

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA FAMILIA COHERENTE DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
Por el Br. Carrillo Luciani, Jesús Arturo

Caracas, Julio 2002

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA FAMILIA COHERENTE DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

TUTOR ACADEMICO: Prof. Víctor Escalona
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Néstor Carrasquero

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
Por el Br. Carrillo Luciani, Jesús Arturo

Caracas, Julio 2002

Caracas, 23 de Julio de 2002

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Jesús Arturo Carrillo Luciani, titulado:

“Una metodología en el diseño de una familia coherente de criterios para la selección de los sistemas de levantamiento artificial”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROVADO, con una calificación de VEINTE (20) puntos.

Prof. Luis Norberto Bueno
Jurado

Prof. Vladimiro Kowalchuk
Jurado

Prof. Víctor Escalona
Tutor

Prof. Néstor Carraquero
Tutor

DEDICATORIA

Con toda mi adoración, a Papapa y Mamalela, mis queridos Abuelos
quienes fueron mi guía y mi modelo a seguir...

...siempre los recordaré.

y a mi querida mama, que con su amor, apoyo
y mucho esfuerzo, ha sido la fuente de

inspiración para poder lograr

todas mis metas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre Glorioso lleno de gracia y caridad con su grandiosa piedad y amor por acompañarnos en todo momento.

A mis hermanos María, Carlos, Juan José y Mariana por brindarme todo su apoyo y su ayuda para poder lograr este cometido.

A mi tía Martina que con su cariño y preocupación me ayudó culminar este trabajo, te quiero mucho.

A mi primo Pedro Leal por su ayuda incondicional y el trato tan especial que me brindó que influyó de manera decisiva para alcanzar con éxito esta meta.

Al Prof. Víctor Escalona por toda la confianza y por el gran apoyo que me ofreció en todo momento, una vez más gracias...

Al Prof. Néstor Carrasquero por su valiosa colaboración e importante ayuda que hizo posible la realización de este trabajo.

A los Ingenieros Isaac Benzaquen, Luis Toussaint y Luis Vera quienes estuvieron dispuestos y prestos a la hora de recabar la información

A mis tíos Chuchu, Luis, a tía Rosita y a todos mis primos los cuales estuvieron pendientes de mi progreso y siempre me alentaron a culminar con éxito este proyecto.

A mis mejores y buenos amigos Cesar, David, Manolo, Carlos, Douglas y Miguelito quienes siempre estuvieron pendientes de mi trabajo y por el apoyo que me otorgaron.

Carrillo L., Jesús A.
**UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA FAMILIA
COHERENTE DE CRITERIOS QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN
DE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL**

**Tutor Académico: Prof. Víctor Escalona. Tutor Industrial:
Ing. Néstor Carraquero. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2002, 180 p.**

Palabras Claves: Criterios, Jerarquización,
Curvas de Valoración, Preferencias.

Resumen: Durante mucho tiempo la industria petrolera ha dedicado grandes esfuerzos en seleccionar, cual será el mejor método de producción, que se requiere en un determinado pozo y/o yacimiento con el fin de lograr un máximo recobro de hidrocarburos sin el peligro de agotar el yacimiento en forma prematura y optimizar el costo de producción. Siguiendo los lineamientos establecidos por la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) para la elaboración del presente Trabajo Especial de Grado, la modalidad de investigación seleccionada, es la de investigación Documental Bibliográfica, entendiéndose por esto, *"...El estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo principalmente, en fuentes bibliográficas, documentales y estadísticas. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, conclusiones, recomendaciones y en general en el pensamiento del autor"*. Es también un estudio de campo porque se le administrará un cuestionario a especialistas en el área de ingeniería, específicamente a aquel personal entrenado en lo referente a Sistemas de Levantamiento Artificial y estudios de yacimientos, para complementar la información documental. Con el presente trabajo se intenta proponer una Metodología para la determinación de una familia de criterios en la selección de sistemas de Levantamiento Artificial, que le permita a la industria el logro de los objetivos de explotación de cada pozo de la manera más productiva, a los más bajos costos. En esta investigación se pretende realizar una evaluación de los diferentes Sistemas de Levantamiento Artificial empleados por la industria petrolera, en la unificación de criterios en el proceso señalado para proponer la metodología antes señalada, así como también, las diferentes procedimientos, programas o paquetes de computación usados para la selección de los sistemas de levantamiento.

INDICE

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS	II
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPITULO I: EL PROBLEMA	2
1.1 Planteamiento del Problema de la Investigación	3
1.2 Formulación del Problema	5
1.3 Objetivos de la Investigación	5
1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación	6
1.5 Justificación e Importancia	6
1.6 Modalidad Seleccionada	7
2. CAPITULO II: MARCO TEORICO	8
2.1 Consideraciones Generales	9
2.2 Criterios	9
2.2.1 Definición	9
2.2.2 Determinación de Criterios	13
2.2.3 Técnicas de Generación de Criterios	16
2.2.4 Jerarquización de Criterios.....	25
2.2.5 Medición de Criterios a través de Curvas de Valoración	34
2.3 Determinación de las Preferencias de un Sistema de Levantamiento Artificial ..	38
2.4 Sistemas de Levantamiento Artificial	39
2.4.1 Bombeo Mecánico	40
2.4.2 Bombeo Electrosumergible	43
2.4.3 Bombas de Cavidad Progresiva	47
2.4.4 Sistema de Bombeo Hidráulico	50
2.4.5 Levantamiento Artificial por Gas	52
2.5 Modelos de Selección de Sistemas de Levantamiento Artificial	55
2.5.1 Matriz de Evaluación Tecnológica	56
2.5.2 Sistema Experto de Levantamiento Artificial	60
2.5.2.1 Análisis del Sistema Experto de Levantamiento Artificial	64
2.5.3 Metodología de Selección Óptima de Levantamiento Artificial	65
2.6 Criterios que Afectan la Selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial ...	66
2.6.1 Comportamiento de Afluencia	67
2.6.2 Tasa de producción de Líquido	67
2.6.3 Temperatura de Fondo	67
2.6.4 Relación Gas Líquido	68
2.6.4.1 Relación Gas Líquido de Formación	69
2.6.4.2 Relación Gas Libre a la entrada de la bomba	69
2.6.5 Corte de Agua	71
2.6.6 Viscosidad y °API	71
2.6.7 Profundidad	73
2.6.8 Diámetro del Revestidor	74

2.6.9	Diámetro del Eductor	75
2.6.10	Producción de Arena	76
2.6.11	Parafinas y Asfaltenos	77
2.6.12	Escamas	77
2.6.13	Corrosión	78
2.6.14	Emulsiones	78
2.6.15	Grado de Desviación del Pozo	78
2.6.16	Pericia de Campo	79
2.6.17	Localización del Pozo	79
2.6.18	Yacimientos por Empuje por Depleción	80
2.6.19	Yacimientos con Empuje por Expansión de la Capa de Gas	80
2.6.20	Yacimientos con Empuje Hidráulico	80
2.6.21	Yacimientos de Crudos Espumantes	80
2.6.22	Presiones en el Yacimiento	81
2.6.23	Índice de Productividad	82
3.	CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	84
3.1	Generalidades	85
3.2	Tipo y Diseño de la Investigación	85
3.3	Población y Muestra	86
3.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	86
3.5	Confiabilidad y Validez	89
3.6	Técnicas de Análisis	89
3.7	Matriz Metodológica	89
4.	CAPITULO IV: DESARROLLADO DE LA METODOLOGIA	91
4.1	Metodología para la Determinación de Criterios que influyen en la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial	92
4.1.1	Definición del Problema	94
4.2.2	Generación de Listas de Criterios	96
4.2.3	Descarte de Criterios	101
4.2.4	Estructuración de Criterios	103
5.	CAPITULO V: ANALISIS DE RESULTADOS	108
6.	CONCLUSIONES	141
7.	RECOMENDACIONES	144
8.	REFERENCIAS	147
9.	APENDICES	151

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Los Criterios Dentro de las Estrategia de la Empresa	11
Figura 2.2	Los Criterios Dentro del Pensamiento Estratégico	12
Figura 2.3	Diagrama de Espina de Pescado	24
Figura 2.4	Curva de Valoración Tipo	36
Figura 2.5	Instalación Típica de Bombeo Mecánico	40
Figura 2.6	Instalación Típica de Bombeo Electosumergible	44
Figura 2.7	Instalación Típica de la Bomba de Cavidad Progresiva	48
Figura 2.9	Instalación Típica de LAG	52
Figura 2.9	Esquema del Modulo de Preselección	62
Figura 2.10	Esquema del Modulo de Evaluación Económico	63
Figura 4.1	Circulo de Decisión	93
Figura 4.2	Etapas de La Determinación de Criterios	94
Figura 4.3	Etapa 1: Definición del Problema	96
Figura 4.4	Etapa 2: Generación de Lista de Criterios	100
Figura 4.5	Etapa 3: Descarte de Criterios	102
Figura 4.6	Jerarquización de Criterios	105
Figura 4.7	Etapa 4: Estructuración de Criterios	106
Figura 4.8	Metodología para la Determinación de Criterios	107

LISTAS DE TABLAS

Tabla 2.1	Ventajas y Desventajas de una Decisión en Grupo	17
Tabla 2.2	Interpretación de los Elementos de una Matriz de Comparación por Pares	27
Tabla 2.3	Índices Aleatorios Promedios	32
Tabla 2.4	Las Situaciones Fundamentales de Preferencias y Relaciones Binarias Asociadas	35
Tabla 2.5	Escala de Calificaciones para la Obtención de las Curvas de Valoración	37
Tabla 3.1	Relación de las preguntas del cuestionario con los objetivos específicos	88
Tabla 3.2	Matriz Metodológica	90
Tabla 4.1	Comparaciones entre los Diferentes Modelos de Toma de Decisiones	99
Tabla 4.2	Comparaciones entre los diferentes Métodos para La Jerarquización y Determinación de Criterios	104

INTRODUCCIÓN

Cuando la energía natural de un yacimiento se agota, se hace necesaria la utilización de un sistema de levantamiento artificial para elevar los fluidos a la superficie y la planificación de los sistemas de levantamiento es de suma importancia para alcanzar de manera eficiente y óptima la explotación de un yacimiento de petrolero.

La selección del Sistema de Levantamiento está influenciada por los diversos criterios presentes en un pozo por lo que en este trabajo se propone una metodología para seleccionar cuales de estos criterios influyen verdaderamente en la escogencia del sistema de levantamiento y de esta manera determinar las preferencias que tiene ese pozo a que se implemente un determinado sistema de levantamiento artificial para una explotación óptima y adecuada.

En el trabajo se comentan los antecedentes más resaltantes de los trabajos realizados en la búsqueda de un sistema de levantamiento artificial óptimo entre los cuales se destacan el realizado por el Prof. Víctor Escalona donde se estudian varios modelos de selección de sistemas de levantamiento artificial, el trabajo especial de grado de Luis Silva en el se cual desarrolla un software cuya finalidad es la optimización en la selección de sistemas de levantamiento artificial y en el ámbito de la investigación de operaciones el estudio realizado por el Prof. Néstor Carraquero sobre la construcción de curvas de valoración.

Se hace una descripción de los sistemas de levantamiento artificial, de los diferentes criterios que influyen en la selección de los sistemas de levantamiento artificial y de los algunos de los modelos o programas desarrollados para la selección de los sistemas de levantamiento artificial los cuales representan la base de la metodología propuesta.

También se describen las distintas formas de generación, descarte y jerarquización de criterios, los métodos implementados para alcanzar los objetivos de esta investigación.

Finalmente se muestra la metodología desarrollada y los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

En este capítulo se plantea el problema de la investigación ubicándolo primero en un contexto amplio y luego delimitándolo al caso de estudio, y se formula el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación, se justifica la investigación, además se presentan los alcances y limitaciones que se perfilan en la investigación, y se incluye la modalidad de investigación a ser aplicada en el desarrollo del mismo.

1.1 Planteamiento del Problema de la Investigación

En Venezuela los Programas Masivos de Explotación Petrolera han ocasionado una disminución de las presiones de los yacimientos en los diferentes campos, esto trae como consecuencia el uso intensivo de los Sistemas de Levantamiento Artificial.

Hasta mediados de los 80, los Sistemas de Levantamiento Artificial fueron: El Bombeo Mecánico Convencional para crudos pesados y El Levantamiento Artificial por Gas para crudos livianos y medianos. Fue hasta finales de esta década que comienza la aplicación en el campo de métodos no convencionales como son los Sistemas de Bombas Electrosumergibles, Bombas de Cavidad Progresiva y otros esfuerzos de Levantamiento Artificial por Gas, específicamente en la inyección intermitente con sus diversas modalidades.

Durante la última década del siglo pasado el porcentaje de pozos produciendo bajo Sistemas de Levantamiento Artificial estuvo entre 87% hasta llegar al 96%, con un aporte del 78% de la producción total de petróleo.

Es indudable la importancia de los Sistemas de Levantamiento Artificial, por lo tanto, se hace imperante la necesidad de tomar decisiones cada vez más acertadas y en consecuencia una eficiente selección de los mismos adaptables a las necesidades de nuestros campos petroleros.

Los criterios que inciden en los Sistemas de Levantamiento Artificial son un número importante de variables las cuales deben ser analizadas, desglosadas, evaluadas y

comparadas y donde muchos de ellos están vinculados con el área de Ingeniería de Producción, pero otros son altamente relevantes en el área de Ingeniería de Yacimientos.

Para la optimización de la tasa de producción a través de los Sistemas de Levantamiento Artificial, se hace necesario la recopilación de toda la data existente pertinente a la perforación, completación y producción del pozo, así como también ciertas características del yacimiento. El tipo de levantamiento requerido puede ser influenciado de acuerdo a la data recopilada, en consecuencia la selección de Sistema de Levantamiento Artificial puede ser determinada no por diseños óptimos sino por limitaciones físicas o criterios económicos. Es por ello que la Planificación en el Levantamiento Artificial, es fundamental desde la misma perforación del pozo.

La existencia de más de un Sistema de Levantamiento Artificial aplicable a cada pozo permite que puedan ser clasificados desde excelentes hasta pobres. Dependiendo sobre todo de las condiciones económicas, el Sistema de levantamiento seleccionado será el que satisfaga el mayor número de criterios.

Kermit Brown (1980), pionero en esta área del conocimiento esboza lo concerniente a la planificación para la selección del Sistema de Levantamiento Artificial, plantea en su trabajo que en la selección del tipo de sistema de levantamiento influyen una serie de factores entre los cuales están: las completaciones de pozos, las características de producción, las características de hoyo y las características del yacimiento.

Previamente Johnson (1968) elaboró una tabla comparativa y en base a la experiencia de campo, con los problemas más comunes que afectan la selección de un sistema de levantamiento los cuales se pueden considerar criterios secundarios que incidirán en la selección del sistema de levantamiento apropiado, como una función de la vida útil del pozo.

La tendencia dominante en el sector petrolero nacional es la selección del Sistema de Levantamiento que mejor se adapte a cada pozo y que procure la menor inversión y los mínimos costos de producción para de esta forma pueda rendir el mayor beneficio, que en el contexto económico actual del país constituyen el marco de la presente investigación. En tal sentido se seleccionaron cinco de los Sistemas de Levantamiento más usados en la actualidad, y los últimos tres de los modelos de selección para su evaluación y estudio.

1.2 Formulación del Problema.

De acuerdo a los planteamientos descritos se presentan las siguientes interrogantes:

¿Cómo influye una buena selección de criterios para la optimización de los Sistemas de Levantamiento Artificial?

¿Qué Sistemas de levantamiento Artificial constituyen la alternativa más eficiente en la explotación de los campos petroleros?

¿Cuáles son las limitaciones tecnológicas que presentan los Sistemas de Levantamiento Artificial ante la presencia de criterios que afectan su funcionamiento?

¿Son los modelos de selección una herramienta útil en la escogencia óptima de los Sistemas de Levantamiento Artificial?

1.3 Objetivos de la Investigación.

Objetivo General:

Proponer una Metodología en la determinación de una familia de criterios para la selección de Sistemas de Levantamiento Artificial.

Objetivos Específicos:

- Diagnosticar la situación actual de los criterios para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial.
- Determinar las fortalezas y oportunidades que presenta los sistemas de levantamiento artificial utilizados por la industria para tal fin.
- Detectar las debilidades y amenazas presentes en los sistemas de levantamiento artificial, para la detección de su eficacia y su eficiencia.
- Analizar los distintos modelos diseñados para la selección de los sistemas de levantamiento artificial.

1.4 Alcances y limitaciones de la Investigación

Con el presente trabajo se intenta proponer una Metodología para la determinación de una familia de criterios en la selección de sistemas de Levantamiento Artificial, que le permita a la industria el logro de los objetivos de explotación de cada pozo de la manera más productiva, a los más bajos costos.

En esta investigación se pretende realizar una evaluación de los diferentes Sistemas de Levantamiento Artificial empleados por la industria petrolera, en la unificación de criterios en el proceso señalado para proponer la metodología antes señalada, así como también, las diferentes procedimientos, programas o paquetes de computación usados para la selección de los sistemas de levantamiento.

1.5 Justificación e Importancia.

Esta investigación es importante porque permite dar conocer en profundidad al tesista los criterios que influyen en la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial, los mismos sistemas y los modelos empleados para su selección, también le permite ahondar en los procesos de toma de decisiones e investigación de operaciones los cuales proporcionarán la base metodológica del presente trabajo. Además es necesaria para el, investigador porque La Universidad Central de Venezuela, exige como requisito obligatorio para optar al Título Ingeniero de Petróleo, la elaboración de un Trabajo Especial de Grado.

Para la Industria Petrolera la necesidad de esta investigación radica en que uno de los objetivos más importantes de cualquier compañía petrolera es optimizar la producción de petróleo, por lo que se hace imprescindible, que se disponga de una metodología que permita seleccionar los factores que influyen en los Sistemas de Levantamiento Artificial, para de esta forma optimizar la producción del crudo.

Esta investigación es factible para el tesista porque dispone de los recursos bibliográficos, documentales, técnicos y materiales que servirán de apoyo para la realización de la misma de manera eficiente.

1.6 Modalidad Seleccionada.

Siguiendo los lineamientos establecidos por la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) para la elaboración del presente Trabajo Especial de Grado, la modalidad de investigación seleccionada, es la de investigación Documental Bibliográfica, entendiéndose por esto, *“...El estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo principalmente, en fuentes bibliográficas, documentales y estadísticas. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, conclusiones, recomendaciones y en general en el pensamiento del autor.” (UPEL, 1990, p.6)*

Además es un estudio de campo porque se le administrará un cuestionario a especialistas en el área de ingeniería, específicamente a aquel personal entrenado en lo referente a Sistemas de Levantamiento Artificial y estudios de yacimientos, para complementar la información documental

Los objetivos del estudio propuesto y la disciplina en las cuales se ubica la temática de este trabajo de investigación, con base documental bibliográfica se encuentra en el campo de la Ingeniería de Petróleo específicamente en las áreas de producción y explotación del crudo.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPITULO II

2.- MARCO TEÓRICO

2.1 Consideraciones Generales

El Marco Teórico de la Investigación o Marco Referencial, se define como un compendio de una serie de elementos conceptuales que sirven de base a la indagación por realizar (Arias, 1999).

Una vez citado el planteamiento del problema, y definidos los objetivos (el general y los específicos), los cuales determinan los fines de la investigación es necesario señalar los aspectos teóricos sobre los distintos Sistemas y Modelos de Selección de Levantamiento Artificial y los Criterios que los afectan, que sustentarán el estudio en referencia.

En esta parte de la investigación, se plantean en primer lugar las consideraciones generales sobre los criterios, seguidamente se hace referencia sobre los sistemas de levantamiento artificial y los modelos que permiten su selección y al final se hace un análisis descriptivo de los diferentes Criterios que afectan la selección de los mismos.

Es evidente que ante cada problema de investigación se tengan diferentes referencia teóricas y conceptuales, por lo que el propósito del Marco Teórico es dar a la investigación una información coordinada y coherente de los distintos constructos epistemológicos relacionados con los Criterios que Influyen en la Selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial (Leal, 2001).

2.2 Criterios

2.2.1 Definición

Antes de entrar en la definición, de lo que es un criterio es importante señalar que mucha de la literatura sobre lo que es o debe ser un criterio está desarrollada en el campo de la administración de empresas. É por qué de lo anteriormente expuesto, se basa en que

dicha área, surgió en un primer momento de la necesidad de visualizar hacia donde se dirige la empresa.

El vocablo criterio, significa emitir un punto de vista o un juicio acerca de una situación particular.

Luego de esta primera definición de criterio, según su etimología hay gran cantidad de conceptos de diferentes autores, que en su gran mayoría no hacen más que decir lo mismo con palabras diferentes. Hoy en día el concepto de estrategias va muy ligado a la corriente del pensamiento logístico dentro de una empresa. Es aquí, la identificación de lo que es un criterio y su estructuración se presta con mucha frecuencia a errores de interpretación de concepto; como por ejemplo entre políticas, restricciones y criterios; o, a que las relaciones entre los criterios no son claras, lo cual origina que los conceptos de prioridades son mal establecidos (Carvajal 1999).

Para tratar de visualizar como se comportan los conceptos principales del Pensamiento Estratégico, es tal que dentro del contexto de una empresa surgen unos criterios los cuales sirven de factor detonante para el surgimiento de una visión de empresa, la cual a su vez genera una misión y ésta unos criterios, los mismos conllevan, para finalizar, a la generación de metas. Todo lo anterior va concatenado uno a uno desde el centro de la empresa hacia el exterior de la misma.

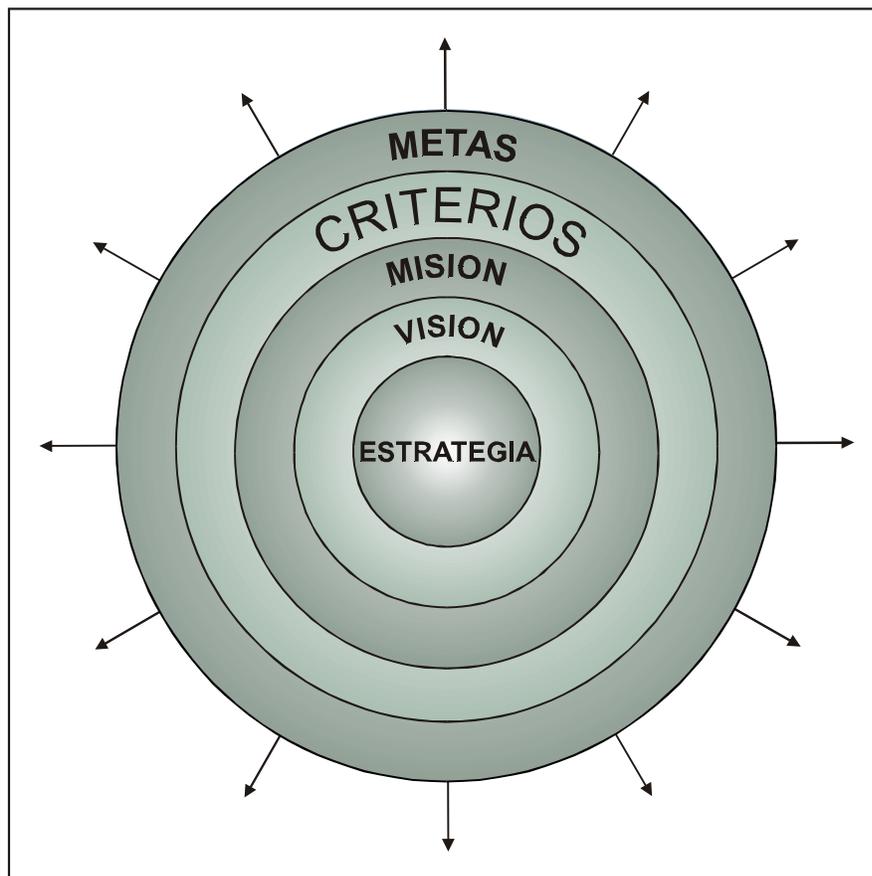
Para entender mejor lo anterior Morrisery (1996) define:

ESTRATEGIA: señala la dirección hacia donde debe avanzar la empresa, lo que ayuda a determinar sus productos, servicios y mercados futuros. También es definida por Pulgar (1983) como: “la ciencia en el arte de emplear las destrezas y recursos de una empresa para lograr sus objetivos básicos en las condiciones más ventajosas”.

VISIÓN: representa lo que se cree es el futuro de la empresa a los ojos de los clientes, empleados, propietarios y otros accionistas importantes

MISIÓN: describe la naturaleza de la empresa o él por qué sé esta en ese negocio, a quien sirve y los principios o valores que pretende funcionar.

Para ilustrar lo anteriormente expuesto se muestra la figura 2.1



Fuente: Carvajal 1999

FIGURA 2.1: LOS CRITERIOS DENTRO DE LAS ESTRATEGIA DE LA EMPRESA

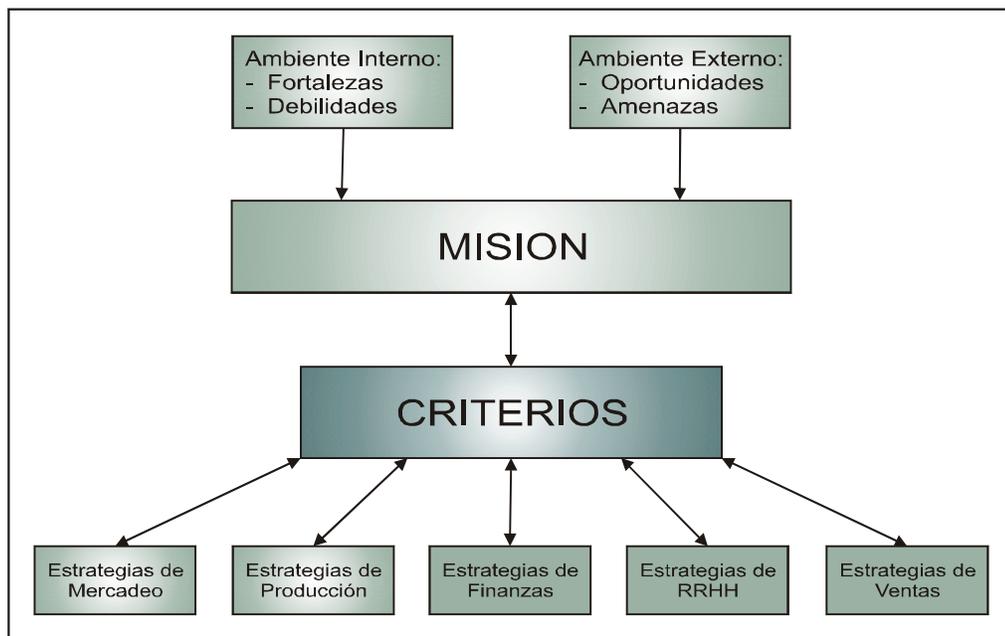
Dentro de la misma temática, Sallenave (1985) define:

- CRITERIOS: son voluntades organizacionales independientes de los deseos de los gerentes; ejemplos: supervivencia, crecimiento y utilidades.
- METAS: son sub-conjuntos de los criterios determinados por los dirigentes de la empresa.

McConkey (1985) define los criterios como:

“Una descripción específica de un resultado final que se debe alcanzar. El criterio no dice cómo se va alcanzar, pero si indica el qué – resultado que debe alcanzarse – y el cuándo – la fecha tope en que debe lograrse.”

En muchos casos la visión de una empresa está contenida dentro de su misión. Está última está afectada por factores internos y externos a la empresa, lo cual genera fortalezas y debilidades, oportunidades y amenazas. Los criterios están alineados según su misión (ver figura 2.2) y según las estrategias de los diversos departamento de la empresa.



Fuente: Carvajal 1999

FIGURA 2.2: LOS CRITERIOS DENTRO DEL PENSAMIENTO ESTRATÉGICO

Para manejar un concepto común de Criterio, en el presente trabajo adoptará la conceptualización presentada por Carrasquero (1995)

“ Los criterios representan las direcciones de mejoramiento de las preferencias de la unidad de decisión (o de cualquier otro actor del proceso) a lo largo de atributos o agregados de atributos.”(Ob. Cit.).

En donde, los atributos son:

“Elementos conmensurables que permiten describir una realidad en estudio. Pueden referirse a cualidades objetivas o subjetivas, pero que son percibidas por los actores involucrados en el proceso de decisión como características propias de los criterios que conforman esa realidad”.(Ob. Cit.).

Por Metas se entiende el nivel de un atributo asociado al criterio el cual identifica claramente el nivel de logro a alcanzar. La meta precisa cómo, en qué forma y cuándo se va a lograr la intención (Ob. Cit.).

2.2.2 Determinación de Criterios

La determinación de los criterios va a depender de dos principios fundamentales:

- a.- Las posibles consecuencias de cada alternativa.
- b.- La preferencia del ente decisor o en el caso del presente trabajo del grupo de expertos sobre esas consecuencias.

Según R. Keeney (1.994), quien ha sido uno de los autores que más ha escrito sobre el modelaje y determinación de criterios: *“El punto de partida para especificar criterios es la creación de una lista sin estructurar de posibles consecuencias de las alternativas”*; y como se señaló anteriormente, esas alternativas no son más que la generación de ideas buenas o malas que inicialmente, el ente decisor, genera; en otras palabras es un acto creativo.

Keeney afirma:

“... la cantidad de tiempo usualmente tomado para articular valores apropiados para un problema de decisión es relativamente minúsculo con el tiempo usado para direccionar otros aspectos del problema. La función criterio debe ser determinada en una hora con una pequeña reflexión, y sin embargo varias personas/años de esfuerzo y millones de dólares pueden ser usados para modelar las relaciones entre alternativas y consecuencias y para reunir información sobre esas relaciones”.

El camino más fácil para identificar criterios, siempre será preguntar al grupo de expertos. Keeney identifica las siguientes técnicas para reconocer criterios.

- Generar una Lista de Deseos: ¿Qué se busca? ¿Qué es lo que se quiere?
- Describir las Alternativas: ¿Qué es una alternativa perfecta, una alternativa terrible y una alternativa razonable? ¿Qué es lo bueno o lo malo de cada una?
- Identificar el Problema y Defectos: ¿Qué es lo fuerte o débil de tu sistema? ¿Qué necesitas fijar?
- Señalar las Consecuencias: ¿Qué está ocurriendo de bueno o de malo? ¿Qué pudiera ocurrir?
- Identificar Metas, Restricciones y Lineamientos: ¿Cuáles son tus aspiraciones? ¿Qué limitaciones tienes arriba de ti?
- Mostrar Perspectivas Diferentes: ¿Qué crees que le preocupe a tu competidor? En el futuro ¿Qué te preocuparía?
- Definir Criterios Estratégicos: ¿Cuáles son tus criterios básicos? ¿Cuáles de tus valores son absolutamente fundamentales?
- Definir Criterios Genéricos: ¿Qué criterios tienen tus clientes, empleados, técnicos y tu mismo? ¿Qué criterios de desarrollo social, económicos, de salud y seguridad son importantes?
- Estructurar Criterios: seguir el significado de las relaciones ¿Por qué es ese criterio importante? ¿Cómo puedes lograrlo? Usar especificaciones: ¿Qué significa para ti ese criterio?
- Cuantificar Criterios: ¿Cómo mides la relación de este criterio? ¿Por qué el criterio A es tres veces más importante que el criterio B?

Según el autor de estas técnicas señaladas existe redundancia expresada a propósito ya que *“es más fácil reorganizar criterios redundantes cuando están listados que identificar criterios ausentes”*. Keeney (1.994) también establece *“que para que un criterio pueda dirigirse hacia donde queremos, debemos tener”*:

- Un contexto de decisión.
- Un Criterio.
- Una dirección de preferencia.

Para ejemplificar esto, Keeney describe que el criterio de una compañía de productos forestales: “Minimizar el impacto ambiental”. El contexto de decisión sería los recursos naturales, el criterio es el impacto ambiental y la preferencia es por el menor impacto que se ocasionaría.

Según otros autores, para fijar con precisión y en forma completa los criterios, ayudan las seis preguntas de Rudyard Kipling: ¿Qué, cómo, quién, por qué, dónde, cuando? (En inglés ¿What, How, Who, Why, When, Where?) y sus múltiples combinaciones posibles. Esta amplitud de preguntas se debe el que al fijar criterios es un campo muy genérico. Su amplitud puede ir desde fijar criterios para colocar una estación espacial en Marte o fijar criterios para planificar un semestre de clases.

La lista inicial muy probablemente contendrá varios ítems que no serán criterios realmente, se mezclan posiblemente alternativas diversas, restricciones y objetivos para evaluar alternativas. Aquí, es necesario separar los criterios generales, de los específicos y de los otros factores mezclados. Lo recomendable es preguntarse ¿Por qué es importante? Lo que ayudará a diferenciarlos.

Los criterios determinados deben tratar de romperse o desglosarse en sus partes lógicas; de tal forma poder determinar factores que permitan medirlos o generar nuevos sub-criterios.

Keeney – Raiffa (1.976) establecen, que al dividir criterios en sub-criterios en cualquier nivel, “se debe considerar todas las facetas de los criterios generales para describir el sub-criterio”. Se pueden tener jerarquías en forma lateral como en forma vertical. Estos autores referencian a Ellis (1970) quién diseñó los llamados criterios en la jerarquía; si el menor curso de acción pudiese ser alterado si el criterio fuese excluido. En caso afirmativo, obviamente el criterio debe ser incluido. En el caso negativo, el grupo de especialistas puede aún decidir mantenerlo, pero si el análisis se complica puede ser excluido.

Una vez obtenida la jerarquización de los criterios, si el grupo de especialistas es su propio analista, y no tiene que convencer a nadie más de lo correcto de su acción, él

puede probar su modelo en un esquema mental asignando posibles valores a los criterios planteados y observando que pasaría.

De otra forma, si el grupo de especialistas y su analista trabajan aparte, comienza el problema de cómo involucrarse. En esta situación, el análisis presumiblemente presentará sus resultados y recomendaciones a los especialistas, quien seleccionará una alternativa o un curso de acción. Para justificar su trabajo, con la mayor cantidad de detalles posibles. Él buscará usar índices para aquellos criterios subjetivos. El analista buscará el o los criterios estratégicos y descenderá hasta los criterios específicos.

Si se busca mostrar el trabajo para convencer a otros de lo correcto de la jerarquización, probablemente se comience con los criterios específicos y se ascienda a los criterios estratégicos.

Lo más recomendable, es que en el proceso de establecimiento de criterios, los especialistas y el coordinador trabajen en conjunto desde el principio; para ello se describirán más adelante algunas técnicas aplicables para este caso. Desde este punto de vista, se puede trabajar desde lo estratégico hasta lo específico o viceversa; según la dinámica establecida por los entes participantes. De esta forma se obtiene una decisión ganano – ganas; ya que ambos fijaran un camino de acción en común acuerdo. En la fijación de criterios deben participar todos los involucrados, de tal forma que todos los decisores sepan que esperar o por lo menos tengan una idea vaga de hacia donde se dirigen. Los criterios así mismo planteados, deben ser posibles de alcanzar, es decir, que se puedan obtener resultados factibles, para ser llevados a la aplicación en la realidad.

2.2.3 Técnicas para la Generación de Criterios.

Existen diferentes métodos para la fijación de criterios en grupos, cada uno es útil a su tiempo y cada uno tiene ciertas consecuencias para futuras acciones del grupo, lo importante es que el grupo comprenda estas consecuencias para que pueda elegir un método para la fijación de los criterios apropiados para el tiempo que dispone, la historia del grupo, la clase de tarea en la que trabaja y la clase de clima del grupo.

Sin embargo al trabajar directamente con grupos, se debe tomar en cuenta, las ventajas y desventajas de una decisión tomada en grupo (ver tabla 2.1).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Amplitud de la información	Lentitud
Diversidad de la información	Conformismo
Aceptación de la solución	Dominio de la discusión
Legitimidad del proceso	Responsabilidad ambigua

Fuente: Robbins, 1996

TABLA 2.1: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UNA DECISIÓN EN GRUPO

Indistintamente, en muchas ocasiones, al trabajar en grupo, la fijación de criterios responde a algunos de los siguientes casos:

- i. Fijación de Criterios por Falta de Respuesta (abandono): es un método común, pero poco visible, consiste en que alguien del grupo propone una idea y antes de que nadie halla dicho nada sobre ella, otro sugiere otra idea y así sucesivamente hasta que el grupo encuentra una sobre la cual acepta actuar, el grupo en cierto sentido decidió sobre las ideas anteriores al dejarlas pasar por alto, el grupo hizo un acuerdo común de no apoyarlas, fueron abandonadas, el aspecto negativo es cuando el ponente siente que su idea fue abandonada.
- ii. Decisiones por Regla de Autoridad: el grupo establece una estructura de mando o poder que muestra que las decisiones serán tomadas por el presidente, el grupo genera y discute libremente ideas o soluciones, pero el presidente decide en cualquier momento después de haber oído que ha decidido hacer tal o cual cosa. Este método es eficaz, pero su efectividad dependerá de que el presidente sea un oyente bueno para entresacar de la discusión grupal la información correcta que sirva de base para la decisión, aunque puede mirar el compromiso del grupo si la extracción de la información no fue adecuada o no tiene relación con lo discutido por el grupo.
- iii. Decisión por Minoría: ocurre cuando uno, dos o tres individuos emplean tácticas de acción o que producen acción, y por lo tanto, son consideradas como decisiones, pero se toman sin el consentimiento de la mayoría, una sola persona del grupo

puede imponer su decisión, particularmente si desempeña algún tipo de presencia en el grupo, sin dar oportunidad a la oposición de sostener su parecer. (El presidente da su opinión y luego de manifestarla pretende consultar al grupo, todos estamos con la idea de Juan así que procedamos, o dos personas se ponen de acuerdo manifiestan su idea y preguntan ¿Alguien está en desacuerdo?). Esta técnica se basa en que el silencio implica aceptación y en el hecho en que alguien se opone u objeta se puede considerar como obstrucción, y el grupo tiende a dejar correr la decisión aunque no esté de acuerdo.

- iv. Decisión por Mayoría (votación, encuesta, etc.): se pregunta a cada miembro su opinión, se discuten las opiniones durante cierto lapso y si una mayoría opina del mismo modo, se supone que esta opinión es una decisión, o se plantea una alternativa y se pide una votación a favor o en contra. Pero este método no es perfecto, ya que con frecuencia las decisiones tomadas así, no siempre el grupo las ejecuta bien, ¿qué pasa? Los estudios dicen que existen dos aspectos psicológicos
 - La mayoría cree que sus puntos de vista no fueron tratados adecuadamente y se cree malentendido o resentido.
 - El miembro de la minoría cree que se formaron dos fuerzas y ganó la errónea, solo es cuestión de tiempo que se den cuenta que su idea o la de su grupo eran las verdaderas. En otras palabras, la votación crea coaliciones y la coalición derrotada no colabora en que funcione la decisión ganadora.
- v. Decisión por Consenso: es uno de los métodos más eficaces en el establecimiento de criterios, pero este método es uno de los que requiere mayor tiempo. El consenso no entendido como unanimidad, sino como el hecho de que los miembros que no votaron por la alternativa adoptada por la mayoría comprenden, sin embargo, tal decisión con claridad y están dispuestos a apoyarla implica un estado psicológico, en donde se sienten que los puntos de vista propios fueron suficientemente considerados y se le dio suficiente tiempo para analizarla, discutirla y entenderla por los demás, pero otra idea fue más adecuada para el momento. Se dice que los problemas importantes y trascendentales, hay que tratarlos con esta técnica ya que es costosa en tiempo, porque para aplicarla hay que planificar una situación en la cual la comunicación sea abierta libre y el clima del grupo alentador para que todos

los miembros sientan que han tenido, equitativamente, oportunidad para influir en la decisión.

- vi. Decisión por Unanimidad: La decisión lógicamente perfecta, pero la más difícil de aceptar, es cuando se toma la decisión porque todos están realmente de acuerdo con ella. La unanimidad no es siempre necesaria, muchas veces es sólo necesario el consenso, ya que llegar a la unanimidad es costosa y muy difícil, utilizada únicamente para decisiones vitales.

A continuación se describen algunas técnicas o herramientas prácticas, que han demostrado aumentar la capacidad creativa de un grupo para la generación de ideas y mejorar la toma de decisiones por parte del ente o los entes decisores. Estas técnicas no son únicas y son de amplio conocimiento las cuales se recopilaron, con la intención final de que sean utilizadas en obtención y fijación de criterios.

Interacción: es la forma más común de toma de decisiones por grupo, en la cual los miembros interactúan uno con otro cara a cara. Es frecuente que en este tipo de grupo se censuren los miembros a sí mismos y presionen a los miembros individuales hacia una opinión común.

Tormenta o Lluvia de Ideas: Esta técnica fue desarrollada en 1963 por Alex F. Osbome, basándose en el deseo de mejorar la solución de problemas encontrando soluciones nuevas y poco usuales. Con esta técnica se pretende superar las presiones de conformismo en el grupo de interacción que retardan la aparición de alternativas creativas. Y esto se logra utilizando un proceso generador de ideas que alienta todas las operaciones, sin impedir la crítica de ellas. En una sesión típica de tormenta de ideas, entre seis y doce personas se sientan en torno a una mesa. El líder del grupo formula problemas con claridad, de modo que todos los participantes lo entiendan. Entonces presentan, con absoluta libertad, todas las alternativas que se les ocurra en determinado lapso de tiempo. No se admiten críticas y todas las alternativas se apuntan para discutir las y analizarlas más adelante. El hecho de que una idea estimula a otras y que el juicio de incluso las sugerencias más inverosímiles no se dé, sino hasta más tarde, alienta a los participantes a “pensar lo insólito”. En este enfoque la decisión la toma el grupo que tiene a su cargo la implantación.

Comités: Un comité es un grupo de personas a las que se le asigna, como grupo, algún asunto. También se les conoce como: consejo, comisión, equipo de trabajo o simplemente equipo. Algunos autores han establecido que un comité pasa por cuatro etapas:

1. Formación: los miembros comienzan a conocerse entre sí.
2. Tormenta de ideas: los miembros determinan el objetivo de la reunión, se producen conflictos.
3. Establecimientos de normas: el grupo llega a un acuerdo sobre normas y sobre algunas reglas de comportamiento.
4. Desempeño: el grupo comienza a generar criterios.

Las personas se desempeñan diferentes roles dentro del comité: algunas buscan información, otros la proporcionan, algunos son impulsores otros son seguidores. Puede que el comité sólo recomiende o tome decisiones, ello depende del alcance y del poder del mismo (ob-cit)

Método Sinéctico: Fue desarrollada por William J. Gordon en 1956. En esta técnica los miembros del equipo son seleccionados cuidadosamente de acuerdo con su capacidad para hacer frente al problema en cuestión. El líder del grupo solamente conoce la naturaleza específica del problema. Él limita y dirige cuidadosamente la discusión sin revelar cuál es el problema real. Con ello se evita que el grupo llegue a una solución prematura del problema. El sistema incluye un grupo complejo de interacciones del cual surge una solución. El método tiene por objetivo aprovechar la fuerza creativa, inherente a la formación de analogías, siguiendo los siguientes pasos:

1. Se trata de poner de manifiesto las diferentes concepciones del problema. Esto se realiza pidiendo a cada miembro del grupo que formulen una definición del problema. Luego se unifica el concepto del grupo.
2. El grupo abandona el problema y se dedica a una discusión totalmente alejada de la cultura de trabajo.
3. Se generan ideas y se efectúa un recuento de dichas ideas, sobre el objetivo del problema definido anteriormente.

