte izquierda) exhibe la **jerarquía**. El cuadro 22 muestra esto; aquí utilizamos el modelo de las vacaciones de la muestra.



Cuadro 22 - Modelo De las Vacaciones De la Muestra
Fuente: Programa Expert Choice

Por defecto, los nodos en la jerarquía con los niños (objetivos) son exhibidos al lado de rectángulos amarillos, y de nodos sin niños se exhiben al lado de rectángulos grises. Si un nodo tiene niños que no se han determinado, un punto rojo aparecerá en el centro del rectángulo. Cuando todos los objetivos en el TreeView se han determinado, los rectángulos son substituidos por los cuadrados que exhiben gráficamente la prioridad de cada objetivo.

- El portal de las alternativas (tapa-derecho) muestra las alternativas activas.
- El parte bajo-derecho exhibe el documento informativo, sí esta disponible, para el nodo (seleccionado) actual.(esta característica se explica en las clases particulares - lección 2 y en el Contenido y el Índice de la Opción Experta)

Nota: El aspecto del ModelView puede ser alterado teniendo acceso a las herramientas del comando de menú, opciones, visión.

Construir el modelo incorporando objetivos al TreeView

El cuadro 22, muestra un ejemplo de lo que parecerá su modelo. Para construir un modelo similar, usted insertará sus objetivos (criterios) para sus vacaciones. Sugerimos que usted limite el número de objetivos a cuatro. Usted puede ser que elija de objetivos tales como costo, clima, vida de la noche, compras, actividades recreacionales y facilidad de conseguir a la destinación de las vacaciones.

Si usted interrumpe el proceso antedicho, hacer clic un objetivo; después el teclee corrige, inserta otro igual al nodo actual para continuar incorporando objetivos en el mismo nivel que el nodo actual.

Tip: Para incorporar los secundario-objetivos para un nodo, clic un objetivo; después el tecleo corrige, inserta a niño del nodo actual. Para suprimir un nodo, el tecleo corrige, suprime nodo.

Incorporar las alternativas al parte de las alternativas

Mecanografiar la conocida alternativa, Orlando. Presiona **Enter**. Repetir el paso antedicho para entrar en San Francisco, entonces Nueva York.(hacer clic en el botón de la adición de la alternativa.) . Su modelo es completo ahora Seleccionando: **Archivo, Guardar**.

El paso siguiente en el proceso que modela es hacer los juicios / en comparaciones de parejas, para derivar las prioridades de los objetivos con respecto a la meta y para las alternativas con respecto a cada objetivo.

Crear un documento informativo para la meta

Seleccionar el nodo de la meta así que se destaca. Seleccionar el botón de la información  en la barra del botón. Mecanografiar una cierta información sobre la meta. Por ejemplo, "no he tomado vacaciones con mi familia en 2 años...." Usted puede copiar el texto de un archivo y pegarlo en el documento informativo. Usted puede también insertar cuadros y acoplamientos hiperactivos. Para más información, ver la ayuda en línea. Notar que el documento informativo ahora está coloreado .

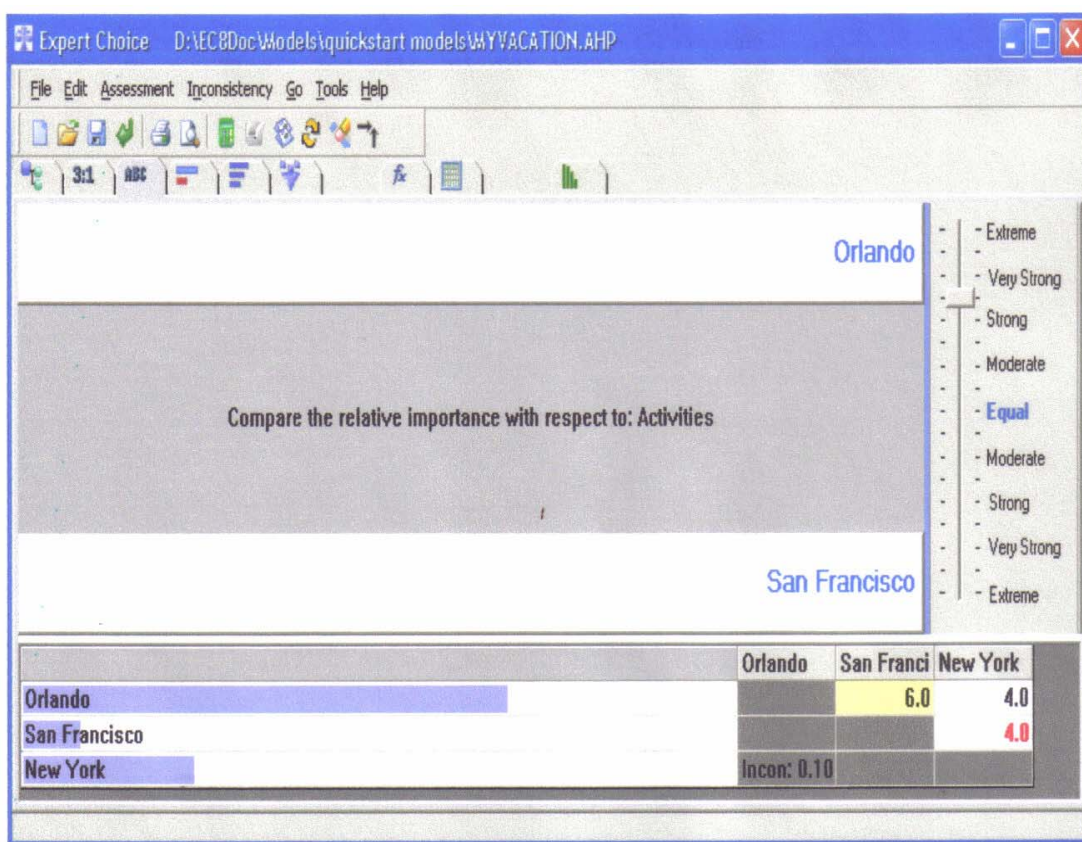
Nota: Usted puede crear los documentos informativos para cada objetivo, objetivos secundarios y alternativas en la jerarquía.

Fabricación de los juicios verbales para las alternativas

Usted puede hacer los juicios / en comparaciones de parejas, comenzando con la meta y el trabajo abajo a las alternativas (de arriba hacia abajo) o usted puede hacer juicios sobre las alternativas antes de hacer juicios sobre los objetivos (botón arriba). El acercamiento botón arriba ilustrado en esta guía rápida del comienzo, es generalmente mejor porque las penetraciones que usted gana sobre las

compensaciones entre las alternativas ayudará en la fabricación de juicios sobre la importancia de los objetivos.

Nota: Los juicios sobre la importancia relativa de objetivos, se hacen con respecto al nodo del padre en la jerarquía (la meta o un objetivo del nivel más alto). Los juicios sobre la preferencia relativa de alternativas se hacen con respecto a cada objetivo de la cubierta.



Cuadro 23 - La Ventana Verbal De la Comparación

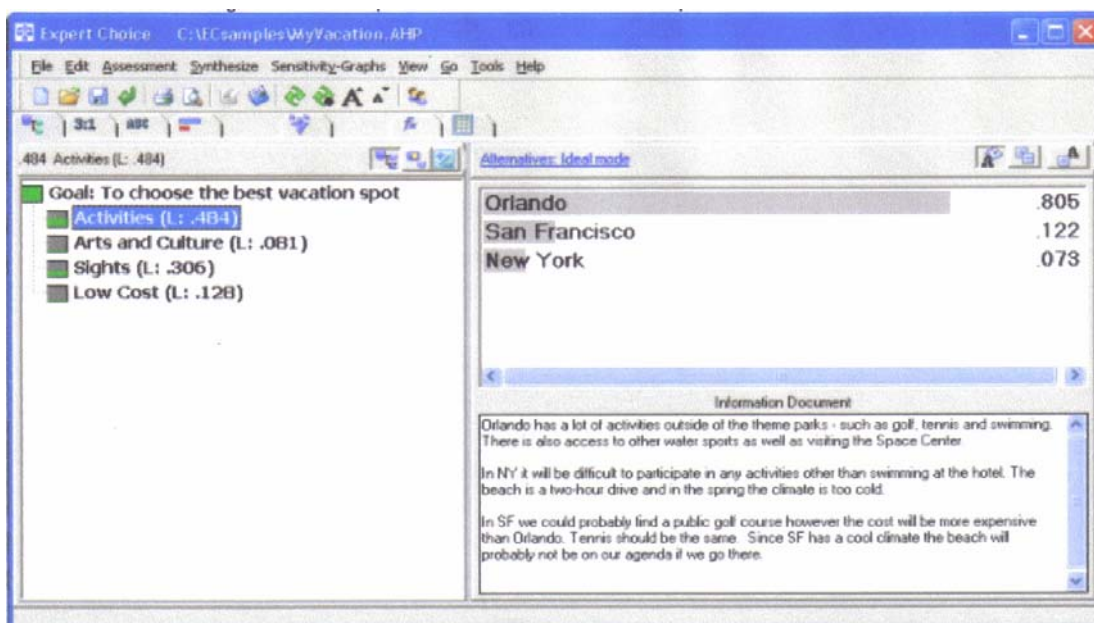
Fuente: Programa Expert Choice

Ahora seleccionar el juicio que describe lo mejor posible su sensación arrastrando el indicador verbal de la escala para arriba o abajo a la posición apropiada. El cuadro 23 muestra nuestro juicio; dice que Orlando está fuertemente a preferido muy fuertemente a San Francisco con respecto a actividades. Nota: Si usted prefiere San Francisco a Orlando, arrastrar el indicador abajo.

Tip: Las representaciones numéricas de los juicios exhibidos en negro en la matriz significan que el elemento de la fila está preferido al elemento de la columna. Los juicios mostrados en rojo indican que el elemento de la columna está preferido al elemento de la fila. Una representación numérica de un juicio no significa necesariamente que un elemento es preferido al otro por la cantidad numérica (véase el contenido y el índice de la opción experta para una explicación del significado de la escala verbal).

Prioridades Calculadas

Las prioridades para las alternativas con respecto a las actividades se han calculado y se exhiben automáticamente en la parte alternativa del ModelView. El cuadro 24 muestra nuestras prioridades para las alternativas con respecto a las actividades.



Cuadro 24 - Prioridades derivadas de las alternativas con respecto a las actividades

Fuente: Programa Expert Choice

Si las prioridades locales relativas que resultan no representan adecuadamente sus sensaciones, usted puede repetir en parejas el proceso de la comparación usando el modo verbal o cambiar al modo gráfico o numérico.

Para hacer esto, hacer clic en una de las tres en parejas de la comparación -



.Una vez que usted seleccione un modo que tenga la mayoría del sentido para usted, y utilizar que modo hacer todos los juicios para el sistema de la corriente de factores que son comparados.

Tip: Usted puede también calcular prioridades de cualquier modo apareado de la comparación haciendo clic en el botón del Calcular.  Se refiere a la Lección 1 de las clases particulares para más información sobre esta opción.

Fabricación de los juicios numéricos y gráficos para las alternativas

- Hacer clic en el objetivo de **Arte y Cultura**, y repetir el proceso del **Gravamen en parejas** , para continuar haciendo juicios verbales. Si está deseando, seleccionar otro  o  para hacer juicios usando uno de los otros modos.

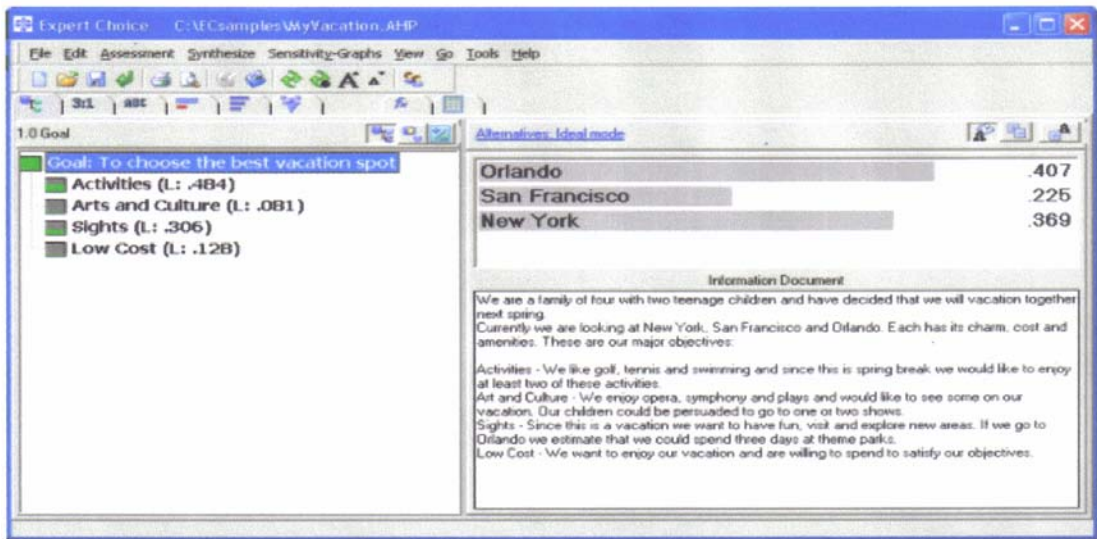
Nota: El modo numérico funciona en la manera similar al modo verbal. El modo gráfico funciona arrastrando su barra preferida de la comparación con el ratón.

