

00568
5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

LAS LICITACIONES COMPETITIVAS EN MEXICO EN
EL AREA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE
PROYECTOS, CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE
LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN
DE GAS NATURAL DE LA INDUSTRIA PETROLERA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS
P R E S E N T A :
GUADALUPE MARTÍNEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS E. ESCOBAR TOLEDO



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F.

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
SOLICITUD DE REGISTRO DE TESIS

DATOS GENERALES

No. De Cuenta: 8518016-7 No. Expediente: _____

Nombre: MARTÍNEZ MARTÍNEZ GUADALUPE
primer apellido segundo apellido nombre(s)

Estado Civil: CASADA Dirección: SENT. A LA NAC. III-D-18

Colonia: LA COLMENA Estado: D.F. Delegación: IZTAPALAPA

C.P. 09170 Tel. Particular: 5777 29 50, 5732 83 66 Tel. oficina: _____

DATOS DE INSCRIPCIÓN

Año y semestre de ingreso: 2000-1 claves

Entidad Académica: FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM 5

Programa o plan de estudios: INGENIERÍA DE SISTEMAS 4039

Orientación: INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

Anote el nombre completo de la tesis:

LAS LICITACIONES COMPETITIVAS EN MEXICO EN EL AREA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS. CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS NATURAL DE LA INDUSTRIA PETROLERA.

Grado y nombre del Director de Tesis:

DR. CARLOS E. ESCOBAR TOLEDO

Tiempo estimado de realización de la Tesis: 12 MESES

No Institución que otorga la beca: CONACYT

Firma del Director de Tesis

Firma del Alumno

Firma del Jefe de la División o Coordinador del Programa

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

R E C O N O C I M I E N T O S

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por la oportunidad que me dio de realizar mis estudios de Maestría en Ingeniería. En especial a La Facultad de Química por su contribución en mi formación profesional.

Al **CONACyT**, por el apoyo económico que recibí, para la realización de mis estudios de Maestría.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Carlos E. Escobar Toledo, por su invaluable amistad, por su apoyo, por el asesoramiento en la realización del presente trabajo de Tesis y la confianza que depositó en mí para la realización de este trabajo.

A los integrantes del Jurado, por su colaboración y los comentarios que enriquecieron el trabajo de Tesis.

Al Dr. Julio Landgrave Romero por su ayuda y orientación en el desarrollo y consolidación de mi Maestría.

Al Ingeniero Filiberto Castillo, que me ayudó desinteresadamente en la realización de este trabajo.

DEDICATORIAS

A **Dios**, por lo que soy, por todo lo que me ha dado y por que ha estado a mi lado y me ha llevado en sus brazos, en los momentos más difíciles.

Al Ing. Salvador López Huitrón, por su amistad, su ayuda, su motivación en mi desarrollo profesional y especialmente por el gran amor que recibo constantemente.

Al regalo más preciado que Dios me ha dado, a mi pequeña que llena mi existencia y me motiva a ser mejor cada día, Carmín Cristina López Martínez.

A mis padres: **Sr. Roberto Martínez Hernández y Sra. Cristina Martínez Ángeles**, por ser el mejor pilar moral que un hijo puede pedir, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación a lo largo de mi vida. Por ser el ejemplo vivo de la superación constante, por enseñarme que no hay imposibles si uno lo desea.

A mis hermanas, Diana, Martha Cristina, Blanca y Anayely, por el gran apoyo y comprensión que he recibido siempre. Especialmente a Diana por su apoyo incondicional y por cuidar del tesoro más grande que poseo.

A mis cuñados con los que sé que cuento incondicionalmente. En particular a Arturo Velásquez, Rafael Barrón, Martín Nequis, Benjamín López, Eugenia López, Selene López, Eduardo López, Lidia López, Ismael

López, Eduardo López, Lidia López, Ismael López, Alfonso López . Especialmente a Arturo Velásquez Ramírez, que es como el hermano que nunca tuve.

A mis sobrinos, Diana Gpe, Mirozlava, Jonathan, Rafael, Beбето, Sisi, Omar, Eliel, Ulises, Pepe, Laura, Lupita, Giovanna, Ismael, Carmen, Cesar, Cris, Gaby, Norma, Paty, Alfonso, Brian, Angel y Cristian. Espero sea un ejemplo y una gran motivación para las metas que se propongan en un futuro.

A todos mis tíos, y en especial al Dr. Raymundo Martínez Ángeles, por sus buenos consejos y su amistad. Siendo un ejemplo a seguir profesionalmente.