Método Delphi: Fue desarrollado por Norman Dalkey y Olaf Helmer. Su nombre deriva de la ciudad griega de Delfos, célebre por los oráculos que hacia Apolo por boca de la Pitia. Es un método de formalización del proceso de negociación entre dirigentes, con el objeto de lograr un consenso de objetivos y políticas, es normativo, los participantes son invitados a revisar sus posiciones iniciales a la luz de las opiniones de los otros. Se pueden distinguir dos tipos de método a saber:

- a.- DELPHI-E: se aplica a la determinación del estado futuro del mercado o del entorno en una industria particularmente inestable.
- b.- DELPHI-P: permite identificar la mayor cantidad de criterios posibles, de evaluarlos separadamente y de lograr un consenso sobre él o los criterios que parecen ser los más deseables.

En el presente trabajo se hablará sobre este último y solo se le llamará Delphi. Es un proceso iterativo que termina cuando las opiniones se han reducido suficientemente, esto es, cuando existe acuerdo entre los criterios fundamentales y en los sub-criterios.

Delphi procede en seis etapas:

1. Formulación del Problema: se pregunta ¿Por qué tenemos un problema de criterios o criterios?.
2. Enumeración de Opciones: criterios posibles, elección de políticas que respondan a varias configuraciones de criterios.
3. Determinación de Posiciones Iniciales: ¿Cuáles son los puntos en que hay unanimidad y aquellos en que hay desacuerdo?.
4. Análisis de Diferendo: ¿Por qué hay desacuerdo? ¿Cuáles son las premisas, los hechos, las opiniones sobre las cuales se apoyan los razonamientos personales para llegar a posiciones opuestas?.
5. Análisis de Grupo: ¿Cómo reacciona el grupo de dirigentes ante los argumentos de cada uno para defender su posición?
6. Reducción de Opciones: Cada uno reevalúa su posición inicial (etapa 3) según el resultado del análisis del grupo (etapa 5), y se reduce entonces el número de opciones (etapa 2).

Es un proceso iterativo que termina cuando las opciones se han reducido suficientemente, esto es, cuando existe acuerdo en los criterios fundamentales y en los sub-criterios.

El método Delphi no requiere la presencia física de los miembros del grupo. Posee como inconvenientes que el método es altamente consumidor de tiempo, si los miembros del grupo no se encuentran cara a cara puede que no surjan ideas que podrían emerger al calor de una discusión.

Método K – J: Desarrollado por Kawasaki Jiro, sostiene que la clave para llegar a una solución idónea es dar con la adecuada estructuración del problema. Según los siguientes pasos:

1. Se pide a los participantes que escriban en fichas todos los elementos que le sean propios al problema.
2. Se forman combinaciones aleatorias de los elementos de las fichas; cada combinación se discute a fin de determinar si tiene sentido; si lo tiene se agrupa con elementos parecidos.
3. Se caracteriza los grupos de observaciones por patrones y en forma jerárquica, quienes revelaran la estructura de las ideas, según los criterios planteados.

Arbol de Decisiones: El árbol de decisiones, como método cuantitativo, es una presentación gráfica en red, en los cuales se muestran los puntos de decisión, los acontecimientos fortuitos y las probabilidades existentes en los diversos cursos posibles. Puede ser con probabilidades o sin probabilidades. El árbol de decisión con probabilidades requiere asignar una probabilidad a algún evento en un futuro incierto, se obtiene un valor esperado al multiplicar el valor condicional de un resultado por la probabilidad que ocurra. El árbol de decisión describe cada alternativa como la rama de un árbol. Muestra los valores condicionales, los pesos proporcionados por las probabilidades asignadas y el valor esperado final de cada rama. Entonces pueden compararse los frutos económicos previstos de cada alternativa.

1. **Árboles de Decisiones sin Incertidumbre:** El árbol de decisión, como método cuantitativo, es una presentación gráfica en red. Los distintos objetivos se ubican de acuerdo a sus atributos e influencias con respecto a los demás criterios; se

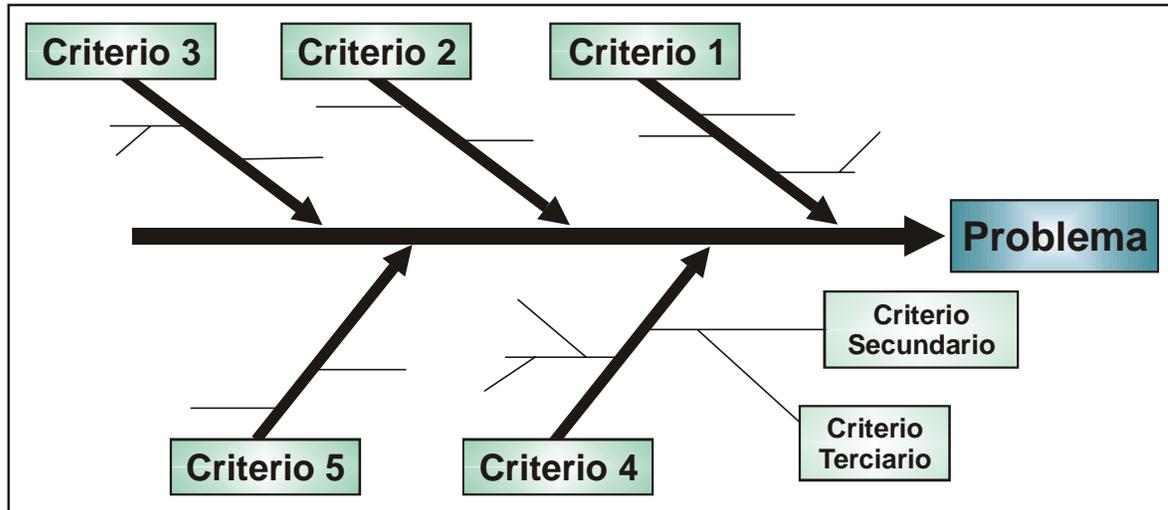
definen criterios principales que serán seguidos de criterios menores, los cuales permiten la valoración de los primeros, tanto así que de ser necesario, éstos a su vez se pueden descomponer en un proceso sucesivo.

2. **Árboles de Decisiones con Incertidumbre:** en este método, los criterios son seguidos de consecuencias, cada una de ellas con un grado de probabilidad, que a su vez dan origen a nuevas acciones que tienen también consecuencias. Determinada la probabilidad, se puede calcular la probabilidad de toda la secuencia. Las ramas con mayor probabilidad aportarán mayor peso específico. También se puede emplear el valor esperado de ocurrencia de cada rama.

Reuniones Electrónicas: Es el enfoque más reciente en la toma de decisiones, es una mezcla de la técnica del grupo nominal con la computación. Básicamente se reúne a cada tomador de decisión frente a un computador. Mediante algún protocolo de comunicación (por ejemplo Internet) todos están conectados simultáneamente en el mismo lugar o en cualquier parte del mundo. Se entrega a los participantes los temas a discutir, inmediatamente comienzan a escribir en su computador las opiniones y votos a favor o en contra de los planteamientos. Todos los participantes pueden observar simultáneamente los comentarios de los demás participantes. Se hace anónimo si se desea, lo cual deja de fluir mejor los planteamientos aunque parezcan fuera de orden y no logran sanción alguna. Se estima que las reuniones de este tipo son hasta 55% más rápidas, ya que se eliminan los chismes y las desviaciones de las reuniones. La desventaja más relevante es que están mayormente beneficiados los más rápidos transcriptores de datos y si el grupo es anónimo las mejores ideas no reciben reconocimiento público.

Diagramas Causa-Efecto: También conocido como diagrama espina de pescado ó Ishikawa, en honor a su creador Kaoru Ishikawa. Se utiliza para ilustrar las relaciones entre un “efecto” y todas las posibles causas que lo influncian. Una adaptación al problema de generar criterios sería la de colocar el problema a resolver a la derecha y los criterios necesarios para resolver dicho problema a la izquierda en forma de “espina de pescado”.

Se identifican, sobre la base de la opinión de los participantes, los criterios principales y los demás criterios subordinados. Ver figura 2.3.



Fuente (Robbins, 1996)

FIGURA 2.3: DIAGRAMA ESPINA DE PESCADO

Además, se puede seleccionar criterios mediante alguna de las siguientes técnicas en condiciones de incertidumbre:

- a.- Criterio Pesimista, MÍNIMAX o de Wald: se selecciona aquel criterio que genere la mínima pérdida entre las máximas pérdidas posibles; en otras palabras una selección de lo mejor entre lo peor. Es un enfoque netamente conservador.
- b.- Criterio MÁXIMAX o de Hurwicz: se selecciona el mejor de los mejores criterios. Es un enfoque optimista.
- c.- Criterio de Hurwicz Modificado: introduce el coeficiente de optimismo, se considera la mejor y la peor alternativa, considerando su importancia de acuerdo a unos factores (pesos) probabilísticos (de cero cuando es más pesimista a uno cuando es más optimista).
- d.- Criterio de Laplace o de Bayes: asume que todos los criterios tienen la misma probabilidad de ocurrencia, por lo cual estima esta probabilidad y calcula el valor

esperado de ocurrencia de cada criterio. Se selecciona la alternativa con mayor valor esperado.

- e.- Criterio de Savage: establece un criterio MÍNIMAX, o sea, el ente decisor construye una matriz de arrepentimiento (donde se refleja el grado de arrepentimiento por haber seleccionado un objetivo y no otro), escogerá aquel criterio que minimiza el arrepentimiento máximo que pueda obtener. Es un criterio ultraconservador.

2.2.4 Jerarquización de los Criterios

Se entiende por jerarquía a una abstracción de la estructura de un sistema, en donde cada uno de los niveles que la conforma consta de muchos elementos o criterios, y tiene como finalidad estudiar las interacciones funcionales de sus componentes y sus impactos en el sistema entero, (Wilby, 1994). Es también una forma conveniente de descomponer un problema complejo, en la búsqueda de explicaciones causa – efecto, en pasos o niveles que forman una cadena lineal (Saaty, 1994).

La estructura que se establece en las jerarquías se va desarrollando hacia abajo, comenzando por el factor más general y menos controlable (metas, objetivos, criterios y sub-criterios), y terminando en el nivel de alternativas, los cuales suelen ser más concretos y controlables. Un criterio útil para comprobar la validez de una jerarquía es el 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 conduce a suponer la independencia del nivel superior dentro de la jerarquía, con respecto a todos los niveles inferiores de la misma. Entendiéndose que existe una 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 (Mondelo, 1996).

[Raia, 1.989] establece que a los criterios se les puede asignar prioridades o cierta ponderación relativa, con el objeto de determinar una jerarquía de importancia o funcionalidad, de acuerdo a algunos de los siguientes mecanismos:

- Clasificación Según el orden de Importancia.
- Clasificación Según la Clasificación de los Criterios.
- Clasificación por Medio de la Asignación de Pesos Relativos.
- Clasificación por su Prioridad
- Clasificación Según Asignación previa.
- Método de Comparaciones Pareadas.
- Método de Normalización.
- Proceso Analítico Jerárquico.

Para el caso de criterios jerarquizados, se recomienda por su simplicidad, **El Proceso Analítico Jerárquico**, metodología propuesta por Thomas Saaty en 1972, es una teoría de medición aplicada a la toma de decisiones multicriterio que utiliza comparaciones entre parejas de criterios para alcanzar un nivel de preferencia entre un conjunto de alternativas previamente seleccionadas (Saaty, 1982). Para aplicar esta teoría de medición se hace necesario desagregar el problema en sus partes componentes o variables hasta llegar a un orden jerárquico de todas ellas, asignar valores numéricos a los juicios emitidos por la unidad de decisión sobre la importancia relativa de las mismas y finalmente, determinar el orden de prioridades de las variables en estudio.

El objetivo del Proceso Analítico Jerárquico puede considerarse como el de aportar una contribución para la toma de decisiones en el modelo de problemas reales; este aporte viene dado por el hecho de suponer que todo juicio que se formule es relativo en sí mismo, por cuanto será dependiente del conocimiento, la intuición, la experiencia, etc. de la unidad de decisión. Para sustentar matemáticamente esta suposición (Saaty, 1980), establece que C_1, C_2, \dots, C_n son los criterios de algún nivel dentro de una jerarquía y se desea encontrar los pesos w_1, w_2, \dots, w_n , de estos criterios sobre un criterio de un nivel siguiente.

Si se denota por a_{ij} el número que indica la fortaleza de criterio C_i con respecto al criterio C_j y se denota a la matriz de comparación por pares como A , se tiene:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}$$

La escala de comparación utilizada en el Proceso Analítico Jerárquico se presenta en la tabla 2.2, la cual proporciona los valores de los juicios que deben ser insertados en la matriz de comparaciones entre parejas (Saaty - Vargas, 1991).

VALOR DE a_{ij}	INTERPRETACIÓN
1	Los criterios de i y j tienen igual importancia
3	El criterio i es ligeramente más importante que el criterio j
5	La experiencia y la apreciación indican que el criterio i es mucho más importante que el criterio j
7	El criterio i es muy importante, o se puede demostrar que es más importante que el criterio j
9	El criterio i es absolutamente más importante que el criterio j
2, 4, 6, 8	Valores intermedios o compromisos recíprocos para comparación inversa

Fuente (Saaty - Vargas, 1991)

TABLA 2.2: INTERPRETACION DE ELEMENTOS DE UNA MATRIZ DE COMPARACIONES POR PARES

Se debe considerar que $a_{ji} = 1 / a_{ij}$, es decir, la matriz A es recíproca. Si el juicio demostrado al realizar las comparaciones entre parejas es perfecto o consistente, entonces:

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} ; \text{ para todos los } i, j, k$$

Se dice que la matriz A es consistente.

Un caso obvio de consistencia es de una matriz es aquella en la cual las comparaciones se basan en juicios exactos, es decir, donde los pesos w_1, w_2, \dots, w_n , son totalmente conocidos. Por lo tanto:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}; \text{ con } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2-1)$$

y además

$$a_{ij} \cdot a_{jk} = \frac{w_i}{w_j} \frac{w_j}{w_k} = \frac{w_i}{w_k} = a_{ik} \quad (2-2)$$

Por otra parte también ocurre que

$$a_{ji} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{\frac{w_i}{w_j}} = \frac{1}{a_{ij}}$$

Cuando las comparaciones no se basan en juicios exactos, es decir, donde los pesos w_1, w_2, \dots, w_n , son totalmente desconocidos, estos se determinan obteniéndose primero una nueva matriz llamada matriz norma (A_{norma}), por estar normalizada. Para esto cada una de las columnas de A, se divide cada columna i de A entre la suma de las fortalezas de los criterios en la columna i. Siguiendo el ejemplo:

$$A_{norma} = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{a_{1n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{22}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{a_{2n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{a_{n1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{a_{nn}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \end{bmatrix}$$

Finalmente calculando el promedio de los elementos del renglón i de A_{norma} , se obtienen los pesos w_i de los criterios. Para el ejemplo

$$w_1 = \frac{\frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}}}{n}$$

$$w_2 = \frac{\frac{a_{21}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} + \frac{a_{22}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}}}{n}$$

⋮

$$w_n = \frac{\frac{a_{n1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{i=1}^n a_{in}}}{n}$$

Si se considera la expresión matricial,

$$A \cdot x = y$$

Donde los vectores de la columna $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ y $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ representan la anotación abreviada del conjunto de ecuaciones

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = y_i, \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, n$$

si se toma en cuenta la ecuación (2-1), se obtiene

$$a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = 1; \quad \text{con } i, j = 1, 2, \dots, n$$

y por consiguiente,

$$\sum a_{ij} w_j \frac{1}{w_j} = n \quad ; \quad \text{con } i = 1, 2, \dots, n$$

lo cual equivale a:

$$A \cdot w = n \cdot w \quad (2-3)$$

Que es la expresión que define el autovector (w) y el autovalor (n). Esta expresión, en forma matricial sería:

$$Aw = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix}$$

Si se toma en cuenta en el caso práctico en el cual a_{ij} no esta basada en mediciones exactas, sino en juicios subjetivos, deberá considerarse que a_{ij} se desvía de la razón "ideal" w_i / w_j , y por consiguiente, la ecuación (2-3) no es necesariamente válida.

Sin embargo, si $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ son los números que satisfacen la ecuación de los autovalores de A

$$A x = \lambda x$$

y si además, $a_{ii} = 1$ para todo i , entonces,

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$$

por lo que si la ecuación (2-3) se sostiene, todos los autovalores son cero excepto uno, que tiene como valor n .

De lo anterior se concluye que, en el caso consistente, n es el autovalor más grande de A . Otra consideración a tomar en cuenta es que, un pequeño cambio en la data de entrada a_{ij} de una matriz recíproca A , genera también un cambio pequeño en los autovalores de A .

Combinando estos resultados se encuentra que si la diagonal de una matriz está conformada por unos ($a_{ii} = 1$) y si A es consistente, entonces pequeñas variaciones de a_{ij} mantienen al autovalor más grande λ_{max} cercano a n , y los restantes autovalores cercanos a cero.

De esto último se desprende que si A es una matriz de comparaciones entre parejas empleada en el Proceso Analítico Jerárquico, se hace necesario conocer el vector de prioridades, para eso deberá encontrarse el vector w que satisfaga la siguiente expresión:

$$A w = \lambda_{max} w$$

Como es deseable disponer de una solución normalizada, w se altera ligeramente estableciendo lo siguiente:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n w_i$$

y reemplazando w por $(1 / \alpha) w$. De esta manera se asegura un único valor y también que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Donde:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{i - \text{ésimo elemento en } Aw}{i - \text{ésimo elemento en } w}$$

Obsérvese, como los pequeños cambios en a_{ij} implican a su vez pequeños cambios en λ_{max} , la desviación de éste con respecto a n es una medida de consistencia, el cual se denomina índice de consistencia (IC) y se expresa como:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Adicionalmente, debe introducirse el concepto de índice aleatorio (IA) de una matriz, el cual, se obtiene al generar aleatoriamente matrices reciprocas de diferentes órdenes. Esto permite elaborar una tabla que proporciona el orden de la matriz y su respectivo IA promedio. La razón entre el índice de consistencia (IC) y el índice aleatorio promedio (IA) para un orden de matriz dado, se conoce como la razón de consistencia (RC). La tabla 2.3, proporciona los índices aleatorios correspondientes a matrices de orden 2 a 15.

Orden Matriz (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Índice Aleatorio (IA)	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fuente: Saaty, 1980

TABLA 2.3: INDICES ALEATORIOS PROMEDIOS

En general si la razón de consistencia ($RC = IC / IA$) es menor que 0,1 se considera que los juicios emitidos en la evaluación son satisfactorios. Cuando este nivel se excede, se recomienda una revisión de los juicios emitidos (Saaty – Vargas, 1991).

Es útil mencionar que los juicios que se emiten para construir la matriz de comparaciones, no solo puede violar la relación de consistencia sino que, también pueden no ser transitivos; es decir, si la importancia relativa del criterio C_1 es mayor que la del criterio C_2 , y la importancia de C_2 es mayor que la de C_3 , entonces la relación de importancia de C_1 no tiene que ser necesariamente mayor que la de C_3 , tal y como ocurre con los juicios de las personas (Saaty, 1980).

Fortalezas y debilidades del método

Numerosas son las fortalezas encontradas en el Proceso Analítico Jerárquico, respecto a otras metodologías de pesaje de criterios, entre ellas se tiene:

- Permite identificar, entender y evaluar todas las partes que componen el sistema en estudio.
- Es un modelo que proporciona a los individuos o grupos la capacidad de formular sus ideas y definir problemas a través de sus propias experiencias, derivando la solución deseada de las mismas (ob-cit).

- 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 o algunos de los elementos en estudio.
- Permite evaluar la sensibilidad de los resultados, sin importar el tipo de cambio que pueda considerarse de forma anticipada (Saaty, 1982).
- Es una de las técnicas que sirve de complemento a otras (Análisis Costo – Beneficio, Minimización de Riesgos, Prioridades) para el proceso de toma de decisiones.
- Se emplea tanto para atributos mensurables como para aquéllos que no pueden ser cuantificados o medidos.
- Permite tomar en cuenta todos los elementos de una jerarquía, aún cuando su prioridad pueda ser baja, por lo que no tiene sentido hablar de “alternativas irrelevantes” dentro de la Jerarquía (Saaty, 1980).
- El Proceso Analítico Jerárquico acepta un cierto grado de inconsistencia de los juicios proporcionando una manera de cuantificarla, permitiendo así a la unidad de decisión la reconsideración de sus juicios (Pinawati, 1996).

A pesar de las numerosas fortalezas antes mencionadas, El Proceso Analítico Jerárquico adolece de las siguientes debilidades:

- El número de interacciones requeridas para la generación de la matriz de comparaciones puede llegar a ser considerablemente alto en función del número de atributos o variables y niveles jerárquicos considerados (Lim – Swenseth, 1993), por lo que mientras más complejo resulte ser el problema en estudio, mayor número de comparaciones deberán efectuarse, con 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 requiere 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. Esto se

atribuye al grado de similitud que puede existir entre alternativas factibles y se sugieren condiciones para identificar tal grado de similitud. La condición es: si dos (2) alternativas A y B presentan en todos los criterios una diferencia (discrepancia) en un valor no mayor al 10%, se dice que son similares, en tal caso se debe incluir un nuevo criterio de tal manera que se hagan diferenciables. Sin embargo se ha demostrado mediante ejemplos que aún satisfaciendo el criterio, se presentó el fenómeno (Vinod – Ganesh, 1995) Citado por Sánchez, 1997.

Cuando las variables a ser evaluadas no son de la misma naturaleza, 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 – Vargas, 1991).

2.2.5 Medición de los Criterios a través de Curvas de Valoración

En la búsqueda de una estructura de orden, que refleje las preferencias del grupo de especialistas sobre el conjunto de soluciones potenciales que permita extraer una solución final, se encuentra el **Método de Curvas de Valoración**, el cual no es más que una modificación del método de construcción de curvas de valoración desarrollado por Nestor Carrasquero en 1996. Este método permite una interacción con el grupo de especialistas los cuales pueden explorar el conjunto de criterios y así extraer de él una valoración de sus preferencias en función de sus elementos.

Según (Carrasquero, 1996), el concepto de Curvas de Valoración se basa en el esquema de (Roy, 1985) que establece las cuatro relaciones binarias que se ilustran en la tabla 2.4 y en el axioma llamado comparación limitada, el cual sostiene que las cuatro soluciones fundamentales e incompatibles de indiferencia, preferencia débil, preferencia estricta y no comparable, surgen para sentar una representación realista de las preferencias del grupo de especialistas sobre la familia de criterios generada; cualquiera sean las opciones en cuestión, el punto de vista adoptado para compararlas o la información disponible.

El grupo de especialistas o el coordinador pueden concebir un modelo satisfactorio que para describir las preferencias del primero, haga corresponder a cada par de opciones

una única de las situaciones, o bien un reagrupamiento de dos o tres de estas situaciones fundamentales.

Situación	Definición	Relación binaria y propiedades
Indiferencia	Cuando existe razones claras y positivas que justifican una equivalencia entre dos opciones.	I: Relación simétrica y reflexiva
Preferencia estricta	Cuando existen razones claras y positivas que justifican una preferencia significativa a favor de una de las opciones.	P: relación asimétrica (irreflexiva)
Preferencia débil	Cuando existen 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)
Incomparabilidad	Cuando hay ausencia de razones claras y positivas que justifiquen una de las relaciones anteriores.	R: relación Asimétrica e irreflexiva

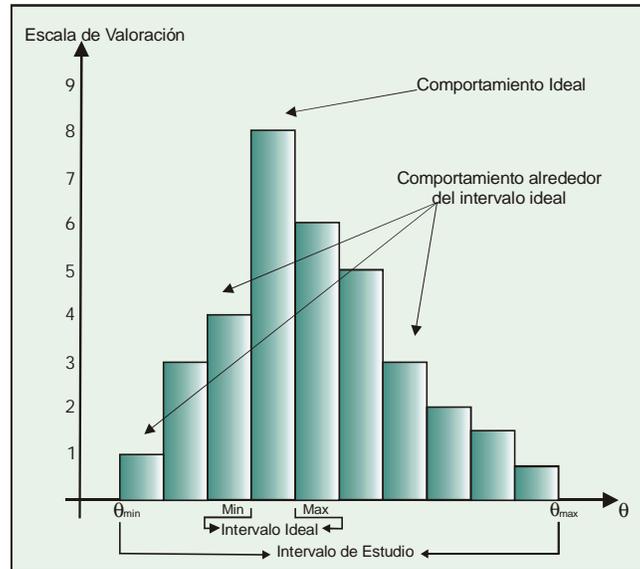
Fuente: Roy, 1985

Tabla 2.4: Las Situaciones Fundamentales de Preferencia y Relaciones Binarias Asociadas

Se define entonces como curva de valoración, a un modelo de representación de preferencias basado en tres de las cuatro relaciones binarias esbozadas en la tabla anterior (preferencia estricta, preferencia débil e indiferencia) y en el axioma de comparabilidad limitada, que permite una representación cuantitativa de las preferencias y al mismo tiempo modelar la amplitud de los umbrales de indiferencia y de preferencia (Carrasquero, 1996).

En el modelo propuesto la Incomparabilidad no tiene cabida por razones constructivas, debido a que las comparaciones siempre son hechas contra un valor prototipo, el cual es el valor preferido por el grupo de especialistas del conjunto de valores posibles (Ob-cit.).

El objetivo de este método, es producir algún tipo de orden sobre los distintos valores que puede tomar un criterio dado para así poder tomar la decisión final. Para ello se construye una curva de valoración que debe resultar similar a la de la figura 2.4, en donde la abscisa representa la variación de un criterio θ en un rango de estudio y la ordenada representa la media de calificaciones ϕ otorgadas por el grupo de especialistas a los valores que se muestran



Fuente: Propia

FIGURA 2.4: CURVA DE VALORACIÓN TIPO

La curva obtenida presenta varios elementos que se consideran útiles y sencillos de interpretar, aún para grupo de especialistas o unidades de decisión ajenas a teorías de preferencias (Carrasquero, 1996):

- Las abscisas corresponden a una barra con una medida de calificación superior a otra, representan soluciones que gozan de mayor preferencia. En particular los máximos valores de medida de calificación están asociados a soluciones que poseen la mayor preferencia.
- Los valores de las abscisas que tienen como imagen un mismo valor, están asociados a soluciones que tienen un mismo valor de preferencia, pues reciben calificaciones similares; luego hay razones para suponer que ante todas ellas el grupo de especialistas es indiferente.
- Entre dos barras claramente distintas, hay un cambio en las calificaciones que otorga el grupo de especialistas, por lo tanto, al pasar de una a otra hay 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.

Este método se centra en la generación de puntos en aquellas zonas donde se presentan las mayores desviaciones en los juicios emitidos por los especialistas. Las calificaciones que otorgan éstos se efectúan por comparación entre el criterio en estudio y el valor más

deseado de dicho criterio en estudio para un determinado Sistema de Levantamiento Artificial, conocido como valor prototipo o ideal.

El método de Curvas de Valoración emplea una escala de calificación adaptada de la metodología del proceso analítico jerárquico (Saaty, 1980), de amplia experimentación en situaciones de decisión reales. La escala numérica para juzgar el grado de similitud entre el rango ideal y la opción a calificar, esta compuesta por números enteros del 1 al 9 como se observa en la tabla 2.5.

Valor	Definición	Significado
9	Excelente	La unidad de decisión no percibe razones para afirmar que el intervalo prototipo y el intervalo a calificar difieren en algo, por lo que su grado de similitud es el mas elevado posible.
7	Muy Bueno	La unidad de decisión percibe muchas razones para afirmar que el valor del intervalo prototipo y el del intervalo a calificar son semejantes, pero también percibe algunas diferencias, 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 del intervalo prototipo y el 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 del intervalo a calificar son distintos pero también perciben 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 del intervalo a calificar se parecen 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: Silva, 2000

TABLA 2.5: ESCALA DE CALIFICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE VALORACIÓN

Al igual que la escala empleada en el proceso analítico jerárquico, las calificaciones impares tienen un valor semántico preciso, mientras que las calificaciones pares permiten representar vacilaciones o situaciones de compromiso entre valores semánticos adyacentes.

Por consiguiente, una vez establecida la escala, la curva de valoración a obtener dependerá de la capacidad de discriminación del grupo de especialistas sobre los valores del atributo y de la escala de calificación empleada. En otras palabras, en un mismo intervalo no hay soluciones que el grupo de especialistas haya diferenciado

explícitamente en el proceso, por ello se establece que el grupo de especialistas es indiferente ante las soluciones ubicadas en un mismo subintervalo con la escala de calificación utilizada.

2.3 Determinación de las Preferencias de un Sistema de Levantamiento Artificial

De lo anterior se desprende que para determinar qué Sistema de Levantamiento Artificial es el óptimo de acuerdo a los criterios que se presentan en un pozo determinado, se debe construir una ecuación en la cual se realiza la sumatoria del producto de los pesos de los criterios obtenido del Proceso Analítico Jerárquico y el valor de la función escalón obtenido del método de Curvas de Valoración para cada Método de Levantamiento, y de esta forma obtener la preferencia del Sistema de Levantamiento Artificial que se recomendará aplicar a cada pozo.

La ecuación que permite calcular la preferencia del método es como sigue:

$$Pm_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} f_{ij}(x)$$

donde:

- i = Método de Levantamiento en estudio
- j = Criterio a evaluar
- n = Enésimo criterio
- Pm_i = Preferencia del Método i
- w_{ij} = Peso del criterio j para el método de levantamiento i
- $f_{ij}(x)$ = Valor de la función escalón

2.4 Sistemas de Levantamiento Artificial

Los estudios realizados en la ingeniería de producción comprenden una serie de procesos que van desde el comportamiento de afluencia, el levantamiento de los fluidos del pozo, hasta los procesos en superficie como: recolección, separación, tratamiento, almacenamiento y transporte del crudo. Al poner en producción un pozo, se crea una diferencia entre la presión del yacimiento y la presión del fondo del pozo. Esta diferencia de presión (ΔP), origina el desplazamiento de los fluidos desde la formación hacia el pozo (cuando la presión es mayor en el yacimiento que en el pozo). A su vez, por la diferencia de presión entre del fondo del pozo y la de la superficie, los fluidos pueden ser extraídos. El proceso de levantamiento de los fluidos del pozo hacia la superficie, puede llevarse a cabo mediante producción del pozo por flujo natural o por métodos de levantamiento artificial.

Cuando la energía natural de un yacimiento es suficiente para impulsar los fluidos desde un punto del yacimiento hasta el fondo del pozo, y de allí hasta la superficie, se dice que el pozo produce por flujo natural. A medida que la energía del yacimiento declina, la producción del pozo disminuye hasta el punto en que no puede producir por si solo, debiéndose adoptar una manera de disminuir la presión del fondo del pozo y la vez de transportar los fluidos hasta la superficie, incrementando de esta forma el aporte de fluidos de la formación al pozo. Esto implica, el uso de un sistema que permita proporcionar energía de manera artificial al pozo, a estos sistemas se les conoce como Sistemas de Levantamiento Artificial.

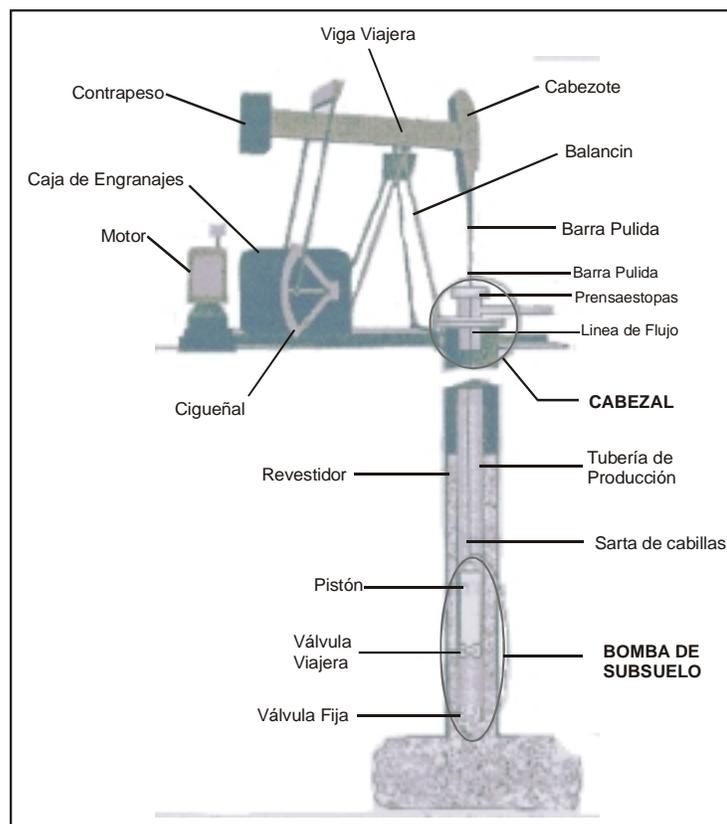
Por tal motivo la ingeniería de producción (citado por Silva. 2000) ha realizado estudios sobre los Sistemas de Levantamiento Artificial, llegando al consenso que los sistemas mas adecuados para explotar petróleo en cualquier campo venezolano son los siguientes: El Bombeo Mecánico Convencional, El Bombeo Hidráulico, Levantamiento con Inyección de Gas (Gas Lift), Las Bombas de Cavidad Progresiva y Las Bombas Electrosumergibles.

2.4.1 Sistema de Bombeo Mecánico

El bombeo mecánico es un sistema de levantamiento artificial que consiste del accionamiento de un balancín a través 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 crudo hasta la superficie.

Es el sistema de levantamiento artificial más antiguo y de mayor uso en el ámbito mundial, debido a las pocas limitaciones que presenta. En Venezuela, es ampliamente utilizado este Sistema Levantamiento Artificial. Tiene su mayor aplicación en la producción de crudos pesados y extrapesados, aunque también se usa en la producción de crudos medianos y livianos.

El sistema esta formado básicamente (ver figura 2.5) de una unidad de superficie y un equipo de subsuelo, que mediante su acción conjunta van a permitir el desplazamiento del fluido desde el pozo hasta la superficie.



Fuente: Giusti, 1999

FIGURA 6: INSTALACIÓN TÍPICA DE BOMBEO MECANICO

La Unidad de Superficie tiene la misión de transmitir la energía requerida por la bomba de subsuelo desde la superficie hasta la profundidad donde se encuentra ubicada esta última, con el fin de elevar los fluidos hasta la superficie. Está formada por: La 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 principal es proporcionar el movimiento reciprocante apropiado, con el propósito de accionar la sarta de cabillas y estas 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.

El Equipo de Subsuelo, está compuesto principalmente de la bomba de subsuelo y las cabillas de succión.

La Bomba de Subsuelo: es el primer elemento a ser considerado al diseñar una instalación de bombeo mecánico, ya que de ella depende el resto de los componentes del sistema. Está compuesta por: el cilindro o barril, que es la parte donde se moverá el pistón en sus carreras ascendente y descendente y además permite confinar los fluidos a ser producidos dentro de la bomba, el embolo o pistón, su función es desplazar 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, permite la entrada de los fluidos desde el pozo al interior de la bomba.

Las Cabillas de Succión: sirven de conexión entre la bomba de subsuelo y la unidad de superficie, tienen la función principal de: transferir energía, soportar las cargas y accionar la bomba.

Las Anclas del Eductor: se encargan de regular el movimiento de la tubería eductora y se instalan en esta, en el punto donde se controla el movimiento del pozo. El ancla se asienta en el revestidor para aprisionar el eductor.

Otros dispositivos usados en la completación de un pozo con bombeo mecánico son: La Guía de Cabillas de succión, El Vástago de tiro, El Separador de Gas, Los Dispositivo Conectable – Desconectable, y Los Raspadores de Parafina.

Los volúmenes de fluidos que desplaza la bomba entran en la tubería de producción, desplazando un volumen igual de fluido hacia la línea de flujo y de ésta hacia la estación recolectora.

VENTAJAS

Las principales ventajas de este método son las siguientes:

- Las unidades pueden ser instaladas fácilmente en otros pozos a un costo mínimo.
- El sistema es eficiente, simple y fácil de operar para el personal de campo.
- Se puede aplicar a completaciones sencillas y completaciones múltiples.
- Puede bombear un pozo hasta una presión muy baja (dependiendo de las profundidades y la tasa).
- Es flexible puede equiparar la tasa de desplazamiento con la capacidad del pozo cuando comienza a declinar.
- Existen métodos para analizar la efectividad del sistema.
- Puede realizar levantamientos de crudos a altas temperaturas, así como de fluidos viscosos.
- Puede utilizar gas ó electricidad como fuente de energía.
- Los tratamientos de corrosión y escamas son fáciles de realizar.
- El sistema permite el uso de equipos detectores de fallas.
- Disponible en diámetros diferentes.
- Cabillas de bombeo huecas son utilizables para completaciones sencillas, ya que facilitan el tratamiento con inhibidores.
- El sistema puede poseer válvulas dobles lo cual permite bombear tanto en la carrera ascendente como en la carrera descendente.

LIMITACIONES

En las siguientes condiciones no es eficiente el bombeo mecánico como método de levantamiento.

- En pozos desviados, porque presenta problemas de fricción.
- Cuando la producción de sólidos es muy alta.

- Se limita a pozos poco profundos, profundidad menor a 12.000 pies.
- En pozos costa afuera, por el peso y el espacio que ocupa el equipo de superficie.
- En pozos con alta relación gas líquido, ya que afecta la eficiencia de la bomba, reduciendo la producción.

2.4.2 Sistema de Bombeo Electrosumergible

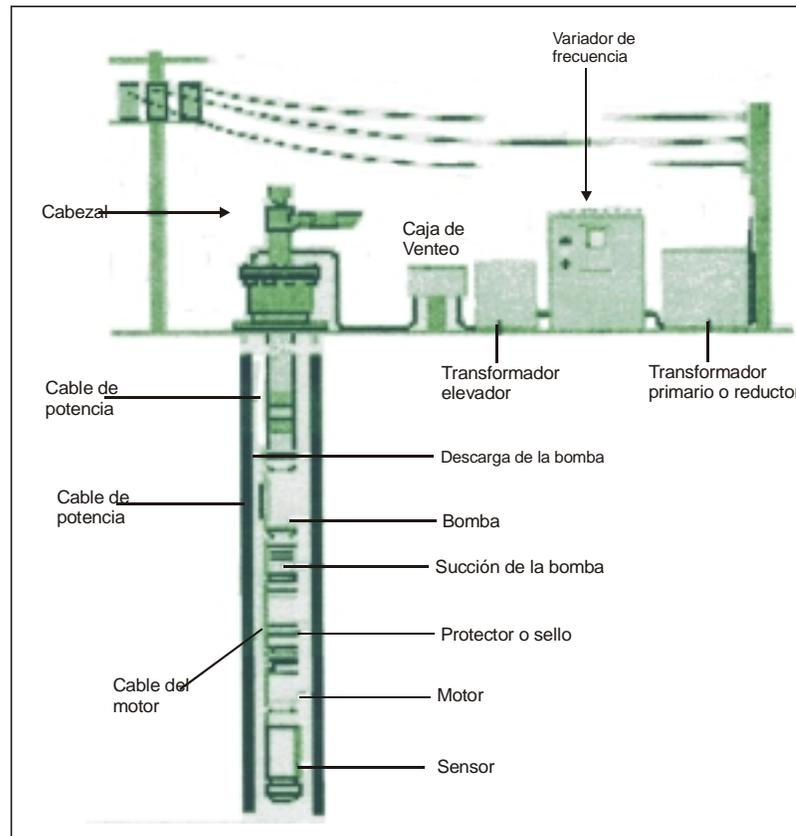
La Bomba Electrosumergible es un mecanismo que opera para levantar el crudo desde el fondo del pozo hasta la superficie, valiéndose de impulsores de subsuelo que giran a gran velocidad.

Esta constituido básicamente por bombas eléctricas de tipo centrífugas de múltiples etapas, caracterizado por el manejo de altas tasas de fluidos, alta eficiencia y rentabilidad. El rango de estos equipos va desde 200 barriles de fluidos por día, superando en ocasiones los 100.000 barriles de fluidos diarios, con profundidades de bombeo que superan los 15.000 pies.

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

Es posible la aplicación del bombeo electrosumergible en pozos que se encuentren bajo las siguientes condiciones: altas tasa de producción, alto índice 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 caso de alta RGL, se puede emplear este método utilizando un separador de gas.

La figura 2.6 muestra la instalación típica del sistema de bombeo electrosumergible, esta constituidos por equipos de superficie y equipos de subsuelo.



Fuente: Giusti, 1999

FIGURA 2.6: INSTALACIÓN TÍPICA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

El equipo de superficie consta de un grupo de transformadores de fase simple o trifásicos cuya función es la de convertir el voltaje primario al voltaje que el motor requiere, el panel de control, su función elemental es controlar la sobrecarga, baja carga o cualquier desperfecto en la instalación, así como registrar el consumo de energía o amperaje del motor en cualquier momento e iniciar el bombeo automático de la unidad o detener el bombeo por sobrecarga o baja carga del sistema, permitiendo extender el tiempo de vida útil de los equipos. La caja de empalme es utilizada para conectar el cable en la superficie y está ubicada entre el cabezal del pozo y el panel de control por motivos de seguridad, la cual evita el contacto entre el gas que podrá fugarse a través del cable eléctrico y llegar al panel de control, ocasionando una posible explosión o incendio. El cabezal del pozo sirve como elemento sellante alrededor de la tubería y del cable conductor para evitar fugas de gas o la insurgencia imprevista del pozo.

Este elemento sirve para sostener toda la instalación del fondo. Otros elementos principales de la unidad de superficie son: la válvula de retención, la válvula de drenaje, los centralizadores, los flejes para cables, el instrumento sensor de presión y la unidad variadora de velocidad.

El equipo de subsuelo está integrado por: El Motor Eléctrico, que es la fuente de potencia que genera el movimiento a la bomba para mantener la producción de fluidos, El Protector o Sección Sellante, es un dispositivo localizado entre la bomba y el motor y permite aislar internamente el motor de los fluidos que circulan por el pozo, contiene un fluido que sirve como lubricante del eje del motor que va ensamblado a la bomba. Su diseño permitirá que se igualen la presión producida y la presión interna del motor.

El Separador de Gas, tiene como función separar el gas libre del crudo retornándolo en el espacio anular a través de puertos de venteo y solamente dejar pasar a la bomba el líquido en la mayor proporción posible, lo cual mejora la eficiencia de bombeo en pozos con alta retención gas petróleo. La Bomba Centrífuga, es del tipo multietapa, donde cada etapa consta de un impulsor rotatorio y de un difusor estacionario. El numero de etapas determina el volumen de fluido que va a ser producido. Cable Eléctrico, son cables trifásicos que se encargan de suministrar al motor eléctrico la potencia, deben cumplir con los requerimientos de energía del motor y la temperatura del fondo del pozo, además, el diámetro del cable determina la pérdida de voltaje por unidad de longitud y el espacio entre el revestidor y el cuello de la tubería.