Tip: Al comparar la preferencia con respecto a costos, la alternativa que cuesta menos es más preferible.

Nota: Usted puede derivar prioridades directamente de costos reales usando la Función para uso General de las Rejillas de los Datos, según lo descrito en las clases particulares o en el Contenido de la Opción Experta y el Índice.

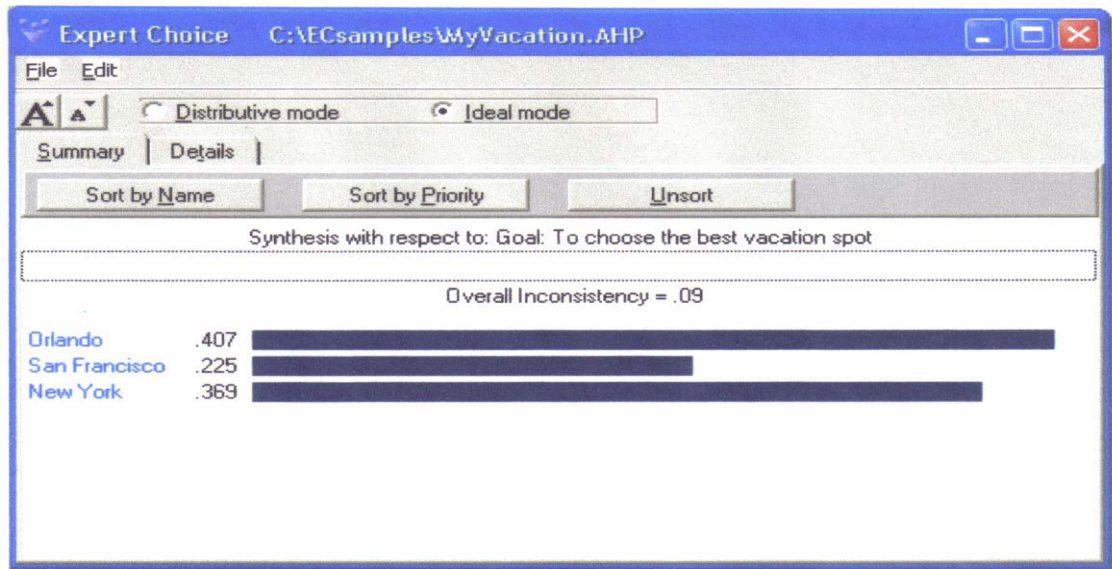
Sintetizar para conseguir resultados

Después de que todos los juicios en su modelo se hayan hecho y se han calculado las prioridades, una síntesis se realiza automáticamente. Cuando el foco se vuelve al ModelView las prioridades para las alternativas se demuestran en la parte de las alternativas; véase el cuadro 25. Las prioridades de los objetivos también se demuestran en el TreeView en forma gráfica y numérica.



Cuadro 25 - Resultados sintetizados con respecto a la meta
Fuente: Programa Expert Choice

Nota: Las jerarquías de la decisión con más niveles tendrán detalles adicionales. Los títulos de columna de la "Rejilla de los Detalles" se pueden arrastrar y caer en diversas posiciones para demostrar diversas vistas de los resultados. Si usted hace que una versión compatible de Microsoft sobresalga, usted puede utilizar el comando de la tabla del pivote del corregir de crear una tabla del pivote.



Cuadro 26 - Ventana De la Síntesis
Fuente: Programa Expert Choice

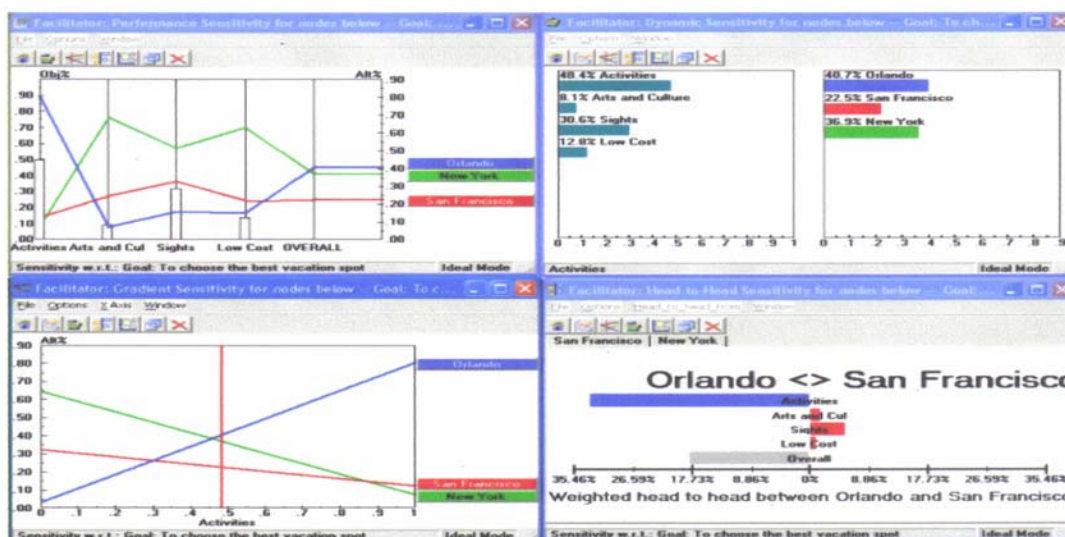
Modos ideales y distributivos de la síntesis

La diferencia en resultados obtenidos con los modos ideales o distributivos de la síntesis es generalmente insignificantes y más de teórico que interés práctico. El modo ideal de la síntesis es el defecto y debe ser utilizado, como en este caso, cuando usted está eligiendo una alternativa y realmente no cuida sobre las alternativas que usted no elige. Para más información sobre los modos ideales y distributivos, consultar el Contenido de la Opción Experta y el Índice.

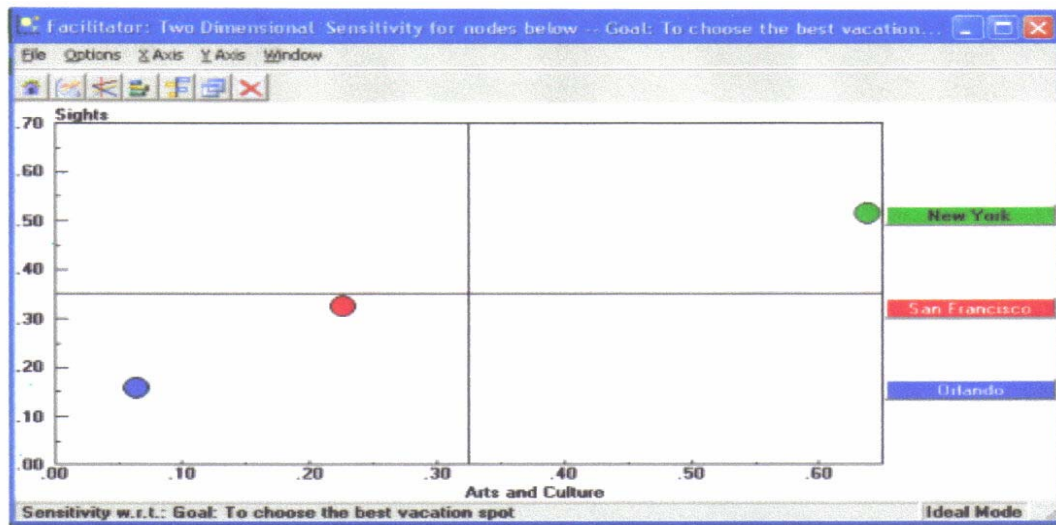
Usted es listo ahora examinar los análisis gráficos de la sensibilidad de sus resultados.

Análisis De la Sensibilidad

Los cinco análisis gráficos de la sensibilidad muestran cómo las prioridades de las alternativas cambian cuando las prioridades de los objetivos aumentan o disminuyen. Cuatro de los cinco análisis de la sensibilidad se muestran en el cuadro 27: Funcionamiento, dinámico, gradiente, y head-to-head. El cuadro 28 muestra el quinto análisis de la sensibilidad, diagrama de dos dimensiones.



Cuadro 27- Gráficos De la Sensibilidad: Funcionamiento, gradiente, dinámico y head-to-head
Fuente: Programa Expert Choice



Cuadro 28 - Diagrama De dos dimensiones

Fuente: Programa Expert Choice

Nota: Usted puede variar dinámicamente tres de cinco gráficos (dinámicos, funcionamiento y gradiente) arrastrando las barras del objetivo. Para más información sobre estos gráficos así como otros comandos no discutidos en la construcción de un modelo, haciendo en parejas comparaciones, sintetizando o realizando análisis de la sensibilidad, referir al Contenido de la Opción Experta y al Índice. La Lección 1 de las clases particulares también será provechosa.

Los Grados que Acercan a la Descripción

Si tuviéramos una gran cantidad de alternativas (posiblemente los centenares o los millares) a evaluar, no sería práctica hacer en parejas comparaciones de todas las alternativas. En lugar, un acercamiento de los grados se podría utilizar para clasificar las alternativas contra cierto uso definido de la(s) escala(s) usando las intensidades del radio de llamadas. Este proceso de clasificar alternativas contra intensidades, o los “estándares” se refiere a veces como ejecución de la medida absoluta.

Crear un modelo de Grados

El cuadro 29 muestra la rejilla de los datos  con las alternativas en las filas y la cubierta de los objetivos en las columnas. (para cambiar cómo los exhibidos de la Rejilla de los datos, usar el comando **de la opinión de herramientas** y referir al contenido y al índice de la opción experta.)

Expert Choice C:\ECsamples\WYVACATIONratings.AHP

File Edit Assessment View Go Plot Tools Formula Type Mapping Totals Help





	Ideal mode		Pairwise	Pairwise	Pairwise	Pairwise
AID	Alternative	Total	Activities (L: .484)	Arts and Culture (L: .081)	Sights (L: .306)	Low Cost (L: .128)
A1	✓ Orlando	.617	1.000	.101	.307	.240
A2	✓ San Francisco	.326	.120	.355	.635	.347
A3	✓ New York	.604	.347	1.000	1.000	1.000

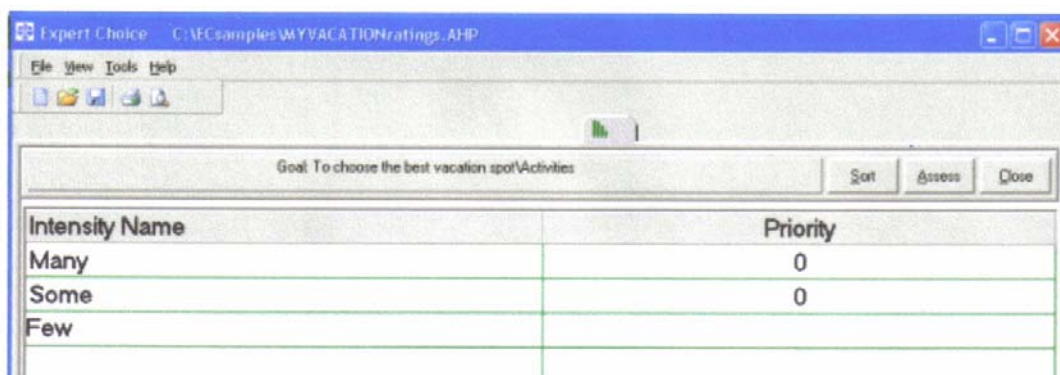
Cuadro 29 - Rejilla De los Datos
Fuente: Programa Expert Choice

Para definir Intensidades Del Grado

El cuadro 30 muestra que tres intensidades (muchas, algunas, y pocas) esas que se definieron para el objetivo de la cubierta, Actividades.