VENTAJAS

El sistema de Levantamiento Artificial con Bombeo Electrosumergible, presenta al igual que otros sistemas de levantamiento artificial ciertas ventajas las cuales deben ser consideradas al momento de realizar el diseño de una instalación.

- Es apropiado para el bombeo de altos volúmenes de fluidos.
- Estas instalaciones no presentan peligro en localizaciones urbanas.
- Fácil de operar.
- Es fácil la instalación del sensor de presiones hacia la superficie por medio de cables.
- Las perforaciones oblicuas no presentan problemas.

- Se aplica a instalaciones costa afuera.
- Se puede aplicar tratamiento contra la corrosión y la formación de escamas.
- Costos de levantamiento son bajos para volúmenes apreciables de fluidos.
- Producción de pozos cuyos empujes sea un acuífero activo.
- Producción de pozos sometidos a recuperación secundaria mediante inyección de agua.
- La producción de sólidos.
- Extensión de la vida productiva de un pozo al mantenerse activos con cortes de agua de 98%.

LIMITACIONES

- No se puede aplicar a completaciones múltiples.
- Solo es aplicable cuando se usa energía eléctrica estable.
- Se requieren altos voltajes (1000 v).
- El cable causa problemas en el manejo de las tuberías.
- Los cables se deterioran debido a las altas temperaturas.
- La producción de gas y sólidos constituyen un problema.
- Carece de flexibilidad en la tasa de producción.
- Tiene como limitación el diámetro del revestidor.
- No puede ser instalado por debajo de la entrada del fluido sin un anillo de refuerzo necesario para evitar el fluido por el motor.
- Usualmente se requiere de un tiempo mayor que en los otros métodos para corregir fallas. Esto se debe a que la unidad total se encuentra en el subsuelo.
- No es funcional a altas profundidades debido al costo del cable, a posibles problemas operacionales, y a los requerimientos de las altas potencias en superficie.
- La presencia de gas libre en la bomba, disminuye su capacidad de levantamiento, por lo cual se hace necesario la instalación de anclas de gas para poder aplicar este método.

2.4.3 Bomba de Cavidad Progresiva

Es una bomba de tipo tubular que consiste en un rotor helicoidal sencillo, rotando excéntricamente dentro de un estator helicoidal elastomérico, el cual constituye una doble hélice con una longitud del doble del recorrido del rotor en un giro. La geometría del ensamblaje determina una serie de cavidades separadas, pero idénticas. Cuando el rotor realiza el 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. Esta bomba es de desplazamiento positivo, debido a que las cavidades se encuentran selladas una a la otra. Empleando materiales elastoméricos, se puede manejar una gama de fluidos de manera eficiente.

Este, como los otros sistemas de levantamiento artificial descritos anteriormente, consta de un equipo de superficie y un equipo de subsuelo. El equipo de superficie, su instalación se realiza directamente en el cabezal del pozo y sus componentes son:

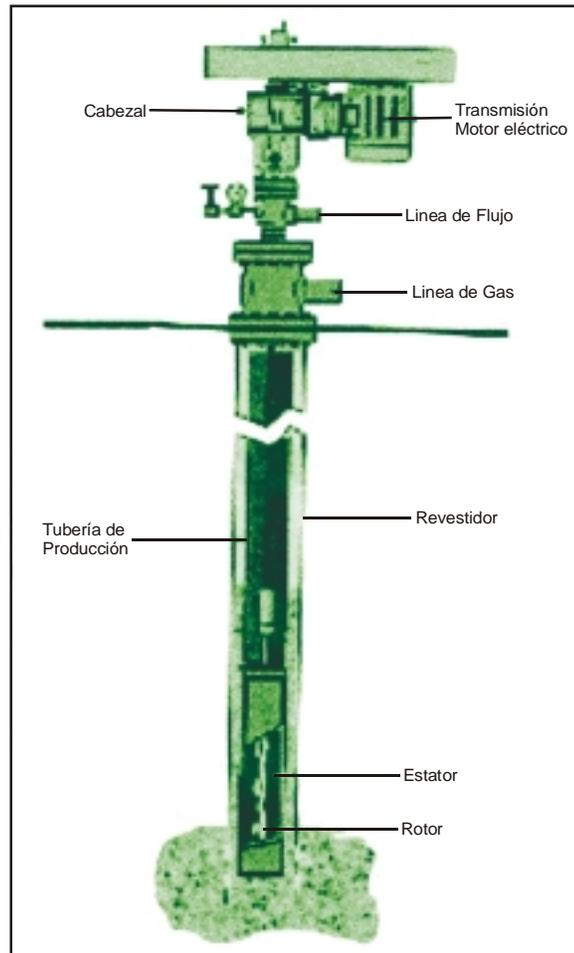
El Cabezal Giratorio; tiene como función principal, aguantar el peso de la sarta de cabillas y rotar las mismas, ésta ajustado a la caja de velocidad variable con su respectiva caja de engranajes y con un freno de retroceso el cual es parte esencial del mismo, cuya función es la de controlar la velocidad de giro inverso, como consecuencia de un corte de corriente y liberar la torsión acumulada en las cabillas en caso de bloqueo de la bomba.

El Motor; se encarga de accionar el cabezal giratorio a través de un conjunto de poleas y cadenas. Este puede ser eléctrico, de combustión o hidráulico.

La Barra Pulida y su Grapa; la barra pulida es un tubo sólido de acero inoxidable, la cual se conecta a la sarta de cabillas y es soportada en la parte superior del cabezal giratorio mediante la instalación de una grapa.

El Prensaestopas; tiene como función principal sellar el espacio entre la barra pulida y la tubería de producción, evitando con ello, la filtración y comunicación del área donde esta ubicado el pozo, su diámetro interno varía dependiendo del diámetro de la barra pulida.

En la figura 2.7 se muestra una instalación típica de la bomba de cavidad progresiva.



Fuente: Giusti, 1999

FIGURA 2.7: INSTALACIÓN TÍPICA DE LA BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA

El equipo de subsuelo está adaptado a la completación del pozo y ésta compuesto por la Tubería de Producción; es una tubería de acero que comunica la bomba de subsuelo con el cabezal del pozo y la línea de flujo. La misma debe ser diseñada de tal manera que la conexión de la primera junta de la tubería, arriba del estator, tenga suficiente diámetro disponible para que el movimiento excéntrico que realiza la bomba ocurra sin obstrucción alguna.

La Sarta de Cabillas; es un conjunto de cabillas unidas entre sí, que se introducen en el pozo y forman parte integral del sistema de bombeo de cavidad progresiva.

La Bomba de Subsuelo; es el principal componente del sistema de cavidad progresiva, esta bomba tiene un desplazamiento positivo engranada en forma de espiral, cuyos componentes principales son un rotor y un estator. El crudo es desplazado en forma continua, hasta la superficie por medio del rotor que gira dentro del estator, formando cavidades progresivas ascendentes, utilizando el principio de tornillo sin fin. La capacidad de fluidos que puede manejar estas bombas está en función del modelo y el número de etapas en el ciclo de bombeo de las mismas.

Otros componentes importantes en el equipo de subsuelo son:

- Centralizador (Opcional).
- Buje.
- Ancla o Separador de Gas.
- Ancla de Tubería.

VENTAJAS

El Sistema de Levantamiento Artificial con Bombas de Cavidad Progresiva, presentan ciertas ventajas las cuales deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar el diseño de este tipo de instalación.

- Menor costo de adquisición, instalación y mantenimiento, que otros métodos alternos de levantamiento artificial.
- Bajo el consumo de energía eléctrica.
- Reduce el problema de flotabilidad de cabillas en crudos muy pesados, aumentando su vida útil.
- Preserva el ambiente en áreas pobladas, ya que hay menor contorno sobre la superficie y más bajo nivel de ruido.
- Opera con bajo torque.
- Maneja cortes de agua, relativamente altos.
- La instalación es simple, se realiza directamente sobre el cabezal del pozo y no requiere bases de concreto.
- Su muy limitado espacio sobre la superficie lo hace disponible para múltiples localizaciones y plataformas costa afuera.

LIMITACIONES

Algunas de las limitaciones para el sistema de Bombeo de Cavidad Progresiva son:

- No se emplea en crudos livianos.
- Los altos contenidos de aromáticos, ya que afecta al elastómero.
- No opera eficientemente a grandes profundidades.
- El elastómero del estator es el limitante en la temperatura de funcionamiento.
- Maneja sola cantidades limitadas de gas (Por la goma, que se calienta con la fricción), el crudo actúa como lubricante y enfriador.

2.4.4 Bombeo Hidráulico

Este sistema es el más costoso para levantamiento artificial desde el punto de vista de gastos operacionales. Se puede aplicar en dos modalidades: El Bombeo Hidráulico tipo Pistón y El Bombeo hidráulico Tipo Jet.

El Bombeo Hidráulico Tipo Pistón se basa en el uso de bombas reciprocantes cuyo principio de acción, es semejante al de las bombas de bombeo mecánico. Las Bombas Hidráulicas emplean un pistón accionado por el fluido inyectado a alta presión, una cabilla y dos o más válvulas de retención.

El fluido de potencia a alta presión acciona la sección motriz en el fondo del pozo en forma recíproca al exponer alternadamente diferentes áreas de un pistón impulsor al fluido presurizado. El movimiento recíproca del pistón impulsor se transfiere a través de un acoplamiento mecánico a una bomba pistón.

El Bombeo Hidráulico Tipo Jet es similar al bombeo Hidráulico tipo Pistón, en cuanto a su principio de funcionamiento, basado en la inyección de fluido presurizado (fluido de potencia o fluido motor). En cuanto a las instalaciones y equipo de superficie para ambos métodos de levantamiento son iguales, la diferencia principal es la bomba de subsuelo.

VENTAJAS

Entre las ventajas del Bombeo Hidráulico se pueden mencionar:

- La velocidad y el tamaño de la bomba pueden ser cambiadas fácilmente manteniendo las condiciones del pozo.
- Los crudos pesados y altamente viscosos son manejables al mezclarse con crudos más livianos como fluidos de potencia.
- Es posible subir la bomba hasta la superficie, sin remover la tubería de producción.
- Una estación central en la superficie es capaz de manejar varios pozos. Las instalaciones en múltiples pozos pueden accionarse desde una sola fuente de fluido motriz.
- La instalación ofrece una unidad compacta para pozos aislados.
- El Bombeo Hidráulico es más flexible para adaptarse a los cambios en caudales de producción.
- Las Bombas Hidráulicas son utilizadas exitosamente en pozos direccionales.
- La bomba Hidráulica con pistón tiene mayor eficiencia a grandes profundidades que una bomba que emplee cabilla, ya que no produce el estiramiento de las mismas.

LIMITACIONES

Las principales limitaciones del Bombeo hidráulico son la siguientes:

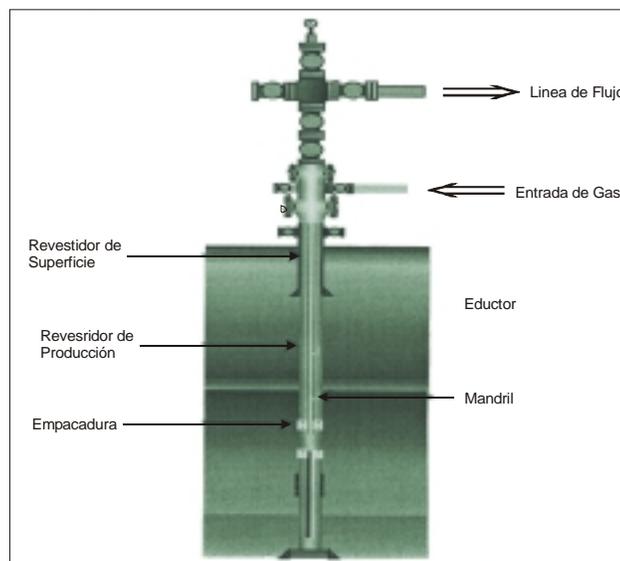
- El mantenimiento de los equipos de altas presiones en superficie es muy costoso
- Alta inversión inicial. Se necesitan equipos de alta presión, líneas para los fluidos de potencia, bombas triplex, filtros para el tratamiento del fluido de potencia y cabezales en los pozos.
- Se requiere de tubería de diámetro lo suficientemente grande y resistente a altas presiones.
- Las altas presiones en superficie representan un riesgo para la seguridad de zonas pobladas cercanas.
- Alta relación de gas libre a la entrada de bombas afecta su eficiencia.
- Altas temperaturas pueden causar fallas en las empaaduras.
- Se requiere todo un equipo de tratamiento para acondicionar el fluido motriz.

- En Venezuela no se cuenta con personal capacitado, para operar y realizar mantenimiento de estos equipos.
- Adicionalmente, no existe ninguna compañía suplidora que garantice un servicio técnico eficiente.
- Existe el riesgo de producirse incendios por posibles escapes de gas en la bomba, lo cual pudiese afectar toda la instalación incluyendo los tanque de fluido de potencia y de almacenamiento.

2.4.5 Levantamiento Artificial por Gas

El Levantamiento Artificial por Gas (LAG), opera mediante la inyección continua de gas a alta presión en la columna de fluidos de producción (flujo continuo), con el objeto de disminuir la densidad del fluido fluyente y reducir el peso de la columna hidrostática sobre la formación, obteniendo así una diferencia de presión entre el yacimiento y el pozo, la cual permite que el pozo fluya adecuadamente; o por 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.

En la figura 2.8, se muestra el esquema de un sistema de LAG.



Fuente: Chacón, 2000

FIGURA 2.8: COMPLETACIÓN TÍPICA DE LAG

Una instalación de Levantamiento Artificial por Gas consta al igual que todos los sistemas de levantamiento artificial de los siguientes equipos: la sarta de producción y el equipo asociado, la línea de flujo, el separador, los equipos de medición y control, pero se hace necesario además de una planta compresora o fuente de gas de levantamiento de alta presión y las líneas de distribución de gas. El equipo de producción consiste en una o mas piezas tubulares denominadas mandriles. En los cuales se insertan o enroscan a una válvula de levantamiento, a través de la cuál pasa el gas destinado a levantar el fluido de producción.

El Levantamiento Artificial por Gas a través de flujo continuo, se fundamenta en la inyección continua de gas de levantamiento hacia la columna de fluido para lograr disminuir su densidad, produciendo un incremento de la presión diferencial entre el yacimiento y el pozo. Esto causa el aumento de la relación gas liquido por encima del punto de inyección. Este método aplica en pozos con presiones de fondo y tasas apreciables, dentro de un amplio rango de índice de productividad. Es capaz de manejar arenas, utilizándose por igual en pozos someros o profundos.

Existen dos tipos de Levantamiento Artificial por Gas a través de flujo continuo, el LAG en tubería continua, en el cual, el gas se inyecta por el espacio anular y la producción se realiza por la sarta de tuberías. El LAG continuo por el anular, el gas se inyecta por la sarta de tubería y la producción se lleva a cabo por el espacio anular, este tipo de producción requiere cierta experiencia en su aplicación.

VENTAJAS

Entre las principales ventajas del flujo continuo se encuentran:

- Con una sola planta de compresión, se puede aplicar este método a muchos pozos.
- Maneja la producción de agua y sedimentos.
- Puede manejar grandes volúmenes de sólidos con problemas mínimos
- Da flexibilidad de conversión de levantamiento continuo e intermitente.
- Maneja grandes volúmenes en pozos con altos índices de productividad y alta presión estática (levantamiento continuo) 50.000 B/D (7.949,37 m³/d).
- La fuente de energía puede estar localizada remotamente.

- Es fácil obtener las presiones y los gradientes en el hueco del pozo.
- El levantamiento de los pozos de gas no constituyen un problema.
- Se pueden recuperar las válvulas con equipo de guaya (en la mayoría de los casos).
- Las completaciones desviados no representan un problema.
- Aplicable a instalaciones costa afuera.

LIMITACIONES

- En muchos campos no se dispone del gas necesario para el levantamiento.
- Dificultad para levantar emulsiones y crudos viscosos.
- No es eficiente en campos pequeños cuando se necesita un equipo de compresión.
- Tiene problemas de formación de hidratos y congelación de gases.
- Presenta problemas con líneas superficiales sucias.
- Se dificulta realizar el análisis adecuado sin supervisión en ingeniería.
- No puede producir eficientemente en pozos profundos hasta presiones de abandono.
- En sistemas reciprocantes necesita gas de formación para los motores de combustión interna. No puede funcionar con gas o electricidad.
- El revestidor debe resistir la presión de levantamiento.
- Presenta problemas de seguridad con el gas a altas presiones.
- No se puede obtener presión mínima de fondo al producir el pozo, ya que la misma se incrementa, tanto por la profundidad como por el volumen inyectado.
- Se debe disponer de una fuente de gas y una planta compresora.
- Esta limitado a levantar crudos medianos y livianos.
- El pozo debe contar con alto índice de productividad.
- Para bajas presiones de yacimiento, se requieren grandes volúmenes de gas de levantamiento.

El levantamiento artificial mediante flujo continuo de gas, es normalmente más eficiente que el de flujo intermitente, por lo tanto, debe usarse cuando sea posible. La finalidad de la inyección en forma intermitente es impulsar hacia la superficie, un tapón de líquido que inicialmente se encuentra por encima del punto de inyección. Por esto el proceso requiere altas tasas de inyección de gas, para que el fluido acumulado viaje a una velocidad mayor que en la inyección continua y de esta manera, incrementar la eficiencia de recuperación y disminuir las pérdidas por resbalamiento del líquido. La entrada de gas a la tubería, se

lleva a cabo a través de una válvula con un orificio grande que permite pasar un volumen considerable de gas.

VENTAJAS

Las principales ventajas del flujo intermitente son:

- Puede obtenerse menor presión de fondo que en el flujo continuo y con menor relación de gas de inyección.
- Pueden recuperarse las válvulas con técnicas de guaya fina o con tubería.

LIMITACIONES

Las principales limitaciones del método son:

- Debe disponerse de una fuente de gas a alta presión.
- Esta limitado a bajas profundidades.
- Se presentan pérdidas de líquidos por resbalamiento. La fracción del tapón que cae se define como la diferencia entre el tapón original y la fracción del tapón que produce una disminución en la producción.
- Si la presión del yacimiento es muy baja, el tiempo de formación del tapón de líquido es muy largo, si el índice productividad es muy bajo.
- Esta limitado a crudos medianos y livianos.

2.5 Modelos de Selección de Sistemas de Levantamiento Artificial

Los modelos desarrollados para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial son procedimientos y metodologías que proporcionan al usuario una forma de recomendar el Sistema de Levantamiento Artificial más adecuado que requiere un pozo y que garantice la producción óptima del crudo.

Entre los Modelos de Selección de Sistemas de Levantamiento Artificial que se han desarrollado están los siguientes:

Modelo 1: Modelo de Selección Óptima del Lago de Maracaibo (**MSOLM**).

Modelo 2: Procedimiento para la Escogencia del Método Óptimo de Producción Adaptable a Cerro Negro.

Modelo 3: Matriz de Evaluación Tecnológica (**MET**).

Modelo 4: Sistema Experto de Levantamiento Artificial (**SEDLA**).

Modelo 5: Metodología de Selección Óptima de Levantamiento Artificial (**MSOLA**).

Para efecto del presente trabajo, los modelos que se describirán son los modelos tres, cuatro y cinco ya que son los más generales pues se pueden aplicar a cualquier área geográfica.

2.5.1 Matriz de Evaluación Tecnológica

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 International, para la generación de una cartera de proyectos tecnológicos. Producto de estos esfuerzos se crea el Sistema de Inteligencia Tecnológica (S.I.T.)

Las funciones básicas del Sistema de Inteligencia Tecnológica son 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 ultimo fortalecer la competencia tecnológica a nivel global de PDVSA, proporcionando información que estimula la creatividad y mejor uso de la tecnología.

En el ejercicio de evaluación de tecnologías empleado por PDVSA se utilizan los siguientes criterios:

- Importancia estratégica de la tecnología
- Valor comercial.
- Urgencia para el negocio.
- Disponibilidad de la tecnología.
- Posición actual de PDVSA

En este proceso una vez identificados los escenarios, con sus distintas necesidades y oportunidades se procede a jerarquizar las mismas según las estrategias de la corporación arrojando como resultado la Jerarquización cualitativa de cada opción.

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, a partir de un software diseñado para tal fin.

La metodología de Evaluaciones de Opciones Tecnológicas comprende seis 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.

Dentro de las fases mencionadas la metodología planteada realiza una evaluación cualitativa de diferentes opciones tecnológicas a través del software basado en Matrices

de Evaluación, con información suministrada por la consulta a especialistas del área correspondiente.

Ésta 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 (Escalona, 2000).

Una vez efectuada la identificación y descripción detallada de una oportunidad tecnológica en cualquier área de la organización, el responsable de la misma será el encargado de la aplicación de la metodología, en forma individual o conformando un grupo de trabajo. Para ello identificará los especialistas idóneos, definiendo la lista de participantes dentro de la evaluación, dará a conocer a cada especialista los principales aspectos de la metodología incluyendo el propósito.

El encargado de la metodología mantendrá comunicación con el grupo de especialistas a través de un proceso de encuesta aislada, para evitar previo acuerdo o sesgos de las respuestas dentro del grupo. El responsable de la evaluación cuenta con la asesoría y colaboración del facilitador de tecnología cuando así lo requiera.

Finalmente, el responsable del área presentará la jerarquización del grupo de opciones tecnológicas bajo estudio, luego del desarrollo de las diversas facetas en que se 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 validación de la información obtenida facilitando la toma de decisiones.

Las características más resaltantes de la metodología descrita son:

- 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, porque es posible simplificarlo cuando las condiciones del caso y el criterio del responsable de la evaluación lo considere necesario.
- Aplica para casos de evaluación de paquetes tecnológicos en conjunto, así como para cada uno de los componentes del paquete tecnológico por separado, según sean los requerimientos

El análisis del modelo se enfocara de acuerdo a las ventajas y limitaciones que el mismo presenta.

Ventajas:

- Emplea una herramienta gerencial para la toma de decisiones, uso de un software y creación de un equipo de trabajo que se denomina Sistema de Inteligencia Tecnológica (SIT).
- Es una herramienta poderosa para desagregar paquetes tecnológicos, seleccionar distintas opciones tecnológicas, establecer criterios generales y específicos.
- Su fundamentación técnica es de tipo estadístico, se analiza tomando en consideración los diferentes modelos de distribución y aplicación donde es necesario manejar grandes volúmenes de información.
- Su metodología es lógica, sistemática con rigor científico y esquemas gerenciales actualizados y empleado en la industria petrolera nacional e internacional.
- Se requiere el uso de especialistas de alto nivel científico y tecnológico y con experiencia en el área que se este analizando.

Limitaciones:

- Inexistencia de la evaluación económica en la toma de decisiones de la matriz de opción tecnológica.
- La metodología no esta adaptada a la Selección Óptima de los Sistemas de Levantamiento Artificial.
- Pocos especialistas, tanto a nivel nacional como internacionalmente, en el área de levantamiento artificial y en concreto en la selección de sistemas de levantamiento artificial (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 planilla, etc. (Ob. Cit)
- Los criterios se enfocan más hacia una decisión de tipo gerencial que de carácter técnico.

En síntesis, a pesar de ser una herramienta poderosa, con innegables ventajas, se requiere llevarla a la práctica y adaptarla a la selección óptima de los sistemas de levantamiento artificial.

2.5.2 Sistema Experto de Levantamiento Artificial

Los sistemas expertos son programas de computación que tienen por finalidad reflejar el comportamiento o razonamiento de los expertos que no son más que personas a quienes le corresponden recomendar las decisiones o acciones a tomar en las distintas actividades profesionales del hombre, basados en su entrenamiento experiencia y practica profesional.

Su estructura básica está conformada por elementos entre el sistema y el usuario los cuales son:

1. La base del conocimiento: la cual almacena los hechos que reflejan la experticia del sistema.
2. La fuente de inferencias: que contiene la interpretación del comportamiento (razonamiento) y el control de búsqueda de soluciones y respuestas.
3. La interface: 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 ya que la selección de los sistemas de levantamiento artificial representa una difícil labor frente ante la amplia gama de tecnologías de levantamiento existentes en la actualidad.

El sistema experto de levantamiento artificial (SEDLA), almacena en una base de conocimiento la experticia de un grupo de especialistas, para seleccionar doce Métodos de Levantamiento Artificial.

La adquisición de la mencionada base del conocimiento, se realizó mediante entrevistas 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.

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:

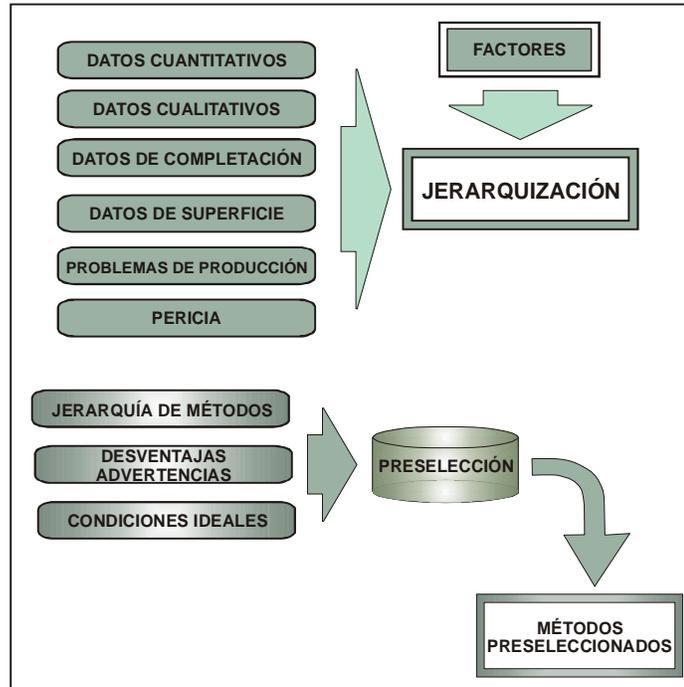
1. El Módulo de Preselección.
2. El Módulo de Diseño.
3. El Módulo de Evaluación Económica.

Modulo de Preselección Técnica

Es 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 descartar su factibilidad técnica. La figura 2.9 muestra el esquema del módulo de preselección.

Al finalizar 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.



Fuente: Reyes 1999

FIGURA 2.9: ESQUEMA DEL MÓDULO DE PRESELECCIÓN

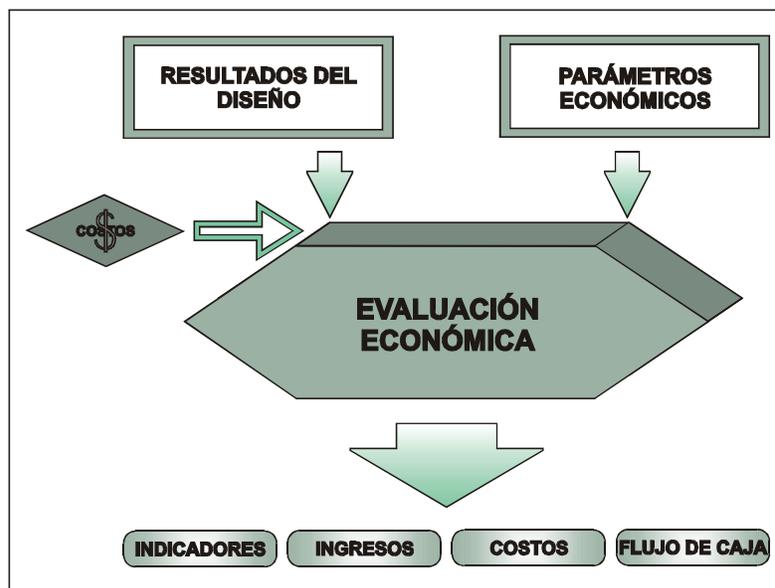
Módulo de Diseño

Este módulo 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. Empleando 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 lo muestra en forma numérica y en algunos casos completados con gráficas.

Modulo de Evaluación Económica

El módulo evalúa el método en términos económicos visto como proyecto de inversión. En la línea con los resultados del diseño, con los costos unitarios de 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 permite 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 2.10 se observa el esquema del módulo de evaluación económica.



Fuente: Reyes, 1999

Figura 2.10: Esquema del modulo de evaluación económica

Base de Datos

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

- Los Catálogos: Almacena la información de los 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 de costos unitarios contiene los costos de cada uno de los equipos involucrados en cada método de levantamiento.
- Factores y Parámetros del Modulo 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.

2.5.2.1 Análisis del Sistema Experto de Levantamiento Artificial

El SEDLA, como sistema experto tiene la ventaja de ser el único procedimiento de optimización con módulo de evaluación económica el cual es de vital importancia ya que permite sustentar la decisión técnica de la optimización de los sistemas de levantamiento artificial (Escalona 2000).

En el módulo de experto o de preselección incorpora mejoras en: evaluaciones, actualizaciones, correcciones a las reglas de preselección y mejoras a la estructura de la base de conocimientos, mediante la incorporación de parámetros que reflejan avances técnicos y pericias adquiridas en los métodos de 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 (Ob. Cit:).

Entre los parámetros cualitativos se tienen: Ubicación del pozo, volumen de gas disponible, disponibilidad de fuente eléctrica y necesidad de adaptación del método de declinación, otros datos más relevantes en el módulo de preselección son el tipo de

completación (simple, doble o selectiva), la longitud (0 a 20000'), el diámetro nominal del revestidor (2 3/8" a 10") y el diámetro nominal de loseductores (2 3/8" a 4 1/2").

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 modulo de diseño para incorporar esas mejoras. También se hace necesario la revisión 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 (Ob. Cit:).

En cuanto a las desventajas que presenta el sistema se tiene que su uso tanto en pozos inclinados como en pozos horizontales es limitado, no considera la inyección de diluentes en la producción de crudos pesados y extrapesados, así como también 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 importante a nivel de yacimiento pero que tienen una fuerte incidencia en la producción de un pozo y en la construcción de la curva de gradiente para la determinación del IPR.

2.5.3 Metodología de Selección Óptima de Levantamiento Artificial

Es un programa que esta desarrollado bajo las técnicas de programación más versátiles que proporciona el ambiente gráfico windows 95 y windows 98, para la selección de sistemas de levantamiento artificial y cuya finalidad es suministrar al usuario una herramienta de evaluación de los diferentes métodos de producción empleados comúnmente para el desarrollo de cualquier campo petrolero y lograr un mejor desempeño de los mismos.

El modelo se fundamenta principalmente en la evaluación de quince (15) criterios para la seleccionar cinco de los Sistemas de Levantamiento Artificial más comunes los cuales fueron descritos en este capítulo.

Los criterios evaluados en este programa son:

1. Índice de Productividad (IP).
2. Tasa de Liquido (Q)
3. Corte de Agua (%W)
4. Relación Gas Liquido (RGL)
5. Profundidad (D)
6. Presión de Yacimiento (Pyac)
7. Gravedad API ($^{\circ}$ API)
8. Temperatura (T)
9. Producción de Arena (Are. P.)
10. Mecanismos de Producción (Mec. P.)
11. Localización (Loc. P.)
12. Fuente de Energía Disponible (FED)
13. Plataforma de Producción del Pozo (Plat. P.)
14. Pericia del Método (Per. M)
15. Diámetro de Tubería (Diam. T.)

La ponderación y jerarquización de los criterios la realiza el programa utilizando la metodología del Proceso Analítico Jerárquico el cual se describe en la primera parte de este capítulo, al igual que la exploración de zonas de aplicabilidad de ciertos criterios en un determinado método de producción, a través de Las Curvas de Valoración.

Es una herramienta de aprendizaje y de soporte para la toma de decisiones, a la cual el usuario puede modificar ciertos criterios de acuerdo a su experiencia o adelantos en el área, así como también incorporar otros, con el objeto de dar una respuesta más acertada en la selección de un método en particular.

2.6 Criterios que Afectan la Selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial

De la discusión general presentada se concluye que existen numerosos criterios que afectan la selección de los sistemas de levantamiento artificial. A continuación se señalan cuales son los criterios que tienen mayor peso y como influyen en dicha selección.

Los Criterios referentes a las características de producción son:

2.6.1 Comportamiento de Afluencia:

Es la habilidad del yacimiento para producir fluidos. Es un factor crítico en la selección de los mencionados sistemas. La capacidad de producir fluidos en el presente a una fecha futura con o sin estimulación, puede considerarse en la decisión para optimizar el sistema de levantamiento.

2.6.2 Tasa de Producción de Líquido:

La tasa de producción requerida para un pozo en particular es el parámetro más importante en la selección del método de levantamiento y debe tomarse como uno de los principales criterios para los cuales se rige la producción. La tasa de producción puede ser evaluada en las curvas de inlfujo y eflujo, ya que estas indican el comportamiento de afluencia de los fluidos hacia el pozo.

Cuando se desea levantar altos volúmenes de líquidos la bomba electrosurgible resulta ser la mejor opción ya que han sido diseñadas para tal fin, teniendo como principales limitaciones la potencia requerida y el diámetro del revestidor. Para cubrir altos requerimientos de potencia se puede emplear motores tipo tandem (motores conectados en serie), aunque estos representa un incremento de costos.

La bomba electrosurgible es capaz de producir hasta 50.000 B/d. Sin embargo para tasas menores de 300 B/d, resulta antieconómico instalar este tipo de bombas y aunque sea técnicamente factible es preferible utilizar otro método de levantamiento artificial que justifique su instalación.

2.6.3 Temperatura de Fondo:

Las limitaciones por elevada temperatura de fondo se deben fundamentalmente a problemas por daño de los equipos de fondo que no están fabricados con materiales resistentes a esas condiciones de temperatura.

Cuando se manejen temperaturas de fondo superiores a 200 °F, el sistema más afectado y el cual no debe emplearse como método de producción es la bomba de cavidad progresiva, ya que el elastómero debe poseer una resistencia térmica adecuada para soportar las condiciones de temperatura características de pozo. Si la bomba opera a temperaturas superiores al límite máximo de servicio, generalmente produce rigidización, fragilización y degradación térmica del elastómero.

En la bomba electrosumergible, este es un parámetro de gran relevancia para los componentes del sistema, ya que en condiciones de alta temperatura, se determinaron los sellos de la bomba y la cubierta de los conductores. Además altas temperaturas pueden originar que alguna fase presente en corto circuito, causado a los cables y al motor. Esta situación ha sido solventada en algunos casos por la incorporación al mercado de nuevas tecnologías.

De igual manera, tanto el bombeo hidráulico jet, como pistón operan eficientemente hasta 500 °F, aproximadamente, pero se requiere que los equipos estén fabricados con materiales resistentes a alta temperatura.

En pozos con altas temperaturas de fondo se propone cualquiera de los métodos de levantamiento artificial por gas, ya que estos no son susceptibles de ser afectados por esas condiciones, así como también el bombeo mecánico convencional.

2.6.4 Relación Gas / Líquido:

La producción de gas / petróleo y, por consiguiente de 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 sistemas de levantamientos tienden a reducir la eficiencia con el incremento de la relación gas / líquido.

El levantamiento con gas en flujo continuo puede ser recomendable si el gas producido por la formación no es excesivo, es decir si la inyección adicional de gas puede aliviar la presión, en caso contrario, la adición de más gas incrementará la presión de fondo fluyente y el resultado será menos eficiencia de levantamiento.

El problema que se presenta con la relación gas / liquido puede enfocarse a nivel de formación o la relación de gas libre a la entrada de la bomba.

2.6.4.1 La relación Gas - Líquido de Formación

Se define como el volumen total de gas producido entre el volumen de liquido producido. Es un factor significativo en la selección del método de levantamiento, si altos volúmenes de gas pasan a través del mecanismo de levantamiento produce una disminución de la capacidad de levantamiento de liquido para sistemas de bombeo, quedando aquellos métodos que involucren las de levantamiento como las mejores opciones.

Los sistemas de LAG son recomendables para producir pozos con altas RGL, ya que el gas de formación ayuda al levantamiento de los fluidos. Altas relaciones Gas/Liquido minimiza los requerimientos de gas de inyección para los sistemas de gas lift tanto continuo como intermitente, sin embargo, para los sistemas de LAG intermitente, la RGL excesivamente alta, puede originar tiempos de formación de tapones líquidos muy largos. El gas que se produce conjuntamente con el petróleo crea problemas en el bombeo mecánico convencional tanto en la bomba de subsuelo como en las instalaciones de superficie. Con respecto a las instalaciones, se tiene que un petróleo muy volátil y la merma del crudo en su trayectoria desde el subsuelo al tanque, hacen que el petróleo en superficie represente una fracción de barril en condiciones de subsuelo. Este último sistema se emplea para RGL muy bajos, menores a 200 PC/BI aproximadamente.

2.6.4.2 La relación Gas Libre a la entrada de la bomba

Se refiere a la cantidad de gas que no se encuentra disuelto en el petróleo. El gas libre en altas proporciones a la entrada de la bomba resulta un severo problema para la mayoría de los sistemas de bombeo, por la disminución de la eficiencia de la bomba.

En el sistema de bombeo hidráulico jet, a medida que la relación gas libre va creciendo, la cantidad de gas manejada por la bomba también irá incrementándose, ocasionando una reducción de la eficiencia del equipo, esto trae como consecuencia un aumento de la cantidad de fluido de potencia inyectado para mantener la tasa de producción y el

incremento de las pérdidas por fricción. La alta velocidad que maneja la bomba jet (200 a 300 pies/seg) a la entrada de la garganta, comúnmente origina la presencia del problema de la cavitación en estos equipos y aunque se ha demostrado que la erosión causada por la cavitación es muy pequeña, no se debe descuidar este proceso porque la eficiencia del equipo disminuye notablemente ocasionando la destrucción y pérdida de la bomba a largo plazo.

En instalaciones de bombeo hidráulico tipo pistón, se maneja cierta cantidad de gas en instalaciones de bomba fija o libre, permitiendo el venteo de gas en forma adecuada con un separador de gas en el fondo del pozo a la entrada de la bomba. Las bombas libres de revestidores están limitadas a bajas RGL, aunque el efecto del incremento del gas libre a la entrada de la bomba no parece tan drástico como en el bombeo hidráulico tipo Jet.

En las bombas electrosumergibles, la presencia de gas libre es un parámetro que representa uno de los problemas más controversiales al momento de seleccionar o dimensionar el sistema de levantamiento. El paso de gas libre a través de las etapas de la bomba disminuye su capacidad de levantamiento y puede ocasionar bloque por gas, capaz de quemar el motor de fondo. Si una bomba centrífuga es utilizada para mantener un fluido bifásico (crudo y gas), su comportamiento se hace inestable y difícil de predecir, hasta que ocurre un bloqueo por completo de flujo, a medida que el gas es introducido al sistema como una fase libre. El cambio de comportamiento de la bomba, es función de la presión de entrada y de la cantidad de gas que entra a la misma. Para un porcentaje de gas libre fijo, el deterioro en la capacidad de levantamiento (altura dinámica) del equipo, será menor si se incrementa la presión de entrada. Con el propósito de ampliar la ventana de aplicación de este método a nivel mundial, se ha desarrollado con éxito nuevas tecnologías capaces de reducir las limitaciones presentadas.

El bombeo mecánico convencional, emplea 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 del gas libre a la entrada de la misma.

A diferencia de otros sistemas de bombeo, las BCP permiten el manejo de fluidos con alto contenido de gas, sin embargo las bombas no pueden operar en seco por la fricción entre el rotor y el estator ya que produce fragilización y quemaduras en el estator. El

funcionamiento de la bomba requiere una cantidad de fluidos que actúen como lubricantes, lo cual disminuye la fricción y el calor generado por dicho efecto. El manejo de fluido con alta relación de gas libre, requiere utilizar un diseño con elevada eficiencia volumétrica y bajos diferenciales de presión por etapas, es decir, con mayor número de etapas en la bomba.

2.6.5 Corte de Agua

El corte de agua influye directamente en la tasa de producción total, por ejemplo, muchos pozos pueden producir 2000 BIs o más de agua en orden de obtener 100 BIs o menos de petróleo. Altos cortes de agua afectan el comportamiento de afluencia debido al efecto de 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. Altos cortes de agua reducen la relación Gas/Petróleo, además de inducir altos volúmenes de producción por el levantamiento.

Entre los criterios debido a las propiedades de los fluidos que más se destacan están:

2.6.6 Viscosidad y °API

Como una regla general, viscosidades menores de 10 cps. (mayor de 30 °API) no son un factor determinante del sistema de levantamiento a utilizar. La gravedad °API aumenta a medida que el crudo es más liviano y disminuye para los más pesados y extrapesados. El proceso de levantamiento se dificulta a medida que la gravedad °API es menor, por el aumento de la viscosidad del mismo.

El manejo de crudos altamente viscosos genera problemas en los sistemas de bombeo mecánico, tales como altas pérdidas por fricción, reducción de la eficiencia de las emboladas, sobrecarga de las cabillas y aumento del efecto de la flotabilidad de las mismas. La gravedad API determina el peso del fluido sobre la bomba y afecta el torque máximo aplicado sobre la barra pulida. A bajas tasas de producción y con inyección de diluentes es posible reducir crudos de baja gravedad API.

En cuanto a las bombas electrosumergibles, el efecto de la viscosidad en el comportamiento de una bomba centrífuga, se debe a la alta resistencia que tienen los fluidos viscosos a fluir. Consecuentemente las pérdidas por fricción en los discos y en la tubería se incrementa, lo cual trae como resultado un aumento de la energía requerida por el equipo y la disminución de la capacidad de levantamiento.

El uso de los sistemas por levantamiento artificial por gas con fluidos muy viscosos, puede causar problemas adicionales como consecuencia del efecto de enfriamiento de la expansión del gas, además de que resulta muy difícil levantar una columna de crudo pesado solo con un tapón de gas.

Los métodos de bombeo hidráulico pueden ser empleados para producir crudos de baja gravedad API, ya que junto al fluido de potencia es posible inyectar diluentes al pozo, para reducir la viscosidad de los fluidos. Este fluido adicional puede incrementar los costos de operación.

Las bombas de cavidad progresiva no presentan ningún problema respecto a la baja gravedad API del crudo, ya que generalmente por su composición, los crudos pesados causan menos efectos dañinos que los livianos. Los crudos livianos están constituidos por especies moleculares, las cuales son compatibles con el elastómero que pueden penetrar el material originando problemas de hinchamiento, el cual se caracteriza por un incremento de la interferencia rotor – estator y como consecuencia se origina un aumento de torque, en casos muy severos el giro del rotor puede llegar a desgarrar el estator provocando su destrucción. El material elastomérico, debe ser capaz de resistir la acción de fluidos altamente aromáticos o con alto contenido de sulfuro de hierro, sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono o salmuera, dependiendo de las condiciones del pozo.

Las características del hoyo tienen un efecto controlador en la determinación del sistema de Levantamiento artificial, los criterios relacionados con estas características son:

2.6.7 Profundidad

La profundidad del pozo es un criterio limitante en la aplicación de los sistemas de levantamiento. El caudal de producción deseado depende de la profundidad del pozo y en el caso de los métodos de bombeo dependen de la profundidad de asentamiento de la bomba. Además de la tasa de producción existen criterios como la gravedad API y la Temperatura que también se ven influenciados por la profundidad. A mayores profundidades incrementan los problemas operacionales (requerimientos de potencias, rotura de cabillas, daño en cables, resbalamiento en líquido, etc.)

El bombeo mecánico convencional aplica en pozos medianamente someros, aunque la bomba de subsuelo como tal es capaz de levantar fluidos a grandes profundidades, pero factores como la potencia, la longitud de las emboladas, la longitud y el esfuerzo sobre las cabillas, la carga y la fricción limitan el diseño. La profundidad determina los esfuerzos a los que serán sometidos los equipos de producción durante el ciclo de bombeo y en base a estos se seleccionan los materiales que constituirán los equipos, de acuerdo a los esfuerzos de cedencia en los materiales que constituyen la bomba. Dependiendo del caudal de producción es posible levantar crudos aproximadamente hasta 10.000 pies.

En el sistema electrosumergible la profundidad de operación es una de las principales limitaciones. La instalación de una bomba electrosumergible a grandes profundidades no resulta eficiente, por los requerimientos de potencia y las altas temperaturas, para los cuales muchos equipos de fondo no son resistentes. Es por ello que se debería considerar la instalación de este método en pozos con profundidades que no excedan los 13.000 pies.

En las bombas de cavidad progresiva, la profundidad también representa una de limitación importante para su instalación, ya que a mayores profundidades aumentan los problemas operacionales, debido a los esfuerzos sobre las cabillas. Este método opera efectivamente a profundidades menores de 7.000 pies.

Los sistemas de producción por levantamiento artificial por gas son aplicables preferiblemente en pozos pocos profundos, ya que los requerimientos de presión de inyección, el caudal de gas de inyección y de compresión del mismo, aumentan a

mayores profundidades. El método de inyección de intermitente gas con pistón metálico es la excepción, ya que aplica en pozos hasta de 12.000 pies de profundidad donde las pérdidas por resbalamiento son mayores y se hace necesaria la instalación de un pistón. El método de LAG continuo produciendo tanto por la tubería como por el espacio anular opera eficientemente hasta 10.000 pies de profundidad. Para la cámara de acumulación, el flujo pistón, el LAG intermitente convencional se recomienda su instalación en pozos poco profundos.

En cuanto a los sistemas hidráulicos es conveniente mencionar, que a grandes profundidades son aplicables operacionalmente los métodos de bombeo hidráulico Jet y pistón, pero presentan ciertas limitaciones de tipo económico que podrán impedir la instalación de los mismos. Estos equipos son capaces de levantar fluidos a profundidades de 20.000 pies, sin embargo, para profundidades menores de 5.000 pies y mayores de 15.000 pies, no se justifica económicamente, ya que en pozos profundos es preferible utilizar un método de levantamiento artificial tradicional, que resulta más económico y del cual se tenga mayor pericia.

2.6.8 Diámetro del Revestidor

El diámetro del revestidor es determinado de acuerdo al tamaño del hoyo en etapas preliminares de un programa de perforación. Muchas variables determinan el diámetro del revestidor, para un pozo en particular en un área particular, tales como los problemas de hoyo (zonas de presiones anormales, zonas cienagosas, pérdida de circulación, flujo salobre, etc.) y el precio de la tubería entre otras.

El diámetro del revestidor influye en la selección del sistema de levantamiento dependiendo de factores como las pérdidas por fricción, la facilidad de introducir los equipos de fondo, la tasa de producción del pozo.

El Bombeo hidráulico Jet, su uso resulta muy ineficiente desde el punto de vista operacional debido a la instalación de revestidores con diámetros muy pequeños, por las altas perdidas por fricción de los fluidos de potencia y de producción en un área muy reducida. De forma similar en el bombeo hidráulico tipo pistón se requieren revestidores

de gran diámetro tanto para sistemas cerrados y libres. El diámetro del revestidor debe estar de acuerdo a requerimientos del pozo como son las completaciones dobles y la instalación de tuberías de venteo de gas entre otros. El diámetro mínimo recomendado para este tipo de sistema es de 7 pulgadas aproximadamente.

Para el bombeo electrosumergible, el diámetro del revestidor se ve limitado por el tamaño del motor y de la bomba. Considerado este método es apto para producir a altas tasas, es necesario contar con un diámetro de revestidores que permitan la instalación de bombas adecuadas, las cuales son de mayores dimensiones a medida que el caudal requerido aumenta.

Cuando se produce un pozo por bombeo mecánico convencional, un diámetro de revestidor pequeño puede limitar la separación de gas libre, por eso se recomiendan revestidores de gran diámetro. También si se debe producir alta tasa, con bombas de pistones de grandes dimensiones, se requieren grandes diámetros.

En el LAG continuo no representa mayor problema, siempre y cuando permita obtener la producción directa. Tal que para sistemas derivados al LAG intermitente, es indiferente por los bajos caudales de producción.

Las instalaciones de revestidores de diámetros relativamente pequeños pueden impedir que se obtengan las tasas de flujo deseadas, limitar las dimensiones del equipo de recuperación así como también el diámetro externo de la tubería de producción además de restringir el uso de las completaciones múltiples.

2.6.9 Diámetro del Eductor

Al igual que el diámetro del revestidor, el diámetro del eductor esta relacionado con factores tales como el tamaño de las bombas y los motores de fondo a instalar, la tasa de producción deseada, el origen de pérdidas por fricción, etc. Es importante que el diámetro del eductor se mantenga constante a lo largo de la profundidad del pozo.

En el bombeo electrosumergible, el caudal requerido determina la bomba que se va instalar, y ésta a su vez el diámetro de la tubería de producción. Cuando la tubería se encuentra instalada en el pozo, es ésta la que permite o no emplear determinado tamaño de bomba y en consecuencia, obtener el caudal de producción deseado.

En pozos donde se desea instalar sistemas con bombeo mecánico convencional, el diámetro de la tubería de producción que generalmente se emplea es de 2 7/8 pulgadas o mayor, aunque existen bombas de subsuelo para tuberías de 2 3/8 pulgadas. Sin embargo no se recomienda el empleo de éstas, ya que limitan la producción a tasas muy bajas y generan altas fricciones.

Para el método del pistón metálico convencional el diámetro del eductor debe adaptarse básicamente al diámetro del pistón, los diámetros del eductor más empleados son 2 3/8" y 2 7/8", las cuales representan la mejor opción.

Los criterios referentes a los problemas de producción también inciden en la selección de los equipos de levantamientos, entre estos se encuentran:

2.6.10 La Producción de Arenas

La producción de arenas causa problemas de erosión en todos los tipos de sistemas de levantamiento, la abundancia de arena en el tope de las bombas de subsuelo puede causar problemas al tratar de recuperar estas.

El bombeo mecánico convencional no puede manejar más de un 0,1% de arena con bombas especiales, y la bomba electrosumergible requiere menos de 200 ppm de sólidos, mientras que el fluido de potencia de los métodos de bombeo hidráulico deben trabajar con menos de 10 ppm de sólidos y se pueden considerar la inyección de agua fresca para solucionar problemas de levantamiento. Por todo esto los métodos que pueden ser recomendados para pozos con alta producción de arenas son las bombas de cavidad progresivas y los sistemas de levantamiento artificial por gas. La BCP puede manejar aproximadamente un 50% de arena de crudos viscosos. Los métodos de LAG son excelentes en pozos con problemas de arenas, ya que son los únicos sistemas de

levantamiento que no necesitan que el fluido cargado de arena pase a través del mecanismo móvil. Sin embargo en LAG intermitente se pueden presentar problemas con la válvula de retención.

2.6.11 Parafina y Asfáltenos

La mayoría de los pozos con alta producción de parafinas y asfáltenos, tiene tendencia a la deposición de estos sólidos en el cabezal y en las partes superiores de la tubería de producción donde la presión y la temperatura son menores, causando la contrapresión y llegando incluso a tapar por completo el pozo.

Para evitar que esto suceda es necesario remover ó prevenir la formación de parafinas. Las cabillas de succión tienen una ventaja sobre los otros métodos de levantamiento artificial ya que estas proporcionan una acción continua de roce.

Los raspadores pueden ayudar a remover la parafina del pozo. Los pistones sirven como raspadores de parafinas. Los sistemas hidráulicos permiten circular fluidos a altas temperaturas e inhibidores para eliminar las parafinas.

2.6.12 Escamas

La acumulación de escamas produce la reducción del diámetro interior de las tuberías disminuyendo su capacidad. El levantamiento artificial por gas puede agravar la acumulación de escamas por los cambios de temperatura que se producen a nivel de las válvulas, originando la precipitación de las mismas. En los métodos de bombeo mecánico e hidráulico, se pueden prevenir mediante tratamiento con aditivos químicos por el anular en el bombeo mecánico y junto con el fluido de potencia en el hidráulico, proporcionando a la bomba mayor vida útil y asegurando la capacidad normal de la tubería. Los pistones ayudan también a mantener limpia la tubería, aunque el ciclo de producción normal puede verse interrumpido por el tratamiento del pozos.

2.6.13 Corrosión

La corrosión en el fondo del pozo puede ser causada por la electrólisis entre diferentes tipos de metales, la presencia de H₂S ó de CO₂ en el fluido producido, presencia de salmuera ó por la oxigenación de metales. Las cabillas de bombeo presentan problemas de debilitamiento por presencia de H₂S y cuando están excesivamente cargadas se acelera el quiebre de las mismas. Si en el LAG el gas inyectado es corrosivo, debe ser deshidratado adecuadamente.

2.6.14 Emulsiones

Resulta difícil anticipar los problemas de emulsiones cuando se va a seleccionar el sistema de levantamiento artificial para un pozo. Las emulsiones ocasionan altas perdidas de presión en la tubería, y en general, se requiere mayor potencia ya que se reduce la eficiencia de cualquiera de los sistemas de levantamiento. Para el LAG es difícil levantar emulsiones ya que se requiere mayor cantidad de gas de inyección. Otro mecanismo para levantar una emulsión es a través del uso de pistones.

2.6.15 Grado de Desviación del Hoyo

Un alto grado de desviación del hoyo afecta de gran manera la selección del tipo de sistema levantamiento a instalar. En el bombeo mecánico convencional y en bombas de cavidad progresiva, se incrementan los problemas de carga y el deterioro de los equipos. Se pueden instalar bombas electrosumergibles e hidráulicas en pozos desviados, siempre y cuando la bomba pueda cerrar libremente a través de la tubería.

El LAG es el método de levantamiento por excelencia para pozos desviados, las válvulas son cambiadas con guaya fina sin problema 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.

Otros criterios relevantes que afectan la selección de los sistemas de levantamiento artificial son:

2.6.16 Pericia de Campo

La capacidad técnica del personal de operaciones de campo puede influir en la selección del sistema de levantamiento. El bombeo mecánico convencional presenta operaciones de menor dificultad para el personal de campo, respecto a métodos como LAG y bombeo hidráulico. En muchos casos la falta de pericia en ciertos métodos de levantamiento se traduce en un incremento de los costos.

2.6.17 Localización del Pozo

Factores como la ubicación del pozo (zona urbana, no urbana ó costa afuera), la disponibilidad del volumen de gas de inyección y las fuentes de electricidad, son importantes para la selección del sistema de levantamiento artificial.

Las plataformas costa afuera están limitadas al espacio disponible en superficie. Todos los sistemas de levantamiento pueden ser usados en pozos costa afuera, sin embargo, para unidades de bombeo mecánico convencional se necesita un área mayor para el cabezal en superficie, además de verse afectado por el ambiente corrosivo costa afuera y causar vibraciones. Los sistemas de LAG (siempre que existan las instalaciones de compresión de gas) y de bombeo hidráulico tienen gran aplicación en pozos costa afuera. Si se dispone de fuentes de electricidad el bombeo electrosumergible también puede ser instalado.

En áreas urbanas ó con poblaciones cercanas, deben considerarse factores como la seguridad y la contaminación ambiental. En estos casos los sistemas más recomendables son las BCP y las BES. En zonas no urbanas se recomienda los balancines por el espacio que ocupan y los sistemas de levantamiento hidráulico por las altas presiones manejadas en superficie.

Para el bombeo electrosumergible, el bombeo mecánico convencional y las bombas hidráulicas se tienen requerimientos especiales de suministro de energía eléctrica. Para las bombas electrosumergibles es condición necesaria que el voltaje suministrado sea estable. Todos los métodos de LAG necesitan disponibilidad del gas de inyección y una infraestructura de compresión.

También es importante señalar como criterios que influyen en la selección de los sistemas de levantamiento artificial, los mecanismos de producción del yacimiento entre los cuales están:

2.6.18 Yacimientos con Empuje por Depleción

La producción inicialmente sucede por el desplazamiento del petróleo y el gas en las cercanías del pozo por la expansión de los fluidos. No existe un acuífero ó inyección de fluidos que permitan la expansión de los mismos, teniendo como consecuencia una baja recuperación de crudo.

2.6.19 Yacimientos con Empuje por Expansión de la Capa de Gas

En un yacimiento en estado bifásico (capa de gas – petróleo), el desplazamiento de estos fluidos en la cercanía del pozo es el resultado de la expansión de la capa gas como consecuencia de la declinación de la presión del yacimiento. Es conveniente indicar que este tipo de yacimiento tiene gas libre (capa de gas), gas disuelto en el petróleo (zona de petróleo) y petróleo, donde la recuperación puede estar influenciada por la combinación de la expansión de los fluidos, el desplazamiento de los mismos, el drenaje gravitacional o efectos capilares.

2.6.20 Yacimientos con Empuje Hidráulico

El influjo de agua proveniente de un acuífero y/o la inyección de agua en pozos seleccionados, causa un desplazamiento de petróleo y gas en las cercanías del pozo. La recuperación se obtiene por drenaje gravitacional o por efectos capilares. El recobro por altas depleciones puede ser bajo desplazamiento natural de los fluidos y en especial bajo invasión de agua.

2.6.21 Yacimientos de Crudos Espumantes

Corresponden aquellos yacimientos de crudos pesados que exhiben un comportamiento excelente de producción primaria con menor declinación de presión y menor relación

Gas/Petróleo de producción que el obtenido por medio de un simulador empleando propiedades convencionales.

De los estudios realizados se tiene la hipótesis que en los crudos pesados y extrapesados en donde puede estar presente el fenómeno espumante, la espuma formada es del tipo viva, pues la misma proviene de la nucleación del gas en solución por efecto de la caída de presión. A simple vista estos crudos tienen una apariencia de una crema espesa y tiende a permanecer formando gran cantidad de burbujas de gas en el líquido en varias horas.

Los elevados 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 el yacimiento de estas características.

2.6.22 Presiones en el Yacimiento

La diferencia entre la presión estática promedio del yacimiento y la presión fluyente en el fondo del pozo proveen la energía necesaria para levantar los fluidos del fondo del pozo. Cuando la presión estática del yacimiento es lo suficientemente baja, que impide a ciertos métodos levantar los fluidos del pozo, se emplea el levantamiento artificial intermitente con cámara de acumulación, el cual permite mayor almacenamiento de líquido en el fondo del pozo.

Aunque los métodos de bombeo mecánico no dependen directamente de la presión estática de yacimiento, cuando este criterio disminuye la producción del pozo también se reduce.

Para los métodos de levantamiento por bombeo, la presión del pozo determina la capacidad de bombeo requerida y el tamaño de la bomba que se va a instalar, así como las condiciones de bombeo y los equipos de superficie, la ubicación y sumergencia óptima de la bomba de subsuelo.

2.6.23 Índice de Productividad

Es un parámetro exclusivamente del pozo. En muy pocos pozos el índice de productividad (IP) pudiera permanecer constante por períodos considerables de tiempo, durante los cuales la tasa a fluctuado, este fenómeno obedece a que la tasa de producción ha variado en forma casuística, proporcionalmente al diferencial de presión ($P_e - P_{wf}$). En pozos que producen con altas tasas de flujo, la proporcionalidad no se mantiene y el índice de productividad disminuye.

Los mecanismos de producción de los yacimientos afecta al índice de productividad, es decir, en yacimientos que producen por empuje hidráulico fuerte, el IP pueden permanecer constantes para un rango amplio de variación de la tasa de flujo. Para otro tipo de empuje la linealidad es menos factible ya que el IP puede variar apreciablemente.

El IP con empuje por gas en solución y/o casquete de gas, la característica principal en su disminución en los pozos activos. A medida que la presión disminuye también disminuye la productividad. Esto se debe al aumento de viscosidad del petróleo, por efecto de la producción del gas en solución.

La disminución de IP se debe al deterioro de la permeabilidad por disminución de la saturación del petróleo e incremento en la saturación del gas. Es por ello que la tasa máxima a que el pozo puede fluir depende del Índice de Productividad, de las condiciones existentes en el yacimiento y de la presión diferencial ($P_e - P_{wf}$) disponible.

En cuanto a la manera de evaluarlo puede ser en función de la tasa de flujo y de la presión diferencial disponible, siempre y cuando se considere un comportamiento constante, por lo menos, durante un período de tiempo.

Cuando la presión de fondo fluyente (P_{wf}) y/o la presión estática de fondo (P_e) cae por debajo de la presión de burbujeo (P_b) y se producen cambios radicales en las características del petróleo que causan curvaturas en el IP. Las causas principales que generan dichos cambios son las siguientes: Turbulencias a altas tasa de flujo, disminución en la permeabilidad relativa al petróleo, aumento de la viscosidad del petróleo crudo por pérdidas de gas en solución y reducción de la permeabilidad debido a la compresibilidad

de la formación. Todos los cambios mencionados restringen la reducción líquida a medida que la P_{wf} disminuye.

En la explotación racional y eficiente de un yacimiento se puede postergar la caída del Índice de Productividad, con el espaciado óptimo de los pozos, uso óptimo de reductores (choques), conocimiento exacto de la geología del yacimiento y la actividad del pozo, dependiendo de su posición en la estructura de éste.

Se puede concluir que resulta más factible el incremento de producción de pozos que fluyan de yacimientos sub-saturados y/o con empuje de agua que en acumulaciones con presiones inferiores a la presión de burbujeo.

El efectivo conocimiento del IP de un pozo es de suma importancia para optimizar su producción, y en el caso de levantamiento artificial determinar si el diseño del equipo es adecuado.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III

3.- MARCO METODOLÓGICO

3.1 Generalidades.

La metodología del 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)

3.2 Tipo y Diseño de la Investigación

Tomando en cuenta todas y cada una de las características del problema planteado, el tipo de investigación seleccionado, para proponer una metodología en el diseño de una familia coherente de criterios para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial, y de acuerdo con los objetivos, es la de una Investigación Documental Bibliográfica, Según (UPEL, 1990), “...El estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo principalmente, en fuentes bibliográficas y documentales” (p.6).

El objeto del diseño de Investigación, según (Sabino, 1975), “...Es el de proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar los hechos con la teoría y su forma es la de una estrategia o plan general que determine las operaciones necesarias para hacerlo”.

Es un estudio de campo porque se le administrará un cuestionario a especialistas en el área de ingeniería, específicamente a aquel personal entrenado en lo referente a Sistemas de Levantamiento Artificial y estudios de yacimientos, para complementar la información documental (Ob. Cit)

El diseño de campo es el nivel descriptivo debido a que en él “...se propone conocer grupos homogéneos de fenómenos utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento... Se ocupa sólo de la descripción de los hechos a partir de un criterio o modelo teórico definido previamente”. (Sabino, 1986)

3.3 Población y Muestra

La población de la presente investigación estará integrada por especialistas en el área de producción, específicamente por expertos involucrados en los procesos de estudios de sistemas de levantamiento artificial.

La población está conformada por cinco (5) expertos, considerados especialistas en sistemas de levantamiento artificial en las diferentes áreas de producción del país.

La muestra es la representación de la población. Para efecto de esta investigación, y de acuerdo a lo que plantea Sixto Hernández, en su Estadística Aplicada a la Educación, dice que: "...cuando un universo o población está conformada por 30 individuos o menos, este universo es igual a la población".

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para obtener información, se utilizarán las siguientes técnicas:

- Revisión bibliográfica: A través de la cual se aportará la documentación necesaria para el desarrollo del marco teórico. Por medio de la técnica bibliográfica, se realizará una revisión de la documentación pertinente al problema objeto de este estudio, se analizarán los diferentes Sistemas de Levantamiento Artificial, los modelos existentes que se utilizan en la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial y las técnicas para la generación de criterios
- Los instrumentos utilizados en la revisión bibliográfica fueron la utilización de la ficha mixta, la cual, "...al hacer un resumen de un capítulo o párrafo de un texto encontramos ciertos inconveniente para resumir algunas ideas que en el se expresan y tenemos que copiarles textualmente" (Ballestrini, 1987).
- El otro instrumento que se utilizó fue la ficha concepto. "...Este tipo de fichas permite transcribir una definición que elabora un autor de un determinado concepto". (ob-cit).

- Entrevistas: Se procederá a realizar una serie de entrevistas estructuradas que permitirá obtener respuestas confiables sobre todo lo relacionado con el proceso de escogencia de criterios en la selección de Sistemas de Levantamiento Artificial. La técnica de entrevistas estructuradas constará de preguntas cerradas y abiertas lo cual permitirá a los entrevistados dar la respuesta que a su juicio les parecía apropiada, pudiendo contestar por completo con sus propias palabras.

El instrumento de recolección de datos empleado para recoger la información necesaria es el cuestionario, el cual se diseñará para la obtención de datos primarios con preguntas abiertas "...llamadas también de final abierto" (Sabino, 1986, p. 129), las mismas proporcionarán una variedad más amplia de respuestas pues ellas podrán ser expresadas libremente por el entrevistado; y cerradas, "...o de alternativas fijas" (Sabino, 1986, p. 130). Estas formalizarán más el cuestionario, pues con ellas sólo se otorga al entrevistado la posibilidad de escoger entre un número limitado de respuestas posibles.

El cuestionario estará integrado por dieciocho (18) ítems con la finalidad de lograr los objetivos específicos trazados, por lo tanto cada pregunta tendrá relación con ellos. A continuación se muestra la tabla 3.1 que muestra la relación de las preguntas con los objetivos específicos.

Pregunta No.	Descripción	Objetivo Especifico
1	¿Que criterios influyen en la selección del Sistema de Bombeo Mecánico Convencional?	1
2	¿Que criterios influyen en la selección del Sistema de Bombas de Cavidad Progresiva?	1
3	¿Que criterios influyen en la selección del Sistema de Bombas Electrosumergibles?	1
4	¿Que criterios influyen en la selección del Sistema de Bombas Hidráulicas?	1
5	¿Que criterios influyen en la selección del Sistema de Levantamiento artificial por Gas?	1
6	¿Cuáles fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bombeo Mecánico Convencional?	2
7	¿Cuáles fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bombas de Cavidad Progresiva?	2
8	¿Cuáles fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bombas Electrosumergibles?	2
9	¿Cuáles fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bombas Hidráulicas?	2
10	¿Cuáles fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Levantamiento Artificial por Gas?	2
11	¿Qué debilidades tiene el uso del Sistema de Bombeo Mecánico Convencional?	3
12	¿Qué debilidades tiene el uso del Sistema de Bombas de Cavidad Progresiva?	3
13	¿Qué debilidades tiene el uso del Sistema de Bombas Electosumergibles?	3
14	¿Qué debilidades tiene el uso del Sistema de Bombas Hidráulicas?	3
15	¿Qué debilidades tiene el uso del Sistema de Levantamiento Artificial por Gas?	3
16	¿Es la Matriz de Evaluación Tecnológica una metodología apropiada para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial?	4
17	¿Es el Sistema Experto de Levantamiento Artificial una metodología apropiada para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial?	4
18	¿Es la Metodología de Selección Óptima de Levantamiento Artificial un procedimiento apropiado para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial?	4

Fuente: Propia

TABLA 3.1: RELACIÓN DE LAS PREGUNTAS DEL CUESTINARIO CON LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.5 Confiabilidad y Validez

La validez estará garantizada por cinco (5) especialistas, quienes una vez diseñado el instrumento, determinarán que el mismo, esté bien redactado y las preguntas sean claras y completas; además cumplirán con la finalidad de obtener información referente a los objetivos trazados en la investigación. Por otra parte, se realizará una prueba piloto a dos (2) personas con las mismas características de la muestra, con la finalidad de probar la claridad del contenido de las preguntas y de las respuestas para demostrar la alta confiabilidad del instrumento.

Según Valbuena (1983) la validez del cuestionario a través de los expertos es:

...Una técnica que consiste en someter a evaluación por parte de un conjunto calificado de personas (expertos) una serie de aspectos, elementos o etapas de un proyecto o programa de innovación a los fines de obtener su opinión acerca de la validez, relevancia, factibilidad, coherencia, tipo, deficiencias, etc. de los mismos

3.5 Técnicas de Análisis

Los resultados de los datos obtenidos en forma cuantitativa de los cuestionarios se analizarán y clasificarán con base en escalas de intervalos iguales mutuamente excluyentes. Estos expondrán en forma de gráficos ilustrativos (círculos estadísticos) y los cualitativos se agruparán según la naturaleza de las respuestas.

3.6 Matriz Metodológica

Para la realización de este estudio fue necesario plantear los objetivos sobre los cuales se hicieron los análisis que contribuyeron a lograrlos. A tal efecto se elaboro una matriz metodológica, la cual señala las actividades realizadas así como las técnicas e instrumentos utilizados. (Ver tabla 3.2).

Objetivos Específicos	Actividades Realizadas	Técnicas de Análisis Usadas
<p>Diagnosticar la situación actual de los criterios para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial</p>	<p>Se recopilaron datos sobre los criterios que afectan la selección de los sistemas de levantamiento</p> <p>Se realizaron tablas de observación sobre el comportamiento de los criterios para cada sistema de levantamiento</p> <p>Se realizaron entrevistas, con especialista en ingeniería de yacimientos y producción.</p> <p>Se redactaron conclusiones referentes al objetivo específico.</p>	<p>Fichas Bibliográficas.</p> <p>Tablas Comparativas.</p> <p>Cuestionarios de Preguntas Abiertas y Cerradas.</p>
<p>Determinar las fortalezas y oportunidades que presenta los sistemas de levantamiento artificial utilizados por la industria para tal fin.</p>	<p>Se determinaron las fortalezas y las oportunidades que presentan los sistemas de levantamiento artificial mas usados</p> <p>Se realizaron entrevistas con especialistas sistemas de levantamiento artificial.</p> <p>Se redactaron conclusiones referentes a los objetivos.</p>	<p>Fichas Bibliográficas relativas al funcionamiento sistemas de levantamiento artificial</p> <p>Cuestionarios de preguntas abiertas y cerradas.</p>
<p>Detectar las debilidades y amenazas presentes en los sistemas de levantamiento artificial, para la detección de su eficacia y su eficiencia .</p>	<p>Se determinaron las debilidades y amenazas que afectan a los sistemas de levantamiento artificial.</p> <p>Se realizaron entrevistas con especialistas y fabricantes de sistemas de levantamiento artificial.</p> <p>Se redactaron conclusiones referentes a los Objetivos específicos.</p>	<p>Se realizó una matriz para la evaluación de las debilidades y amenazas que presentan los sistemas de levantamiento artificial.</p> <p>Listado de las variaciones.</p> <p>Cuestionarios de preguntas abiertas y cerradas.</p>
<p>Analizar los distintos modelos diseñados para la selección de los sistemas de levantamiento artificial.</p>	<p>Se estudiaron los distintos modelos diseñados para la selección de los sistemas de levantamiento artificial</p> <p>Se evaluó cada uno de ellos.</p> <p>Se redactaron las conclusiones referente a los objetivos específicos</p>	<p>Se elaboraron fichas bibliográficas relativas a los modelos de selección.</p> <p>Cuestionarios de preguntas abiertas y cerradas.</p>

Fuente: Propia

TABLA 3.2: MATRIZ METODOLÓGICA

CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA APLICADA
PARA LA SELECCIÓN
DE LOS CRITERIOS

CAPITULO IV

4.- METODOLOGÍA APLICADA PARA LA SELECCIÓN DE LOS CRITERIOS

4.1 Metodología para la Determinación Criterios que Influyen en la Selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial

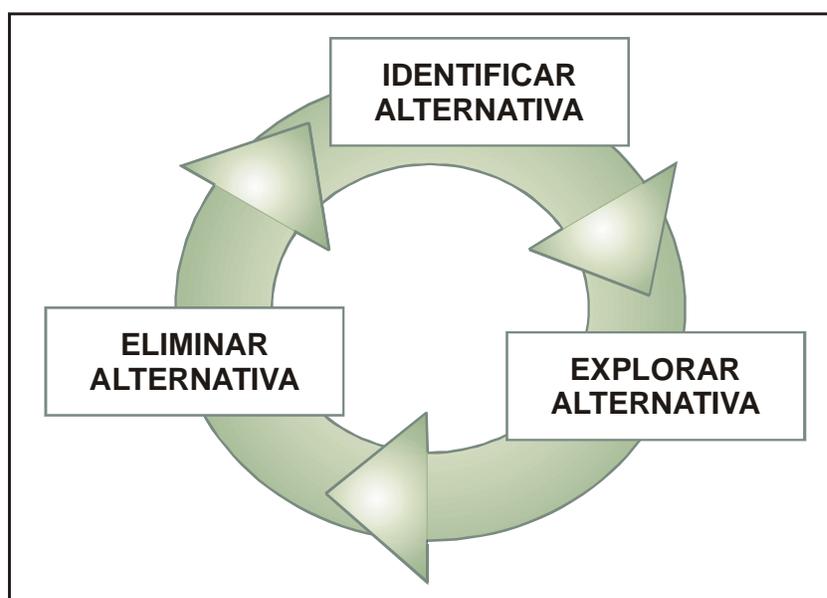
Gran parte de la literatura revisada (ver bibliografía), refieren que la determinación de criterios depende de:

- a.- Las preferencias del coordinador, el grupo de expertos y de la unidad de decisión.
- b.- El proceso de aprendizaje que ha desarrollado el coordinador para plantear criterios y a su vez del proceso de aprendizaje de la unidad de decisión sobre como se deben hacer las cosas.
- c.- El impacto de dichos criterios sobre los grupos involucrados directa o indirectamente en la toma de decisión.
- d.- El conformismo y la pasividad por parte de la unidad de decisión y del grupo de expertos.
- e.- El pensamiento one-way (un sólo camino) o la existencia de paradigmas que imposibiliten el observar otras posibles alternativas, tanto en la unidad de decisión como en el coordinador.
- f.- El temor de hacer el ridículo ante ideas novedosas o en contra del status quo de la empresa.

Con la finalidad de lograr determinar la familia de criterios que influyen en la selección de los sistemas de levantamiento Artificial, se desarrollo una metodología, en la cual se concentró todo el conocimiento adquirido en como los diferentes autores determinan criterios, se trató de dotar al coordinador o al grupo de experto que tomarán la decisión de

una metodología que le permitiera sea cual fuese la situación que enfrentar, tener una secuencia lógica de pasos que le permitan lograr su objetivo.

La metodología desarrollada sigue en su fase inicial el Circulo de Decisión planteado por Alan Baker en 1997, el cual busca, una vez conocido el problema, identificar alternativas (básicamente generar una lista de posibles alternativas), explorar cada una de ellas (ver pro y contras) y eliminar las alternativas no relevantes dentro del contexto del problema dado. Es un proceso cíclico que conlleva a la generación de nuevas alternativas (ver figura 4.1).



Fuente: Baker, 1997

FIGURA 4.1: CIRCULO DE DECISIÓN

Sin embargo no basta con identificar criterios por si solo, ya que como se observa en el marco teórico, dichos criterios pueden obedecer a una clasificación y por ende pueden estar jerarquizados.

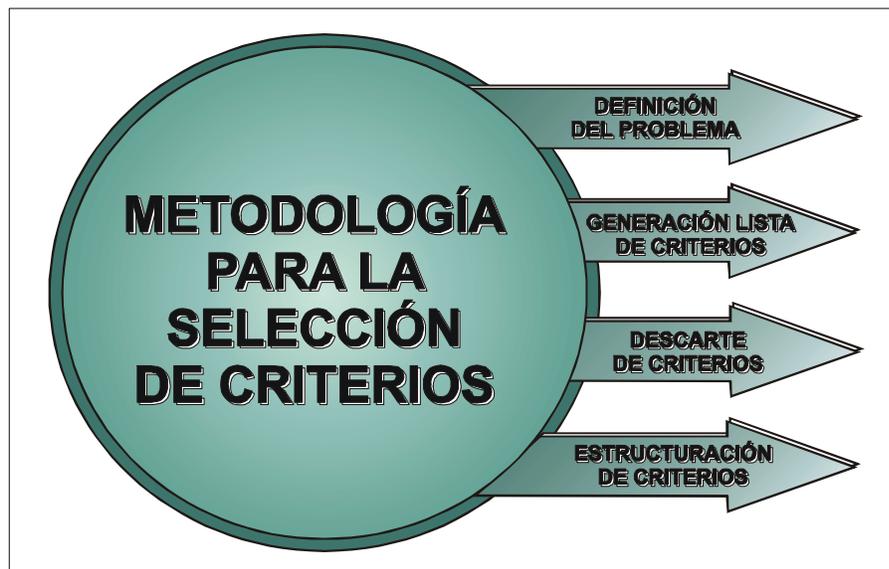
En atención a todos los factores antes descritos, la metodología desarrollada está dividida en cuatro etapas (ver figura 4.2):

Etapa 1: Definición del Problema.

Etapa 2: Generación de Lista de Criterios.

Etapa 3: Descarte de Criterios.

Etapa 4: Estructuración de Criterios



Fuente: Carvajal, 1999

FIGURA 4.2: ETAPAS PARA LA DETERMINACIÓN DE CRITERIOS

4.1.1 Definición del Problema

Aunque no forma parte del presente trabajo, ya que el problema es el tema en cuestión del mismo, se consideró de gran relevancia incluir dentro de la metodología una guía que permitiese al coordinador, asesor o programador, que va a determinar criterios; definir con claridad que es lo que la unidad de decisión desea resolver. Este punto conforma la base principal del modelo a plantear. Su importancia es tal, que en un trabajo desarrollado por Willemain en 1995, con doce expertos en el proceso de construcción de modelos de programación, encontró que en la etapa de definición del problema se empleaba en promedio 13% del tiempo total de modelaje, variando hasta un 27% dependiendo del problema en cuestión.

En esta fase se propone una lista de preguntas a modo de lista de chequeo, que permite al coordinador, introducirse dentro del esquema de pensamiento de la unidad de decisión y tratar de obtener de ella, que es lo que realmente desea. Lo primero que verifica el coordinador, es ¿Quién es el ente decisor? Ya que le permitirá tratar de entender el trasfondo de posiciones futuras que pudiese adoptar la unidad de decisión, o simplemente

describirá la forma de cómo la misma observa el problema. Por ejemplo, no es lo mismo plantear como problema la localización de un relleno sanitario de una ciudad, desde el punto de vista del Alcalde, la comunidad, el Ministro del Ambiente o del Administrador de éste. Cada uno de ellos observará el problema desde su propio punto de vista y sobre la base de su experiencia, intereses, presiones o conveniencia, definirán el problema. Es por ello, que luego se pregunta ¿Qué es lo que la unidad de decisión quiere? y ¿Qué es lo que busca?. Con ello se trata de leer entre líneas las intenciones reales de la unidad de decisión; es decir, sus verdaderos intereses.

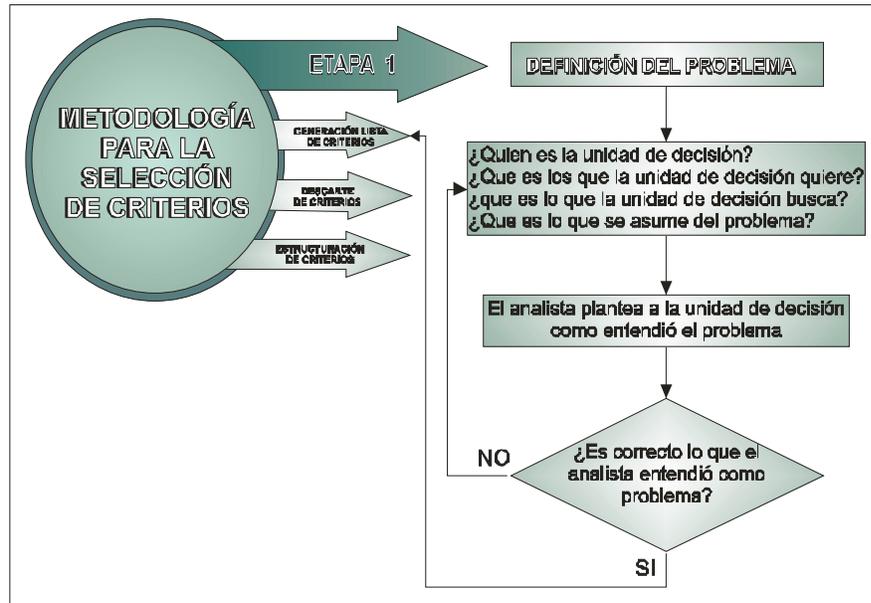
Luego el coordinador se auto pregunta, ¿qué es lo que entendió de la situación planteada? Al efectuar esta revisión, trata de clarificar que es lo que asumió de la información que le fue suministrada por la unidad de decisión. Es una forma de concluir sobre lo planteado por la unidad de decisión y lo entendido por el coordinador. En este punto (ob. cit.), plantea verificar las siguientes preguntas:

- ¿Qué es lo que se conoce? ¿Hacia donde se va?
- ¿Qué es lo que se asume sobre la situación planteada?
- ¿Quién es el cliente o ente decisor?
- ¿Qué es lo que la unidad de decisión quiere?
- ¿Qué es lo que la unidad de decisión busca?

Inmediatamente después viene la retroalimentación, se le plantea a la unidad de decisión ¿Qué es lo que entendió el coordinador del problema?. Con ello, se logra verificar si la unidad de decisión y el coordinador, están observando el problema desde el mismo punto de vista. Si el problema es entendido en toda su extensión, igual a como fue planteado por la unidad de decisión, se pasa a la segunda etapa; si no, se debe retornar al comienzo y se revisa nuevamente los pasos anteriores, tratando de afinar un mismo lenguaje a emplear entre la unidad de decisión y el coordinador. Tal vez esto último sea justamente la clave de todo el proceso de definición del problema, en el momento en que ambas

partes, clarifican y definen los mismos términos al hablar, se podrá llegar a un consenso sobre lo que se desea plantear.

Para representar gráficamente de alguna forma la metodología propuesta se acudió a la representación mediante el empleo de flujo gramas del proceso. La etapa 1, puede ser observada en la figura 4.3.



Fuente: Carvajal, 1999

FIGURA 4.3: ETAPA 1; DEFINICION DEL PROBLEMA

4.1.2 Generación de Lista de Criterios

Una vez planteado el problema, el coordinador conduce al grupo de especialistas y a la unidad de decisión hacia la generación de los criterios necesarios para alcanzar la resolución del problema determinado.

En esta etapa se establece que lo importante es generar una lista de criterios sin jerarquías ni relaciones entre ellos. Esto indudablemente, podría generar dentro de la lista criterios redundantes. A pesar de lo anterior, lo importante es generar dentro la lista de criterios a desarrollar, de donde inicialmente no existían y luego de generada, se puede efectuar todas las revisiones que se deseen y se pueden añadir o eliminar criterios; al encontrar criterios nuevos relacionados con los planteados o criterios redundantes, de

acuerdo al curso seguido por el asesor. Esta fase es la creativa por excelencia, por lo tanto no se detallan mecanismos a seguir.

Después de definido el problema, el asesor acude a las fuentes bibliográficas, según lo recomendado por (Keeney, 1976). Con ello se busca encontrar problemas similares al planteado. Si el problema es similar, tal vez contenga algunos criterios que puedan ser añadidos a la lista de criterios que el asesor va a desarrollar en esta etapa. Los criterios similares pueden ser trasladados directamente o ser modificados o adaptados al contexto del problema planteado. Luego de la revisión de la literatura existente, se procede a la agregación de criterios mediante algunas de las técnicas mostradas anteriormente, tales como:

- Interacción
- Tormenta de Ideas
- Comités
- Método Sinéctico
- Grupo Nominal
- Método Delphi
- Método de Kawakita Jiro
- Árbol de Decisiones
- Reuniones Electrónicas
- Diagramas Causa-Efecto

o cualquier otra conocida por el coordinador.

Para facilitar la decisión, sobre que metodología se debe emplear, se amplió la tabla desarrollada inicialmente por la General Electric en 1996 y mostrada en la tabla 4.1. En dicha tabla se listan ciertos criterios de eficiencia de los métodos analizados, tales como:

- Numero de ideas que se generan,
- Calidad de las ideas generadas,
- Presión que ejerce sobre el grupo decisor,
- Costo de implantar dicho método,
- Velocidad de implantación,

- Grado de orientación hacia las tareas,
- Posibilidad de generar conflictos interpersonales dentro del grupo de decisión,
- Sensación de logro que se alcanza,
- Grado de compromiso que adquiere el grupo con los criterios planteados y
- Aumento de la cohesión del grupo decisor.

En este caso el coordinador, dependiendo de la unidad de decisión existente, define el tipo de mecanismo a seguir según los criterios de eficiencia que más se adapten al problema tratado o los recursos disponibles. Todas las ideas generadas son añadidas a la lista de criterios. Siguiendo el esquema, el coordinador centra la discusión sobre un modelo, en el cual sólo interesa las variables de entrada y salida del mismo, siendo el modelo en si una caja negra a descifrar posteriormente en el proceso de modelaje. Lo anterior es recomendado por MacCrimmon (citado por Keeney, 1976).

Con ello, nuevamente el ente decisor se ve en la necesidad de pensar en función de lo que desea y en lo que dispone para alcanzar ese objetivo, con ello se pueden generar nuevos criterios a incluir en la lista.

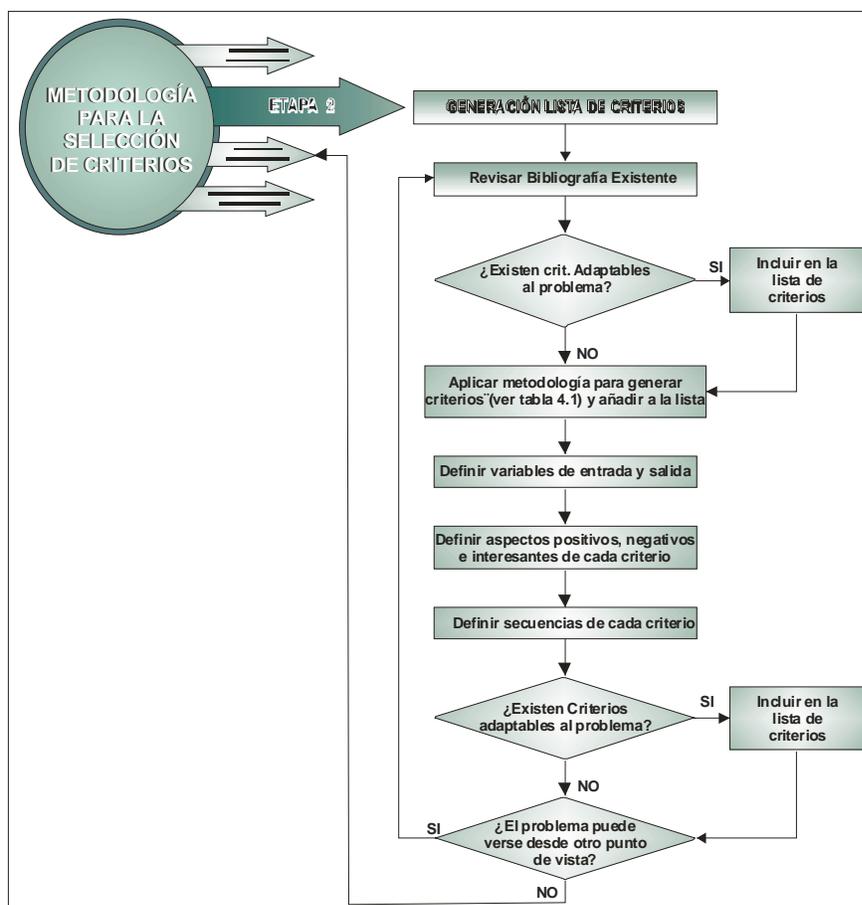
Luego el coordinador plantea al ente decisor que defina cual o cuales son los aspectos positivos, negativos e interesantes de los criterios generados. Esta herramienta fue desarrollada para la generación de ideas (Baker, 1997), lo cual se adaptó para la obtención de criterios. Los aspectos positivos indican cualquier cosa que haga al criterio atractivo o sobre los beneficios extras que posee dicho criterio; también incluye la percepción del coordinador sobre lo beneficioso del criterio. Los aspectos negativos señalarían las deficiencias, defectos, riesgos y peligros asociados con el criterio planteado. Los aspectos interesantes revelarían las implicaciones, consecuencias, efectos en otros sistemas o personas sobre el criterio estudiado. Se toma cada criterio y se generan nuevos criterios sobre dicho criterio (Hawkins, 1999). Con ello, se logra centrar al grupo hacia que resultados esperaría y cuales no, lo cual podría dar nuevas pistas sobre criterios no considerados anteriormente, por olvido o por no ser considerados relevantes para el análisis.