Tip: Es generalmente lo mejor, haber definido por lo menos cinco intensidades por factor para reflejar mejor una gama más amplia de preferencias.

Para la brevedad hemos definido solamente tres. Ahora se coloca el nombre de la intensidad, uno por fila. Ahora que usted ha definido una Fórmula de los grados e intensidades asociadas, se da la prioridad a las intensidades.



Cuadro 30 - Ventana De la Definición De las Intensidades De las Actividades
Fuente: Programa Expert Choice

Priorización de las Intensidades de los Grados

Ahora que usted ha incorporado la intensidad pasada de los grados a la ventana de la definición de los grados, haga clic en **Determina** para hacer parejas de comparaciones. En parejas le llevarán a uno de los tres modos de la comparación. Por ejemplo, si el modo pasado de la comparación usado fuera gráfico sería exhibida. Para seleccionar otro modo, seleccionar el icono apropiado. Después de hacer las comparaciones en parejas para las intensidades, le pedirán registrar sus juicios, haga clic en **sí**. Ahora se exhibirá la ventana de la definición de las Intensidades de los Grados de las prioridades derivadas. El cuadro 31 muestra nuestras prioridades derivadas. Entonces las nuevas prioridades serán mostradas.

Intensity Name	Priority
Many	1
Some	.271
Few	.123

Cuadro 31 - Prioridades de las intensidades de los grados para las actividades
Fuente: Programa Expert Choice

Alternativas del grado con intensidades de los grados

El cuadro 32 muestra una escala de la Intensidad de los Grados de la muestra en la Rejilla de los Datos. La escala está situada sobre el área de entrada de datos. Esta figura también muestra la información sobre las actividades objetivas.

Ideal mode			RATINGS			
AID	Alternative	Total	Activities (L: .484)	Arts and Culture (L: .081)	Sights (L: .306)	Low Cost (L: .128)
A1	✓Orlando	.617	Many	.101	.307	.240
A2	✓San Francisco	.445	.365	.355	.635	.347
A3	✓New York	.575	Few	1.000	1.000	1.000

Cuadro 32 - Intensidades de los grados de la muestra, mostradas en rejilla de los datos
Fuente: Programa Expert Choice

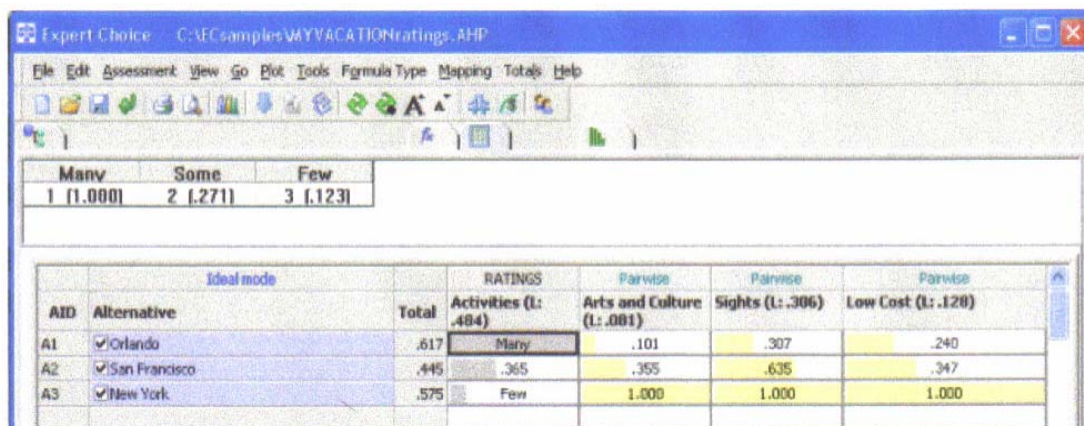
Tip: Para incorporar un valor entre dos intensidades, mecanografiar un valor decimal entre las dos prioridades demostradas en la Escala de Grados.

Nota: Se puede construir en la práctica un modelo que el grupo le permita si es aplicable. Después se hacen las comparaciones en parejas para cada uno objetivos, con respecto a la meta y, si es aplicable, se define la fórmula de cada objetivo de la cubierta tal como Grados. Entonces se clasificaría cada alternativa con respecto a su objetivo formula / standard.

Entender las intensidades de los grados acaba de entrar

Mirar las células en la Rejilla de los Datos donde usted acaba de incorporar grados. Las palabras representan el nombre de la intensidad, mientras que las barras representan la prioridad. Si usted incorporó un valor entre cero y uno o arrastró una barra, entonces la representación numérica es el valor incorporado.

El cuadro 33, igual al N° 32, muestra nuestras entradas. El grado entrado para Orlando fue hecho mecanografiando una "M" para Muchos, mientras que mecanografiamos una "F" para Pocos para Nueva York. El grado incorporado para San Francisco fue hecho arrastrando una barra en célula a la derecha.



Ideal mode			RATINGS			
AID	Alternative	Total	Activities (L: .484)	Arts and Culture (L: .081)	Sights (L: .306)	Low Cost (L: .128)
A1	✓Orlando	.617	Many	.101	.307	.240
A2	✓San Francisco	.445	.365	.355	.635	.347
A3	✓New York	.575	Few	1.000	1.000	1.000

Cuadro 33 - Intensidades de los grados de la muestra, mostradas en la Rejilla de los Datos
Fuente: Programa Expert Choice

Usted puede, por supuesto definir las fórmulas de los grados para las otras columnas de los objetivos de la cubierta. Usted puede también copiar fórmulas a partir de un objetivo que cubre a otro. (para más información, ver el Contenido y el índice de Opción Experta así como las clases particulares).

Global contra alternativas activas

Las **alternativas globales** refieren a todas las alternativas mostradas en la Rejilla de los Datos. Las alternativas se pueden suprimir solamente del modelo de la Rejilla de los Datos. Si usted desea incluir un subconjunto de las alternativas globales en la parte de Alternativas en ModelView, usted debe seleccionarlos y extraerlos. Las alternativas activas refieren al subconjunto de alternativas mostradas en la parte de las alternativas del ModelView. Cuando las alternativas se agregan al modelo, en la parte de las alternativas, se agregan automáticamente a la Rejilla de los Datos.

APÉNDICE N° 5 - *Índice de Inconsistencia (Saaty)*

El Índice de la inconsistencia no-cociente, se calcula para cada nodo, y es multiplicado por la prioridad del nodo, y sumado sobre el modelo entero. Un cálculo similar se hace para el Índice de la inconsistencia para los juicios al azar. El cociente total de la inconsistencia es el cociente de estas dos sumas cargadas.

Se ha demostrado, que para cualquier matriz las perturbaciones pequeñas en las entradas implican perturbaciones similares en los valores propios; así el problema del valor propio para el caso contrario es:

$$W = \lambda_{\max} W,$$

donde estará el $\lambda_{\max}$ cerca de n (realmente mayor que o igual a n) y otros λ s estarán cerca de cero. Las estimaciones de los pesos para las actividades pueden ser encontradas normalizando el vector propio que corresponde al valor propio más grande de la ecuación antedicha de la matriz.

El $\lambda_{\max}$ más cercano está a n , más constantes los juicios. Así la diferencia, $\lambda_{\max} - n$, se puede utilizar como medida de la inconsistencia (esta diferencia será cero para la consistencia perfecta). En vez de usar esta diferencia directamente, Saaty definió un índice de la consistencia como:

$$(\lambda_{\max} - n)/(n-1),$$

puesto que representa el promedio de los valores propios restantes.

Para derivar una interpretación exacta de la diferencia o del índice de la consistencia, Saaty simuló las comparaciones en parejas al azar para las matrices hasta incluir 9 factores, calcular los índices de la consistencia y llegando un índice medio de la consistencia para los juicios al azar, para cada matriz del tamaño. Él entonces definió el cociente de la consistencia como: el cociente del índice de la consistencia para un sistema particular de juicios, al índice medio de la consistencia para las comparaciones al azar para una matriz del mismo tamaño.

Forman mejoró más adelante en las simulaciones aumentando las simulaciones para las matrices hasta incluir 15 factores, aumentando el número de simulaciones para mejorar la exactitud, y también realizando casos de las simulaciones con juicios.

(los cocientes de la inconsistencia no se han computado para las matrices en gran parte de 15 x 15 puesto que se recomienda que los modelos de PAJ sean no más grandes de 7 más o menos 2 de tamaño).

Puesto que un sistema de juicios perfectamente constantes produce un índice de la consistencia de 0, el cociente de la consistencia también será cero. Un cociente de la consistencia de 1 indica la consistencia relacionada con la que sería alcanzada, si los juicios fueron hechos al azar. La opción experta también divulga un cociente total de la inconsistencia, que es un promedio cargado de los cocientes de la inconsistencia a través de un modelo.

ANEXOS

ANEXO N°1 - TABLA N° 18
CONSIDERACIONES GENERALES - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Costo Capital	Bajo a Moderado: Incrementa con la profundidad y la longitud de la Bomba.	Bajo: Incrementa con la profundidad y la magnitud de tasa de bombeo.	Relativamente bajo si está disponible el suministro eléctrico comercialmente. Incrementa costo cuando incrementa	Variado pero competitivo. Con el balancín. Para arreglo de pozo, Sistema Centralizado reduce los costos.	Competitivo con el Balancín. Costo se incrementa con el Horsepower.	Bajo Costo: Equipo de Subsuelo, pero alto costo en líneas de Flujos y Compresión de Gas. Se puede reducir con sistema Central.	Bajo Costo: Equipos de Subsuelo, pero alto costo en líneas de flujos y compresión de gas. Se puede reducir con sistema Central.	Muy Bajos: solo bajo costo por pozos en equipos si no requiere compresión.
Equipos de Subsuelo	Necesario un buen diseño de buenas prácticas operacionales. Beneficioso usar base de datos en fallas de Bombas y Cabillas. Necesario Buena selección operación y prácticas de reparación.	Necesario un buen diseño y buenas prácticas operacionales. Mayores problemas están en la selección más apropiada, del elastómero para el estator	Requiere cable propuo e3n adición a la bomba, sellos, etc. Esencial buen diseño de prácticas operacionales.	Esencial buenas practicas operacionales y propio tamaño de la Bomba. Requiere de fluido conductor de potencia, fluido libre o fluido de cierre como distintas operaciones.	Requiere de modelo com putacional para buen diseño. Tolerancia moderada a los sonidos en los fluidos de poder. Sin partes móviles en la bomba. Larga vida de servicio, simple proceso de reparación.	Esencial buen espaciamento y diseño de válvulas. Moderado costo de equipos de subsuelo (valv. Y mandriles). Operaciones en válvulas convencionales extrafibles con guaya o coiled tubing.	Descarga en fondo de válvulas de gas. Cambios considerables para altos IP y bajos Bhp.	Para la optimización hace falta muchos ajustes operacionales por pozo. Algunos problemas con pegues del pistón.
Eficiencia (HP hidraul. Salida /Hp hidraul. Entrada)	Excelente eficiencia total del sistema. Eficiencia total con la bomba llena cerca al 50 - 60 %, si el pozo no es sobre bombeado.	Excelente: Excede al mejor balancín en un caso ideal, eficiencias reportadas del 50 -70 %. Hace falta más data de campo.	Buena para pozos con altas tasas pero decrece significativamente para Q< 1000 bis / d. La eficiencia total del sistema esta alrededor del 50% en pozos Q> 1000 Bls/d, y menor a 40% si Q<1000 Bls/d	Buena a Excelente: no es bueno cuando la bomba a causa del RGL, fricción, y la camisa de la bomba. Eficiencia entre 30 - 40% con RGL, Muy altas a bajas RGL.	Buena a Pobre: Máxima Eficiencia solo 30%. Altamente influenciado por el fluido de potencia más el gradiente de producción. Eficiencia típica entre 10-20%	Buena: Incrementa para pozos que requieren en pequeñas RGL de inyección. Baja para pozos con alta RGL de inyección. Eficiencia típica de 20% pero un rango de 5 a 30%	Pobre: Normalmente requiere altas tasas de inyección de gas por barril producido. Eficiencia típica de levantamiento de 5 a 10% mejora con un pistón.	Excelente: para pozos fluyendo. No requiere energía de entrada porque usa la energía del pozo. Buena siempre que pequeñas cantidades de gas sean inyectadas.

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

TABLA N° 18 (continuación)
CONSIDERACIONES GENERALES - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Reciproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Flexibilidad	Excelente: pueden alternarse con la velocidad de embolada y la longitud, tamaño del pistón y tiempo de corrida del control.	Buena: se puede variar la velocidad Unidades Hidráulicas requieren de flexibilidad adicional pero incrementan los costos.	Pobre: Usualmente las bombas corridas son de velocidad fija. Requiere cuidado en la selección del tamaño. VSD mejoran la flexibilidad pero aumentan los costos, tiempo cíclicos normalmente evitados. Debe haber correctos tamaños de Bombas.	Buena/Excelente: puede variarse muchos las tasas de fluidos y la velocidad en fondo de la bomba. Numerosos tamaños de bombas/relación de motores disponibles y adptables a la producción y necesidades de profundidad.	Buena a Excelente: tasas de fluidos de poder y presión ajustables a condiciones de producción, capacidad de levantamiento. Selección de gargantas y boquillas de amplia gama de tallas de volumen y capacidad.	Excelente: variadas tasas de inyección de gas para diferentes tasas de producción. Necesidades de tuberías para diferentes tamaños correctamente.	Buena: Debe ajustarse a los tiempos de inyección y las frecuencias de los ciclos.	Buena: para pozos de bajo volumen. Puede ajustarse los tiempos de inyección y frecuencia.
Problemas Misceláneos	Prensa estopas puede filtrarse ensuciando y suendo potencial riesgo (se dispone de prensa estopas anticontaminantes)	Muy limitado servicios en algunas áreas. Por ser un método reciente, tiene poca experiencia y conocimiento de campo.	Requiere alto consumo eléctrico. Método sensitivo a cambios en las tasas.	Esencial control de sólidos en fluidos de poder. Capacidad máxima de tolerancia de 15 ppm de partículas y diámetro de 15 u.m. Necesidades de usar surfáctantes y agentes lubricantes. Requiere de triple pistón para control de fugas.	Más tolerancia a las partículas en fluidos de poder (200 ppm y 25 u.m) Requiere diluyentes, acepta contaminación con agua de formación si se usa agua como fluido de poder.	Una gran seguridad de compresión es requerida de 95% o más tiempo de corrida. El gas debe estar deshidratado y dulce.	Necesidad delabor intensiva para obtener una buena sincronización. Además de pobre comportamiento, requiere de medición y control de gas de inyección, para mantener estable la inyección.	Pistón complejo o pega del mismo son principales problemas

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

ANEXO N°1 - TABLA N° 18
CONSIDERACIONES GENERALES - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Costo Operacional	Muy bajo en yacimientos de mediana profundidad (<7500 pies) y en tierra menos productiva (<400 Bpd)	Potencialmente bajo, pero muy corto período de vida útil reportados en estator y rotor.	Variado. Si el HP es alto, será alto el costo de energía. Altas paradas resultan en costos altos para la corta vida útil. Altos costos de reparación de otros equipos de fondo.	Muchas veces altos para las bombas, regular para el resto del sistema. Corta vida útil incrementa los costos totales de equipo.	Alto dependiendo del HP requerido. Bajo en mantenimiento de bombas, costos relacionados con el tamaño de la garganta y las boquillas.	Costos bajos por pozo, costo de compresión dependerá del costo del combustible y mantenimiento del compresor. La llave es inyectar lo más bajo posible con la óptima RGL.	Costo bajo por pozo, costo de compresión dependerá del costo del combustible y mantenimiento del compresor. La llave es inyectar lo más bajo posible con la óptima RGL.	Usualmente Bajo.
Valor de Salvamento	Excelente rápidamente movable y buen mercado para el equipo usado.	Bueno / Pobre: fácilmente movable y algunas corrientes de mercados de equipos usados.	Bueno: algunos se dan como pago de su valor. Mercado abierto a estos valores.	Bueno: mercado para la triple bomba. Buen valor para el sistema del pozo que puede ser movido fácilmente.	Bueno: fácil de remover algunos se dan como pago de su valor. Buen mercado para la triple bomba.	Buen mercado para un buen compresor usado y algunos se dan como pago por valor como mandriles y válvulas.	Buen mercado para un buen compresor usado y algunos se dan como pago por valor como mandriles y válvulas.	Bueno: algunos se dan pago por su valor. Mercado abierto a estos valores.
Confiabilidad	Excelente: tiempo de corrida eficiente >95% con buenas prácticas profesionales y seguimientos de corrosión, asfáltenos, parafinas, sólidos, desviaciones, etc., son controlables.	Bueno: normalmente sobre bombeo y la inexperiencia disminuye con las corridas.	Variado: excelente para casos ideales de levantamiento. Pobre para los problemas de campo. Muy sensitivo a la temperatura de operación y mal funcionamiento eléctrico.	Bueno para el correcto diseño y sistemas operacionales. Los problemas o cambios de condiciones en el fondo reducen la fiabilidad de la bomba. Frecuentes demoras resultan de los problemas operacionales.	Buena con un apropiado tamaño de garganta y boquillas de la bomba para las condiciones de operación. Debe evitarse operar en rangos de cavitación en la garganta de la Bomba. Problemas para presiones mayores a 4000 Ipc.	Excelente para sistemas de compresión bien diseñados y con buen mantenimiento.	Excelente si existe una adecuada fuente de inyección de gas y una baja presión para el almacenamiento del volumen de gas para la inyección. El sistema debe estar diseñado para flujo no estable de las tasas de gas.	Buena para pozos de producción estable.

Fuente: Clegg, Rucaran v Hein Jr

ANEXO N°1 - TABLA N° 18
CONSIDERACIONES GENERALES - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional	Bombeo Cavitación Progresiva	Bombeo Electrosomergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Sistema Total	Procesos de diseño y operaciones sencillos y básicos siguiendo las prácticas y recomendaciones API. Cada pozo es un sistema individual.	Siempre instalar y operar. Limitado en cuanto a especificaciones de diseño, instalaciones, operaciones y procedimientos. Cada pozo es un sistema individual.	Fácil y simple de diseñar pero requiere de gran cantidad de buenos datos. Sistema no perdurable, pues requiere de excelentes prácticas operacionales. Seguir recomendaciones prácticas en diseño, pruebas y operaciones según API. Típicamente cada pozo es un sistema individual usando un sistema eléctrico común.	Sistema simple manual o computarizado es típicamente usado, la bomba libre es de fácil mantenimiento. Pozos con unidades individuales son muy flexibles pero suma costos. Requiere atención y seguimiento. Planta Central es más compleja, usualmente resulta en pruebas de tratamiento de problemas.	Programa de computación es típicamente usado, programa de diseño. Procesos básicos de operación son necesarios para la bomba de subsuelo y la unidad de pozo. Bomba libre fácilmente retráctil sirve para dar servicios fuera o reemplazarla. El jet en el fondo del pozo a menudo requiere pruebas de ensayo y error para colocarlo en óptimo / mejor jet	Es necesario una fuente de gas de adecuado volumen, presión, seco, no corrosivo y limpio durante toda la vida del sistema. Necesario un enfoque del sistema. Baja contrapresión es beneficiosa. Es necesaria buena data para el diseño y espaciamiento de las válvulas. Se pueden seguir las recomendaciones las prácticas operaciones, pruebas y especificaciones API.	Es necesario una fuente de gas de adecuado volumen, presión, seco, no corrosivo y limpio durante toda la vida del sistema. Necesario un enfoque del sistema. Baja contrapresión es beneficiosa. Es necesaria buena data para el diseño y espaciamiento de las válvulas. Se pueden seguir las recomendaciones las prácticas operaciones, pruebas y Especificaciones API	Sistemas o pozos individuales. Simple para el diseño, instalación y operación. Se requiere de ajuste y mantenimiento del pistón.

Fuente: Clegg, Rucaran y Hein Jr

TABLA N° 18 (continuación)
CONSIDERACIONES GENERALES - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Usos/ Perspectivas	Excelente: usado cerca del 85% de los pozos de la LA en USA. Es el método estandar de Levantamiento Artificial.	Limitado a pozos en yacimientos con bajas tasas de producción. tan solo en 0,5% de los pozos de Usado principalmente en desagüe de pozos de gas.	Un excelente método de levantamiento en pozos de altas tasas. Mejor en pozos con <200 °F y las tasas >1000 Bpd. Mas usado en pozos con altos cortes de agua. Usado tan solo en 4% de los pozos levantados en USA	Sistema de Levantamiento muchas veces usado por defecto. Operaciones Flexibles, Manejo de un ancho rango de tasas. Aplicable a pozos relativamente profundos, de alto volumen, alta temperatura, y pozos desviados. Usado solo en >2% de los pozos de USA	Buena para pozos que requieren levantar altos volúmenes de fluidos, además de ofrecer de operaciones. Sistema tolera altos rangos de profundidad, altas temperaturas, fluidos altos RGL, y producción de arena. Usado en >1% de los pozos levantados en USA. Algunas veces usados para pruebas de pozos conta afuera que no fluyen.	Bueno, Flexible, para altas tasas, sistema LA usado en pozos con alta presión de fondo. El más parecido al natural de los pozos. Usados cerca del 10% de los pozos levantados en USA, mayoritariamente costa afuera.	Muchas veces usado como método de LA por defecto de sustitución del balacín del gas Lift continuo, en pozos de bajas tasas. Usado en <1% de los pozos de USA.	Esencialmente un método para bajas tasas de líquidos y altas RON. Puede ser usada para extender la vida del pozo o incrementa eficiencia. Amplios volúmenes de gas y /o presiones son necesarios para una operación exitosa. Usado en <1% de los pozos levantados en USA.

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

ANEXO N° 2 - TABLA N° 19
CONSIDERACIONES NORMALES DE OPERACIÓN - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo ElectrosumergibU-	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Limitaciones de Revestidores (Restricciones de Tubería)	Problemas solo para altas tasas, los pozos requieren largos barriles en las bombas. Pequeños tamaños de revestidores (4,5 y 5,5 pulg) pueden limitar la separación del gas libre.	Normalmente sin problemas para revestidores de 4,5 pulg. Ni de tamaño. El problema esta en los separadores de gas que están limitados.	El tamaño del revestidor puede limitar el uso de largos motores y bombas. Evitar pequeños. Dentro de los revestidores de 5,4 pulg, se reduce el comportamiento dependiendo de la profundidad y la tasa.	Se requieren grandes revestidores para el uso de una tubería paralela para el sistema libre o cerrado. Pequeños casing pueden ser necesarios cuando se usan dobles sarts.	Pequeños diámetros de Casing ofrecen limitantes a la tasa de producción debido a altas pérdidas por fricción. Grandes Casing pueden ser necesarios cuando se usan dobles sarts.	Revestidores de 4,5 y 5,5 pulg con eductor de 2 pulg limita las tasas <1000 Bpd. Para tasas >5000 Bpd. Se usa Casing >7 pulg y tuberías de producción >3,5 pulg.	Casing de diámetro pequeño (4,5 a 5,5 pulg) no representan ningún problema para este método de bajo volumen.	Casing de diámetro pequeño, son adecuados para este método de bajo volumen. El anular debe tener capacidad de almacenar cierto volumen de gas.
Limitaciones de Profundidad	Bueno: La profundidad puede ser limitante en las cabillas y la estructura. En efecto para 500 Bpd. Cerca de los 7500 pies, y 150 Bpd cerca de los 15000 pies.	Pobre: Limitado solo para yacimientos poco profundos posiblemente 5000 pies.	Usualmente limitado a los HP del motor o la Temperatura. Profundidad prácticas cerca de los 10000 pies.	Excelente: limitado sólo por la presión del fluido de poder (5000 Ipc) o el HP bajo volumen / alto poder de levantamiento se requiere en la bomba del cabezal para profundidades cercanas a los 17000 pies.	Excelente: similar al sistema de bombeo reciprocante. Profundidad práctica 20.000 pies.	Controlado por el sistema de inyección de presión y las tasas de fluido. Típicamente, para 1000 Bpd con eductor 2,5 pulg. 1440 Lpc. de presión de levantamiento y ROL de 1000 Pc/Bl, tendrá una profundidad de inyección de 10000 pies.	Usualmente limitado por el deslizamiento ("Fallback") algunos pozos > 10000 pies.	Típicamente superior a los 10000 pies