Criterios de Eficacia	Interacción	Tormenta de Ideas	Comités	Sinéctico	Nominal	Delphi	K-J	Árbol de Decisiones	Electrónica
Numero de Ideas	Baja	Moderada	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Calidad de las Ideas	Baja	Moderada	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderada	Alta	Alta
Presión Social	Alta	Baja	Alta	Alta	Moderada	Baja	Baja	Baja	Baja
Costo	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Velocidad	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baja	Baja	Baja	Alta
Orientación a la Tarea	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta
Potencial de conflicto interpersonal	Alta	Baja	Alta	Alta	Moderada	Baja	Baja	Moderada	Baja
Sentimientos de realización	Alto	Alto	Moderada	Alto	Alto	Moderado	Moderado	Alto	Alto
Compromiso con la solución	Alto	No aplica	Bajo	Alto	Moderado	Bajo	Moderado	Alto	Moderado
Desarrolla la cohesión del grupo	Alta	Alta	Moderada	Alta	Moderada	Baja	Moderado	Alta	Baja

Fuente: Robbins, 1996

TABLA 4.1: COMPARACIONES ENTRE LOS DIFERENTES MODELOS DE TOMAS DE DECISIONES

El esquema continúa con un análisis para cada criterio de la lista de la(s) consecuencia(s) de su inclusión en la lista. De dichas consecuencias se podrían generar nuevos criterios. Aquí es conveniente aplicar las seis preguntas de Rudyard Kipling: ¿Qué, cómo, quién, por qué, dónde y cuándo? Para determinar las consecuencias y su repercusión sobre los criterios fijados. (Hawkins, 1999) concluye que la habilidad para generar ideas no es un factor casual, no es educacional, ni depende de la edad o de recursos disponibles; él plantea que depende de la actitud de la persona. Tomando este punto de vista se ha de concluir al detallar la etapa 2 (ver figura 4.4), que depende en gran medida de la interacción entre la unidad de decisión, este ultimo y los grupos impactados; y de su actitud hacia la consecución de criterios claros y relevantes para el problema en cuestión. (Keeney, 1994) afirma que “simplemente listar criterios es superficial”, con lo cual se coincide, pero aclarando que esta fase no trata de estructurar los criterios identificados sino de generarlos. Lo que se busca finalmente es evitar a toda costa la parálisis mental que conlleva a la pobre generación de criterios.



Fuente: Robbins, 1996

FIGURA 4.4: ETAPA 2; GENERACIÓN LISTA DE CRITERIOS

4.1.3 Descarte de Criterios

En esta etapa, el coordinador en trabajo conjunto con la unidad de decisión, elimina del análisis aquellos criterios que por encontrarse repetidos en la lista de criterios, por ser de poca importancia o por complicar excesivamente dentro del contexto del problema, deban ser eliminados. Es la fase de depuración de la información generada en la etapa anterior.

La eliminación de una alternativa posible depende del avalúo de la opción según los criterios establecidos y de las consecuencias de su posible implantación (Baker, 1997). Así mismo establece que cuando las opciones son pocas el asesor puede proceder el mismo a la eliminación de las opciones no viables, pero cuando evalúan muchas opciones va a depender del tiempo disponible para el análisis y del avalúo del asesor y de la unidad de decisión basado muchas veces en su intuición de cuales alternativas le son más atractivas.

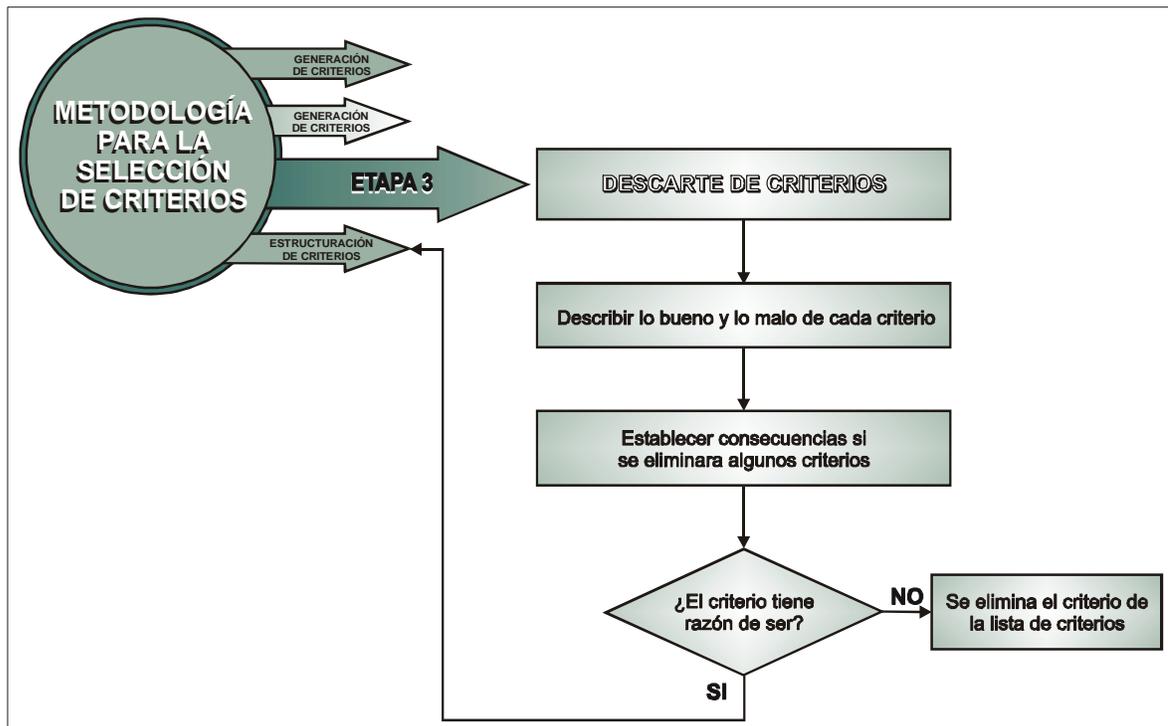
(Keeney/Raiffa, 1976) establecen que se debe cuidar que cada criterio no se encuentre redundante, que los criterios puedan ser descompuestos, es decir, que puedan ser simplificados, y por ultimo deben ser mínimos de tal forma que las dimensiones del problema sean lo mas pequeña posible.

En este punto y coincidiendo con la afirmación de Bernard Roy, 1985 “... *más que objetividad lo que hay que tener en gran estima es la honestidad intelectual del investigador*” refiriéndose al proceso de decisión. Lo mismo es aplicable al proceso de descarte de criterios pero aplicable en dos direcciones por un lado en la relación coordinador - unidad de decisión y por la otra unidad de decisión - coordinador.

Se debe tener cuidado en descartar los criterios reales de aquellos pseudo criterios iniciales. Estos últimos estarán conformados por metas y restricciones, que se confunden con los criterios reales del problema. Esto ocurre con mucha facilidad cuando las relaciones entre los criterios no están claros (Keeney, 1994). Según lo anterior, en la etapa 3 en primera instancia, se verifica para cada criterio de la lista, que el mismo no se encuentre repetido. En caso afirmativo se unifica en uno de ellos. Luego se preguntan el coordinador y la unidad de decisión: ¿Qué es lo bueno y qué es lo malo de cada criterio?, con ello se puede descartar el criterio si su aporte es mínimo para la resolución del

problema. En este paso se acelera ya que hubo un análisis previo en la etapa 2, donde se determinaron los aspectos positivos, negativos e interesantes de cada opción. Se debe considerar los recursos disponibles y el esfuerzo a emplear para la selección del criterio analizado.

Seguidamente se recomienda aplicación de una variación del test de la importancia de Ellis (citado en Keeney/Raiffa, 1994), que aunque utilizado inicialmente para limitar las jerarquías dentro de un problema, se propone su uso ya que eliminaría criterios, aunque únicos, poco trascendentes o cuyo aporte a la solución final será mínimo. En este caso aplicaría mediante el cuestionamiento del coordinador y de la unidad de decisión si, en caso de excluir el criterio, el mejor curso de acción se modifica (costo de no algo). En caso afirmativo el criterios se incluye en el análisis; en caso contrario se elimina de la lista de criterios. En otras palabras, el coordinador preguntaría ¿qué pasa si elimino este criterio?, si el problema pierde esencia por la inexistencia de dicho criterio el mismo debe se incluido de lo contrario se descarta de la lista de criterios (ver figura 4.5).



Fuente: Carvajal, 1999

FIGURA 4.5: ETAPA 3; DESCARTE DE CRITERIOS

Una vez concluido este proceso se pasa a la siguiente etapa.

4.1.4 Estructuración de Criterios

Esta última etapa incluye la Jerarquización, ponderación y valoración de los criterios existentes. Los primeros dos procesos, pueden ir separados o suceder simultáneamente, dependiendo de la metodología utilizada, algunos de los mecanismos mencionados o descritos en la parte teórica del presente trabajo, ayudan a esta finalidad:

- Clasificación Según el orden de Importancia,
- Clasificación Según la Clasificación de los Criterios,
- Clasificación por Medio de la Asignación de Pesos Relativos,
- Clasificación por su Prioridad,
- Clasificación Según Asignación previa,
- Método de Comparaciones Pareadas,
- Método de Normalización,
- Proceso Analítico Jerárquico

Aunque en el marco teórico se describe el Proceso Analítico Jerárquico por ser el mejor mecanismo para jerarquizar los criterios, se elaboró una tabla que permitiese al coordinador determinar la metodología que más se adapte para la determinación de criterios, se realizó una tabla con las metodologías señaladas anteriormente, mostradas en la tabla 4.2. Primero se pregunta si dicha metodología al jerarquizar determina pesos de los criterios planteados, luego utiliza algunos criterios para el análisis, entre los cuales se tienen:

- ¿La metodología determina pesos?
- Grado de subjetivismo.
- Grado de confiabilidad en los resultados obtenidos.
- Grado de intercambio entre el coordinador y la unidad de decisión.
- Grado de dificultad en la aplicación de la metodología.
- Costos de implementación.
- Tiempo requerido de implementación.
- Requerimientos computacionales necesarios.
- Requerimientos matemáticos.

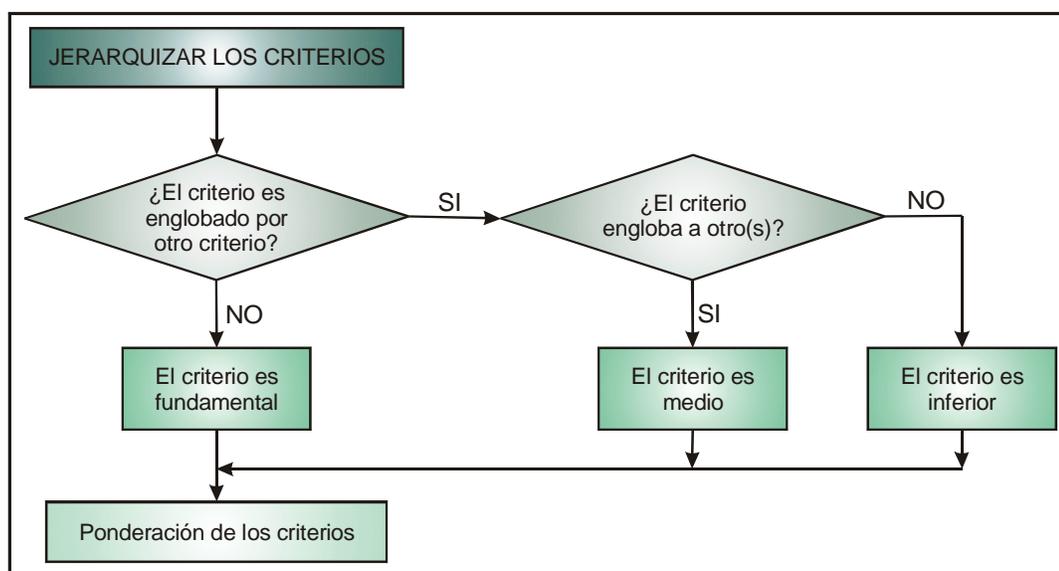
Criterios de Eficacia	Orden de Importancia	Clasificación de Criterios	Asignación Pesos Relativos	Según su Prioridad	Asignación Previa	Comparaciones pareadas	Normalización	Proceso Analítico Jerárquico
¿La metodología determina pesos?	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI
Grado de subjetivismo	ALTO	MODERADO	ALTO	ALTO	MODERADO	BAJO	BAJO	BAJO
Grado de confiabilidad	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO	ALTO
Grado de intercambio entre el asesor y la unidad de decisión	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	ALTO	ALTO
Grado de dificultad en la aplicación de la metodología	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO
Costo de implementación	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
Tiempo requerido de implementación	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO
Requerimientos computacionales	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO	NINGUNO	BAJO	MODERADO	MODERADO
Requerimientos Matemáticos	BAJO	NINGUNO	BAJO	NINGUNO	NINGUNO	BAJO	MODERADO	MODERADO

Fuente: Carvajal, 1999

TABLA 4.2: COMPARACIONES ENTRE LOS DIFERENTES MÉTODOS PARA LA JERARQUIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE PESOS

Otra forma de jerarquizar criterios es mediante el análisis de cada criterio preguntando si dicho criterio engloba o es englobado por otro(s). De esta manera se puede determinar cuales son criterios fundamentales, cuales son los medios y cuales serán los criterios bajos o finales dentro de la jerarquización.

(Keeney, 1994) dice trazar criterios bajos o finales repetidamente, lo cual conduce es al menos a un criterio fundamental. Para cada criterio se pregunta ¿Por qué es este criterio importante en el contexto de decisión?. La anterior pregunta conduce a dos posibles respuestas: la primera es que el criterio en cuestión es esencial dentro del contexto planteado, en tal caso en un criterio fundamental, la otra respuesta es que el criterio es importante porque tiene implicaciones para algún otro criterio, en tal caso es un criterio medio (ver figura 4.6)

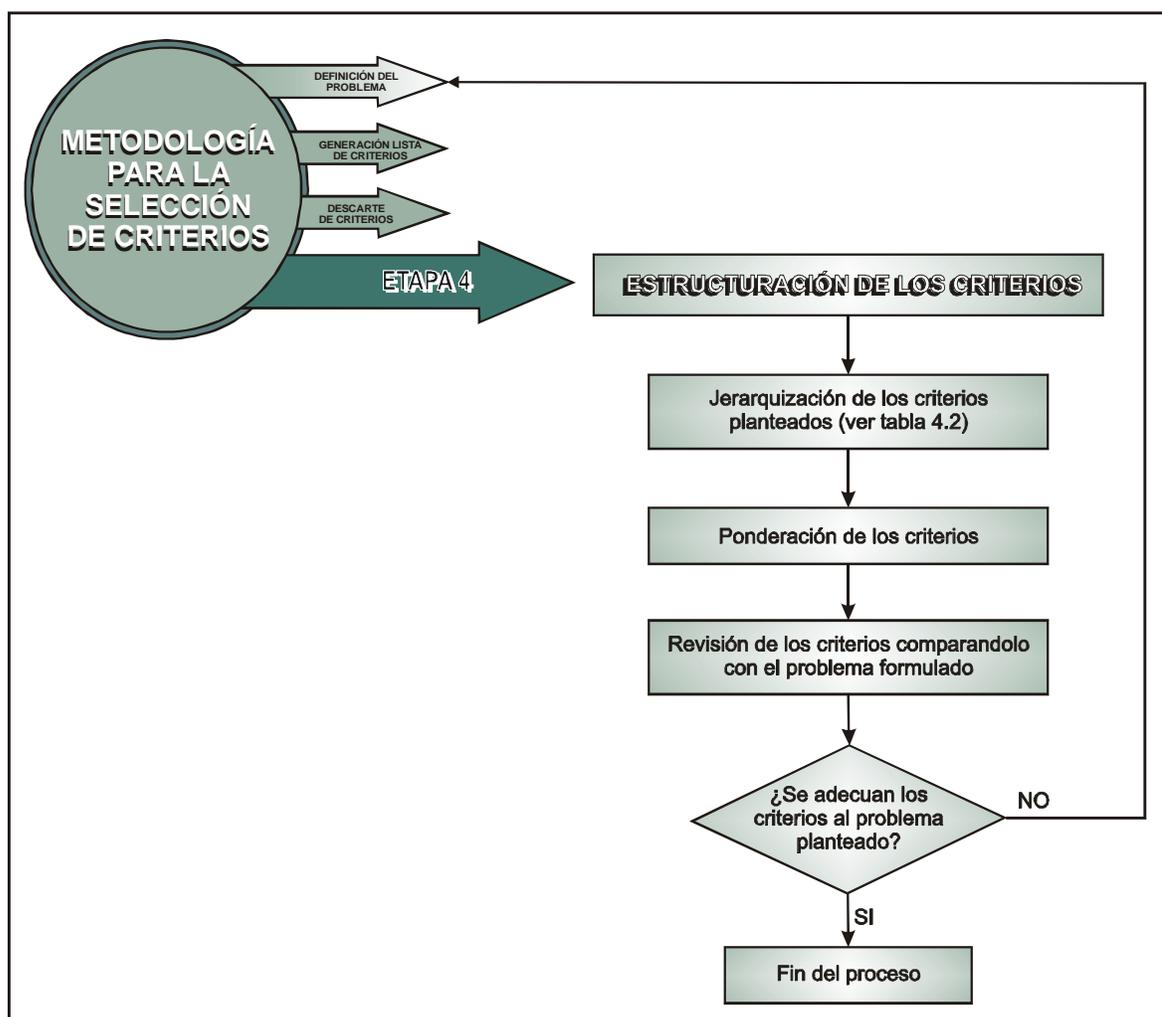


Fuente: Carvajal, 1999

FIGURA 4.6: JERARQUIZACIÓN DE CRITERIOS

Una vez determinado por el coordinador el mecanismo a seguir en la jerarquización y ponderación de criterios, el siguiente paso de la Etapa 4 es la realización de las Curvas de Valoración y la revisión de los criterios a la luz del problema planteado. Se efectúa una revisión general entre el coordinador los expertos y el ente decisor, sobre los criterios determinados y su estructuración, con el objeto de determinar si dichos criterios planteados se adecuan a satisfacción con el problema propuesto. Se pregunta entonces:

¿Se adecuan los criterios al problema planteado?. Si la respuesta es afirmativa se culmina con el proceso de determinación de criterios. Si por el contrario la respuesta es negativa, esto indicaría una desviación importante con respecto al propósito inicial, por lo cual se retrocede a la Etapa 1, para revisar nuevamente lo que se planteó inicialmente como problema y más importante que entendió el coordinador de lo que la unidad de decisión quería. Es importante señalar que un volver atrás a la etapa inicial, en ningún momento implica comenzar de nuevo, siempre se estará un paso adelante, ya que se habrá creado una relación con la unidad de decisión y un conocimiento mayor de los criterios a determinar (En la figura 4.7, se muestra la metodología de esta Etapa 4).

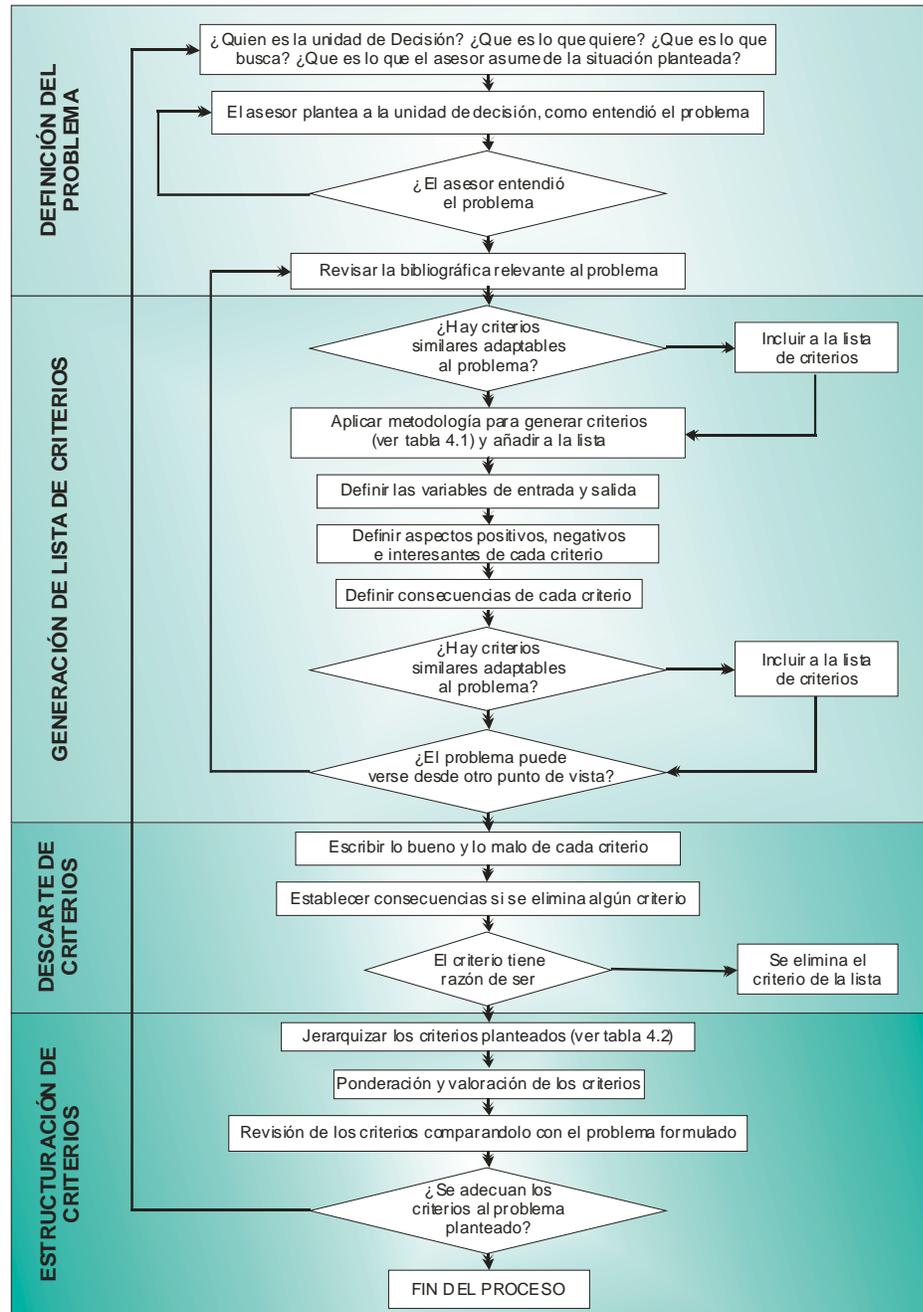


Fuente, Carvajal, 1999

FIGURA 4.7: ETAPA 4; ESTRUCTURACIÓN DE CRITERIOS

En promedio se emplea en la fase de estructuración de criterios un 57% del tiempo total de modelaje de problemas, variando en un rango entre 30 y 79% dependiendo del tipo de problema (Willemain, 1995).

En la figura 4.8 se muestra la metodología desarrollada en forma completa con sus cuatro (4) etapas.



Fuente: Carvajal, 1999

FIGURA 4.8: METODOLOGÍA PARA SELECCIÓN DE CRITERIOS

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPITULO V

1. ANALISIS DE RESULTADOS

Siguiendo la metodología establecida en el Capitulo IV se elaboró una lista con los criterios que influyen en la Selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial para alcanzar la resolución del problema planteado.

Se generaron 64 criterios sin jerarquías ni relaciones entre ellos lograda a partir de la información obtenida de la bibliografía revisada y a la consulta de diversos especialistas con suficiente experiencia de campo entre los cuales se destacan expertos de PDVSA, BITOR, BENTON VINCCLER, y reconocidos profesores de la UCV con amplia experiencia en la industria.

De los procedimientos descritos para tal fin se utilizo el modelo de reuniones electrónicas debido a la imposibilidad de reunir a todos los expertos que colaboraron en este proceso además por ser un método que genera un gran número de ideas con mucha rapidez y muy bajo potencial de conflicto entre los participantes, también se elaboraron varios cuestionarios individuales para complementar la información recabada.

En la etapa de descarte se procedió a depurar los datos obtenidos en la etapa anterior, para ello se eliminaron los criterios que eran redundantes o que poseían poca importancia y aquellos que complicaban excesivamente el contenido del problema como los criterios de carácter económico y los de diseño del equipo, ya que las dimensiones del problema deben ser lo más pequeña posible de modo de que el análisis sea más eficiente y óptimo además de simplificar el trabajo de los especialistas al mínimo posible ya que la disponibilidad de su tiempo en la mayoría de los caso es escasa, quedando de esta forma 22 criterios que serán analizados y que se listan a continuación.

- Índice de Productividad
- Tasa de Líquido
- Corte de Agua
- Relación Gas Líquido
- Comportamiento de Afluencia

- Profundidad de Asentamiento de la Bomba
- Presión Estática del Yacimiento
- Gravedad API
- Temperatura en el fondo
- Problemas de Arenamiento
- Mecanismos de Producción
- Pericia en el Método
- Diámetro del Revestidor
- Diámetro del Eductor
- Tipo de Completación
- Grado de Desviación del Pozo
- Producción de Parafinas y Asfáltenos
- Acumulación de Escamas
- Problemas de Corrosión

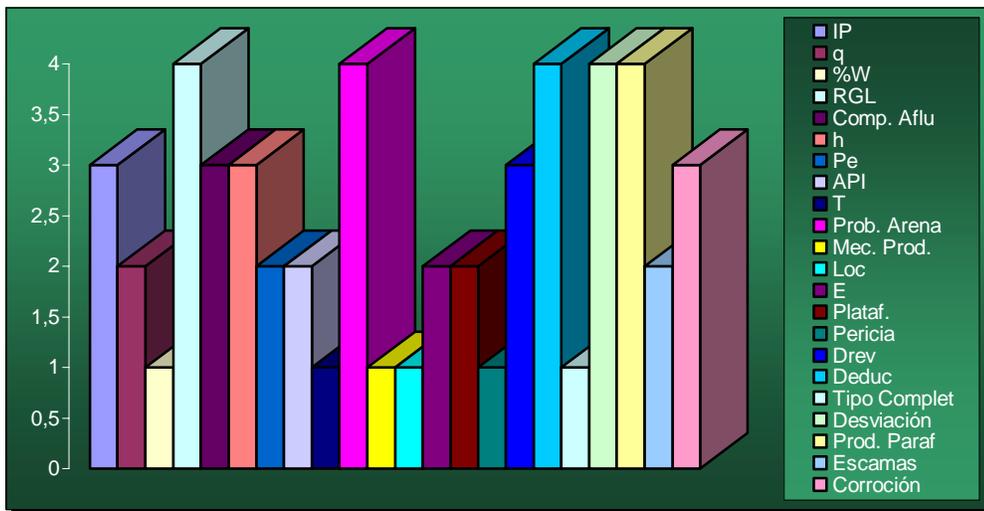
En esta etapa se complemento la información conseguida con la elaboración de varios cuestionarios donde se discutieron los criterios que influyen para cada Método de Levantamiento además de analizar las fortalezas y debilidades de cada uno de ellos con el fin de complementar la información obtenida de la bibliografía pero esta vez basada en la experiencia de campo de los distintos especialistas (ver Apéndice I)

Pregunta 1.

Al consultarle a la muestra ¿Que criterios influyen en la selección del **Sistema de Bombeo Mecánico?**, esta respondió de la siguiente manera

Criterios	Si	%	No	%
Índice de Productividad	3	75	1	25
Tasa de Liquido	2	50	2	50
Corte de agua	1	25	3	75
Relación Gas Liquido	4	100	0	0
Comportamiento de Afluencia	3	75	1	25
Profundidad al tope de las Perf.	3	75	1	25
Presión Estática	2	50	2	50
Gravedad API	2	50	2	52
Temperatura en el fondo	1	25	3	75
Problemas de Arenamiento	4	100	0	0
Mecanismos de Producción	1	25	3	75
Localización del Pozo	1	25	3	75
Fuente de Energía Disponible	2	50	2	50
Plataforma de Producción	2	50	2	50
Pericia en el Método	1	25	3	75
Diámetro del Revestidor	3	75	1	25
Diámetro del Eductor	4	100	0	0
Tipo de Completación	1	25	3	75
Grado de Desviación	4	100	0	0
Prod. De Parafinas y Asfáltenos	4	100	0	0
Acumulación de Escamas	2	50	2	50
Problemas de Corrosión	3	100	0	0

Gráficamente se observa el comportamiento de la selección de los criterios que influyen en el Bombeo Mecánico.



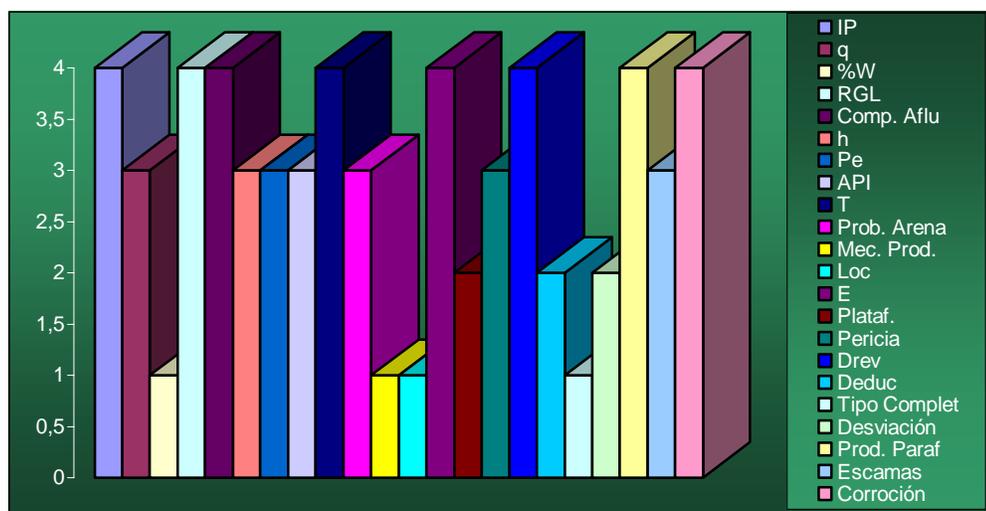
La muestra entrevistada señaló que los **Criterios** que más influyen en la selección de los Sistemas de Bombeo Mecánico son los siguientes:

- 1.- **Índice de Productividad**
- 2.- **Tasa de Líquido**
- 3.- **Relación Gas Líquido**
- 4.- **Comportamiento de Afluencia**
- 5.- **Profundidad**
- 6.- **Presión Estática**
- 7.- **Gravedad API**
- 8.- **Problemas de Arenamiento**
- 9.- **Diámetro Revestidor**
- 10.- **Diámetro del Eductor**
- 11.- **Grado de Desviación**
- 12.- **Producción de Parafinas**
- 13.- **Acumulación de Escamas**
- 14.- **Problemas de Corrosión**

Al consultarle a la muestra ¿Que criterios influyen en la selección del **Sistema de Bombeo Electrosumergible?**, esta respondió de la siguiente manera

Criterios	Si	%	No	%
Índice de Productividad	4	100	0	0
Tasa de Liquido	3	75	1	25
Corte de agua	1	25	3	75
Relación Gas Liquido	4	100	0	0
Comportamiento de Afluencia	4	100	0	0
Profundidad al tope de las Perf.	3	75	1	25
Presión Estática	3	75	1	25
Gravedad API	3	75	1	25
Temperatura en el fondo	4	100	0	0
Problemas de Arenamiento	3	75	1	25
Mecanismos de Producción	1	25	3	75
Localización del Pozo	1	25	3	75
Fuente de Energía Disponible	4	100	0	0
Plataforma de Producción	2	50	2	50
Pericia en el Método	3	75	1	25
Diámetro del Revestidor	4	100	0	0
Diámetro del Eductor	2	50	2	50
Tipo de Completación	1	25	3	75
Grado de Desviación	2	50	2	50
Prod. De Parafinas y Asfáltenos	4	100	0	0
Acumulación de Escamas	3	75	1	25
Problemas de Corrosión	4	100	0	0

Gráficamente se observa el comportamiento de la selección de los criterios que influyen en el Sistema de Bombeo Electrosumergible.



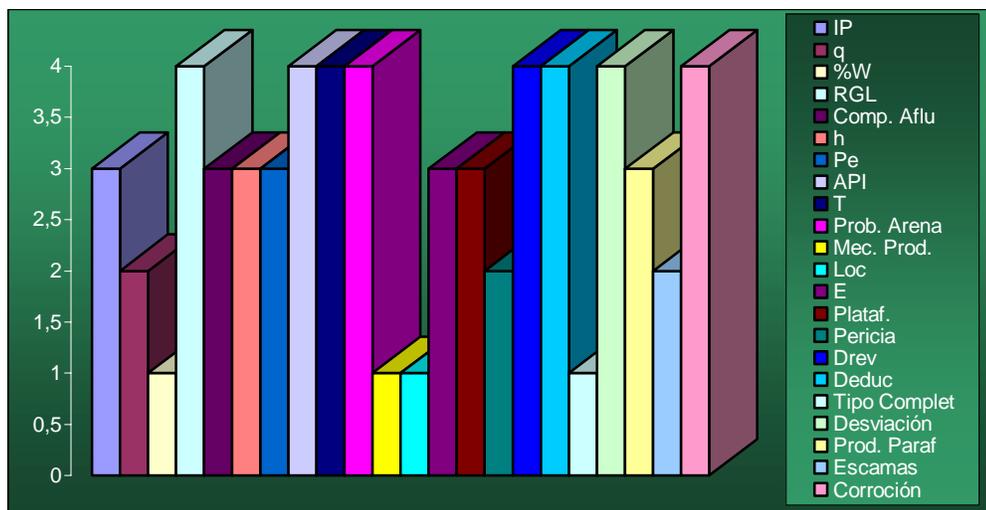
Lo anterior indica que la muestra entrevistada señaló que los criterios que más influyen en la selección de los Sistemas de Bombeo Electrosumergible son:

- 1.- Índice de Productividad**
- 2.- Tasa de Líquido**
- 3.- Relación Gas Líquido**
- 4.- Comportamiento de Afluencia**
- 5.- Profundidad**
- 6.- Presión Estática**
- 7.- Gravedad API**
- 8.- Temperatura**
- 9.- Problemas de Arenamiento**
- 10.- Fuente de Energía Disponible**
- 11. Plataforma de Producción**
- 12.- Pericia en el Método**
- 13.- Diámetro Revestidor**
- 14.- Diámetro del Eductor**
- 15.- Grado de Desviación**
- 16.- Producción de Parafinas**
- 17.- Acumulación de Escamas**
- 18.- Problemas de Corrosión**

Al consultarle a la muestra ¿Que criterios influyen en la selección del **Sistema de Bombas de Cavity Progresiva?**, esta respondió de la siguiente manera

Criterios	Si	%	No	%
Índice de Productividad	3	75	1	25
Tasa de Liquido	2	50	2	50
Corte de agua	1	25	3	75
Relación Gas Liquido	4	100	0	0
Comportamiento de Afluencia	3	75	1	25
Profundidad al tope de las Perf.	3	75	1	25
Presión Estática	3	75	1	25
Gravedad API	4	100	0	0
Temperatura en el fondo	4	100	0	0
Problemas de Arenamiento	4	100	0	0
Mecanismos de Producción	1	25	3	75
Localización del Pozo	1	25	3	75
Fuente de Energía Disponible	3	75	1	25
Plataforma de Producción	3	75	1	25
Pericia en el Método	2	50	2	50
Diámetro del Revestidor	4	100	0	0
Diámetro del Eductor	4	100	0	0
Tipo de Completación	1	25	3	75
Grado de Desviación	4	100	0	0
Prod. De Parafinas y Asfáltenos	3	100	0	0
Acumulación de Escamas	2	50	2	50
Problemas de Corrosión	4	100	0	0

Gráficamente se observa el comportamiento de la selección de los criterios que influyen en el Sistema de Bombas de Cavity Progresiva.



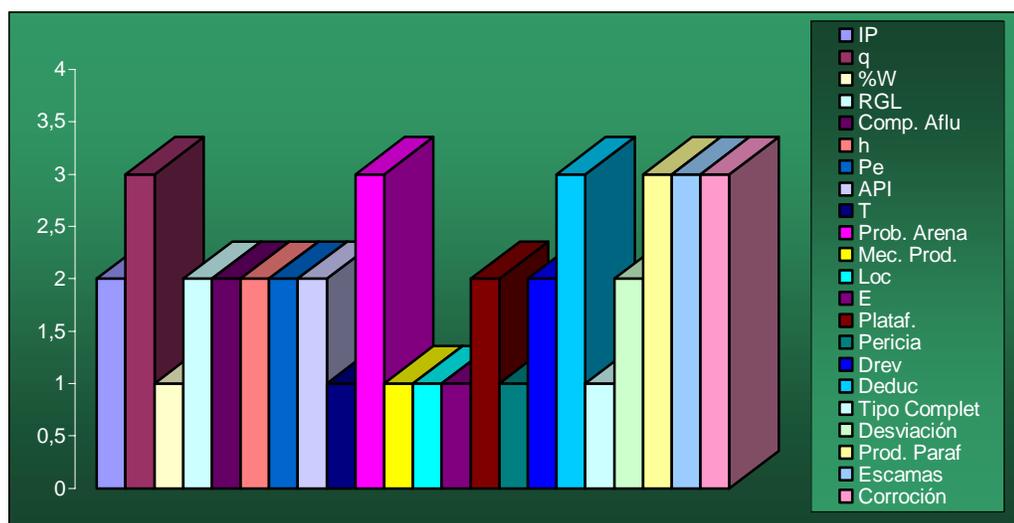
Lo anterior indica que la muestra entrevistada señaló que los criterios que más influyen en la selección de los Sistemas de Bombas de Cavidad Progresiva son:

- 1.- Índice de Productividad**
- 2.- Tasa de Líquido**
- 3.- Relación Gas Líquido**
- 4.- Comportamiento de Afluencia**
- 5.- Profundidad**
- 6.- Presión Estática**
- 7.- Gravedad API**
- 8.- Temperatura**
- 9.- Problemas de Arenamiento**
- 10.- Fuente de Energía Disponible**
- 11. Plataforma de Producción**
- 12.- Pericia en el Método**
- 13.- Diámetro Revestidor**
- 14.- Diámetro del Eductor**
- 15.- Grado de Desviación**
- 16.- Producción de Parafinas**
- 17.- Acumulación de Escamas**
- 18.- Problemas de Corrosión**

Al consultarle a la muestra ¿Que criterios influyen en la selección del **Sistema de Bombeo Hidráulico?**, esta respondió de la siguiente manera

Criterios	Si	%	No	%
Índice de Productividad	2	50	2	50
Tasa de Liquido	3	75	1	25
Corte de agua	1	25	2	50
Relación Gas Liquido	2	50	2	50
Comportamiento de Afluencia	2	50	2	50
Profundidad al tope de las Perf.	2	50	2	50
Presión Estática	2	50	2	50
Gravedad API	2	50	2	50
Temperatura en el fondo	1	25	3	75
Problemas de Arenamiento	3	75	1	25
Mecanismos de Producción	1	25	3	75
Localización del Pozo	1	25	3	75
Fuente de Energía Disponible	1	25	3	75
Plataforma de Producción	2	50	2	50
Pericia en el Método	1	25	3	75
Diámetro del Revestidor	2	50	2	50
Diámetro del Eductor	3	75	1	25
Tipo de Completación	1	25	2	50
Grado de Desviación	2	50	2	50
Prod. De Parafinas y Asfáltenos	3	75	1	25
Acumulación de Escamas	3	75	1	25
Problemas de Corrosión	3	75	1	25

Gráficamente se observa el comportamiento de la selección de los criterios que influyen en el Sistema de Bombeo Hidráulico.



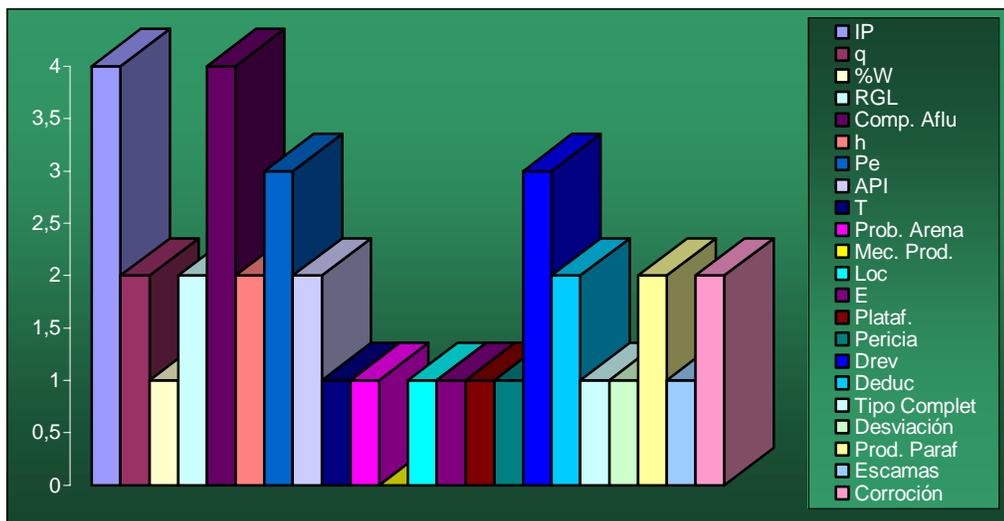
Lo anterior indica que la muestra entrevistada señaló que los criterios que más influyen en la selección de los Sistemas de Bombeo Hidráulico son:

- 1.- Índice de Productividad**
- 2.- Tasa de Líquido**
- 3.- Relación Gas Líquido**
- 4.- Comportamiento de Afluencia**
- 5.- Profundidad**
- 6.- Presión Estática**
- 7.- Gravedad API**
- 8.- Problemas de Arenamiento**
- 9.- Diámetro Revestidor**
- 10.- Diámetro del Eductor**
- 11.- Grado de Desviación**
- 12.- Producción de Parafinas**
- 13.- Acumulación de Escamas**
- 14.- Problemas de Corrosión**

Al consultarle a la muestra ¿Que criterios influyen en la selección del **Sistema de Levantamiento Artificial por Gas?**, esta respondió de la siguiente manera

Criterios	Si	%	No	%
Índice de Productividad	4	100	0	0
Tasa de Liquido	2	50	2	50
Corte de agua	1	25	3	75
Relación Gas Liquido	2	50	2	50
Comportamiento de Afluencia	4	100	0	0
Profundidad al tope de las Perf.	2	50	2	50
Presión Estática	3	75	1	25
Gravedad API	2	50	2	50
Temperatura en el fondo	1	25	3	75
Problemas de Arenamiento	1	25	3	75
Mecanismos de Producción	0	0	4	100
Localización del Pozo	1	25	3	75
Fuente de Energía Disponible	1	25	3	75
Plataforma de Producción	1	25	3	75
Pericia en el Método	1	25	3	75
Diámetro del Revestidor	3	75	1	25
Diámetro del Eductor	2	50	2	50
Tipo de Completación	1	25	3	75
Grado de Desviación	1	25	3	75
Prod. De Parafinas y Asfáltenos	2	50	2	50
Acumulación de Escamas	1	25	3	75
Problemas de Corrosión	2	50	2	50

Gráficamente se observa el comportamiento en la selección de los criterios que influyen en el Sistema de Levantamiento Artificial por Gas.