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

TABLA N° 19 (continuación)
CONSIDERACIONES NORMALES DE OPERACIÓN - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	GAS LIFT		
						Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Capacidad de Admisión (Entrada)	Excelente <25 Ipc puede proveer un adecuado desplazamiento y admisión de gas. Típicamente cerca de 50 a 100 Ipc.	Bueno: <100 Ipc, provee un adecuado desplazamiento y admisión de gas.	Regular: si existe poco gas libre (ej. 250 Ipc en la presión de admisión) Pobre si la bomba maneja más de >5% de gas libre.	Regular: no tan bueno como la de cabillas. Presión de admisión <100 Ipc usualmente resulta en frecuentes reparaciones de bomba. El gas libre reduce la eficiencia y la vida útil de la bomba.	Pobre a regular: >350 Ipc para 5000 pies con baja RGL. Típicamente el objetivo del diseño es de 25% de sumergencia.	Pobre: restringida por el gradiente de gas fluido levantado. Típicamente las tasas moderadas están limitadas alrededor de 100 Ipc / 1000 pies de profundidad de inyección. Así, la contrapresión en pozos de 10000 pies puede ser >	Regular: cuando se usa sin cámara de acumulación. PIP >250 para pozos de 1000 pies. Buena cuando se usa cámara de acumulación. PIP<250 Ipc, son posibles para pozos de 1000 pies.	Buena: presión <150 Ipc para 10000 pies en pozos de baja tasa, y alta RGL.
Niveles de Ruido	Regular: moderadamente alto para zonas urbanas.	Bueno: solo las partes móviles de superficie provocan ruido.	Excelente: bajo ruido. Muchas veces preferiblemente en zonas urbanas si se van a producir altas tasas.	Bueno: bajo ruido por pozo. Sólo la unidad de poder de fluido puede hacer poco ruido.	Igual al sistema convencional (balancín)	Bajo el pozo pero alto en el compresor.	Igual al flujo continuo.	Bajo.
Inspección	Excelente: puede analizarse fácilmente basado en pruebas de pozos, nivel de fluido, etc. Análisis mejoran con el uso de dinamómetros y computadoras.	Regular: análisis basados sólo en producción y niveles de fluidos. No es posible usar dinamómetros y cartas de apagado de bombas.	Regular: Chequeos con equipos eléctricos, pero deben ser revisados utilizando equipos especiales.	Bueno Regular: el comportamiento de la bomba de fondo puede ser analizado con comportamiento en superficie de la tasa de fluido de poder y la presión, velocidad y la tasa de producción. La presión de fondo se obtiene con una bomba libre.	Bueno regular: el comportamiento de la bomba de fondo puede ser analizado con comportamiento en superficie de la tasa de fluido de poder y la presión, velocidad y la tasa de producción. La presión de fondo se obtiene con una bomba libre.	Bueno a Excelente: Puede ser analizada fácilmente con la presión de fondo del perfil de producción fáciles de obtener. Se pueden considerar optimización y automatización con procesadores.	Regular complicado por la válvula fija y resbalamiento.	Bueno: depende en buena parte de las pruebas de pozo y análisis de las cartas de presiones.

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

TABLA N° 19 (continuación)
CONSIDERACIONES NORMALES DE OPERACIÓN - LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Flexibilidad en fuente de poder	Buena: Máquinas o motores pueden ser usados fácilmente (motores más seguros y flexibles)	Bueno: ambos motores pueden ser usados.	Regular: requiere de buena fuente de poder sin picos o interrupciones. Altos voltajes pueden reducir las	Excelente: Puede encender los motores o maquinarias con motor eléctrico, de gas, o	Excelente: motores, turbinas y máquinas pueden ser utilizadas para la compresión.	Bueno: motores, turbinas y máquinas pueden ser utilizadas para la compresión.	Bueno: motores, turbinas y máquinas pueden ser utilizadas para la compresión	Normalmente no se requiere de esto
Tiempo cíclico y Aplicación de controladores (apagado de bomba)	Excelente: si el pozo puede ser bombeado fuera.	Pobre: evitar cierres en altas viscosidades / producción de arena.	Pobre: arranque flojo, y posibles sellos / protectores son recomendables.	Pobre: posible pero no es normalmente usado. Controlado usualmente solo por controladores	Pobre: este no puede ser aplicable debido a los altos requerimientos de presión de admisión.	No aplicable.	Pobre: los ciclos deben ser periódicamente ajustados. Complicado y laborioso.	No aplicable.
Nivel de Obstrucción	Tamaño y Operación son una desventaja en áreas populosas y de agricultura. Unidades especiales de pequeños perfiles	Bueno: equipos de superficie de bajo perfil.	Bueno: bajo perfil pero requiere de banco de transformadores en superficie. Estos pueden causar problemas en zonas urbanas.	Regular a pobre: Equipos de cabezal de bajo perfil. Requiere equipos de superficie para tratamiento y altas presiones.	Regular a pobre: Equipos de cabezal de bajo perfil. Requiere equipos de superficie para tratamientos y de altas	Bueno de bajo perfil, pero los compresores causan problemas. Medidas de seguridad deben ser tomadas para las líneas de alta presión.	Bueno de bajo perfil, pero los compresores causan problemas. Medidas de seguridad deben ser tomadas para las líneas de alta presión.	Bueno.
Pruebas	Buena: Las pruebas de los pozos son sencillas con pocos problemas con el uso de equipos y procedimientos estándares disponibles.	Buena: pruebas de pozos sencillas con pocos problemas.	Buena: Simples con pocos problemas. Para altas tasas de crudo con alto corte de agua se requiere de un despojador de agua libre en la superficie.	Regulares: Las pruebas de pozos con unidades individuales por pozos presentan pocos problemas, con sistema central más complicado, son necesarias buenas mediciones de fluidos de poder.	Similar al sistema hidráulico. Pruebas de producción de tres etapas pueden conducir por ajuste a las tasas de producción medidas, presiones grabadas en sitio sirve para monitorear las presiones de admisión	Regular: Pruebas de pozos complicadas por el volumen de gas de inyección / la tasa. La ROL de formación se obtiene por sustracción del total de producción y la intentada. La medición del gas es un error común	Pobre: son complicadas las pruebas de pozo por volumen de inyección de gas / la tasa. La medición de ambas tasas a la entrada y a la salida es un problema. El Flujo intermitente puede causar problemas en los separadores.	Es sencillas con pocos problemas.

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

ANEXO N° 3 - TABLA N° 20
CONSIDERACIONES DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavity Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Reciproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Capacidad de Manejar Parafinas	Regular a Bueno: es posible usar tratamientos de agua/petróleo caliente o mediante el uso de raspadores, pero esto incrementa los costos y los problemas de operación.	Regular: se puede necesitar tratamiento en el eductor. Las cabillas con raspadores no se pueden utilizar. En bombas desasentadas se puede circular fluido caliente.	Regular: tratamiento con agua / petróleo caliente se pueden usar, igual que cortadores y baches de inhibidores.	Bueno a Excelente: circular caliente en el fondo del pozo para minimizar la acumulación. Cortadores mecánicos e inhibidores.	Bueno a Excelente: circular caliente en el fondo del pozo para minimizar la acumulación. Cortadores mecánicos e inhibidores.	Bueno: muchas veces requieren cortadores metálicos. La inyección de gas puede agravarse con estos problemas.	Bueno: muchas veces requieren metálicos. La inyección de gas puede agravarse con estos problemas.	Excelente: corta y remueve pequeños depósitos de parafina.
Habilidad para Manejo de Sólidos / Arenas	Pobre / Bueno: para bajas viscosidades de crudos (<10 Cps). Altas viscosidades (>200 cps) mejora el comportamiento de la bomba. Puede ser visible el manejo de hasta 0,1 % de arena con bombas especiales.	Excelente: por encima de 50% de arena con crudos de altas viscosidades (>200 cps). Disminuye hasta <10% de arena cuando hay agua en producción.	Pobre: requiere <200 ppm de sólidos. Mejora variando la resistencia de abrasión de los materiales pero incrementa los costos.	Pobre: requiere <10 ppm de sólidos en fluidos de poder para mantener aceptable el tiempo de vida útil. Puede manejar fluidos que tengan más sólidos (<200 ppm de 15 u.m de partículas) para un tiempo razonable de vida. Uso de agua fresca en la inyección puede evitar los problemas de acumulación de sal.	Regular/ Buena: Los Jet pueden operar con 3% de arena en la producción de fluidos. La unidad de la Bomba Jet puede tolerar 200 ppm de 15 nm de tamaño de partículas. Uso de agua fresca en la inyección puede evitar los problemas de acumulación de sal.	Excelente: por el influjo y los problemas de superficie. Típicamente el límite desde 0,1% de arena para el influjo y el equipo de superficie.	Regular: la válvula fija puede tener problemas.	La arena puede causar pegas del pistón; sin embargo el pistón puede limpiar el tubing.

Fuente: Clegg, Bucaran v Hein Jr

TABLA N° 20 (continuación)
CONSIDERACIONES DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Reciproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Limitaciones de Temperatura	Excelente: corrientemente operaciones (550 °F)	Regular: limitado por el elastómero del estator. Se usa por debajo de 250 °F,	Limitado por debajo de 250 °F para estándar y >350 °F para motores y cables especiales.	Excelente: materiales estándares más 300 °F y para materiales es posible alcanzar más de 500 °F	Excelente: posible para temperaturas >500 °F con materiales especiales.	Excelente: típicamente el valor máximo es de alrededor de 350 °F. Es necesario conocer la temperatura para diseñar por debajo de las válvulas de descarga.	Excelente: típicamente el valor máximo es de alrededor de 350 °F. Es necesario conocer la temperatura para diseñar por debajo de las válvulas de descarga.	Excelente.
Capacidad para Manejar Fluidos Altamente Viscosos	Buena: Para fluidos <200 cps a bajas tasas (400 Bpd). Cabillas sufren problemas por las altas tasas. A altas tasas se requiere diluyente para disminuir la viscosidad.	Excelente: para fluidos con altas viscosidades, elastómero no presenta con el elastómer / rotor.	Pobre: límite cercano a los 200 cps. Se incrementa HP y se reduce el Una solución potencial es el uso.	Bueno: posible aplicación para crudos de >8 "API y < 500 cps. El fluido de poder puede ser usado como fluido diluyente para reducir la viscosidad de producción.	Bueno / Excelente: Es posible producir por encima de 800 cps. Fluido de Poder a base de petróleo >24 "API y <50 cps y el uso de agua como fluidos de poder reduce las pérdidas por fricción.	Regular: poco problemas para crudos > 16 "API o viscosidades menores a 25 Excelente crudos viscosos con altos cortes de agua.	Regular: poco problemas para crudos > 16 "API o viscosidades menores a 25 Excelente crudos viscosos con altos cortes de agua.	Normalmente aplica.
Capacidad para Levantar Altos Volúmenes	Regular: para estar restringido yacimientos usando largos pistones. Tasa máxima cercana a 4000 Bpd. Para 1000 pies y 1000 Bpd para 5000 pies.	Pobre: para tasas relativamente pequeñas. Posiblemente Bpd. Para 2000 pies y 200 Bpd. Para 5000 pies.	Excelente: a las necesidades de HP, y estos pueden estar restringidos al diámetro del revestidor. Para diámetros de 5,5 pulg. Se puede producir 4000 Bpd para 10000 pies con 3500 Ipc en el sistema.	Bueno: limitado por el tubular y los FIP. Típicamente 8000 Bpd. Para 4000 pies y 1000 Bpd. Para 10000 pies con 3500 Ipc en el sistema.	Excelente por encima de los 15000 Bpd. Para una adecuada presión de fluyente, tamaño de la tubería y los HP.	Excelente: restringida al tamaño del tubing, tasa de inyección y profundidad. Dependen de la presión de yacimiento y el índice de productividad (IP), tasa de 5000 Bpd. A 10000 pies y tubería de 4 pulg.	Pobre: limitado el volumen de los ciclos y el número de ciclos. Típicamente cerca de 200 BFPD para 10000 pies con <250 Ipc de presión de admisión.	Pobre: limitado número de Posiblemente BFPD para pies.

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

TABLA N° 20 (continuación)
CONSIDERACIONES DE LEVANTAMIENTO RTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Reciproco	Bombeo Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Capacidad de manejar bajo Volumen	Excelente: es método más para levantar con baja producción < 100 BFPD.	Excelente: pozos someros producen BFPD sin Off' (controlador)	Generalmente debido a las eficiencias v costos de para tasas <400	Regular: no bueno como Balancín. Típicamente de 100 300 Bpd. Para 4000 10000 pies de profundidad: para >75 Bpd. Para 12000 pies.	Regular: >200 Bpd. Para los 4000 pies.	Regular: limitado el cabeceo v deslizamiento. rangos de inestable. Típicamente a 200 Bpd. Eductores de 2 pulg sin cabeceo. Bpd. Para 2,5 Pulg 700 Bpd para 3 de diámetro.	Bueno: limitado la eficiencia v límite típicamente de Vi a B/ciclo. con promedio de ciclos por día.	Excelente: para tasas de fluio. de 1 a 2 BFPD con una ROL.
Habilidad para Manejar Corrosión / Escamas	Bueno a tratamientos baches inhibidores en anular son para el control de la corrosión v depósitos escamas.	Bueno: es usar tratamientos baches inhibidores del anular.	Regular: baches tratamiento inhibidores solo baja admisión utilizados.	Bueno / baches o de manera continua se usar tratamiento inhibidores junto fluido de poder para un control efectivo.	Bueno / inhibidores con fluido de mezclados a fluidos producidos la entrada de bomba jet. iusto en la boquilla. posible tratamiento baches en el anular.	Bueno: es usar inhibidores en gas de inyección en baches dentro eductor. Aumentándolos evitar la corrosión las líneas inyección.	Bueno: es usar inhibidores en gas de inyección en baches dentro eductor. Aumentándolos evitar la corrosión las líneas inyección.	Regular: los normales producción ser para tratamientos baches de inhibidores.
Hoyos Desviados	Regular: incrementan problemas en camisas v esfuerzos. En altamente (>70°) v es producirlos este método. éxitos se obtenido con en 15° / 100 pies el uso de guías centralizadores en cabillas.	Pobre a regular: se incrementa problemas de v los Comúnmente. pocas conocidas.	Buena: problemas. Experiencia en horizontales. requiere de radios de para lograr bajar la bomba.	Excelente: si tubería puede corrida dentro del pozo. bomba pasa a través del tubing. Uso "Bomba Libre". sujeta a la tubería. posible usarlo pozos horizontales.	Excelentes: jet cortas pueden introducidas a de la curvatura superior a 24° / 100 pies en eductores 2 pulg. En condiciones de Bomba recíprocante.	Excelente: problemas con guava fina desviaciones superiores a 70° el uso de retraibles.	Excelente: problemas con guava fina desviaciones superiores a 70° el uso de retraibles.	Excelente

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

TABLA N° 20 (continuación)
CONSIDERACIONES DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo Electrosumergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Computaciones Dobles	Regular: paralelas de pulg. Son con revestidores de pulg. Para tasas. En duales de pulg. De comúnmente no favorable. El gas es un problema para la zona Incrementa problemas mecánicos.	No se instalaciones.	No se instalaciones. puede necesitar grandes Posibles en la atascamientos.	Regular: con triple sarta comunicadas, necesarias para total aislamiento fluido de poder y fluidos en cada Limitado a ROL y tasas moderadas.	Similar al recíprocante, excepción de la que puede ser pero la eficiencia sistema.	Regular: dobles de gas Lift es común, buenas en sistemas Levantamiento complicados y ineficiencia en bajas Posibles Completaciones: sarta doble: pulg. En de 7pulg o 3x3 pulg en 9 5/8 pulg.	Regular: dobles de gas Lift es común, buenas en sistemas Levantamiento complicados y ineficiencia en bajas Posibles Completaciones: sarta doble: 2x2 pulg. En revestidor 7pulg o 3x3 pulg en 9 5/8 pulg.	No se instalaciones.
Habilidad pan Manejar Gas	Bueno: se ventear y usar separadores anclas de gas diseñado según necesidades de bomba. Pobre si debe manejar >50% de gas libre.	Pobre: si se bombear algo de libre.	Pobre para gas libre (Ej. >5% de gas dentro de la bomba) Separadores de rotatorios no encuentra ningún de sólido.	Bueno / Regula: bomba fija o libre paralela permitiendo verter gas en adecuada con separador de gas en el fondo del debajo de la entrada de la Bombas libre revestidores limitadas a RGL. bajas	Similar a la Bomba Hidráulica recíprocante. El libre reduce eficiencia contribuye levantamiento. puede ventear el libre.	Excelente: producción de reduce la de inyección de	Excelente: producción de reduce la de inyección de	Excelente.

Fuente: Clegg, Bucaran y Hcin Jr

TABLA N° 20 (continuación)
CONSIDERACIONES DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

						GAS LIFT		
	Bombeo Convencional (balancín)	Bombeo Cavidad Progresiva	Bombeo F.lectrosumergible	Bombeo Hidráulico Recíproco	Bombeo Hidráulico Tipo Jet	Flujo Continuo	Flujo Intermitente	Pistón Metálico
Aplicación Costa Afuera	Pobre: diseñarse la dependiendo tamaño, el peso y espacio en unidad de Muchos pozos desviados producen arena.	Pobre: tener aplicaciones especiales en Afuera. embargo necesita una de arrastre	Buena: proveerse de Eléctrica y unidad arrastre.	Regular: posible operaciones pozos inclinados. espacio para plantas tratamiento, de y las bombas. puede usar como fluidos poder. Los fluidos base de representan un riesgo de	Bueno: producida o salada puede usada como de poder en pozo. plantas separación tratamiento en localizaciones los pozos.	Excelente: más utilizado si ser aplicado.	Pobre en pozos necesitan métodos de de arena. Riesgo uso de la fija. El puede problemas en producción.	Excelente: correctas aplicaciones.
Completaciones Hoyos reducidos	Posible para tasas y ROL Bpd y PC/Bis) Típicamente en los eductores de 1,5 pulg.	Posible para tasas, bajas RGL yacimientos profundos; no conocen instalaciones.	No se instalaciones	Posible pero tener altas por fricción problemas de Adecuado bajas tasas y RGL.	Posible pero tener altas por fricción problemas de Adecuado bajas tasas y RGL.	Posible resulta problemático diseño e	Posible pero problemático diseño e	Bueno: similar levantamiento revestidores conservacionales pero requiere adecuado gas de la formación.

Fuente: Clegg, Bucaran y Hein Jr

ANEXO N° 4 - Tabla N° 21

PRIORIZACIÓN DE LOS FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS BOMBEO MECÁNICO Y BOMBEO POR CAVIDAD PROGRESIVA. Proceso analítico jerárquico

1 — » A y B son igualmente importantes																
3 — » A es débilmente más importante																
5 — » A es fuertemente más importante																
7 — » A es demostrablemente o muy fuertemente más importante que B																
9 — » A es absolutamente más importante que B																
	Costos Operacionales	Equipo de Subsuelo	Tasa de Producción	Capacidad de Levantamiento	Profundidad	Arenamiento	Viscosidad del Fluido	Eficiencia Volumétrica	Corrosión y Deposición Orgánica	Confiabilidad	Experiencia y Entrenamiento del Personal	Tamaño del Revestidor	Relación Gas / Petróleo	Relación Gas / Petróleo	Comportamiento de Afluencia (IDR)	
Costos Operacionales	1	9	4	7	6	5	4	4	5	2	8	7	4	5	3	0.208
Equipo de Subsuelo	1/9	1	1/6	1/3	1/4	1/5	1/6	1/6	1/5	1/8	1/2	1/3	1/6	1/5	1/7	0.011
Tasa de Producción	1/4	6	1	4	3	2	1	3	2	1/3	5	4	1	2	1/2	0.078
Capacidad de Levantamiento	1/7	3	1/4	1	1/2	1/3	1/4	1/4	1/3	1/6	2	2	1/4	1/3	1/5	0.022
Profundidad	1/6	4	1/3	2	1	1/2	1/3	1/3	1/2	1/5	1/3	2	1/3	1/2	1/4	0.027
Arenamiento	1/5	5	1/2	3	2	1	1/2	1/2	1/2	1/4	4	3	1/2	1	1/3	0.044
Viscosidad del Fluido	1/4	6	1	4	3	2	1	1/3	2	1/3	5	4	2	2	1/2	0.072
Eficiencia Volumétrica	1/4	6	1/3	4	3	2	3	1	2	1/3	5	4	1	2	1/2	0.075
Corrosión y Deposición Orgánica	1/5	5	1/2	3	2	2	1/2	1/2	1	1/4	4	3	1/2	1/3	1/3	0.046
Confiabilidad	1/2	8	3	6	5	4	3	3	4	1	7	6	3	4	2	0.153
Experiencia y Entrenamiento del Personal	1/8	2	1/5	1/2	3	1/4	1/5	1/5	1/4	1/7	1	1/2	1/5	1/5	1/6	0.019
Tamaño del Revestidor	1/7	3	1/4	1/2	1/2	1/3	1/4	1/4	1/3	1/6	2	1	1/4	1/3	1/5	0.020
Relación Gas / Petróleo	1/4	6	1	4	3	2	1/2	1	2	1/3	5	4	1	2	1/2	0.068
Temperatura de Fondo	1/5	5	1/2	3	2	1	1/2	1/2	3	1/4	5	3	1/2	1	1/3	0.051
Comportamiento de Afluencia	1/3	7	2	5	4	3	2	2	3	1/2	6	5	2	3	1	0.107

índice de Consistencia = 0.077

Razón de Consistencia = 0.048

Fuente: Tesis Rodríguez Fernando y Salazar Andrés

Tabla N° 22

Jerarquización de los factores que afectan la selección y el comportamiento de los Sistemas Bombeo Mecánico y Bomba de Cavidad Progresiva. Proceso analítico jerárquico

1. Costos Operacionales
2. Confiabilidad
3. Comportamiento de Afluencia (IPR)
4. Tasa de Producción
5. Eficiencia Volumétrica
6. Viscosidad del Fluido / °API
7. Relación Gas Petróleo (RGP)
8. Temperatura de Fondo
9. Corrosión
10. Arenamiento
11. Profundidad
12. Capacidad de Levantamiento
13. Tamaño del Revestidor
14. Experiencia y Entrenamiento del Personal
15. Equipo de Subsuelo

Fuente: Fuente: Tesis Rodríguez Fernando y Salazar Andrés

ANEXO N° 5 - MÉTODO DELPHI.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN TECNOLÓGICA

Desde la década de 1950 se han desarrollado muchos métodos cualitativos de pronósticos social. Los métodos tienden a funcionar principalmente a partir del juicio subjetivo que los expertos proporcionan, son menos precisos que las técnicas cuantitativas y se usan para pronósticos a largo plazo. El más conocido de los métodos cualitativos es el *Método DELPHI*, usa un panel de expertos que responden a un cuestionario, muchas veces en forma iterativa con retroalimentación resumida después de cada fase de aplicación. Intenta proporcionar un rango más reducido de opiniones para el tema o temas que se estudian. El Método consiste en el uso sistemático de la evaluación intuitiva de un grupo de expertos y la forma de obtener la información mediante interrogatorios de significados sucesivos; los cuestionarios apuntan a cubrir opiniones e identificar consensos claros. La calidad de los resultados depende del cuidado en los interrogatorios y de la selección de expertos.

.APLICACIÓN GENERAL DEL MÉTODO

En forma general se puede describir la metodología que rige la aplicación del método a través de los siguientes pasos:

1. Desarrollo del primer cuestionario.
2. Test del primer cuestionario formal para eliminar las ambigüedades, dándole consistencia y coherencia.
3. Distribución del primer cuestionario: primera estimación de las probabilidades.
4. Análisis de las respuestas del primer cuestionario:
 - ❖ Cálculo del valor mediano.
 - ❖ Establecimiento de intervalos de 50% en las frecuencias.
5. Transmisión del segundo cuestionario incluyendo las respuestas al primer cuestionario.
6. Análisis de las respuestas del segundo cuestionario:

- ❖ Cálculo del valor mediano.
 - ❖ Establecimiento de intervalos del 50%.
 - ❖ Síntesis de las razones y argumentos que justifican cambios de opinión.
7. Transmisión del nuevo cuestionario, incluyendo respuestas del grupo y argumentos para estimaciones fuera del intervalo del 50%. En los pasos 6 y 7 se repiten tantas veces como sea necesario hasta conseguir la estabilidad de los resultados.
 8. Análisis de los resultados finales (consenso). Establecer la matriz de impactos de los sucesos o variables consideradas: Se han establecido cadenas de eventos con asignaciones de probabilidad puntual a cada uno de ellos.

LIMITACIONES

El método descrito tiene algunas limitaciones entre las que se encuentran:

- ❖ Poca seguridad.
- ❖ Demasiada sensibilidad de los resultados a la ambigüedad de las preguntas.
- ❖ Dificultad para establecer el grado de experiencia de los miembros participantes.
- ❖ Imposibilidad de que tome en cuenta lo inesperado.
- ❖ Posibilidad de retraso por las repeticiones del proceso.