Lo anterior indica que la muestra entrevistada señaló que los criterios que más influyen en la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial por Gas son:

- 1.- Índice de Productividad
- 2.- Tasa de Líquido
- 3.- Relación Gas Líquido
- 4.- Comportamiento de Afluencia
- 5.- Profundidad
- 6.- Presión Estática
- 7.- Gravedad API
- 8.- Diámetro Revestidor
- 9.- Diámetro del Eductor
- 10.- Producción de Parafinas
- 11.- Problemas de Corrosión

Al preguntar a los especialistas con respecto a las **fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades** de los distintos Sistemas de Levantamiento Artificial, se obtuvo la siguiente información.

Fortalezas del Bombeo Mecánico

Sistema de Levantamiento con mayor auge en el mundo; Múltiples teorías que soportan el comportamiento del sistema completo; Costo de reemplazo de la bomba relativamente más económico que las BCP y BES; Disponibilidad de equipos electrónicos para diagnósticos de fallas de la bomba y sus componentes; Filosofía de automatización definida; Fácil de bajar y sacar del pozo; Bajo consumo de energía; Adaptable para zonas de crudos pesados y extrapesados; Sistema eficiente, simple y fácil de operar para el personal de campo; Adaptable a completaciones sencillas y múltiples; Flexible, se puede equiparar la tasa de desplazamiento con la capacidad del pozo cuando comienza a declinar; Disponible en diámetros diferentes; El sistema posee válvulas dobles lo cual

permite bombear tanto en la carrera ascendente como en la carrera descendente; Tiene buen tiempo de vida útil, sino hay presencia de arena y corrosión.

Debilidades del Bombeo Mecánico

Costo de inversión alto; Moderado manejo de finos; Deficiente ante presencia de gas libre; Presenta flotabilidad de cabillas ante crudos pesados y extrapesados; Limitación por la profundidad de asentamiento de la bomba, inclinación del pozo y por los volúmenes de fluidos a ser producidos; Presenta fallas por fatiga en el sistema de cabillas; Mediano índice de falla (TEF entre 10 – 14 meses/servicio.); Requiere revisión periódica del balanceo del equipo; Limitaciones de uso en pozos profundos: Crea problemas en localidades urbanas; Es pesado y voluminoso en operaciones costa afuera; Susceptible a los problemas de parafinas.

Fortalezas del Bombeo Electrosumergible

Mayor capacidad de levantamiento; Profundidad de asentamiento no importa la inclinación del pozo; Menor requerimiento de dilución (Diluyente crudo Leona-22 API, en el caso de crudos de la FPO); Puede utilizarse en lugares lejanos o distantes de la estación de descarga; Maneja niveles de fluidos altos (aprox. 100.000 BPD); De fácil diagnóstico; Bajo porcentaje de ocurrencia de filtraciones de crudo a nivel del cabezal del pozo; Bajo índice de falla (TEF > 18 Meses/servicio), lo cual reduce la pérdida de producción diferida; Debido a su configuración genera calor en el paso del fluido por la bomba haciendo que disminuya la viscosidad; Separación del gas eficiente; Filosofía de automatización definida; Puede usarse en pozos con temperaturas menores a 450 F; Costo de levantamiento bajo para volúmenes apreciables de fluido; Usando tuberías especiales para el manejo de fluidos corrosivos, puede tener larga duración; Mantiene un comportamiento de producción estable;

Debilidades del Bombeo Electrosumergible

Costo de inversión alto; Moderado manejo de finos; Deficiente ante la presencia de gas libre; Limitación en profundidades de asentamiento en pozos con altos doglegs (pata de perros); Alto consumo de energía; Requiere personal técnico altamente especializado

para bajar y/o manejar el equipo del pozo; La presencia de arena afecta la bomba; La eficiencia volumétrica de la bomba es afectada por la viscosidad del crudo, emulsiones y espumas; Escaso manejo de escamas y parafinas; Requiere un sistema de suministro eléctrico de alta eficiencia; Su uso esta limitado por las altas temperaturas del yacimiento mas el calor que el motor genera;

Fortalezas de la Bomba de Cavidad Progresiva

Costo de inversión bajo; Manejo de Finos; Bajo costo de mantenimiento; Fácil de instalar y manejo en el pozo; Alta eficiencia en manejo de crudos pesados y extrapesados; Bajo consumo de energía; Recomendable para zonas someras y medias de profundidad: Bombas de alto caudal operadas a bajas frecuencias, pueden tener un tiempo de vida útil económicamente rentable.

Debilidades de la Bomba de Cavidad Progresiva

Deficiente ante alta relación gas petróleo; El elastómero esta limitado por la presencia de H₂S, CO₂ y crudos con alto contenido de aromáticos y la presencia de arena; Limitación en profundidad de asentamiento en pozos con altos doglegs e inclinación; Levantamiento limitado (requiere disponer de pozos cercanos a la estación de descarga); No puede usarse en pozos con alta temperatura (>200 F); Alta caída de presión en la tubería de producción debido a la presencia de la sarta de cabillas; Poco uso en crudos livianos; Mediano índice de fallas (TEF entre 10 – 12 meses/servicio); Su vida útil disminuye con el incremento de fallas y paradas sucesivas; Alto costo de reparación de equipos de superficie.

Fortalezas del Bombeo Hidráulico

Moderado manejo de finos; Puede usarse en altas temperaturas; Bajo costo de mantenimiento; Fácil de instalar y manejo en el pozo; Alta eficiencia en el manejo de medianos y livianos; Bajo consumo de energía; No requiere dilución o el uso de un diluyente para reducir la viscosidad; Puede bombear a baja presión; Maneja altos caudales; Puede manejar fluidos con alta relación gas petróleo; Se puede asentar a cualquier profundidad incluso en la sección horizontal.

Debilidades del Bombeo Hidráulico

Deficiente ante alta presencia de arena; Levantamiento limitado (requiere disponer de pozos cercanos a la estación de descarga); Requiere fluido motriz para poder funcionar por lo que es necesario disponer de equipos hidráulicos en superficie; Alto costo de inversión; Diseño del sistema más complejo; La corrosión es un aspecto importante dependiendo del fluido motriz.

Fortalezas del Levantamiento Artificial por Gas

Bajo costo por instalación, mantenimiento y supervisión; Fácil de instalar y sacar del pozo; Aplicable en pozos productores de crudos livianos, medianos, pesados, parafinosos, etc.; Fácil de diagnosticar; Puede manejar fluidos con presencia de finos y arena, a diferentes tasas con problemas mínimos; No crea problemas en localidades urbanas; La fuente de energía puede estar localizada remotamente; no tiene limitantes por diámetro del pozo, ni por su inclinación ni su asentamiento de válvulas; Se puede utilizar en pozo con alta RGP; Tiene una alta eficiencia, baja frecuencia de paradas y pérdidas por producción diferida.

Debilidades del Levantamiento Artificial por Gas

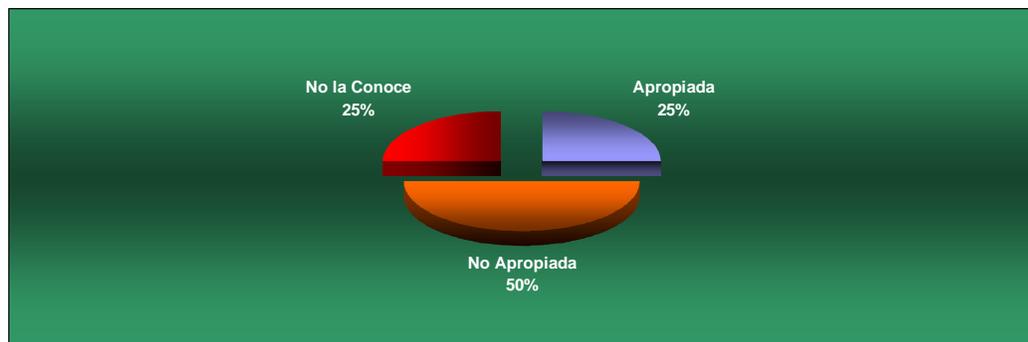
Alto costo de inversión (plantas compresoras para el manejo del gas) y mantenimiento (reparación de turbinas, etc.); Severas caídas de producción ante deficiencia de suministro de gas del sistema; Levantamiento limitado para crudos medianos y pesados (caso Morichal).

También se consulto a la muestra sobre que tan apropiadas son las metodologías de selección de Sistemas de Levantamiento Artificial existentes para lo cual se obtuvo el siguiente resultado

Matriz de Evaluación Tecnológica

	Valor Absoluto	Valor Relativo
Apropiada	1	25
No Apropiada	2	50
No la conoce	1	25
Total	4	100

Gráficamente se observa el comportamiento de qué tan apropiada es la Matriz de Evaluación Tecnológica para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial.

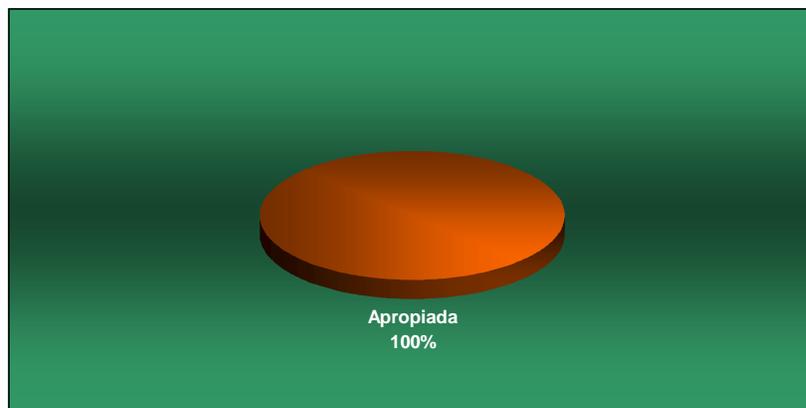


El 50% de la muestra opinó que el método de La Matriz de Evaluación Tecnológica no es apropiada para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial 25% indica que es apropiada y el otro 25% no la conoce

Sistema Experto de Levantamiento Artificial

	Valor Absoluto	Valor Relativo
Apropiada	4	100
No Apropiada	0	0
No la conoce	0	0
Total	4	100

Gráficamente se observa el comportamiento de qué tan apropiado es el Sistema Experto de Levantamiento Artificial para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial.

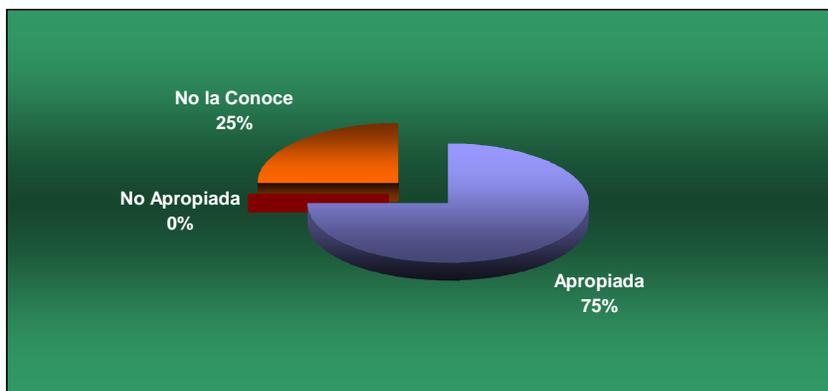


La totalidad de la muestra expresó que el Sistema Experto de Levantamiento Artificial es la metodología más apropiada para la selección de los Sistema de Levantamiento Artificial

Metodología de Selección Óptima de Levantamiento Artificial

	Valor Absoluto	Valor Relativo
Apropiada	3	75
No Apropiada	0	0
No la conoce	1	25
Total	4	100

Gráficamente se observa el comportamiento de qué tan apropiada es la Metodología de Selección Óptima de Levantamiento Artificial para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial.



La muestra entrevistada refleja en un 75% que la Metodología Óptima de Levantamiento Artificial es apropiada para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial mientras que el restante 25% no la conoce.

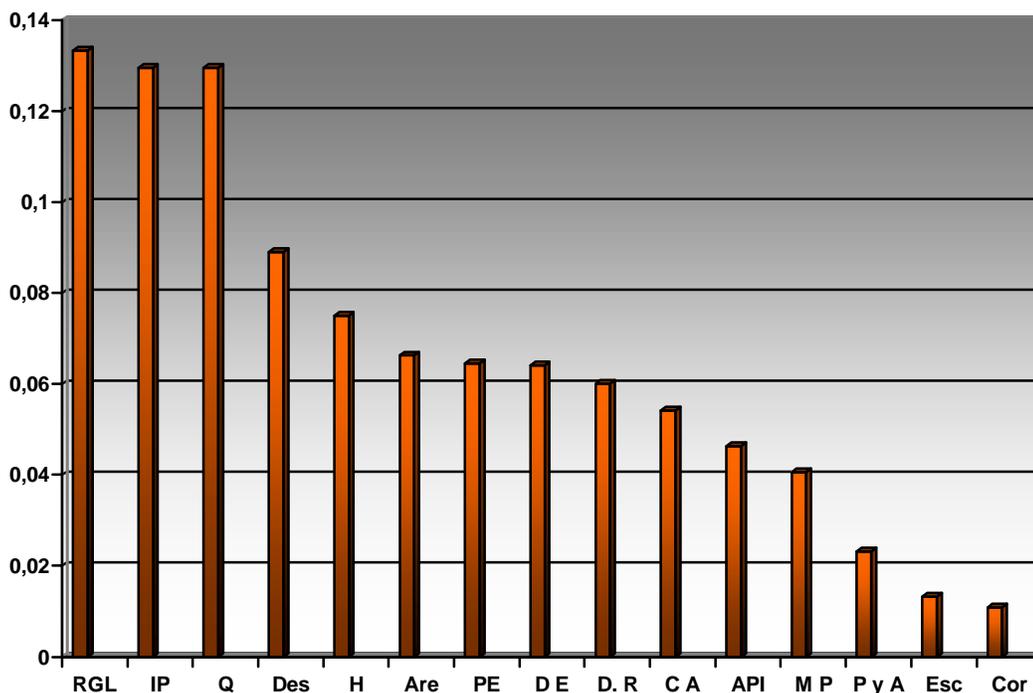
En la última etapa de la metodología la de estructuración de criterios que incluye la jerarquización, ponderación y valoración de los criterios se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico para la jerarquización y ponderación y el Método de Curvas de Valoración para determinar las preferencias que tiene un Sistema de Levantamiento Artificial ante los criterios que predominan en un campo determinado. El segundo cuestionario (Apéndice I) aportó los resultados referentes a la Jerarquización de los criterios para cada tipo de Sistema de Levantamiento y los cuales se describen a continuación. Pero antes es conveniente destacar que los resultados de los pesos obtenidos se expresarán en forma normalizada de forma que la suma de ellos sea uno (1) y todos los cálculos realizados para llegar a ellos se muestran en el Apéndice II.

Para el **Sistema de Bombeo Mecánico** los datos aportados por los especialistas consultados para determinar los pesos de los criterios y por ende su Jerarquización se muestran en la matriz de comparación por pares en el Apéndice II y a partir de esta se calculan los pesos de los criterios, y los cuales dan como resultados los siguientes:

Criterio	Peso
IP	0,12959501
q	0,12959501
RGL	0,13330907
H	0,07500155
Pe	0,06456705
°API	0,0463832
Arenamiento	0,06629132
Mec. Prod.	0,0406343
Diam Rev	0,06011859
Diam. Educt	0,06412801
Desviación	0,0890244
Comp. Afluen	0,05414853
Prod. Para Asf	0,02310182
Acum.. Escamas	0,01320842
Prob. Corrosión	0,01089372

A partir de estos resultados se infieren que los criterios más importante en Sistema de Bombeo Mecánico son la Relación Gas-Líquido, el Índice de Productividad y la Tasa de Líquido en primera y segunda instancia, seguidos del El Grado de Desviación del Pozo, La Profundidad, el Arenamiento, la Presión Estática, el Diámetro del Eductor, el Diámetro del Revestidor, el Comportamiento de Afluencia, la Gravedad API, el Mecanismo de Producción, la Producción de Parafinas y Asfáltenos, la Acumulación de Escamas y los Problemas de Corrosión; en ese orden respectivamente.

En la grafica se observa en forma jerarquizada los pesos de los criterios

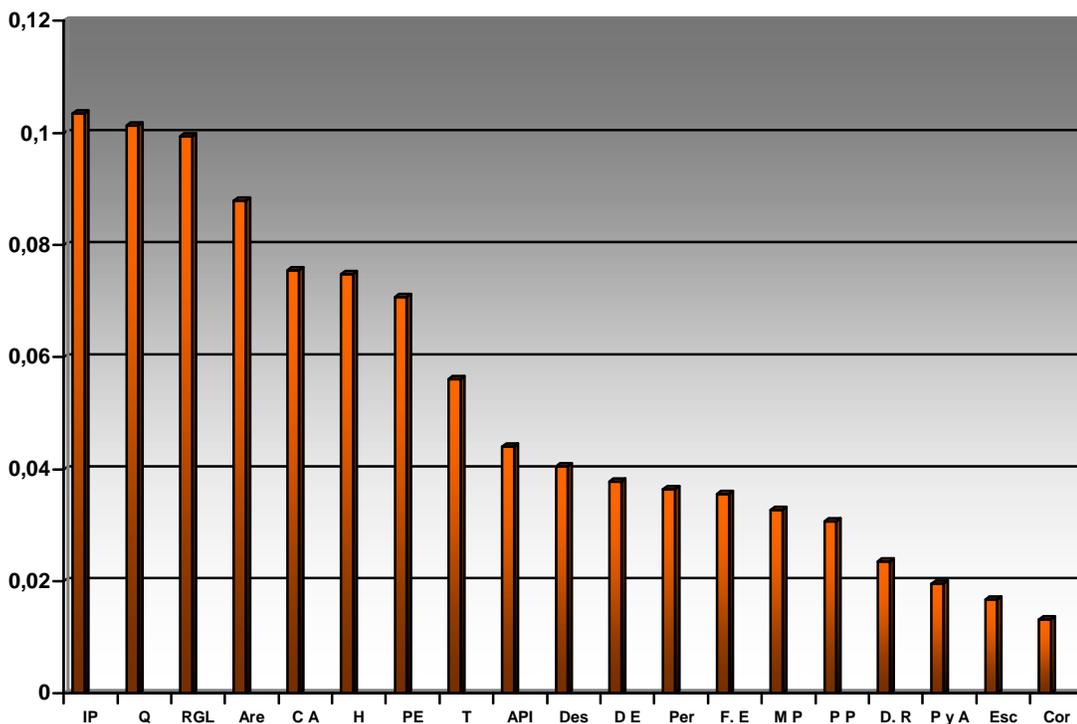


En el **Sistema de Bombeo Electrosumergible** los datos obtenidos se expresan en la matriz respectiva del Apéndice II donde los pesos de los criterios calculados a partir de la matriz de comparaciones por pares son los siguientes:

Criterios	W
IP	0,10344927
q	0,1013087
RGL	0,09941331
H	0,07477359
Pe	0,07070007
°API	0,04402228
T	0,05610477
Arenamiento	0,08796841
Mec. Prod.	0,03275469
F. Energía	0,03552733
Plat. Prod	0,03065225
Pericia	0,03635019
Diam Rev	0,0235739
Diam. Educt	0,03784149
Desviación	0,04053246
Comp. Afluen	0,07549946
Prod. Para Asf	0,01955164
Acum..Escamas	0,01677282
Prob. Corrosión	0,01320337

Los criterios que resultan más importantes en el Sistema de Bombeo Electrosumergible son en orden de importancia El Índice de Productividad, La Tasa de Líquido, La Relación Gas-Líquido, El Arenamiento, El Comportamiento de Afluencia, La Profundidad, La Presión Estática, La Temperatura, La Gravedad API, El Grado de Desviación del Pozo, El Diámetro del Eductor, La Pericia en el Método, La Fuente de Energía Disponible, El Mecanismo de Producción, La Plataforma de Producción, El Diámetro del Revestidor, La producción de Parafinas y Asfaltenos, La Acumulación de Escamas y los Problemas de Corrosión.

En la grafica se observa en forma jerarquizada los pesos de los criterios

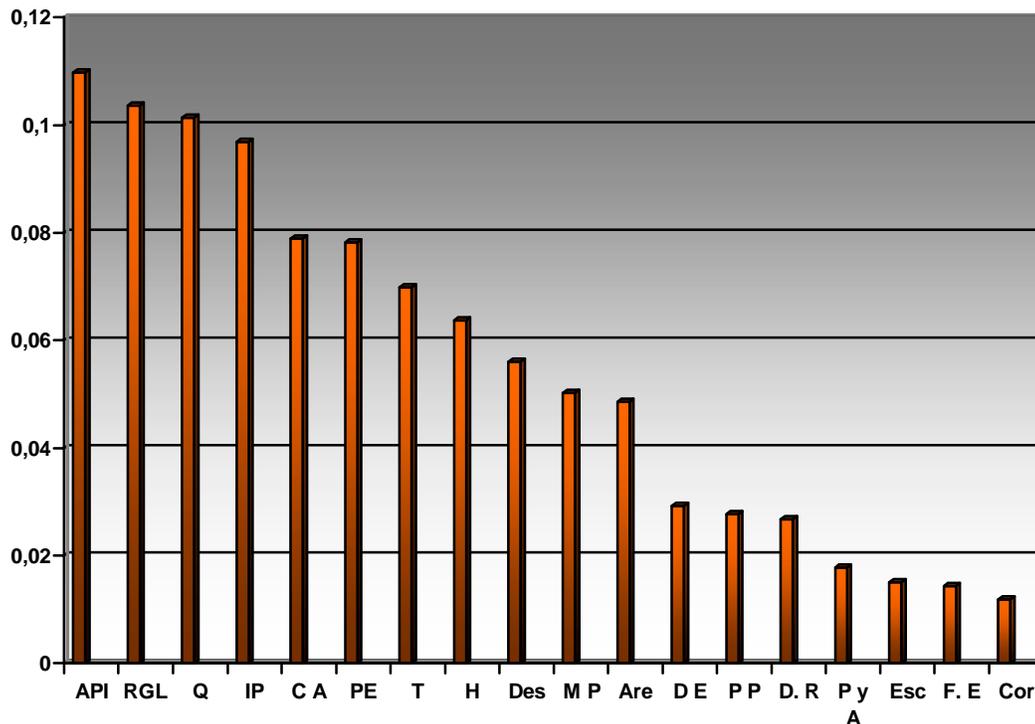


En cuanto al **Sistema de Bomba de Cavidad Progressiva** se recabaron los datos para el estudio de Jerarquización de criterios mostrados en el Apéndice II. Los Resultados obtenidos de los datos anteriores muestran a continuación los pesos de los criterios para el sistema en referencia.

Criterios	W
IP	0,09695106
q	0,10137997
RGL	0,10364142
H	0,06376366
Pe	0,07827839
°API	0,1098148
T	0,06984762
Arenamiento	0,04865366
Mec. Prod.	0,05020239
F. Energía	0,0143485
Plat. Prod	0,02767355
Diam Rev	0,02673482
Diam. Educt	0,02928323
Desviación	0,05603353
Comp. Afluen	0,07859021
Prod Para Asf	0,01776579
Acum.. Escamas	0,01510928
Prob. Corrosión	0,01192812

Para La Bomba de Cavidad Progressiva los criterios están jerarquizados en de mayor a menor de la siguiente forma: La Gravedad API, La Relación Gas-Líquido. La Tasa de Líquido, El índice de Productividad, El Comportamiento de Afluencia, La Presión Estática, La Temperatura, La Profundidad, El Grado de Desviación del Pozo, El Mecanismo de Producción, El Arenamiento, El Diámetro del Eductor, La Plataforma de Producción, El Diámetro del Revestidor, La Producción de Parafinas y Asfaltenos, La Acumulación de Escamas, La Fuente de Energía Disponible y Los Problemas de Corrosión.

En la grafica se puede observar en forma jerarquizada los pesos de los criterios.



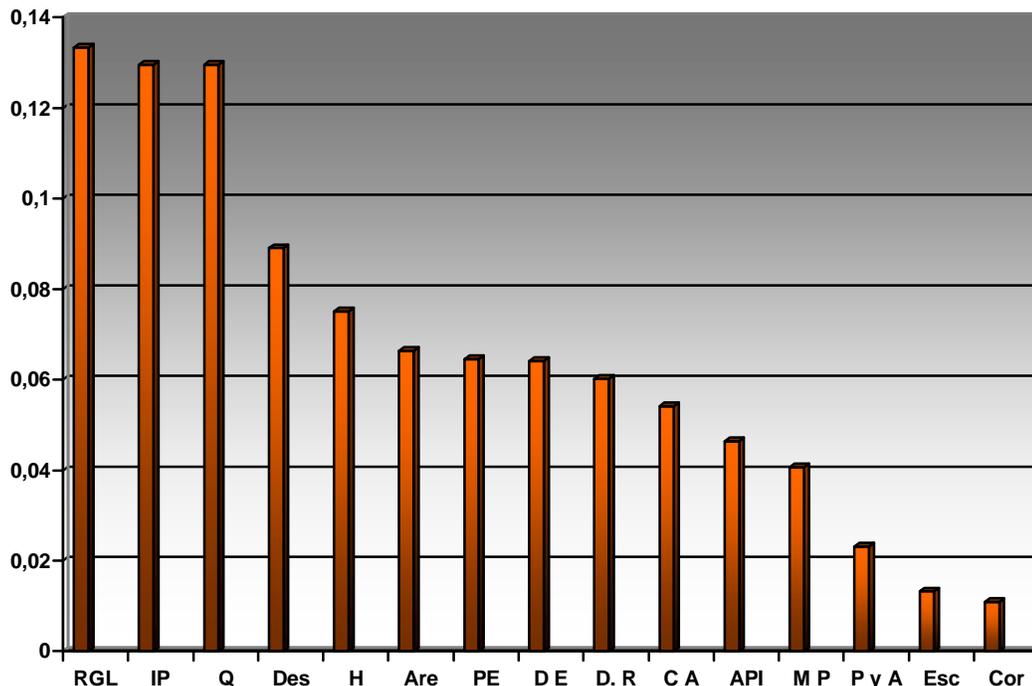
Por su parte en **El Sistema de Bombeo Hidráulico** los datos que aportaron los expertos se resumen en el Apéndice II:

Los cálculos reflejan los siguientes resultados de los pesos que jerarquizan los criterios que influyen en El Sistema de Bombeo Mecánico

Criterios	W
IP	0,13717037
q	0,13717037
RGL	0,13317936
H	0,07908336
Pe	0,0584112
°API	0,05310543
Arenamiento	0,0703457
Mec. Prod.	0,0399682
Diam Rev	0,03724134
Diam. Educt	0,03742441
Desviación	0,09601914
Comp. Afluen	0,0669213
Prod Para Asf	0,02199444
Acum. Escamas	0,02268294
Prob. Corrosión	0,00928244

Los resultados indican que los criterios de mayor relevancia son El índice de Productividad y La Tasa de Líquido en el mismo orden seguidos de La Relación Gas- Líquido, El Grado de Desviación del Pozo, La Profundidad, Los Problemas de Arenamiento, El Comportamiento de Afluencia, La Presión Estática, La Gravedad API, El Mecanismo de Producción, El Diámetro del Eductor, El Diámetro del Revestidor, La Acumulación de Escamas, La Producción de Parafinas y Asfaltenos y por último Los Problemas de Corrosión.

En la grafica se observa en forma jerarquizada los pesos de los criterios



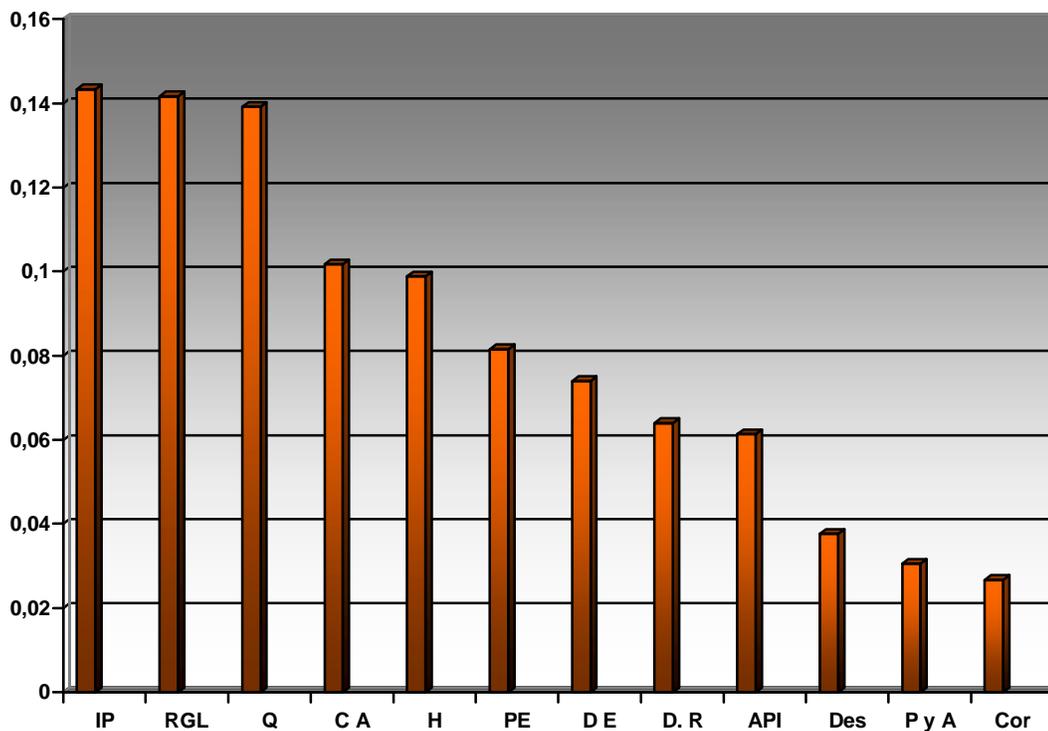
En **El Sistema de Levantamiento Artificial por Gas** los datos suministrados se reflejan en el Apéndice II

De estos datos resultan la ponderación de los criterios que afectan al mencionado Sistema de Levantamiento los cuales se listan seguidamente:

Criterios	W
IP	0,14332404
q	0,13914856
RGL	0,14167381
H	0,09854044
Pe	0,08149433
°API	0,0613016
Diam Rev	0,06398692
Diam Educt	0,07396679
Desviación	0,03763914
Comp. Afluen	0,10172811
Prod. Paraf Asf	0,03056148
Prob. Corrosión	0,02663477

Como se puede apreciar la jerarquización de los criterios viene dada del más al menos importante de la siguiente manera: El Índice de Productividad, La Relación Gas-Líquido, La Tasa de Líquido, El Comportamiento de Afluencia, La Profundidad, La Presión Estática, El Diámetro del Eductor, El Diámetro del Revestidor, La Gravedad API, El Grado de Desviación del Pozo, La Producción de Parafinas y Asfaltenos y Los Problemas de Corrosión.

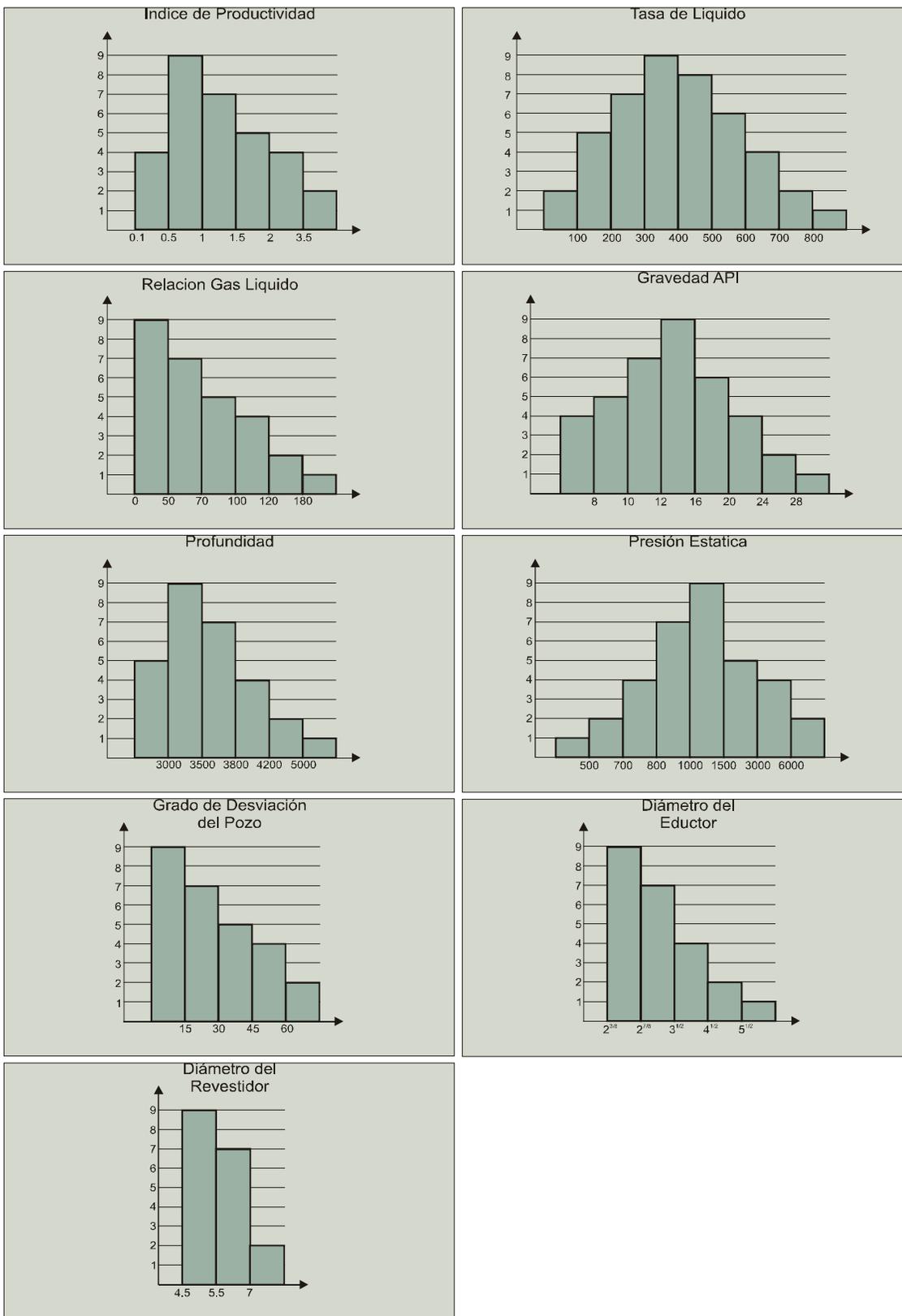
En la grafica se observa en forma jerarquizada los pesos de los criterios



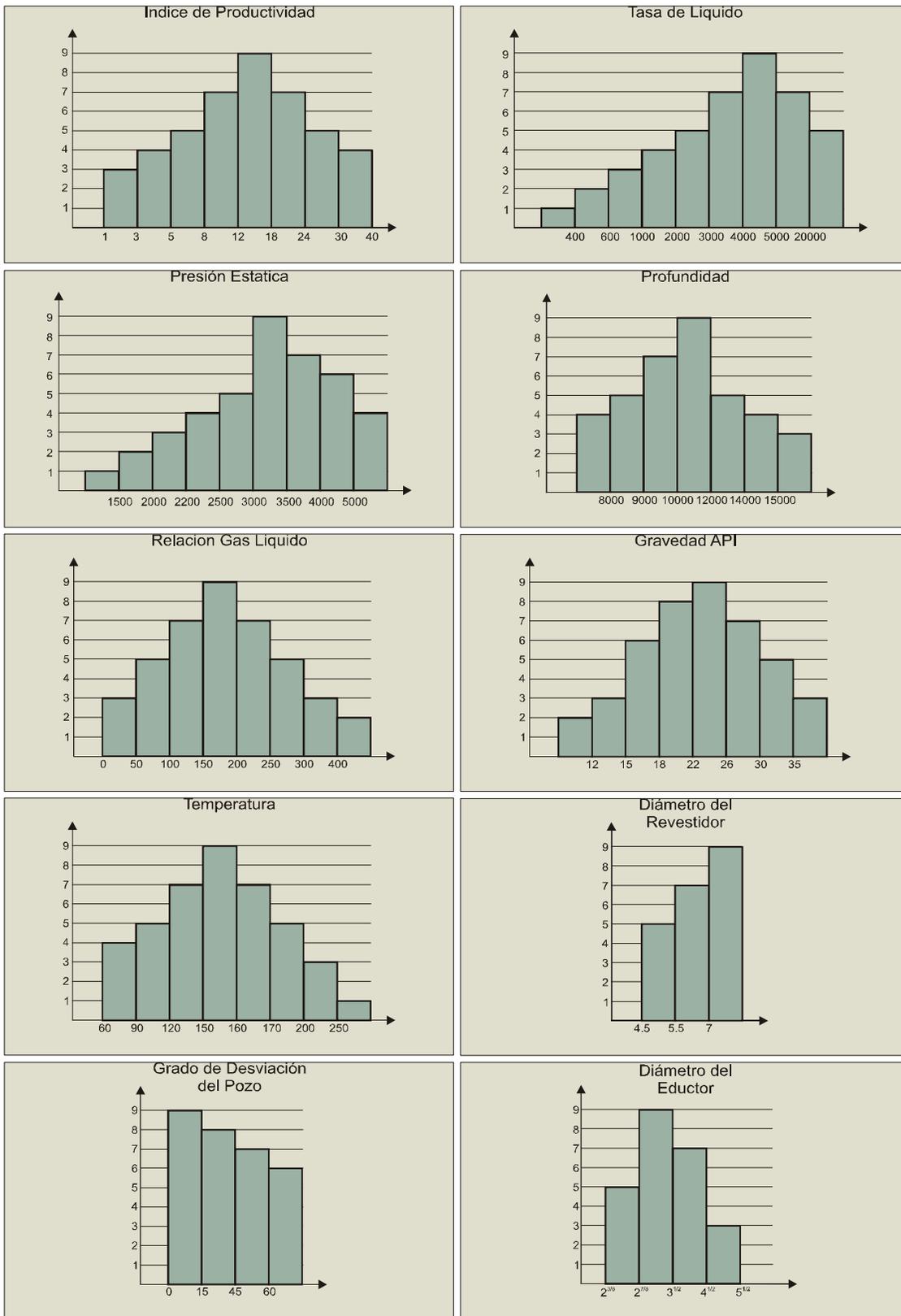
Finalmente para concluir esta última etapa del método propuesto se muestran las Curvas de Valoración obtenidas del tercer cuestionario (apéndice I) que se les administró a los especialistas. A partir de estos resultados se podrá determinar las preferencias que tienen Los Sistemas de Levantamiento Artificial involucrados en el presente estudio, a ser implementados ante los criterios que están presente en el pozo o en el yacimiento

Ante esta afirmación es importante destacar que el sistema de levantamiento que se recomienda aplicar es el más propicio ante los criterios que están presente en el campo en cuestión, pero no necesariamente el que debe ser implementado ya esta recomendación no toma en cuenta los otros tipos de criterios descartados en este estudio como son los de carácter económico o los de diseño del equipo que podrían inclinar la preferencia hacia otro Sistema de Levantamiento.

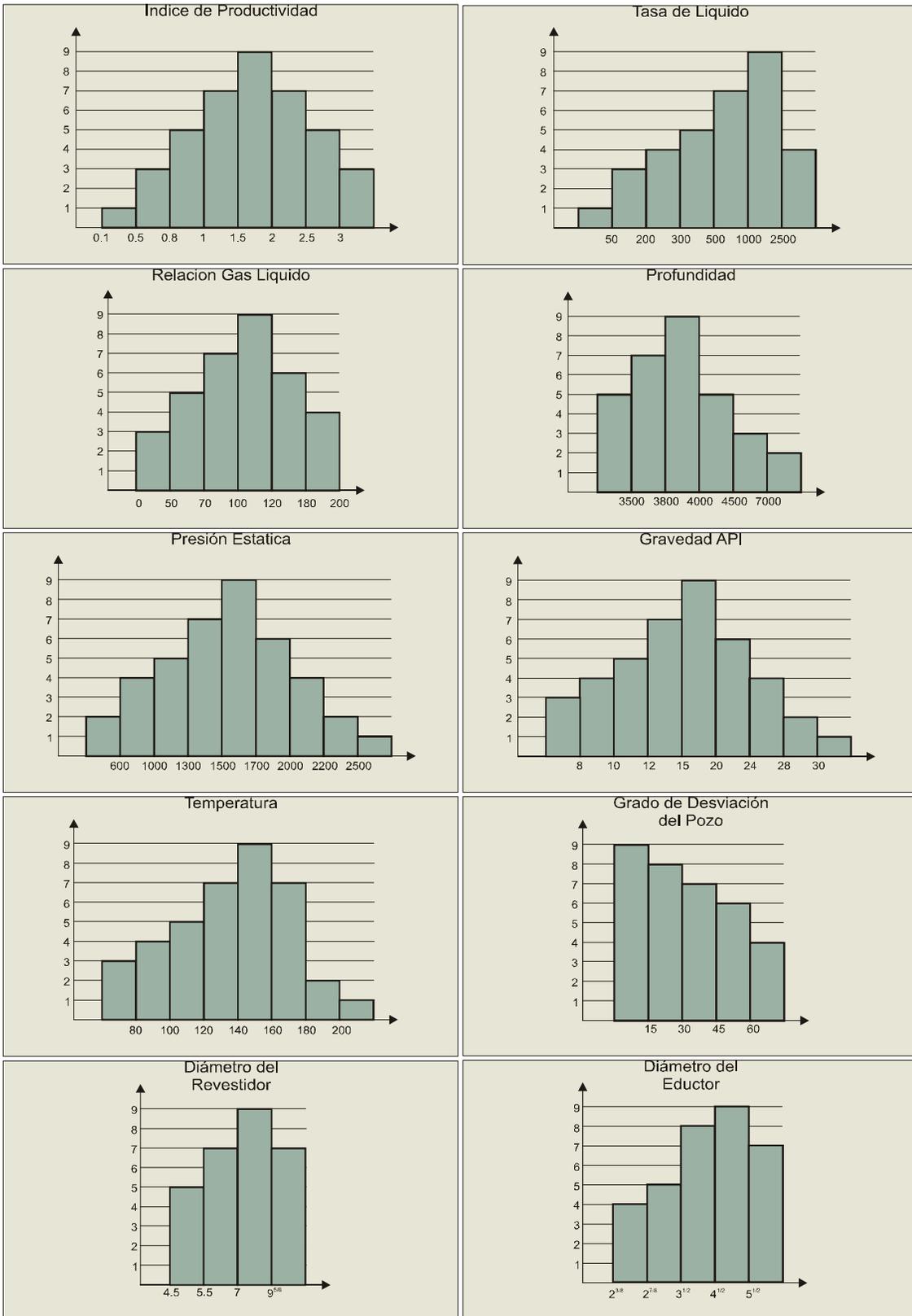
Curvas de Valoración para el Sistema de Bombeo Mecánico.