A pesar de estas limitaciones, su uso actual que le dan las organizaciones sugiere que con frecuencia su potencial excede a sus limitaciones.

ANEXO N° 6 - CUESTIONARIOS DE LA MET

Se mostrarán a continuación algunos de los cuestionarios aplicados en la Metodología de Evaluación Tecnológica.

CUESTIONARIO N° 1

FASE 2:

SELECCIÓN Y PONDERACIÓN DE CRITERIOS

Seleccione entre los criterios que a continuación se presentan, aquellos que Ud. Considere importantes para el caso en estudio.

Según el grado de importancia a cada uno de los criterios anteriormente seleccionados, seleccionar una Distribución de Ponderaciones de Criterios que mejor se adapte a su apreciación (Exponencial, Logarítmica, Geométrica, Línea), esta información será procesada para generar ponderaciones (pesos) en las Matrices de Evaluación.

PONDERACIÓN

		RESPUESTA POR POR CONSULTA			ANÁLISIS DE RESULTADOS POR CONSULTA		
		1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
1.	Madurez						
2.	Alineación con Estrategia Tecnológica						
3.	Capacidad de Satisfacer Requerimientos Operativos-						
4.	Sinergias con otras Tecnologías						
5.	Requerimientos de Aprendizaje Y Nivel de Riesgo -						
6.	Impacto Ambiental						
7.	Valor Agregado Financiero						

CUESTIONARIO N° 2

FASE 3:
DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

Define una serie de Criterios Específicos vinculados con cada Criterio General y Ponderado.

CRITERIO GENERAL: MADUREZ

Respuesta por consulta			Análisis de Resultados por Consulta		
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta)					
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra
Otras Respuestas (Criterios por Consulta					

Gráfico N° 34.
Cuestionarios N° 2, MET.
Fuente: Araque, 1997

CUESTIONARIO N° 2

FASE 3:

DEFINICIÓN Y SELECCIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

CRITERIO GENERAL: CAPACIDAD DE SATISFACER REQUERIMIENTOS OPERATIVOS

Respuesta por consulta			Análisis de Resultados por Consulta		
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra

Otras Respuestas (Criterios por Consulta)

1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra

CRITERIO GENERAL: SINERGIA CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Respuesta por Consulta			Análisis de Resultados por Consulta		
1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra

Otras Respuestas (Criterios por Consulta)

1ra	2da	3ra	1ra	2da	3ra

CUESTIONARIO N° 3

FASE 4:
PONDERACIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS
Asigne pesos a cada uno de los Criterios Específicos definidos en la fase anterior empleando una escala de distribución de 100 puntos (puntaje comprendido entre 1 y 100).

MADUREZ							
CRITERIOS ESPECÍFICOS	ASIGNACIÓN DE PESOS POR CONSULTA			ANÁLISIS DE RESULTADO POR CONSULTA			
	1ra	2da	3ra		1ra	2da	3ra
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Alineación con Estrategia Tecnológica							
CRITERIOS ESPECÍFICOS	ASIGNACIÓN DE PESOS POR CONSULTA			ANÁLISIS DE RESULTADO POR CONSULTA			
	1ra	2da	3ra		1ra	2da	3ra
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Capacidad de Satisfacer Requerimientos Operativos							
CRITERIOS ESPECÍFICOS	ASIGNACIÓN DE PESOS POR CONSULTA			ANÁLISIS DE RESULTADO POR CONSULTA			
	1ra	2da	3ra		1ra	2da	3ra
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Gráfico N° 35.
Cuestionarios N° 3, MET.
Fuente: Araque, 1997

CUESTIONARIO N° 3

FASE 4:
PONDERACIÓN DE CRITERIOS ESPECÍFICOS

Sinergias con Otras Tecnologías							
CRITERIOS ESPECÍFICOS	ASIGNACIÓN DE PESOS POR CONSULTA			ANÁLISIS DE RESULTADO POR CONSULTA			
	1ra	2da	3ra		1ra	2da	3ra
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Requerimientos de Aprendizaje Y Nivel de Riesgo							
CRITERIOS ESPECÍFICOS	ASIGNACIÓN DE PESOS POR CONSULTA			ANÁLISIS DE RESULTADO POR CONSULTA			
	1ra	2da	3ra		1ra	2da	3ra
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

IMPACTO AMBIENTAL							
CRITERIOS ESPECÍFICOS	ASIGNACIÓN DE PESOS POR CONSULTA			ANÁLISIS DE RESULTADO POR CONSULTA			
	1ra	2da	3ra		1ra	2da	3ra
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

[illegible]

Gráfico N° 36.
Cuestionarios N° 4, MET.
Fuente: Araque, 1997

[illegible]

ANEXO N° 7 - *Actualización de los Comentarios Ideales del SEDLA*

Los comentarios ideales ofrecen al usuario una visión general de las condiciones óptimas bajo las cuales operan cada uno de los métodos de Levantamiento, el contenido de los mismos es mostrado por pantalla una vez finalizada la jerarquización de los métodos.

A continuación se muestra el contenido de la ventana de comentarios ideales para cada método de LA:

- ❖ **LAG Continuo Anular** "Método recomendado para pozos que manejen grandes volúmenes de fluidos, los cuales no puedan ser producidos por la tubería producción. El índice de productividad debe ser preferiblemente mayor a 0.5 bpd / psi. El tipo de crudo a producir debe ser liviano, el pozo debe tener una relación gas - líquido de formación de mediana a alta. En cuanto a las condiciones de superficie, el método opera con baja presión en el cabezal y necesita alta disponibilidad de gas de inyección".
- ❖ **Bombeo Mecánico Convencional** "Método recomendado para pozos con bajas relaciones Gas - Líquido de formación. La tasa de producción depende de la profundidad del pozo, la cual no debería exceder los 10000 pies. Trabaja de manera eficiente en crudos medianos y pesados. Si la gravedad API es muy baja, es factible la instalación del método utilizando la inyección de diluyente. Una de las principales limitaciones es la presencia de arena. En general, debido a las altas pérdidas por fricción debe instalarse con eductores mayores a 2.375 pulg."
- ❖ **Bombeo de Cavidades Progresivas** "El método recomendado para pozos con profundidades menores a 7000 pies, capaz de manejar tasas de crudo menores a 2500 BBPD. Maneja eficientemente crudos de baja gravedad API. La aplicación de este método en crudos livianos requiere cautela, debido a que los aromáticos pueden provocar graves daños a los elastómeros. La temperatura del Yacimiento debe estar por debajo de 200 °F. Debido a sus condiciones en superficie es posible su instalación en zonas urbanas".

- ❖ **Bombeo Electrosumergible** "Método diseñado para manejar altas tasas de producción, el funcionamiento óptimo se obtiene a profundidades menores de 9000 pies aproximadamente. La temperatura del yacimiento no debe superar 300 °F para evitar el deterioro de los equipos. Es necesario disponer de una fuente eléctrica. El uso de esta tecnología junto con manejadores de gas permite operar hasta un 40% de gas libre a la entrada de la Bomba. Maneja muy bien crudos medianos y pesados, con la inyección de diluentes puede llegar a producir crudos de 11 °API".
- ❖ **Flujo Pistón** "Método aplicable a pozos que se encuentren produciendo por LAG crudos de 10 a 16 grados API y que presenten problemas de formación de espuma. Se recomienda que el índice de productividad y la presión del yacimiento, sean altos. Los pozos deben ser poco profundos y con tasas de producción entre 200 y 700 BBPD".
- ❖ **Bombeo Hidráulico Jet** "Método recomendado para pozos con profundidades de 5000 a 15000 pies, a mayores profundidades los requerimientos de potencia reducen su factibilidad económica. Este método maneja altas tasas de producción y produce crudos de distinta gravedad API. Utilizando diluentes con el fluido de potencia es posible levantar crudos muy viscosos. La relación gas libre a la entrada de la bomba debe ser menor al 10%. No es recomendable su uso en zonas urbanas, por el manejo de altas presiones en superficie".
- ❖ **Bombeo Hidráulico Tipo Pistón** "Método recomendado en pozos profundos, dependiendo de la potencia disponible en superficie. La relación gas libre debe ser baja, se deben considerar grandes diámetros de revestidor y eductor debido a las altas pérdidas por fricción producidas. No es recomendable su instalación en zonas urbanas por los altos rangos de presión en superficie que se manejan".
- ❖ **LAG Intermitente Convencional** "Método recomendado para pozos donde el levantamiento artificial por gas en forma continua deja de ser eficiente por el nivel de agotamiento. La profundidad del pozo no debe superar los 7000 pies, de manera que las pérdidas de líquido por resbalamiento sean manejables. El método

produce crudos de 18 °API en adelante. Es importante la existencia de una infraestructura de compresión de gas".

- ❖ **LAGI Cámara de Acumulación** "Método apropiado para pozos de alto índice de productividad y donde la presión estática de yacimiento sea baja. Es recomendable que los pozos candidatos a producir con este método tengan menos de 8000 pies de profundidad y una tasa de producción de baja a mediana. El método puede manejar crudos de mediana a alta gravedad API. Tanto el diámetro del revestidor como el del eductor deben permitir la acumulación de una cantidad apreciable de líquido. Es importante la existencia de una infraestructura de compresión de gas".
- ❖ **LAGI Pistón Metálico** "Este método es una variante de LAG intermitente convencional, permite la disminución de las pérdidas de líquido por resbalamiento. Se sugiere que la relación gas -líquido no sea alta. Puede manejar crudos de 18 °API en adelante sin dificultad. Es importante la existencia de una infraestructura de compresión de gas".
- ❖ **Pistón Metálico Convencional** "Este método de flujo natural es recomendado para pozos con alta relación gas -líquido de formación, es eficiente cuando se requiere levantar bajas tasas de crudos medianos, livianos o condensados. No requiere energía externa para levantamiento".
- ❖ **LAG Continuo Tubería** "Método recomendado para tasas de producción de medianas a altas, dependiendo del diámetro del eductor y de la presión del yacimiento. Es recomendable que la presión en el cabezal sea baja y el índice de productividad del pozo medianamente alto. Este tipo de levantamiento es recomendable en crudos medianos y livianos. Debe existir alta disponibilidad de gas de inyección.

GLOSARIO

A

ABRASIÓN: Daño físico provocado al equipo, el cual es causado por agentes externos como la arena de formación y algunos componentes reactivos del gas.

ALTERNATIVA: Las alternativas son las opciones de las cuales una opción debe ser hecha. En un modelo de decisión las alternativas se pueden evaluar de dos maneras: Comparaciones relativas (las alternativas se comparan directamente a uno otro que usa el proceso en parejas) y Rejilla de los datos (las alternativas se evalúan contra un estándar o escalan se ha desarrollado que).

ANÁLISIS: Consiste en planificar, definir y orientar los objetivos y métodos; posteriormente reunir la información disponible, para luego proceder a su interpretación, extraer conclusiones o definir hipótesis de futuro (según corresponda); a partir de ello será posible proyectar los resultados.

ANÁLISIS DE OPORTUNIDAD: Es aquel análisis que busca establecer el mejor momento para una decisión.

ANÁLISIS DE VALOR AGREGADO: Es aquel análisis que busca potenciar el valor del significado de informaciones aparentemente inconexas o, en el campo de defensa.

ANÁLISIS DE OBJETIVOS: Es aquel análisis que permite no sólo identificar un blanco, sino además, el mejor modo de abatirlo al menor costo posible.

ANCLA DE GAS: Tubos no concéntricos cuya función es obligar al gas a subir por el espacio anular mientras el líquido asciende por la tubería de producción. Es un separador estático gas/ líquido de fondo de pozo. Las anclas más comúnmente utilizadas en Venezuela son las de tipo "poor boy" y de copas. Funcionan bajo el

principio de separación por efecto de la fuerza de gravedad, aprovechando la diferencia de densidades entre las dos fases.

ARENAS: Roca sedimentaria, formada por granos principalmente de cuarzo, consolidada en areniscas, en las cuales se encuentran la mayoría de los yacimientos de petróleo.

B

BALANCÍN: Componente del sistema de bombeo mecánico, el cual se coloca en superficie con el fin de extraer el petróleo de un pozo. Se le llama así por su movimiento característico de sube y baja.

BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA: Bomba rotatoria de desplazamiento positivo. Consta de un rotor y un estator, los cuales forman engranajes helicoidales entre sí. Una vez colocado el rotor dentro del estator se forman cavidades cerradas que progresan al accionar el rotor, transportando fluidos desde el punto de succión al punto de descarga, y de ahí hacia la superficie. La bomba es accionada desde la superficie por un motorvariador o motorreductor, cuyo movimiento angular se transmite a la bomba a través de la sarta de cabillas.

BOMBEO MECÁNICO CONVENCIONAL: Método de levantamiento artificial basado en el uso de una bomba reciprocante de subsuelo, accionada desde la superficie por una unidad de bombeo (balancín), el cual convierte el movimiento angular del motor en movimiento reciprocante vertical con el objeto de transmitirlo a la bomba a través de la sarta de cabillas.

C

CABEZAL DEL POZO: Equipo colocado en la superficie cuya principal función es garantizar la rapidez y seguridad de las operaciones de perforación, producción y reacondicionamiento del pozo. Así mismo, controla el flujo y las presiones existentes en la parte superior del pozo y soporta los esfuerzos ocasionados por las operaciones. Está constituido por varias secciones, cuyo número depende del esquema de revestidores.

La presión nominal del mismo depende de: la presión del yacimiento, la composición de los fluidos y la temperatura que maneja el equipo de superficie.

CABEZAL DE ROTACIÓN: Equipo que soporta las cargas axiales generadas por el peso de las cabillas y el peso de la columna hidrostática sobre el rotor. Está provisto de dos tipos de rodamiento: aquellos que soportan la carga y los que absorben la carga radial.

CAJA REDUCTORA: Mecanismo que permite, gracias a su relación de transmisión, otorgar a la sarta de cabillas la máxima velocidad de rotación esperada, teniendo como entrada la velocidad de rotación del motor.

CATEGORÍAS: son conceptos clasificatorios a través de los cuales se intenta encontrar respuestas a un problema ya definido. Conceptualmente, una categoría se entiende como una noción general que representa un conjunto o un tipo definido de características y atributos, lo que autoriza a agruparlas en una misma clase.

CENTRALIZADORES DE CABILLAS: Herramienta no rotativa cuya función es prevenir el contacto y/o desgaste de la tubería debido a la rotación de la sarta de cabillas. Suelen ser utilizados en pozos con desviaciones o inclinaciones muy pronunciadas, particularmente en aquellos puntos donde pueda existir contacto y fricción entre los cuellos de las cabillas y la tubería de producción.

CORTE DE AGUA Y SEDIMENTOS (% AYS): Porcentaje volumétrico indicativo de la cantidad de impurezas, materiales y sustancias que se producen junto con el petróleo.

CORRELACIONES: Relaciones matemáticas de variables reales que tratan de representar un comportamiento.

CORROSIÓN: Deterioro y desgaste de las instalaciones petroleras por causa de agentes diversos (H/zS, por ejemplo). Requiere medidas de protección constantes y la vigilancia permanente de las instalaciones.

CORPUS: éste se define como el conjunto de material que contiene las informaciones y características que interesa descubrir; son las partes del contenido en que se busca la razón última de un problema analizado. Puede estar conformado por textos completos o sólo "unidades de muestreo", según el tamaño del material en estudio. En términos objetivos, el Corpus es el conjunto de documentos que se reúne para el trabajo analítico, cuando ya se ha establecido con precisión el objetivo de búsqueda que se persigue, al llevar a cabo el proceso de análisis y, por ello, si es muy abundante, se tomará sólo una muestra representativa. Por extensión, se considera al Corpus como el conjunto de mensajes y contenidos de un texto, donde hay razones para presumir que se encontrará respuesta a la interrogante inicial y que representa el motivo para realizar el trabajo de análisis.

COMPARACIÓN: Acción y efecto de comparar, es decir, fijar la atención en dos o más objetos para descubrir sus diferencias y semejanzas. Cotejar, confrontar, parangonar, distinguir.

CURVA DE COMPORTAMIENTO DE AFLUENCIA: Representación gráfica de la energía que ofrece el yacimiento. Consiste en graficar la presión de fondo fluvente del pozo con respecto a la tasa de producción del mismo.

D

DILUENTE: Producto que se utiliza para aumentar la fluidez de los crudos de alto peso específico.

E

ELASTÓMERO: Material polimérico de alto peso molecular, cuya principal propiedad es su capacidad de elongación sin experimentar deformación permanente. Presenta la desventaja de ser afectado por factores como la temperatura y la corrosión.

EMPACADURA: Pieza que se usa para sellar un horizonte o fijar la tubería, aislando una zona determinada.

ESPACIAMIENTO DEL ROTOR: Operación mediante la cual se fija la posición relativa vertical del rotor con respecto al estator.

ESTACIÓN DE FLUJO: Infraestructura de mediana complejidad, donde se recolecta, maneja, separa y almacena la producción de petróleo gas y agua proveniente de los pozos asociados a ella.

ESTATOR: Tubo de acero en cuya parte interna se encuentra firmemente adherido un elastómero sintético (goma endurecida), diseñado para tolerar las características de los fluidos producidos a temperaturas de subsuelo: petróleo, agua y gas..

EVALUACIÓN: (De *evaluar*.) Acción y efecto de evaluar. Estimación de las consecuencias que la ejecución de un determinado proyecto puedan tener sobre el medio ambiente, no solamente en el momento actual, sino en un futuro más o menos lejano. Esta estimación lleva implícita una investigación científica del proyecto, así como la promulgación de leyes por parte de las diversas administraciones para regular jurídicamente este nuevo aspecto.

EVALUAR: 1 Señalar el valor de una cosa. 2 Estimar, apreciar, calcular el valor de una cosa. 3 Estimar los conocimientos, aptitudes y rendimiento de los alumnos.

EXPERTO: Del latín *expertus*, experimentado. Práctico, hábil, experimentado., Perito, persona que tiene especial conocimiento de una materia.

F

FLUJO NATURAL: Mecanismo de producción de un yacimiento por su energía propia.

G

GRADIENTE GEOTÉRMICO: razón de incremento de la temperatura con respecto a la profundidad.

GRADOS API: Escala empírica para medir la densidad de los crudos y los productos líquidos del petróleo. Se denota en grados API. La desventaja de emplear la gravedad específica radica en el hecho de que todos los crudos, desde el más pesado hasta el más liviano, no varían en más de cuatro décimas, y para indicar la densidad exacta es necesario emplear hasta cuatro cifras decimales. Por esta razón, el Instituto Americano del Petróleo (API) estableció una escala que tiene una diferencia de 90 grados API entre los crudos más pesados y los más livianos.

I

ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD: Cantidad de barriles fiscales de crudo que se pueden producir por día por libra de pulgada cuadrada. Representa el potencial o habilidad del pozo para producir fluido del yacimiento a través del diferencial que existe entre la presión de fondo fluyente y la presión estática del yacimiento. Es un parámetro exclusivo del pozo e indica la capacidad productiva del mismo.

J

JERARQUÍA: Una jerarquía es árbol como la estructura que se utiliza para descomponer un problema de la decisión. Tiene un flujo de arriba hacia abajo, moviéndose desde las categorías generales (objetivos) a los más específicos (los objetivos secundarios).

JUICIO: Dictionary.com define el juicio como "el acto o el proceso de la sentencia; la formación de una opinión después de la consideración o de la deliberación." Un juicio expresa la fuerza de la importancia, de la preferencia o de la probabilidad de un excedente del elemento con respecto al nodo arriba, al hacer una comparación en parejas.

L

LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL: Método o técnica empleada para la extracción artificial del petróleo en pozos que no pueden seguir produciendo por flujo natural.

N

NIVEL DINÁMICO: Es el nivel estable del líquido que produce la misma presión de fondo fluente que la columna hidrostática bajo una tasa de producción estabilizada con el anular abierto a la atmósfera.

NIVEL ESTÁTICO: Nivel de líquido que contrabalancea exactamente la presión de formación con el anular abierto a la atmósfera.

NORMALIZACIÓN: Las puntuaciones en los atributos son normalizadas a efectos de eliminar los problemas de cálculo, originados en la utilización de diferentes escalas y/o unidades utilizadas en la matriz de decisión. La normalización no siempre es necesaria, pero si es esencial en la mayoría de los métodos compensatorios. El propósito de la normalización es el de obtener escalas comparables. En consecuencia, los puntajes normalizados no tienen unidades de dimensión y, para el caso de los atributos de beneficios, cuando mayor sea el puntaje normalizado, mayor es la preferencia del mismo.

M

METODO: (Del latín *Methodus*). 1 Modo de hacer o decir con orden una cosa. 2 Modo de obrar o proceder; hábito o costumbre que cada uno tiene y observa. 3 Procedimiento que se sigue en las ciencias para hallar la verdad y enseñarla; puede ser analítico o sintético.

MÉTODO ANALÍTICO: El que procede mediante el análisis, descomponiendo el ser estudiado en sus diversos elementos o propiedades.

MÉTODO CIENTÍFICO: Recolección y clasificación sistemática de datos y, generalmente, comprobación de las hipótesis basadas en esos datos.

MÉTODO SINTÉTICO: El que procede por síntesis, es decir, componiendo los distintos elementos o propiedades estudiados en un todo.

MÉTODOLOGÍA: 1 Ciencia del método. 2 Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal.

O

OBJETIVO: Un objetivo es algo que se busca o se dirige en una decisión. La palabra objetivo, se utiliza a veces alternativamente con el criterio o la cualidad. Sin embargo, es la posición de la opción experta que una cualidad señalará a un criterio y un criterio señalará a un objetivo. En la práctica, los objetivos y los criterios se utilizan alternativamente. Un criterio es un principio o un estándar que una idea o un objetivo se juzga cerca. Al ocuparse de los modelos, se utilizan los objetivos más bien que los criterios, porque describen mejor el propósito de la evaluación.

OPCIÓN: 1. Libertad o facultad de elegir. 2 La elección misma. 3 Derecho que se tiene a un oficio, dignidad, etc. 4 Derecho a elegir entre dos o más elementos, fundado en el precepto legal o en negocio jurídico.

P

PETRÓLEO: Nombre genérico para los hidrocarburos, incluyendo petróleo crudo, gas natural y los líquidos del gas natural.

PETRÓLEO CRUDO: Es el producto del petróleo después de ser purificado, separado o procesado; sea de una calidad aceptable para su transporte, transformación y comercialización.

PETRÓLEO MUERTO: Es el petróleo sin gas disuelto y por lo tanto provisto de mecanismo de empuje.

POZO: Agujero perforado en la roca, desde la superficie hasta el yacimiento, a efecto de explotar o extraer petróleo, gas o agua.

PRESIÓN DE FONDO FLUYENTE: Presión que tiene el pozo a una determinada profundidad cuando este se encuentra produciendo. Suele medirse al nivel de las perforaciones.

PRESIÓN ESTÁTICA: Presión estabilizada del fondo del pozo tomada luego de haber permanecido cerrado durante un intervalo de tiempo determinado.

POTENCIAL: Capacidad de producir el nivel máximo de extracción de los hidrocarburos del yacimiento, consistente con las normas adecuadas de ingeniería de petróleo sin ocasionar daños al yacimiento (agotamiento prematuro del yacimiento).

R

RELACIÓN GAS / PETRÓLEO: Producción fiscal de gas asociado a la producción de un barril de petróleo a condiciones normales.

RESBALAMIENTO: Fenómeno que consiste en el resbalamiento o deslizamiento del fluido, el cual se produce por la fricción inherente al contacto del mismo con la tubería y por efecto de la viscosidad.

REVESTIDOR: Tubería de revestimiento con la que se completa un pozo.

ROTOR: Componente de la BCP que consiste en un engranaje helicoidal enroscado externo simple, el cual rota excéntricamente dentro del estator.

S

SUMERGENCIA: Profundidad de asentamiento de la bomba medida desde el nivel, dinámico o estático, del fluido en el espacio anular.

U

UNIDADES DE ANÁLISIS: son segmentos en que se divide el corpus para su estudio. Son trozos de un TODO que permiten observar, decodificar, clasificar, reordenar y examinar datos e informaciones, para facilitar su trabajo de análisis y ayudar a obtener el conocimiento de su significado real.

V

VISCOSIDAD: Medida de la fricción interna o la resistencia de un líquido a fluir.

Y

YACIMIENTO: Es la porción de una trampa geológica que contiene hidrocarburos, la cual se comporta como un sistema comunicado hidráulicamente. Los hidrocarburos ocupan los poros de la roca almacén, quedando confinados por una roca impermeable.