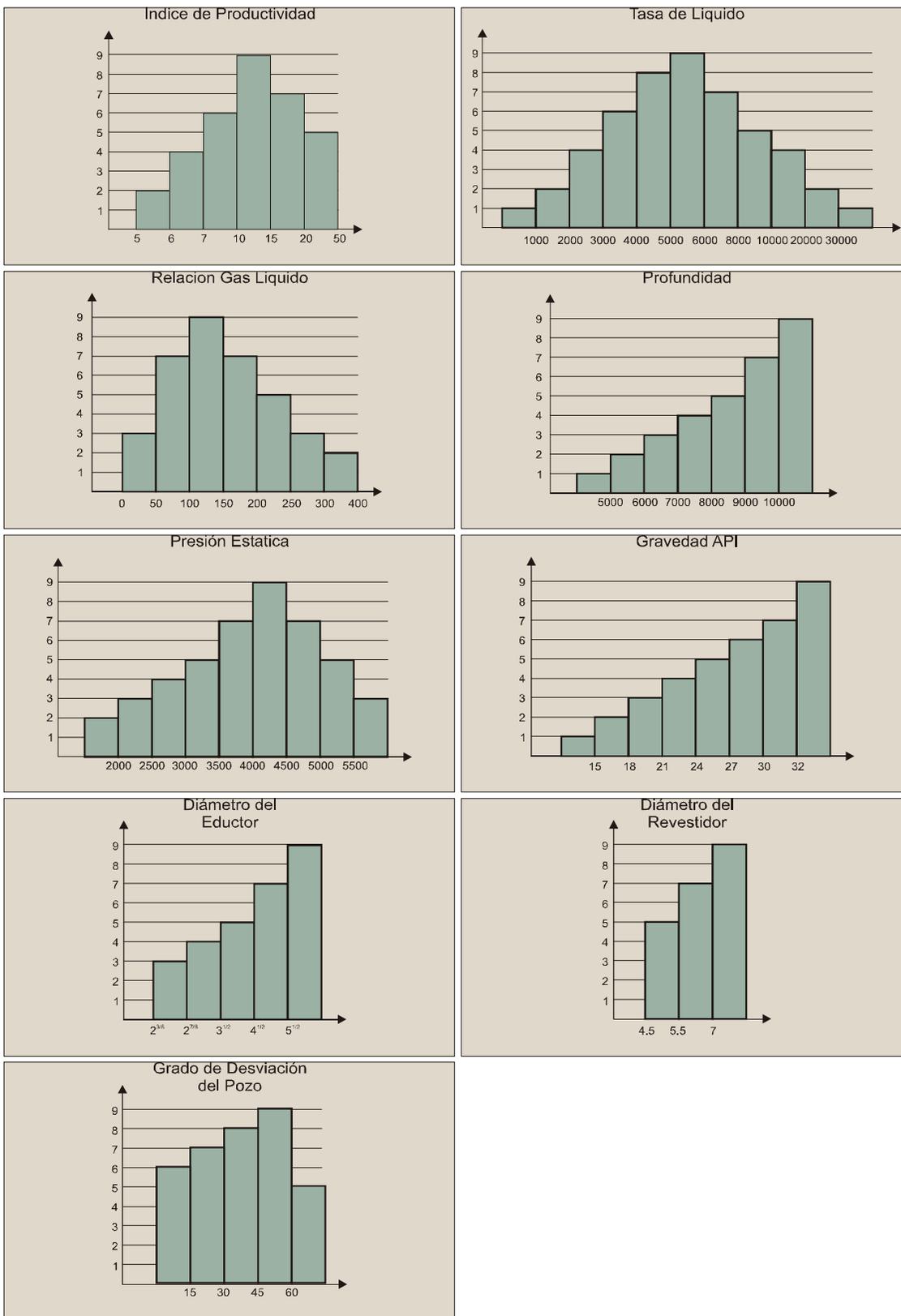
Curvas de Valoración para el Sistema de Bombeo Electrosomergible.



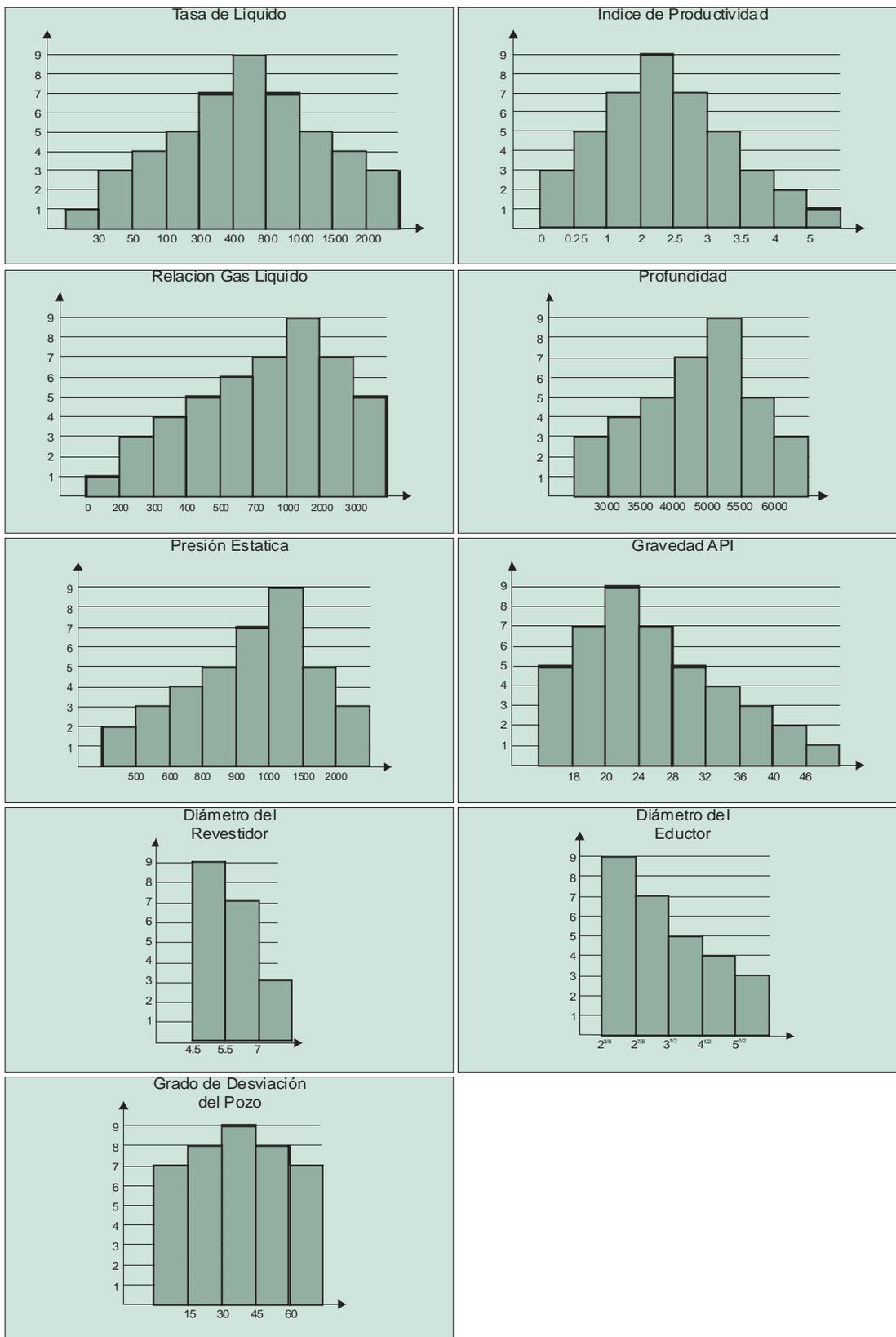
Curvas de Valoración para el Sistema de Bombas Cuidad Progressiva



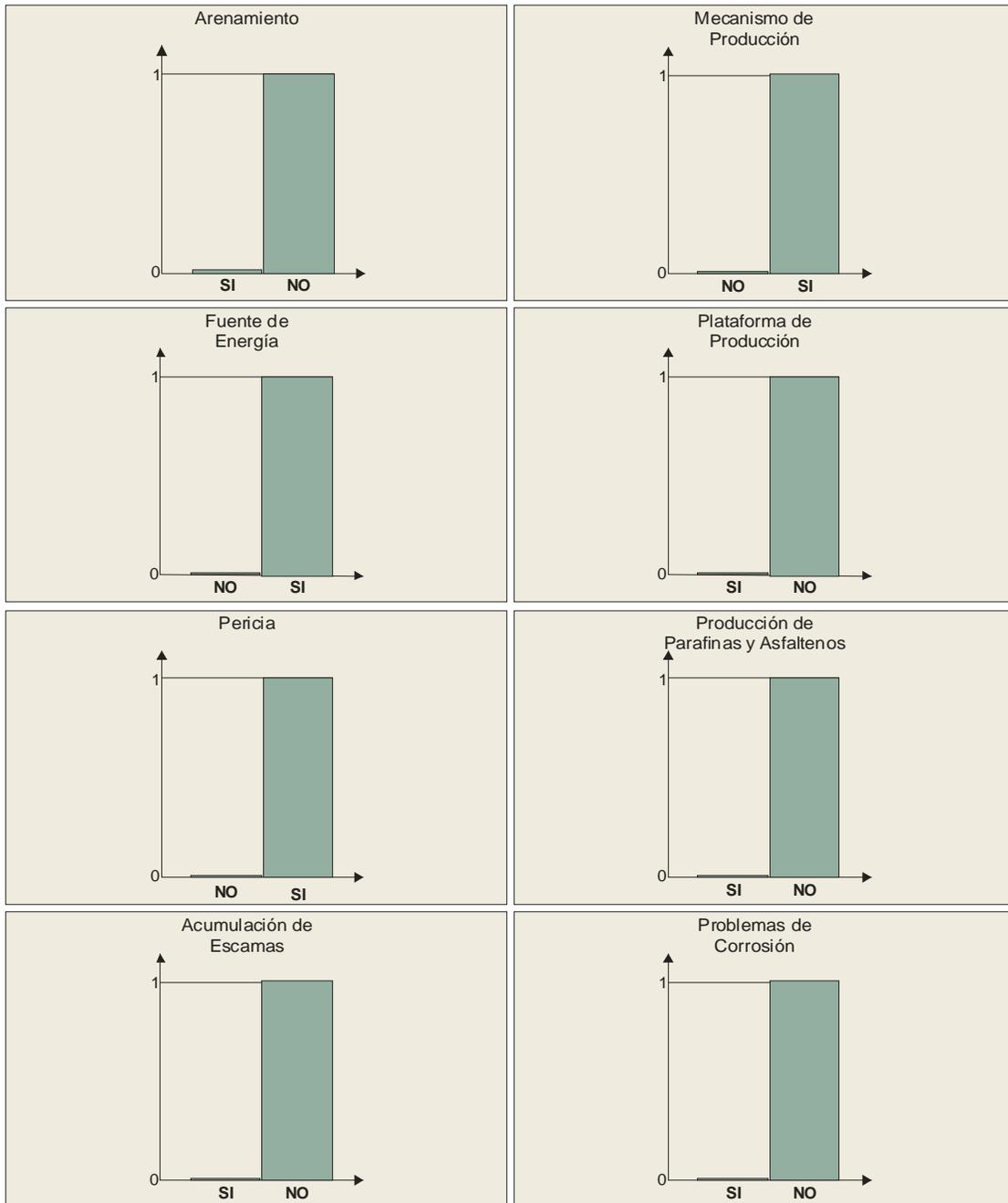
Curvas de Valoración para el Sistema de Bombeo Hidráulico



Curvas de Valoración para el Sistema de Levantamiento Artificial por Gas.



Curvas de Binarias de Valoración



Ejemplo de la Metodología

A partir de la siguiente data se determinará el sistema de Levantamiento Artificial más adecuado a ser implementado.

Índice de Productividad	0.5
Tasa de Liquido	100
Relación Gas Liquido	250
Profundidad	7000'
Presión Estática	900
Gravedad API	22
Temperatura de fondo	140
Diámetro del Revestidor	7"
Diámetro del Eductor	3 ½ "
Grado de Desviación del Pozo	80°

$$Pm_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} f_{ij}(x)$$

Criterio	Data	B. M		B.E.S		B.C.P		B.H		L.A.G	
		w	F(x)								
IP	0,5	0.1296	9	0.1034	1	0.0970	3	0.1371	1	0.1433	5
q	100	0.1296	5	0.1013	1	0.1014	3	0.1371	1	0.1391	5
RGL	250	0.1333	1	0.0994	5	0.1036	4	0.1332	3	0.1417	3
H	7000	0.0750	1	0.0748	4	0.0638	2	0.0791	4	0.0985	3
Pe	900	0.0646	7	0.0707	1	0.0783	4	0.0584	2	0.0815	7
°API	22	0.0464	4	0.0440	9	0.1098	6	0.0531	4	0.0613	9
T	140	-	-	0.0561	7	0.0699	9	-	-	-	-
Arenamiento	NO	0.0663	1	0.0880	1	0.0487	1	0.0704	1	-	-
Mec. Prod.	SI	0.0406	1	0.0328	1	0.0502	1	0.0400	1	-	-
F. Energía	SI	-	-	0.0355	1	0.0104	1	-	-	-	-
Plat. Prod.	NO	-	-	0.0307	1	0.0277	1	-	-	-	-
Pericia	SI	-	-	0.0364	1	-	-	-	-	-	-
Diam Rev	7	0.0601	7	0.0236	9	0.0267	9	0.0372	9	0.0640	3
Diam. Educt	3 1/2	0.0641	4	0.0378	9	0.0293	8	0.0374	5	0.0740	5
Desviación	80	0.0890	2	0.0405	6	0.0560	4	0.0960	5	0.0376	7
Comp. Afluen	SI	0.0541	1	0.0755	1	0.0786	1	0.0669	1	0.1017	1
Prod. Para Asf	NO	0.0231	1	0.0196	1	0.0178	1	0.0220	1	0.0351	1
Acum.. Escamas	NO	0.0132	1	0.0168	1	0.0151	1	0.0227	1	-	-
Prob. Corrosión	NO	0.0109	1	0.0132	1	0.0119	1	0.0093	1	0.0266	1
Preferencia del Método		3.7238		3.0044		3.9674		2.5525		4.3851	

De acuerdo a la data suministrada y a los resultados obtenidos en la investigación, parte de la cual es mostrada en la tabla anterior se desprende que el Levantamiento Artificial por Gas es el sistema más adecuado para ser implementado.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- El procedimiento establecido permite identificar, entender y evaluar todas las partes que componen el problema en estudio, ya que canaliza varias metodologías en forma óptima para la selección de un sistema de producción adecuado a un campo en particular

- La metodología es un procedimiento que permite no sólo seleccionar los criterios que influyen en la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial sino también cualquier otro tipo de estudio que se desee realizar que requiera una metodología eficiente que permita su desarrollo

- La metodología presenta de una forma sistematizada la integración de los conocimientos en el área de Investigación de Operaciones para la toma de decisiones con conocimientos en ingeniería de producción actualizados en materia de selección de sistemas de levantamiento aplicable a cualquier campo petrolero.

- Los criterios que influyen para cada tipo de Sistema de Levantamiento proporcionan una base fidedigna de estudio garantizada por los especialistas involucrados en la consulta a pesar de que la consistencia de la Matriz de Comparaciones no se pudo establecer debido a que los juicios emitidos por los expertos no son transitivos.

- Se establece que los criterios más importantes para todos los Sistemas de Levantamiento Artificial evaluados en este estudio son el Índice de Productividad, La tasa de Líquido y la Relación Gas Líquido.

- Las Curvas de Valoración desarrolladas en esta metodología son el producto de estudios detallados y de la amplia pericia de los especialistas consultados en las distintas áreas de producción del país.

- El estudio presentado no tomó en cuenta los criterios de tipo económico y los de diseño del equipo, por lo cual la indicación que se hace para implementar un sistema de levantamiento determinado, el cual se deriva de la metodología planteada no es necesariamente el que deba aplicarse.

- La Metodología representa la plataforma inicial para el desarrollo de otro estudio que involucre los criterios de orden Económico y de Diseño de Equipo y su posterior automatización a través de un programa de computación que los interrelacionen.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Ampliar la base de consulta a por lo menos 10 especialistas de modo que los resultados sean lo más confiables posible.
- Garantizar que los especialistas que intervengan en el estudio tengan la disposición y el tiempo de participar en el proceso, ya que muchas de las dificultades al realizar este trabajo fue este factor.
- Para reducir la dispersión de la respuesta y obtener matrices de evaluación consistentes se recomienda estudiar la asignación de pesos a las opiniones de los expertos de acuerdo a sus años de experiencia, trabajos de campo, trabajos de investigación realizados, etc.
- Realizar un análisis que relacione los criterios de tipo económico y los de diseño del equipo utilizando la metodología desarrollada para sustentar la decisión técnica preliminar.
- Realizar un programa que integre todos los tipos de criterio, automatice los cálculos y reporte las preferencias a que den lugar, lo cual representaría un ahorro importante de tiempo, material humano y dinero.
- Incorporar otros Sistemas de Levantamiento o variantes de los Sistemas seleccionados para lograr ampliar el universo de posibilidades de aplicación y de este modo lograr una selección óptima del Sistema de Levantamiento Artificial

- Implantar este trabajo como una herramienta de aprendizaje para un mejor desarrollo de los alumnos de Ingeniería de Petróleo, tanto en el área de Producción como en el área de Yacimientos.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

BALLESTRINI ACUÑA, Miran. Como se elabora el proyecto de investigación; Servicio Editorial Consultores Asociados, Caracas 1997.

CHACÓN M, Isolmar del C.. Metodología para la Aplicación del Algoritmo de Optimización de Pozos de Levantamiento Artificial por Gas por Medición de Temperatura; U.C.V, Escuela de Petróleo, Caracas, 2000.

CARRASQUERO, Néstor. Un Método Interactivo para Aislar y Explorar un Conjunto de Soluciones de Compromiso. U.C.V., Facultad de Ingeniería, Caracas 1996

CARVAJAL, Oswaldo. Metodología para la Determinación de Objetivos en Problemas de Investigación de Operaciones. U.C.V., Caracas, 1999.

ESCALONA, Víctor. Análisis de los Modelos de Selección de Sistemas de Levantamiento Artificial Aplicados a Pozos y/o Yacimientos. U.C.V, Escuela de Petróleo, Caracas, 1999. (Material en Revisión)

GIUSTI, Gustavo. Análisis Evaluación y Selección de los Factores que afectan la Escogencia de un Sistema de Levantamiento Artificial en Áreas Tradicionales de Cerro Negro – Morichal. U.C.V, Escuela de Petróleo, Caracas, 1999.

HERNÁNDEZ, Sixto. Estadística Aplicada a la Educación. Editorial Panapo. 1993.

KEENEY, R. y RAIFFA, H. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. Wiley, New York. 1976

LAGOVEN, Filial de Petróleo de Venezuela. Los Antecesores (Origen y Consolidación de una Empresa Petrolera). Caracas, 1989.

MC CRIMMON, K. R. An overview of multiple objectives decision making. University of South Carolina Press, 1973

MC CONKEY, Dale. Administración por Resultados. Editorial Norma. 1985.

MONDELO, N. Proceso analítico jerárquico como herramienta para la toma de decisiones. U.C.V, Facultad de Ingeniería, Caracas, 1996.

MORRISEY, George. Planeación a Largo Plazo: Creando su Propia Estrategia. Prentice Hall, 1996.

PENIWATI, K. The analitic hierarvhy process: The possibility theorem for group decision making. Simon Frasier University, Burnaby, Canadá, 1996.

PULGAR, Luis; BETANCOURT, Yadira; FERNÁNDEZ, Alejandro. Organización Industrial. Universidad Nacional Abierta, 1983.

REYES, Yamila. Optimización del Sistema Experto de Levantamiento Artificial. U.C.V, Escuela de Petróleo, Caracas, 1999.

ROY, B. Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision Economica, Paris. 1985

SAATY, T. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy. Wharton School, University of Pennsylvania, 1977

SAATY, T. The analitic herarchy process. McGraw-Hill, 1980

SAATY, T. y L. G: VARGAS. Prediction, projecting and forecasting. Kluwer Academia Publishers, Norwell, Mass. 1991.

SABINO, Carlos. Proceso de Investigación Científica. El Cid Editor. Argentina, 1992.

SALLENAVE, Jean Paul. Gerencia y Planificación Estratégica. Editorial Norma., 1985.

SANCHES, Rebeca. Enfoque Multicriterio en la Minimización del Impacto de Obras para el Control Ambiental. U.C.V., Caracas, 1997.

SILVA CORTEZ, Luis Enrique. Programa para la Selección de un Sistema Óptimo de Levantamiento Artificial. U.C.V, Escuela de Petróleo, Caracas, 2000.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR. Norma de Metodología de Investigación. Caracas, 1990.

VALBUENA, Antonio. Evaluación en el Proceso de Enseñanza de Aprendizaje. Editorial Cobo. 1983.

APENDICE I
CUESTIONARIOS REALIZADOS

APENDICE I. Cuestionarios utilizados en el estudio

Cuestionario No. 1

1.- Indique que criterios influyen en la selección del Sistema de Levantamiento Artificial

Criterios	BM	BES	BCP	BH	LAG
Índice de Productividad					
Tasa de Líquido					
Relación Gas Líquido					
Profundidad tope de Perf.					
Presión Estática					
Gravedad A.P.I.					
Temperatura en el fondo					
Prob. de Arenamiento					
Mec. de Prod. Del Yacimiento					
Localización del Pozo					
Fuente de Energía Disp.					
Plataforma de producción					
Pericia en el Método					
Diámetro del Revestidor					
Diámetro del Eductor					
Grado de Desviación Hoyo					
Comportamiento de Afluencia					
Prod. de Parafina y Asfáltenos					
Acumulación de Escamas					
Problemas de Corrosión					
Corte de Agua					

2.- Que fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bombeo Mecánico
Resp:

3.- Que fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bombeo Electrosumergible
Resp:

4.- Que fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bomba de Cavidad Progressiva
Resp:

5.- Que fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Bombeo Hidráulico
Resp:

6.- Que fortalezas presenta la aplicación del Sistema de Levantamiento Artificial por Gas
Resp:

7.- Que debilidades tiene el uso del Sistema de Bombeo Mecánico
Resp:

8.- Que debilidades tiene el uso del Sistema de Bombeo Electrosumergible
Resp:

9.- Que debilidades tiene el uso del Sistema de Bombas de Cavidad Progressiva
Resp:

10.- Que debilidades tiene el uso del Sistema de Bombeo Hidráulico
Resp:

11.- Que debilidades tiene el uso del Sistema de Levantamiento Artificial por Gas
Resp:

13.- Es la Matriz de Evaluación Tecnológica una metodología apropiada para la selección de los Sistemas de Levantamiento Artificial

SI NO NO LO CONOCE

14.- Es Sistema Experto de Levantamiento Artificial una metodología apropiada para la selección de los Métodos de Levantamiento Artificial

SI NO NO LO CONOCE

15.- Es la Metodología de selección Óptima de Levantamiento Artificial un procedimiento apropiado para la selección de los Métodos de Levantamiento Artificial

SI NO NO LO CONOCE

Cuestionario No. 2

CUESTIONARIO PARA DETERMINAR LOS PESOS DE LOS CRITERIOS

Escala de Valoración: Saaty

VALOR	INTERPRETACIÓN
1	Los criterios de i y j tienen igual importancia
3	El criterio i es ligeramente más importante que el criterio j
5	La experiencia y la apreciación indican que el criterio i es mucho más importante que el criterio j
7	El criterio i es muy importante, o se puede demostrar que es más importante que el criterio j
9	El criterio i es absolutamente más importante que el criterio j
2, 4, 6, 8	Valores intermedios, indican que el criterio en estudio esta en termino medio entre las categorías vecinas

Método a Evaluar: Bombeo Mecánico

De acuerdo a la tabla de valoración realice la comparación entre los pares de criterios que se muestran en la matriz.

	Índice de Productividad	Tasa de Líquido	Relación Gas/Líquido	Profundidad	Presión Estática	Gravedad API	Arenamiento del Pozo	Diámetro del Revestidor	Diámetro del Eductor	Desviación del Hoyo	Comportamiento de Afluencia	Producción de Parafinas y Asfaltenos	Acumulación de Escamas	Problemas de Corrosión
Índice de Productividad	1													
Tasa de Líquido		1												
Relación Gas/Líquido			1											
Profundidad				1										
Presión Estática					1									
Gravedad API						1								
Arenamiento del Pozo							1							
Diámetro del Revestidor								1						
Diámetro del Eductor									1					
Desviación del Hoyo										1				
Comportamiento de Afluencia											1			
Producción de Parafinas y												1		
Acumulación de Escamas													1	
Problemas de Corrosión														1

Método a Evaluar: Bombeo Electrosumergible

De acuerdo a la tabla de valoración realice la comparación entre los pares de criterios que se muestran en la matriz.

	Índice de Productividad	Tasa de Líquido	Relación Gas/Líquido	Profundidad	Presión Estática	Gravedad API	Temperatura	Arenamiento del Pozo	Mecanismo de Producción	Fuentes de Energía	Plataforma de Producción	Diámetro del Revestidor	Diámetro del Eductor	Desviación del Hoyo	Comportamiento de Afluencia	Producción de Parafinas y Asfaltenos	Acumulación de Escamas	Problemas de Corrosión
Índice de Productividad	1																	
Tasa de Líquido		1																
Relación Gas/Líquido			1															
Profundidad				1														
Presión Estática					1													
Gravedad API						1												
Temperatura							1											
Arenamiento del Pozo								1										
Mecanismo de Producción									1									
Fuentes de Energía										1								
Plataforma de Producción											1							
Diámetro del Revestidor												1						
Diámetro del Eductor													1					
Desviación del Hoyo														1				
Comportamiento de Afluencia															1			
Producción de Parafinas y Asfaltenos																1		
Acumulación de Escamas																	1	
Problemas de Corrosión																		1

Método a Evaluar: Bomba de Cavidad Progressiva

De acuerdo a la tabla de valoración realice la comparación entre los pares de criterios que se muestran en la matriz.

	Índice de Productividad	Tasa de Líquido	Relación Gas/Líquido	Profundidad	Presión Estática	Gravedad API	Temperatura	Arenamiento del Pozo	Fuentes de Energía	Plataforma de Producción	Diámetro del Revestidor	Diámetro del Eductor	Desviación del Hoyo	Comportamiento de Afluencia	Producción de Parafinas y Asfaltinas	Acumulación de Escamas	Problemas de Corrosión
Índice de Productividad	1																
Tasa de Líquido		1															
Relación Gas/Líquido			1														
Profundidad				1													
Presión Estática					1												
Gravedad API						1											
Temperatura							1										
Arenamiento del Pozo								1									
Fuentes de Energía									1								
Plataforma de Producción										1							
Diámetro del Revestidor											1						
Diámetro del Eductor												1					
Desviación del Hoyo													1				
Comportamiento de Afluencia														1			
Producción de Parafinas y															1		
Acumulación de Escamas																1	
Problemas de Corrosión																	1

Método a Evaluar: Bombeo Hidráulico

De acuerdo a la tabla de valoración realice la comparación entre los pares de criterios que se muestran en la matriz.

	Índice de Productividad	Tasa de Líquido	Relación Gas/Líquido	Profundidad	Presión Estática	Gravedad API	Arenamiento del Pozo	Diámetro del Revestidor	Diámetro del Eductor	Desviación del Hoyo	Comportamiento de Afluencia	Producción de Parafinas y Asfaltenos	Acumulación de Escamas	Problemas de Corrosión
Índice de Productividad	1													
Tasa de Líquido		1												
Relación Gas/Líquido			1											
Profundidad				1										
Presión Estática					1									
Gravedad API						1								
Arenamiento del Pozo							1							
Diámetro del Revestidor								1						
Diámetro del Eductor									1					
Desviación del Hoyo										1				
Comportamiento de Afluencia											1			
Producción de Parafinas y												1		
Acumulación de Escamas													1	
Problemas de Corrosión														1

Método a Evaluar: Levantamiento Artificial por Gas

De acuerdo a la tabla de valoración realice la comparación entre los pares de criterios que se muestran en la matriz.

	Índice de Productividad	Tasa de Líquido	Relación Gas/Líquido	Profundidad	Presión Estática	Gravedad API	Diámetro del Revestidor	Diámetro del Eductor	Comportamiento de Afluencia	Producción de Parafinas y Asfaltenos	Problemas de Corrosión
Índice de Productividad	1										
Tasa de Líquido		1									
Relación Gas/Líquido			1								
Profundidad				1							
Presión Estática					1						
Gravedad API						1					
Diámetro del Revestidor							1				
Diámetro del Eductor								1			
Comportamiento de Afluencia									1		
Producción de Parafinas y										1	
Problemas de Corrosión											1

Cuestionario No. 3

CUESTIONARIO PARA DETERMINAR LA FUNCION ESCALÓN PARA LAS CURVAS DE VALORACIÓN

Escala de Calificación: Silva

Valor	Similitud	Significado
9	Excelente	El intervalo ideal y el intervalo a calificar difieren en algo, por lo que su grado de similitud es el mas elevado posible.
7	Muy Buena	El intervalo ideal y el del intervalo a calificar son semejantes, pero se perciben algunas diferencias, por lo que su grado de similitud es alto.
5	Buena	Entre intervalo ideal y el del intervalo a calificar se perciben tantas razones de semejanza como de diferencias por lo que su grado de similitud es medio.
3	Regular	El ideal y el del intervalo a calificar son distintos pero también perciben alguna semejanza, por lo que su grado de similitud es bajo.
1	Mala	El intervalo ideal y el del intervalo a calificar no se parecen, 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.

Método a Evaluar: Bombeo Mecánico

Cual considera Ud. que es el intervalo en que el criterio se comporta de manera ideal para el método en cuestión e indique en la casilla correspondiente el valor del grado de similitud entre **el intervalo ideal** y **el intervalo a calificar** según la escala.

Índice de Productividad	Intervalo ideal:	
F(IP)	$0,1 \leq IP < 0,5$	
	$0,5 \leq IP < 1$	
	$1 \leq IP < 1,5$	
	$1,5 \leq IP < 2$	
	$2 \leq IP < 2,5$	
	$2,5 \leq IP < 3$	
	$3 \leq IP < 3,5$	
	$IP > 3,5$	

Tasa de Líquido	Intervalo ideal:	
F(q)	$q < 100$	
	$100 \leq q < 200$	
	$200 \leq q < 300$	
	$300 \leq q < 400$	
	$400 \leq q < 500$	
	$500 \leq q < 600$	
	$600 \leq q < 700$	
	$700 \leq q < 800$	
	$q > 800$	

Relación Gas Líquido	Intervalo ideal:	
F(RGL)	$0 \leq RGL < 50$	
	$50 \leq RGL < 70$	
	$70 \leq RGL < 100$	
	$100 \leq RGL < 120$	
	$120 \leq RGL < 150$	
	$150 \leq RGL < 180$	
	$RGL > 180$	

Profundidad al tope de las perf.	Intervalo ideal:	
F(D)	$D < 3000$	
	$3000 \leq D < 3500$	
	$3500 \leq D < 3800$	
	$3800 \leq D < 4200$	
	$4200 \leq D < 5000$	
	$D > 5000$	

Presión estática del yacimiento	Intervalo ideal:	
F(Pe)	$Pe < 500$	
	$500 \leq Pe < 600$	
	$600 \leq Pe < 700$	
	$700 \leq Pe < 800$	
	$800 \leq Pe < 1000$	
	$1000 \leq Pe < 1500$	
	$1500 \leq Pe < 3000$	
	$3000 \leq Pe < 6000$	
	$Pe > 6000$	

Gravedad API	Intervalo ideal:	
F(API)	$API < 8$	
	$8 \leq API < 10$	
	$10 \leq API < 12$	
	$12 \leq API < 14$	
	$16 \leq API < 20$	
	$20 \leq API < 24$	
	$24 \leq API < 28$	
	$API > 28$	

Grado de Desviación del Pozo	Intervalo ideal:	
	$0 \leq Grd < 15$	
	$15 \leq Grd < 30$	
	$30 \leq Grd < 45$	
	$45 \leq Grd < 60$	
	$Grd > 60$	

Diámetro de Tubería (Revestidor)	Intervalo ideal:	
F(DR)	$4,5 \leq DR < 5,5$	
	$5,5 \leq DR < 7$	
	$DR > 7$	

Diámetro de Tubería (Eductor)	Intervalo ideal:	
F(DE)	$2^{3/8} \leq DE < 2^{7/8}$	
	$2^{7/8} \leq DE < 3^{1/2}$	
	$3^{1/2} \leq DE < 4^{1/2}$	
	$4^{1/2} \leq DE < 5^{1/2}$	
	$DE > 5^{1/2}$	

Método a Evaluar: Bombeo Electrosumergible

Cual considera Ud. que es el intervalo en que el criterio se comporta de manera ideal para el método en cuestión e indique en la casilla correspondiente el valor del grado de similitud entre el **intervalo ideal** y el **intervalo a calificar** según la escala.

Índice de Productividad	Intervalo ideal:	
F(IP)	$1 \leq IP < 3$	
	$3 \leq IP < 5$	
	$5 \leq IP < 8$	
	$8 \leq IP < 12$	
	$12 \leq IP < 18$	
	$18 \leq IP < 24$	
	$24 \leq IP < 30$	
	$30 \leq IP < 40$	
	$IP > 40$	

Tasa de Líquido	Intervalo ideal:	
F(q)	$q < 300$	
	$300 \leq q < 400$	
	$400 \leq q < 600$	
	$600 \leq q < 1000$	
	$1000 \leq q < 2000$	
	$2000 \leq q < 3000$	
	$3000 \leq q < 4000$	
	$4000 \leq q < 5000$	
	$5000 \leq q < 20000$	
	$q > 20000$	

Relación Gas Líquido	Intervalo ideal:	
F(RGL)	$0 \leq RGL < 50$	
	$50 \leq RGL < 100$	
	$100 \leq RGL < 150$	
	$150 \leq RGL < 200$	
	$200 \leq RGL < 250$	
	$250 \leq RGL < 300$	
	$300 \leq RGL < 400$	
		$RGL > 4000$

Profundidad al tope de las perf.	Intervalo ideal:	
F(D)	$D < 8000$	
	$8000 \leq D < 9000$	
	$9000 \leq D < 10000$	
	$10000 \leq D < 12000$	
	$12000 \leq D < 14000$	
	$14000 \leq D < 15000$	
		$D > 15000$

Presión estática del yacimiento	Intervalo ideal:	
F(Pe)	$Pe < 1500$	
	$1500 \leq Pe < 2000$	
	$2000 \leq Pe < 2200$	
	$2200 \leq Pe < 2500$	
	$2500 \leq Pe < 3000$	
	$3000 \leq Pe < 3500$	
	$3500 \leq Pe < 4000$	
	$4000 \leq Pe < 5000$	
	$Pe > 5000$	

Gravedad API	Intervalo ideal:	
F(API)	$API < 12$	
	$12 \leq API < 15$	
	$15 \leq API < 18$	
	$18 \leq API < 22$	
	$22 \leq API < 26$	
	$26 \leq API < 30$	
	$30 \leq API < 35$	
	$API > 35$	

Temperatura al tope de la form.	Intervalo ideal:	
F(T)	$60 \leq T < 90$	
	$90 \leq T < 120$	
	$120 \leq T < 150$	
	$150 \leq T < 160$	
	$160 \leq T < 170$	
	$170 \leq T < 180$	
	$200 \leq T < 250$	
	$T > 250$	

Grado de Desviación del Pozo	Intervalo ideal:	
F(Grd)	$0 \leq Grd < 15$	
	$15 \leq Grd < 30$	
	$30 \leq Grd < 45$	
	$45 \leq Grd < 60$	
	$Grd > 60$	

Diámetro de Tubería (Revestidor)	Intervalo ideal:	
F(DR)	$4,5 \leq DR < 5,5$	
	$5,5 \leq DR < 7$	
	$DR > 7$	

Diámetro de Tubería (Eductor)	Intervalo ideal:	
F(DE)	$2^{3/8} \leq DE < 2^{7/8}$	
	$2^{7/8} \leq DE < 3^{1/2}$	
	$3^{1/2} \leq DE < 4^{1/2}$	
	$4^{1/2} \leq DE < 5^{1/2}$	
	$DE > 5^{1/2}$	

Método a Evaluar: Bomba de Cavidad Progresiva

Cual considera Ud. que es el intervalo en que el criterio se comporta de manera ideal para el método en cuestión e indique en la casilla correspondiente el valor del grado de similitud entre **el intervalo ideal** y el **intervalo a calificar** según la escala.

Índice de Productividad	Intervalo ideal:	
F(IP)	$0,1 \leq IP < 0,5$	
	$0,5 \leq IP < 0,8$	
	$0,8 \leq IP < 1$	
	$1 \leq IP < 1,5$	
	$1,5 \leq IP < 2$	
	$2 \leq IP < 2,5$	
	$2,5 \leq IP < 3$	
	$IP > 3$	

Tasa de Líquido	Intervalo ideal:	
F(q)	$q < 30$	
	$30 \leq q < 50$	
	$50 \leq q < 80$	
	$80 \leq q < 100$	
	$100 \leq q < 200$	
	$200 \leq q < 300$	
	$300 \leq q < 500$	
	$500 \leq q < 1000$	
	$1000 \leq q < 2500$	
$q > 2500$		

Relación Gas Líquido	Intervalo ideal:	
F(RGL)	$0 \leq RGL < 50$	
	$50 \leq RGL < 60$	
	$60 \leq RGL < 70$	
	$70 \leq RGL < 100$	
	$100 \leq RGL < 120$	
	$120 \leq RGL < 180$	
	$180 \leq RGL < 200$	

Profundidad al tope de las perf.	Intervalo ideal:	
F(D)	$D < 3000$	
	$3000 \leq D < 3500$	
	$3500 \leq D < 3800$	
	$3800 \leq D < 4000$	
	$4000 \leq D < 4500$	
	$4500 \leq D < 7000$	
	$D > 7000$	

Presión estática del yacimiento	Intervalo ideal:	
F(Pe)	$Pe < 600$	
	$600 \leq Pe < 1000$	
	$1000 \leq Pe < 1300$	
	$1300 \leq Pe < 1500$	
	$1500 \leq Pe < 1700$	
	$1700 \leq Pe < 2000$	
	$2000 \leq Pe < 2200$	
	$2200 \leq Pe < 2500$	
	$Pe > 2500$	

Gravedad API	Intervalo ideal:	
F(API)	$API < 8$	
	$8 \leq API < 10$	
	$10 \leq API < 12$	
	$12 \leq API < 15$	
	$15 \leq API < 20$	
	$20 \leq API < 24$	
	$24 \leq API < 28$	
	$28 \leq API < 30$	
	$API > 30$	

Temperatura al tope de la form.	Intervalo ideal:	
F(T)	$T < 80$	
	$80 \leq T < 90$	
	$90 \leq T < 100$	
	$100 \leq T < 120$	
	$120 \leq T < 140$	
	$140 \leq T < 160$	
	$160 \leq T < 180$	
	$180 \leq T < 200$	
	$T > 200$	

Grado de Desviación del Pozo	Intervalo ideal:	
F(Grd)	$0 \leq Grd < 15$	
	$15 \leq Grd < 30$	
	$30 \leq Grd < 45$	
	$45 \leq Grd < 60$	
	$Grd > 60$	

Diámetro de Tubería (Revestidor)	Intervalo ideal:	
F(DR)	$4,5 \leq DR < 5,5$	
	$5,5 \leq DR < 7$	
	$7 \leq DR < 9^{5/8}$	
	$DR > 9^{5/8}$	

Diámetro de Tubería (Eductor)	Intervalo ideal:	
F(DE)	$2^{3/8} \leq DE < 2^{7/8}$	
	$2^{7/8} \leq DE < 3^{1/2}$	
	$3^{1/2} \leq DE < 4^{1/2}$	
	$4^{1/2} \leq DE < 5^{1/2}$	
	$DE > 5^{1/2}$	

Método a Evaluar: Bombeo Hidráulico

Cual considera Ud. que es el intervalo en que el criterio se comporta de manera ideal para el método en cuestión e indique en la casilla correspondiente el valor del grado de similitud entre el **intervalo ideal** y el **intervalo a calificar** según la escala.

Índice de Productividad	Intervalo ideal:	
F(IP)	$5 \leq IP < 6$	
	$6 \leq IP < 7$	
	$7 \leq IP < 10$	
	$10 \leq IP < 15$	
	$15 \leq IP < 20$	
	$20 \leq IP < 30$	
	$30 \leq IP < 40$	
	$40 \leq IP < 50$	
	$IP > 50$	

Tasa de Líquido	Intervalo ideal:	
F(q)	$q < 1000$	
	$1000 \leq q < 2000$	
	$2000 \leq q < 3000$	
	$3000 \leq q < 4000$	
	$4000 \leq q < 5000$	
	$5000 \leq q < 6000$	
	$6000 \leq q < 8000$	
	$8000 \leq q < 10000$	
	$10000 \leq q < 20000$	
	$20000 \leq q < 30000$	
	$q > 30000$	

Relación Gas Líquido	Intervalo ideal:	
F(RGL)	$0 \leq RGL < 50$	
	$50 \leq RGL < 100$	
	$100 \leq RGL < 150$	
	$150 \leq RGL < 200$	
	$200 \leq RGL < 250$	
	$250 \leq RGL < 300$	
	$300 \leq RGL < 400$	

Profundidad al tope de las perf.	Intervalo ideal:	
F(D)	$D < 5000$	
	$5000 \leq D < 6000$	
	$6000 \leq D < 7000$	
	$7000 \leq D < 8000$	
	$8000 \leq D < 9000$	
	$9000 \leq D < 10000$	
	$D > 10000$	

Presión estática del yacimiento	Intervalo ideal:	
F(Pe)	$Pe < 2000$	
	$2000 \leq Pe < 2500$	
	$2500 \leq Pe < 3000$	
	$3000 \leq Pe < 3500$	
	$3500 \leq Pe < 4000$	
	$4000 \leq Pe < 4500$	
	$4500 \leq Pe < 5000$	
	$5000 \leq Pe < 5500$	
	$Pe > 5500$	

Gravedad API	Intervalo ideal:	
F(API)	$API < 15$	
	$15 \leq API < 18$	
	$18 \leq API < 21$	
	$21 \leq API < 24$	
	$24 \leq API < 27$	
	$27 \leq API < 30$	
	$30 \leq API < 32$	
	$API > 32$	

Grado de Desviación del Pozo	Intervalo ideal:	
F(Grd)	$0 \leq Grd < 15$	
	$15 \leq Grd < 30$	
	$30 \leq Grd < 45$	
	$45 \leq Grd < 60$	
	$Grd > 60$	

Diámetro de Tubería (Revestidor)	Intervalo ideal:	
F(DR)	$4,5 \leq DR < 5,5$	
	$5,5 \leq DR < 7$	
	$DR > 7$	

Diámetro de Tubería (Eductor)	Intervalo ideal:	
F(DE)	$2^{3/8} \leq DE < 2^{7/8}$	
	$2^{7/8} \leq DE < 3^{1/2}$	
	$3^{1/2} \leq DE < 4^{1/2}$	
	$4^{1/2} \leq DE < 5^{1/2}$	
	$DE > 5^{1/2}$	

Método a Evaluar: Levantamiento Artificial por Gas

Cual considera Ud. que es el intervalo en que el criterio se comporta de manera ideal para el método en cuestión e indique en la casilla correspondiente el valor del grado de similitud entre el **intervalo ideal** y el **intervalo a calificar** según la escala.

Índice de Productividad	Intervalo ideal:	
F(IP)	$0 \leq IP < 0,25$	
	$0,25 \leq IP < 1$	
	$1 \leq IP < 2$	
	$2 \leq IP < 2,5$	
	$2,5 \leq IP < 3$	
	$3 \leq IP < 3,5$	
	$3,5 \leq IP < 4,0$	
	$4,0 \leq IP < 5$	
	$IP > 5$	

Tasa de Líquido	Intervalo ideal:	
F(q)	$q < 30$	
	$30 \leq q < 40$	
	$40 \leq q < 50$	
	$50 \leq q < 100$	
	$100 \leq q < 300$	
	$300 \leq q < 400$	
	$400 \leq q < 800$	
	$800 \leq q < 1000$	
	$1000 \leq q < 1500$	
	$1500 \leq q < 2000$	
$q > 2000$		

Relación Gas Líquido	Intervalo ideal:	
F(RGL)	$0 \leq RGL < 200$	
	$200 \leq RGL < 300$	
	$300 \leq RGL < 400$	
	$400 \leq RGL < 500$	
	$500 \leq RGL < 700$	
	$700 \leq RGL < 1000$	
	$1000 \leq RGL < 2000$	
	$2000 \leq RGL < 3000$	
	$RGL > 3000$	

Profundidad al tope de las perf.	Intervalo ideal:	
F(D)	$D < 3000$	
	$3000 \leq D < 3500$	
	$3500 \leq D < 4000$	
	$4000 \leq D < 4500$	
	$5000 \leq D < 5500$	
	$5500 \leq D < 6000$	
	$D > 6000$	

Presión estática del yacimiento	Intervalo ideal:	
F(Pe)	$Pe < 500$	
	$500 \leq Pe < 600$	
	$600 \leq Pe < 800$	
	$800 \leq Pe < 900$	
	$900 \leq Pe < 1000$	
	$1000 \leq Pe < 1200$	
	$1500 \leq Pe < 1500$	
	$2000 \leq Pe < 2000$	
	$Pe > 2000$	

Gravedad API	Intervalo ideal:	
F(API)	$API < 18$	
	$18 \leq API < 20$	
	$20 \leq API < 24$	
	$24 \leq API < 28$	
	$28 \leq API < 32$	
	$32 \leq API < 36$	
	$36 \leq API < 40$	
	$40 \leq API < 46$	
	$API > 46$	

Grado de Desviación del Pozo	Intervalo ideal:	
F(Grd)	$0 \leq Grd < 15$	
	$15 \leq Grd < 30$	
	$30 \leq Grd < 45$	
	$45 \leq Grd < 60$	
	$Grd > 60$	

Diámetro de Tubería (Revestidor)	Intervalo ideal:	
F(DR)	$4,5 \leq DR < 5,5$	
	$5,5 \leq DR < 7$	
	$DR > 7$	

Diámetro de Tubería (Eductor)	Intervalo ideal:	
F(DE)	$2^{3/8} \leq DE < 2^{7/8}$	
	$2^{7/8} \leq DE < 3^{1/2}$	
	$3^{1/2} \leq DE < 4^{1/2}$	
	$4^{1/2} \leq DE < 5^{1/2}$	
	$DE > 5^{1/2}$	

APENDICE II
DATOS OPTENIDOS Y
CALCULOS REALIZADOS

Bombeo Mecanico

	IP	q	rgl	h	Pe	API	Arenamiento	Mec. Prod.	Diam Resv	Diam. Educ	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para As	escamas	Corrocion	
	1	1	1	4	2	4	2	2	3	3	6	2	6	9	8	
	q	1	1	4	2	4	2	2	3	3	6	2	6	9	8	
	rgl	1	1	4	2	4	2	3	3	4	6	2	5	9	8	
	h	0,25	0,25	0,25	1	0,33333333	0,5	3	0,5	3	4	5	4	5	5	
	Pe	0,5	0,5	0,5	3	1	0,5	1	0,5	0,5	3	1	2	7	6	
	API	0,25	0,25	0,25	2	0,33333333	1	4	1	0,5	0,5	0,2	0,5	4	2	
	Arenamiento	0,5	0,5	0,5	0,33333333	2	0,25	1	7	0,5	0,5	0,2	1	7	6	
	Mec. Prod.	0,5	0,5	0,33333333	0,33333333	1	1	0,14285714	1	1	0,33333333	0,2	1	0,33333333	5	6
	Diam Resv	0,33333333	0,33333333	0,33333333	2	2	2	1	1	0,5	1	1	6	5	3	
	Diam. Educ	0,33333333	0,33333333	0,25	0,33333333	2	2	3	2	1	0,2	1	6	5	6	
	Desviacion	0,16666667	0,16666667	0,25	0,33333333	5	5	5	1	5	1	4	4	6	6	
	Comp. Afluen	0,5	0,5	0,5	0,2	1	2	1	1	1	0,25	1	3	8	6	
	Prod Para As	0,16666667	0,16666667	0,2	0,25	0,5	0,14285714	3	0,16666667	0,16666667	0,25	0,33333333	1	1	4	
	escamas	0,11111111	0,11111111	0,11111111	0,2	0,14285714	0,16666667	0,2	0,2	0,2	0,16666667	0,125	1	1	4	
	Corrocion	0,125	0,125	0,125	0,2	0,16666667	0,5	0,16666667	0,33333333	0,16666667	0,16666667	0,16666667	0,25	0,25	1	
	? yi=	6,73611111	6,73611111	6,51944444	22,1	16,8095238	29,6666667	25,1190476	33,3666667	17,7	22,8666667	28,6333333	22,125	55,5833333	82,25	79

	IP	q	rgl	h	Pe	API	Arenamiento	Mec. Prod.	Diam Resv	Diam. Educ	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para As	escamas	Corrocion	
	0,14845361	0,14845361	0,1533873	0,18099548	0,11898017	0,13483146	0,07962085	0,05994006	0,16949153	0,13119534	0,20954598	0,09039548	0,10794603	0,10942249	0,10126582	
	q	0,14845361	0,14845361	0,1533873	0,18099548	0,11898017	0,13483146	0,07962085	0,05994006	0,16949153	0,13119534	0,20954598	0,09039548	0,10794603	0,10942249	0,10126582
	rgl	0,14845361	0,14845361	0,1533873	0,18099548	0,11898017	0,13483146	0,07962085	0,08991009	0,16949153	0,17492711	0,20954598	0,09039548	0,08995502	0,10942249	0,10126582
	h	0,0371134	0,0371134	0,03834683	0,04524887	0,01983003	0,01685393	0,11943128	0,08991009	0,02824859	0,13119534	0,13969732	0,2259887	0,07196402	0,06079027	0,06329114
	Pe	0,0742268	0,0742268	0,07669365	0,13574661	0,05949008	0,1011236	0,01990521	0,02997003	0,02824859	0,02186589	0,10477299	0,04519774	0,03598201	0,08510638	0,07594937
	API	0,0371134	0,0371134	0,03834683	0,09049774	0,01983003	0,03370787	0,15924171	0,02997003	0,02824859	0,02186589	0,00698487	0,02259887	0,07196402	0,07294833	0,02531646
	Arenamiento	0,0742268	0,0742268	0,07669365	0,01508296	0,11898017	0,00842697	0,03981043	0,20979021	0,02824859	0,02186589	0,00698487	0,04519774	0,12593703	0,07294833	0,07594937
	Mec. Prod.	0,0742268	0,0742268	0,0511291	0,01508296	0,05949008	0,03370787	0,0056872	0,02997003	0,05649718	0,01457726	0,00698487	0,04519774	0,005997	0,06079027	0,07594937
	Diam Resv	0,04948454	0,04948454	0,0511291	0,09049774	0,11898017	0,06741573	0,07962085	0,02997003	0,05649718	0,02186589	0,03492433	0,04519774	0,10794603	0,06079027	0,03797468
	Diam. Educ	0,04948454	0,04948454	0,03834683	0,01508296	0,11898017	0,06741573	0,07962085	0,08991009	0,11299435	0,04373178	0,00698487	0,04519774	0,10794603	0,06079027	0,07594937
	Desviacion	0,02474227	0,02474227	0,02556455	0,01131222	0,01983003	0,16853933	0,19905213	0,14985015	0,05649718	0,21865889	0,03492433	0,18079096	0,07196402	0,07294833	0,07594937
	Comp. Afluen	0,0742268	0,0742268	0,07669365	0,00904977	0,05949008	0,06741573	0,03981043	0,02997003	0,05649718	0,04373178	0,00873108	0,04519774	0,05397301	0,09726444	0,07594937
	Prod Para As	0,02474227	0,02474227	0,03067746	0,01131222	0,02974504	0,00842697	0,0056872	0,08991009	0,0094162	0,00728863	0,00873108	0,01506591	0,017991	0,01215805	0,05063291
	escamas	0,01649485	0,01649485	0,01704303	0,00904977	0,00849858	0,00561798	0,00663507	0,00599401	0,01129944	0,00874636	0,00582072	0,00564972	0,017991	0,01215805	0,05063291
	Corrocion	0,0185567	0,0185567	0,01917341	0,00904977	0,00991501	0,01685393	0,00663507	0,004995	0,01883239	0,00728863	0,00582072	0,00753296	0,00449775	0,00303951	0,01265823

n= 15

? xi	? xi/n=	W
1,94392521		0,12959501
1,94392521		0,12959501
1,99963601		0,13330907
1,12502321		0,07500155
0,96850576		0,06456705
0,69574801		0,0463832
0,9943698		0,06629132
0,60951453		0,0406343
0,90177881		0,06011859
0,9619201		0,06412801
1,33536601		0,0890244
0,8122279		0,05414853
0,34652731		0,02310182
0,19812634		0,01320842
0,1634058		0,01089372

?W= 1

A.w
2,58084316
2,58084316
2,66250365
1,60081868
1,28612075
0,9222807
1,1531137
0,65263966
1,14864329
1,14744445
1,79563063
0,91649531
0,40476146
0,22108154
0,19039737

A.w/W
19,9146795
19,9146795
19,9724122
21,3438089
19,9191498
19,8839382
17,3946409
16,0612987
19,1062919
17,8930317
20,1700951
16,9255818
17,5207602
16,7379217
17,4777183

IC= 0,26302861

RC= 0,1654268

?max= 1/n? A.w/W= 18,6824006

Bombeo Eletrosurgible

	IP	q	rgl	h	Pe	API	T	Arenamiento	Mec. Prod.	F. Energia	Plat. Prod	Pericia	Diam Resv	Diam. Educt	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para Asf	escamas	Corrosion
IP	1	1	1	4	1	4	4	0,5	6	4	7	7	9	4	3	2	5	5	7
q	1	1	1	4	1	5	6	1	4	4	7	1	8	4	3	2	6	5	9
rgl	1	1	1	4	0,5	3	4	0,5	5	4	7	5	8	4	3	3	6	6	7
h	0,25	0,25	0,25	1	0,5	4	0,5	1	4	0,5	3	5	7	6	5	3	7	7	7
Pe	1	1	2	2	1	5	1	0,5	3	3	5	1	1	1	5	0,25	4	4	2
API	0,25	0,2	0,33333333	0,25	0,2	1	1	0,25	5	5	4	1	0,33333333	0,33333333	0,5	0,2	7	7	7
T	0,25	0,16666667	0,25	2	1	1	1	0,2	7	0,5	3	3	7	0,25	0,33333333	5	4	5	5
Arenamiento	2	1	2	1	2	4	5	1	3	3	4	1	5	5	4	0,33333333	2	2	2
Mec. Prod.	0,16666667	0,25	0,2	0,25	0,33333333	0,2	0,14285714	0,33333333	1	0,33333333	3	1	3	1	2	1	7	6	3
F. Energia	0,25	0,25	0,25	2	0,33333333	0,2	2	0,33333333	3	1	0,5	1	5	1	0,33333333	0,25	4	4	3
Plat. Prod	0,14285714	0,14285714	0,14285714	0,33333333	0,2	0,25	0,33333333	0,25	0,33333333	2	1	5	1	0,33333333	0,16666667	3	0,14285714	5	5
Pericia	0,14285714	1	0,2	0,2	1	1	0,33333333	1	1	1	0,2	1	0,33333333	1	1	5	1	1	1
Diam Resv	0,11111111	0,125	0,125	0,14285714	1	3	0,14285714	0,2	0,33333333	0,2	1	3	1	1	0,33333333	0,25	5	0,16666667	1
Diam. Educt	0,25	0,25	0,25	0,16666667	1	3	4	0,2	1	1	3	1	1	1	1	0,16666667	4	4	4
Desviacion	0,33333333	0,33333333	0,33333333	0,2	0,2	2	3	0,25	0,5	3	6	1	3	1	1	0,25	4	4	4
Comp. Afluen	0,5	0,5	0,33333333	0,33333333	4	5	0,2	3	1	4	0,33333333	0,2	4	6	4	1	1	5	5
Prod Para Asf	0,2	0,16666667	0,16666667	0,14285714	0,25	0,14285714	0,25	0,5	0,14285714	0,25	7	1	0,2	0,25	0,25	1	1	1	1
escamas	0,2	0,2	0,16666667	0,14285714	0,25	0,14285714	0,2	0,5	0,16666667	0,25	0,2	1	6	0,25	0,25	0,2	1	1	1
Corrosion	0,14285714	0,11111111	0,14285714	0,14285714	0,5	0,14285714	0,2	0,5	0,33333333	0,33333333	0,2	1	1	0,25	0,25	0,2	1	1	1
?yi	9,18968254	8,94563492	10,1440476	22,3047619	16,2666667	42,0785714	33,302381	12,01666667	45,8095238	37,3666667	62,4333333	40,2	70,8666667	37,6666667	34,4166667	28,1	70,1428571	73,1666667	75

	IP	q	rgl	h	Pe	API	T	Arenamiento	Mec. Prod.	F. Energia	Plat. Prod	Pericia	Diam Resv	Diam. Educt	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para Asf	escamas	Corrosion
IP	0,10881769	0,11178636	0,09857998	0,1793339	0,06147541	0,09506026	0,12011153	0,041608877	0,13097713	0,10704728	0,11211959	0,17412935	0,12699906	0,10619469	0,08716707	0,07117438	0,0712831	0,06833713	0,09333333
q	0,10881769	0,11178636	0,09857998	0,1793339	0,06147541	0,11882533	0,1801673	0,083217753	0,08731809	0,10704728	0,11211959	0,02487562	0,11288805	0,10619469	0,08716707	0,07117438	0,08553971	0,06833713	0,12
rgl	0,10881769	0,11178636	0,09857998	0,1793339	0,0307377	0,0712952	0,12011153	0,041608877	0,10914761	0,10704728	0,11211959	0,12437811	0,11288805	0,10619469	0,08716707	0,10676157	0,08553971	0,08200456	0,09333333
h	0,02720442	0,02794659	0,02464499	0,04483348	0,0307377	0,09506026	0,01501394	0,083217753	0,08731809	0,01338091	0,04805125	0,12437811	0,09877705	0,15929204	0,14527845	0,10676157	0,09979633	0,09567198	0,09333333
Pe	0,10881769	0,11178636	0,19715996	0,08966695	0,06147541	0,11882533	0,03002788	0,041608877	0,06548857	0,08028546	0,08008542	0,02487562	0,01411101	0,02654867	0,14527845	0,0088968	0,05702648	0,0546697	0,02666667
API	0,02720442	0,02235727	0,03285999	0,01120837	0,01229508	0,02376507	0,03002788	0,020804438	0,10914761	0,1338091	0,06406834	0,02487562	0,00470367	0,00884956	0,01452785	0,00711744	0,09979633	0,09567198	0,09333333
T	0,02720442	0,01863106	0,02464499	0,08966695	0,06147541	0,02376507	0,03002788	0,016643551	0,15280665	0,01338091	0,04805125	0,07462687	0,09877705	0,00663717	0,00968523	0,17793594	0,05702648	0,06833713	0,06666667
Arenamiento	0,21763537	0,11178636	0,19715996	0,04483348	0,1229508	0,09506026	0,15013942	0,083217753	0,06548857	0,08028546	0,06406834	0,02487562	0,07055503	0,13274336	0,11622276	0,0118624	0,02851324	0,02733485	0,02666667
Mec. Prod.	0,01813628	0,02794659	0,019716	0,01120837	0,0204918	0,00475301	0,0042897	0,027739251	0,02182952	0,00892061	0,04805125	0,02487562	0,04233302	0,02654867	0,05811138	0,09979633	0,08200456	0,04	0,04
F. Energia	0,02720442	0,02794659	0,02464499	0,08966695	0,0204918	0,00475301	0,06005577	0,027739251	0,06548857	0,02676182	0,00800854	0,02487562	0,07055503	0,02654867	0,00968523	0,0088968	0,05702648	0,0546697	0,04
Plat. Prod	0,01554538	0,01596948	0,01408285	0,01494449	0,01229508	0,00594127	0,01000929	0,020804438	0,00727651	0,05352364	0,01601708	0,12437811	0,01411101	0,00884956	0,00484262	0,10676157	0,00203666	0,06833713	0,06666667
Pericia	0,01554538	0,11178636	0,019716	0,0089667	0,06147541	0,02376507	0,01000929	0,083217753	0,02182952	0,02676182	0,00320342	0,02487562	0,00470367	0,02654867	0,02905569	0,01425662	0,01366743	0,01333333	0,01333333
Diam Resv	0,01209085	0,0139733	0,0123225	0,00640478	0,06147541	0,0712952	0,0042897	0,016643551	0,00727651	0,00535236	0,01601708	0,07462687	0,01411101	0,02654867	0,00968523	0,0088968	0,0712831	0,0022779	0,01333333
Diam. Educt	0,02720442	0,02794659	0,02464499	0,00747225	0,06147541	0,0712952	0,12011153	0,016643551	0,02182952	0,02676182	0,04805125	0,02487562	0,01411101	0,02654867	0,02905569	0,0059312	0,05702648	0,0546697	0,05333333
Desviacion	0,03627256	0,03726212	0,03285999	0,0089667	0,01229508	0,04753013	0,09008365	0,020804438	0,01091476	0,08028546	0,09610251	0,02487562	0,04233302	0,02654867	0,02905569	0,0088968	0,05702648	0,0546697	0,05333333
Comp. Afluen	0,05440884	0,05589318	0,03285999	0,01494449	0,24590164	0,11882533	0,00600558	0,249653259	0,02182952	0,10704728	0,00533903	0,00497512	0,05644403	0,15929204	0,11622276	0,03558719	0,01425662	0,06833713	0,06666667
Prod Para Asf	0,02176354	0,01863106	0,01643	0,00640478	0,01536885	0,00339501	0,00750697	0,041608877	0,0031185	0,00669045	0,11211959	0,02487562	0,0028222	0,00663717	0,00726392	0,03558719	0,01425662	0,01366743	0,01333333
escamas	0,02176354	0,02235727	0,01643	0,00640478	0,01536885	0,00339501	0,00600558	0,041608877	0,00363825	0,00669045	0,00320342	0,02487562	0,08466604	0,00663717	0,00726392	0,00711744	0,01425662	0,01366743	0,01333333
Corrosion	0,01554538	0,01242071	0,01408285	0,00640478	0,0307377	0,00339501	0,00600558	0,041608877	0,00727651	0,00892061	0,00320342	0,02487562	0,01411101	0,00663717	0,00726392	0,00711744	0,01425662	0,01366743	0,01333333

n= 19

? xi
1,96553613
1,92486534
1,88885282
1,42069825
1,3433013
0,83642335
1,06599068
1,67139972
0,62233916
0,67501926
0,58239283
0,69065369
0,44790414
0,71898824
0,77011672
1,43448969
0,37148112
0,3186836
0,25086396

? xi/n=	W
0,10344927	
0,101308702	
0,099413306	
0,074773592	
0,070700068	
0,044022282	
0,056104773	
0,087968406	
0,032754693	
0,035527329	
0,030652254	
0,036350194	
0,023573902	
0,037841486	
0,040532459	
0,075499457	
0,019551638	
0,016772821	
0,013203366	

?W= 1

A.w
2,83628597
2,77527591
2,73970858
2,06868821
1,79314687
1,13711641
1,64719556
2,22502317
0,86599385
0,95796584
0,8507085
0,99633659
0,64092675
1,04251614
1,11814101
1,859237
0,56061237
0,4298577
0,32079935

A.w/W
27,4171676
27,39425
27,5587714
27,6660269
25,3627317
25,8304741
29,3592769
25,2934351
26,438772
26,9641953
27,7535379
27,4093881
27,1879785
27,5495558
27,586311
24,6258326
28,6734225
25,6282294
24,2967844

IC= 0,43566123

RC= 0,26727683

?max= 1/n?A.w/W

Bomba de Cavidad Progresiva

	IP	q	rgl	h	Pe	API	T	Arenamiento	Mec. Prod.	F. Energia	Plat. Prod	Diam Resv	Diam. Educt	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para As	escamas	Corrosion
IP	1	1	1	2	2	4	3	2	1	6	9	3	3	4	0,5	8	8	9
q	1	1	1	2	2	4	4	2	1	6	9	3	3	4	1	8	8	9
rgl	1	1	1	2	2	2	5	2	3	7	7	5	5	4	1	8	8	9
h	0,5	0,5	0,5	2	0,5	2	4	3	5	7	2	3	3	0,33333333	1	3	3	3
Pe	0,5	0,5	0,5	2	1	3	2	5	1	4	8	0,5	0,5	5	1	6	7	8
API	0,25	0,25	0,5	0,5	0,33333333	1	7	9	9	9	9	9	8	7	0,33333333	7	7	9
T	0,33333333	0,25	0,2	0,25	0,5	0,14285714	1	7	5	3	3	7	7	5	1	5	5	7
Arenamiento	0,5	0,5	0,5	0,33333333	0,2	0,11111111	0,14285714	1	3	3	5	5	5	1	1	5	3	5
Mec. Prod.	1	1	0,33333333	0,2	1	0,11111111	0,2	0,33333333	1	5	1	7	7	0,2	1	3	3	3
F. Energia	0,16666667	0,16666667	0,14285714	0,14285714	0,25	0,11111111	0,33333333	0,33333333	0,2	1	5	0,33333333	0,33333333	0,14285714	0,5	0,2	0,2	0,2
Plat. Prod	0,11111111	0,11111111	0,14285714	0,5	0,125	0,11111111	0,33333333	0,2	1	0,2	1	7	7	0,16666667	0,125	2	1	6
Diam Resv	0,33333333	0,33333333	0,2	0,33333333	2	0,11111111	0,14285714	0,2	0,14285714	3	0,14285714	1	1	0,14285714	0,25	3	3	3
Diam. Educt	0,33333333	0,33333333	0,2	0,33333333	2	0,125	0,14285714	0,2	0,14285714	3	0,14285714	1	1	0,5	0,25	5	2	5
Desviacion	0,25	0,25	0,25	3	0,2	0,14285714	0,2	1	5	7	6	7	2	1	0,25	5	5	5
Comp. Afluen	2	1	1	1	1	3	1	1	1	2	8	4	4	4	1	3	4	4
Prod Para As	0,125	0,125	0,125	0,33333333	0,16666667	0,14285714	0,2	0,2	0,33333333	5	0,5	0,33333333	1	0,2	0,33333333	1	4	2
escamas	0,125	0,125	0,125	0,33333333	0,14285714	0,2	0,33333333	0,33333333	5	1	0,33333333	0,5	0,2	0,25	0,25	0,25	1	3
Corrosion	0,11111111	0,11111111	0,11111111	0,33333333	0,125	0,11111111	0,14285714	0,2	0,33333333	5	0,16666667	0,33333333	0,2	0,2	0,25	0,5	0,33333333	1
? yi	9,63888889	8,55555556	7,83015873	16,5928571	15,5428571	20,3630952	29,0380952	35	37,4857143	81,2	74,952381	63,8333333	58,5333333	37,0857143	11,0416667	72,95	72,5333333	91,2

	IP	q	rgl	h	Pe	API	T	Arenamiento	Mec. Prod.	F. Energia	Plat. Prod	Diam Resv	Diam. Educt	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para As	escamas	Corrosion
IP	0,1037464	0,11688312	0,12771133	0,12053379	0,12867647	0,19643379	0,10331256	0,05714286	0,02667683	0,07389163	0,12007624	0,04699739	0,05125285	0,10785824	0,04528302	0,10966415	0,11029412	0,09868421
q	0,1037464	0,11688312	0,12771133	0,12053379	0,12867647	0,19643379	0,13775008	0,05714286	0,02667683	0,07389163	0,12007624	0,04699739	0,05125285	0,10785824	0,09056604	0,10966415	0,11029412	0,09868421
rgl	0,1037464	0,11688312	0,12771133	0,12053379	0,12867647	0,0982169	0,1721876	0,05714286	0,08003049	0,0862069	0,09339263	0,07832898	0,08542141	0,10785824	0,09056604	0,10966415	0,11029412	0,09868421
h	0,0518732	0,05844156	0,06385567	0,0602669	0,03216912	0,0982169	0,13775008	0,08571429	0,13338415	0,0862069	0,02668361	0,04699739	0,05125285	0,00898819	0,09056604	0,04112406	0,04136029	0,03289474
Pe	0,0518732	0,05844156	0,06385567	0,12053379	0,06433824	0,14732534	0,06887504	0,14285714	0,02667683	0,04926108	0,10673443	0,0078329	0,00854214	0,1348228	0,09056604	0,08224812	0,09650735	0,0877193
API	0,0259366	0,02922078	0,06385567	0,03013345	0,02144608	0,04910845	0,24106264	0,25714286	0,24009146	0,11083744	0,12007624	0,14099217	0,13667426	0,18875193	0,03018868	0,09595613	0,09650735	0,09868421
T	0,03458213	0,02922078	0,02554227	0,01506672	0,03216912	0,00701549	0,03443752	0,2	0,13338415	0,03694581	0,04002541	0,10966057	0,11958998	0,1348228	0,09056604	0,0685401	0,06893382	0,07675439
Arenamiento	0,0518732	0,05844156	0,06385567	0,02008897	0,01286765	0,00545649	0,00491965	0,02857143	0,08003049	0,03694581	0,06670902	0,07832898	0,08542141	0,02696456	0,09056604	0,0685401	0,04136029	0,05482456
Mec. Prod.	0,1037464	0,11688312	0,04257044	0,01205338	0,06433824	0,00545649	0,0068875	0,00952381	0,02667683	0,06157635	0,0133418	0,10966057	0,11958998	0,00539291	0,09056604	0,04112406	0,04136029	0,03289474
F. Energia	0,01729107	0,01948052	0,01824448	0,00860956	0,01608456	0,00545649	0,01147917	0,00952381	0,00533537	0,01231527	0,06670902	0,00522193	0,00569476	0,00385208	0,04528302	0,0027416	0,00275735	0,00219298
Plat. Prod	0,01152738	0,01298701	0,01824448	0,03013345	0,00804228	0,00545649	0,01147917	0,00571429	0,02667683	0,00246305	0,0133418	0,10966057	0,11958998	0,00449409	0,01132075	0,02741604	0,01378676	0,06578947
Diam Resv	0,03458213	0,03896104	0,02554227	0,02008897	0,12867647	0,00545649	0,00491965	0,00571429	0,00381098	0,03694581	0,00190597	0,0156658	0,01708428	0,00385208	0,02264151	0,04112406	0,04136029	0,03289474
Diam. Educt	0,03458213	0,03896104	0,02554227	0,02008897	0,12867647	0,00613856	0,00491965	0,00571429	0,00381098	0,03694581	0,00190597	0,0156658	0,01708428	0,01348228	0,02264151	0,0685401	0,02757353	0,05482456
Desviacion	0,0259366	0,02922078	0,03192783	0,18080069	0,01286765	0,00701549	0,0068875	0,02857143	0,13338415	0,0862069	0,08005083	0,10966057	0,03416856	0,02696456	0,02264151	0,0685401	0,06893382	0,05482456
Comp. Afluen	0,2074928	0,11688312	0,12771133	0,0602669	0,06433824	0,14732534	0,03443752	0,02857143	0,02667683	0,02463054	0,10673443	0,06266319	0,06833713	0,10785824	0,09056604	0,04112406	0,05514706	0,04385965
Prod Para As	0,0129683	0,01461039	0,01596392	0,02008897	0,01072304	0,00701549	0,0068875	0,00571429	0,00889228	0,06157635	0,0066709	0,00522193	0,01708428	0,00539291	0,03018868	0,01370802	0,05514706	0,02192982
escamas	0,0129683	0,01461039	0,01596392	0,02008897	0,00919118	0,00701549	0,0068875	0,00952381	0,00889228	0,06157635	0,0133418	0,00522193	0,00854214	0,00539291	0,02264151	0,003427	0,01378676	0,03289474
Corrosion	0,01152738	0,01298701	0,01419015	0,02008897	0,00804228	0,00545649	0,00491965	0,00571429	0,00889228	0,06157635	0,00222363	0,00522193	0,00341686	0,00539291	0,02264151	0,00685401	0,00459559	0,01096491

n= 18

? xi
1,74511899
1,82483953
1,86554564
1,1477459
1,40901097
1,97666639
1,2572571
0,87576587
0,90364296
0,25827304
0,49812391
0,48122682
0,52709818
1,00860353
1,41462384
0,31978413
0,27196699
0,21470619

? xi/n=	W
0,09695106	
0,10137997	
0,10364142	
0,06376366	
0,07827839	
0,1098148	
0,06984762	
0,04865366	
0,05020239	
0,0143485	
0,02767355	
0,02673482	
0,02928323	
0,05603353	
0,07859021	
0,01776579	
0,01510928	
0,01192812	

?W= 1

A-w
2,51935826
2,62850099
2,65016129
1,70540045
2,09273618
3,25681835
1,93541597
1,1992618
1,13224965
0,3659318
0,73796854
0,56881116
0,63462687
1,42365077
1,97744253
0,39140643
0,34195174
0,26106131

A.w/W
25,9858777
25,9272209
25,5704831
26,7456482
26,7345337
29,6573719
27,7091196
24,6489537
22,5537017
25,5031355
26,6669266
21,2760396
21,6720228
25,4071229
25,1614349
22,0314737
22,6319058
21,8862038

IC= 0,40447443

RC= 0,24967558

?max=	1/n? A.w/W=	24,8760654
-------	-------------	------------

Bombeo Hidraulico

	IP	q	rgl	h	Pe	API	Arenamiento	Mec. Prod.	Diam Resv	Diam. Educt	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para As	escamas	Corrosion
IP	1	1	1	2	3	4	3	3	5	5	5	2	4	8	8
q	1	1	1	2	3	4	3	3	5	5	5	2	4	8	8
rgl	1	1	1	2	3	4	3	5	5	5	4	2	3	6	7
h	0,5	0,5	0,5	1	0,5	2	0,5	5	5	4	0,2	2,5	5	3	8
Pe	0,33333333	0,33333333	0,33333333	2	1	3	0,5	3	0,5	0,5	0,5	0,5	6	6	6
API	0,25	0,25	0,25	0,5	0,33333333	1	1	3	2	2	0,5	0,5	7	7	7
Arenamiento	0,33333333	0,33333333	0,33333333	2	2	1	1	7	1	1	0,5	1	7	6	7
Mec. Prod.	0,33333333	0,33333333	0,2	0,2	0,33333333	0,33333333	0,14285714	1	3	3	0,2	1	4	0,2	7
Diam Resv	0,2	0,2	0,2	0,2	2	0,5	1	0,33333333	1	1	0,2	0,5	1	6	7
Diam. Educt	0,2	0,2	0,2	0,25	2	0,5	1	0,33333333	1	1	0,2	0,5	1	6	7
Desviacion	0,2	0,2	0,25	5	2	2	2	5	5	5	1	0,5	7	7	7
Comp. Afluen	0,5	0,5	0,5	0,4	2	2	1	1	2	2	2	1	5	5	5
Prod Para As	0,25	0,25	0,33333333	0,2	0,16666667	0,14285714	0,14285714	0,25	1	1	0,14285714	0,2	1	1	5
escamas	0,125	0,125	0,16666667	0,33333333	0,16666667	0,14285714	0,16666667	5	0,16666667	0,16666667	0,14285714	0,2	1	1	5
Corrosion	0,125	0,125	0,14285714	0,125	0,16666667	0,14285714	0,14285714	0,14285714	0,14285714	0,14285714	0,14285714	0,2	0,2	0,2	1
? yi	6,35	6,35	6,40952381	18,2083333	21,6666667	24,7619048	17,5952381	42,0595238	36,8095238	35,8095238	19,7285714	14,6	56,2	70,4	95

	IP	q	rgl	h	Pe	API	Arenamiento	Mec. Prod.	Diam Resv	Diam. Educt	Desviacion	Comp. Afluen	Prod Para As	escamas	Corrosion
IP	0,15748031	0,15748031	0,15601783	0,10983982	0,13846154	0,16153846	0,17050068	0,07132748	0,13583441	0,13962766	0,25343954	0,1369863	0,07117438	0,11363636	0,08421053
q	0,15748031	0,15748031	0,15601783	0,10983982	0,13846154	0,16153846	0,17050068	0,07132748	0,13583441	0,13962766	0,25343954	0,1369863	0,07117438	0,11363636	0,08421053
rgl	0,15748031	0,15748031	0,15601783	0,10983982	0,13846154	0,16153846	0,17050068	0,11887914	0,13583441	0,13962766	0,20275163	0,1369863	0,05338078	0,08522727	0,07368421
h	0,07874016	0,07874016	0,07800892	0,05491991	0,02307692	0,08076923	0,02841678	0,11887914	0,13583441	0,11170213	0,01013758	0,17123288	0,08896797	0,04261364	0,08421053
Pe	0,05249344	0,05249344	0,05200594	0,10983982	0,04615385	0,12115385	0,02841678	0,07132748	0,01358344	0,01396277	0,02534395	0,03424658	0,10676157	0,08522727	0,06315789
API	0,03937008	0,03937008	0,03900446	0,02745995	0,01538462	0,04038462	0,05683356	0,07132748	0,05433376	0,05585106	0,02534395	0,03424658	0,12455516	0,09943182	0,07368421
Arenamiento	0,05249344	0,05249344	0,05200594	0,10983982	0,09230769	0,04038462	0,05683356	0,1664308	0,02716688	0,02792553	0,02534395	0,06849315	0,12455516	0,08522727	0,07368421
Mec. Prod.	0,05249344	0,05249344	0,03120357	0,01098398	0,01538462	0,01346154	0,00811908	0,02377583	0,08150065	0,0837766	0,01013758	0,06849315	0,07117438	0,00284091	0,07368421
Diam Resv	0,03149606	0,03149606	0,03120357	0,01098398	0,09230769	0,02019231	0,05683356	0,00792528	0,02716688	0,02792553	0,01013758	0,03424658	0,01779359	0,08522727	0,07368421
Diam. Educt	0,03149606	0,03149606	0,03120357	0,01372998	0,09230769	0,02019231	0,05683356	0,02716688	0,02792553	0,02792553	0,01013758	0,03424658	0,01779359	0,08522727	0,07368421
Desviacion	0,03149606	0,03149606	0,03900446	0,27459954	0,09230769	0,08076923	0,11366712	0,11887914	0,13583441	0,13962766	0,05068791	0,03424658	0,12455516	0,09943182	0,07368421
Comp. Afluen	0,07874016	0,07874016	0,07800892	0,02196796	0,09230769	0,08076923	0,05683356	0,02377583	0,05433376	0,05585106	0,10137581	0,06849315	0,08896797	0,07102273	0,05263158
Prod Para As	0,03937008	0,03937008	0,05200594	0,01098398	0,00769231	0,00576923	0,00811908	0,00594396	0,02716688	0,02792553	0,00724113	0,01369863	0,01779359	0,01420455	0,05263158
escamas	0,01968504	0,01968504	0,02600297	0,01830664	0,00769231	0,00576923	0,00947226	0,11887914	0,00452781	0,00465426	0,00724113	0,01369863	0,01779359	0,01420455	0,05263158
Corrosion	0,01968504	0,01968504	0,02228826	0,00686499	0,00769231	0,00576923	0,00811908	0,00339655	0,00388098	0,00398936	0,00724113	0,01369863	0,00355872	0,00284091	0,01052632

n= 15

? xi
2,05755561
2,05755561
1,99769036
1,18625034
0,87616806
0,79658139
1,05518546
0,59952296
0,55862016
0,56136615
1,44028705
1,00381957
0,32991655
0,34024417
0,13923654

? xi/n=
0,13717037
0,13717037
0,13317936
0,07908336
0,0584112
0,05310543
0,0703457
0,0399682
0,03724134
0,03742441
0,09601914
0,0669213
0,02199444
0,02268294
0,00928244

?W= 1

A.w
2,61525168
2,61525168
2,52252617
1,42796565
1,10937367
1,01276827
1,35869007
0,68870303
0,67476364
0,6787178
1,92767269
1,24683072
0,3590147
0,44237237
0,15227018

A.w/W
19,065718
19,065718
18,9408195
18,0564625
18,9924808
19,0709001
19,3144729
17,2312759
18,1186705
18,1356981
20,075922
18,6312972
16,3229777
19,5024222
16,4041185

IC= 0,24728073
RC= 0,15552247

?max= 1/n? A.w/W= 18,4619303

Levantamiento Artificial por Gas

	IP	q	RGL	h	Pe	API	Diam rev	Diam educ	Desviacion	Comp Afluen	Paraf y Asf	Corrocion
IP	1	1	1	2	3	5	4	2	4	1	3	4
q	1	1	1	2	3	4	3	3	3	1	3	4
RGL	1	1	1	2	3	4	3	3	3	1	4	4
h	0,5	0,5	0,5	1	0,5	5	4	2	4	1	2	3
Pe	0,33333333	0,33333333	0,33333333	2	1	3	2	2	1	1	2	3
API	0,2	0,25	0,25	0,2	0,33333333	1	3	0,5	5	0,5	2	5
Diam rev	0,25	0,33333333	0,33333333	0,25	0,5	0,33333333	1	1	5	0,5	5	4
Diam educ	0,5	0,33333333	0,33333333	0,5	0,5	2	1	1	5	0,5	5	4
Desviacion	0,25	0,33333333	0,33333333	0,25	1	0,2	0,2	0,2	1	1	1	1
Comp Afluen	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	4	3
Paraf y Asf	0,33333333	0,33333333	0,25	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	1	0,25	1	1
Corrocion	0,25	0,25	0,25	0,33333333	0,33333333	0,2	0,25	0,25	1	0,33333333	1	1
? yi=	6,61666667	6,66666667	6,58333333	12,0333333	14,6666667	27,2333333	23,65	17,15	34	9,08333333	33	37

	IP	q	RGL	h	Pe	API	Diam rev	Diam educ	Desviacion	Comp Afluen	Paraf y Asf	Corrocion
IP	0,1511335	0,15	0,15189873	0,16620499	0,20454545	0,18359853	0,16913319	0,11661808	0,11764706	0,11009174	0,09090909	0,10810811
q	0,1511335	0,15	0,15189873	0,16620499	0,20454545	0,14687882	0,12684989	0,17492711	0,08823529	0,11009174	0,09090909	0,10810811
RGL	0,1511335	0,15	0,15189873	0,16620499	0,20454545	0,14687882	0,12684989	0,17492711	0,08823529	0,11009174	0,12121212	0,10810811
h	0,07556675	0,075	0,07594937	0,08310249	0,03409091	0,18359853	0,16913319	0,11661808	0,11764706	0,11009174	0,06060606	0,08108108
Pe	0,05037783	0,05	0,05063291	0,16620499	0,06818182	0,11015912	0,08456666	0,11661808	0,02941176	0,11009174	0,06060606	0,08108108
API	0,0302267	0,0375	0,03797468	0,0166205	0,02272727	0,03671971	0,12684989	0,02915452	0,14705882	0,05504587	0,06060606	0,13513514
Diam rev	0,03778338	0,05	0,05063291	0,02077562	0,03409091	0,0122399	0,0422833	0,05830904	0,14705882	0,05504587	0,15151515	0,10810811
Diam educ	0,07556675	0,05	0,05063291	0,04155125	0,03409091	0,07343941	0,0422833	0,05830904	0,14705882	0,05504587	0,15151515	0,10810811
Desviacion	0,03778338	0,05	0,05063291	0,02077562	0,06818182	0,00734394	0,00845666	0,01166181	0,02941176	0,11009174	0,03030303	0,02702703
Comp Afluen	0,1511335	0,15	0,15189873	0,08310249	0,06818182	0,07343941	0,08456666	0,11661808	0,02941176	0,11009174	0,12121212	0,08108108
Paraf y Asf	0,05037783	0,05	0,03797468	0,04155125	0,03409091	0,01835985	0,00845666	0,01166181	0,02941176	0,02752294	0,03030303	0,02702703
Corrocion	0,03778338	0,0375	0,03797468	0,02770083	0,02272727	0,00734394	0,01057082	0,01457726	0,02941176	0,03669725	0,03030303	0,02702703

n= 12

? xi
1,71988848
1,66978275
1,70008578
1,18248526
0,97793199
0,73561917
0,76784301
0,88760152
0,4516697
1,22073734
0,36673775
0,31961726

? xi/n=	W
0,14332404	
0,13914856	
0,14167381	
0,09854044	
0,08149433	
0,0613016	
0,06398692	
0,07396679	
0,03763914	
0,10172811	
0,03056148	
0,02663477	

?W= 1

A.w
2,02660774
1,93764687
1,96820835
1,45506201
1,16016409
0,86934559
0,85161457
1,01425002
0,47198248
1,34420929
0,39810233
0,3415417

A.w/W
14,1400406
13,9250226
13,8925345
14,766141
14,2361322
14,181451
13,3091982
13,7122345
12,5396716
13,2137446
13,0262783
12,8231513

IC= 0,1497394

RC= 0,10117527

?max=	1/n? A.w/W=	13,6471334
-------	-------------	------------