A mis amigos que siempre han compartido conmigo las buenas y malas. En especial a Marco Antonio Rivera, Claudia García, Margarita González, Ma. Teresa Flores, Ana María, Carlos Miranda, Aída Méndez, Gerardo Espinoza, Virginia Quintana, Jorge Tamayo, Norma Aguilar.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

"Tened en mente que las cosas maravillosas que se aprenden en las escuelas son el trabajo de muchas generaciones, producidas por el esfuerzo entusiasta y la labor infinita en todos los países de la urbe. Todo esto se pone en nuestras manos como herencia para que la recibáis, honréis, aumentéis, y un día con toda nuestra fe, la traspaséis a vuestra descendencia. Esto es la forma en que nosotros los mortales logramos la inmortalidad en las cosas permanentes que creamos en común".

Alberto Eistein

	PAG.
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO 1: BASES PARA EL DESARROLLO DE UNA LICITACIÓN	
1.1 ¿QUÉ ES UN PROYECTO?	1
1.1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS PARTICIPANTES DE UN PROYECTO.	2
1.2 ¿CÓMO SURGE UN PROYECTO?	3
1.3 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA	4
1.3.1 LOS MEDIOS DE ÉXITO DE LA COMPETITIVIDAD	5
1.3.1.1 ESTRATEGIAS DE LIDERAZGO EN COSTOS	6
1.3.1.2 ESTRATEGIAS DE DIFERENCIACIÓN	7
1.3.1.3 ESTRATEGIA DE SEGMENTACIÓN COMPITIENDO EN COSTOS	7
1.3.1.4 ESTRATEGIA DE SEGMENTACIÓN COMPITIENDO EN DIFERENCIACIÓN.	7
1.4 EVALUACIÓN DE PROYECTOS	8
1.5 LOS COSTOS EN EL PROYECTO.	10
1.5.1 LOS COSTOS DE INVERSIÓN.	10
1.6 PROYECTOS DE REHABILITACIÓN Y DE EXPANSIÓN.	11
1.7 . LISTA DE COMPROBACIÓN Y CONTROL DEL CONTENIDO PARA CONCURSAR EN UNA LICITACIÓN.	11
1.8 DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA LICITACIÓN	20
1.8.1 ¿QUÉ ES UNA PROPUESTA?	21
1.8.2 ¿CÓMO SE HACE UNA PROPUESTA?	21
1.8.3 ¿CÓMO SE PUEDEN HACER MEJORES PROPUESTAS?	21
CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LAS LICITACIONES COMPETITIVAS	
2.1 ORÍGENES DE LAS LICITACIONES COMPETITIVAS	28
2.2 PROBABILIDAD BÁSICA	29
2.2.1 FIJACIÓN DE PRECIOS CUANDO SE CONCURSA CONTRA UN NÚMERO "N" COMPETIDORES.	32
2.2.2 CASO DE UN CONCURSO CON 3 LICITANTES.	35
2.2.3 OBTENCIÓN DE LAS FUNCIONES PARA DESCRIBIR LA INCERTIDUMBRE SOBRE EL PRECIO DE COMPETENCIA.	42
2.2.4 EFICIENCIA DE LOS MODELOS	43
2.2.5 INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DE NUESTRO COSTO	45
2.2.6 CASO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DEL COSTO DE ADICA	45
2.2.7 VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DEL PRECIO DE LA COMPETENCIA.	47

	PAG.
2.2.8 VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DEL PRECIO Y DEL COSTO CONJUNTAMENTE	48
2.3. TEORÍA DE LOS JUEGOS	48
2.4. ESTRATEGIA PROBABILÍSTICA.	50
2.5 FACTORES DISTINTOS AL PRECIO.	53
2.6 PAQUETES DE COMPUTO PARA LICITACIONES COMPETITIVAS	56
2.7 ESTRATEGIAS FRENTE A LA COMPETENCIA.	58
2.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS MODELOS PARA LAS LICITACIONES COMPETITIVAS.	59
2.8.1 CONSIDERACIÓN DEL CLIENTE	59
2.8.2 CONSIDERACIONES INTERNAS.	59

CAPITULO 3: ANÁLISIS JERÁRQUICO MULTICRITERIO

3.1 NATURALEZA DE LOS PROBLEMAS DE DECISIÓN	61
3.2 ESTRUCTURA DE UN PROBLEMA DE DECISIÓN	64
3.3 ANÁLISIS DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO	66
3.3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RELACIÓN DE SOBRECLASIFICACIÓN.	67
3.3.2 EXPLOTACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOBRECLASIFICACIÓN.	69
3.3.3 LA BÚSQUEDA DE VARIABLES CLAVE POR EL MÉTODO MICMAC.	70
3.3.3.1 LAS RELACIONES DIRECTAS E INDIRECTAS.	70
3.3.3.2 EL PRINCIPIO DE MICMAC : LA ELEVACIÓN EN POTENCIA DE LA MATRIZ.	71
3.3.4 LA ESCUELA NORTEAMERICANA	73
3.3.4.1 TOMA DE DECISIONES MULTIOBJETIVO	74
3.3.4.2 TOMA DE DECISIONES MULTIATRIBUTO	79
3.3.5 LA ESCUELA EUROPEA	89
3.4 CASO DE ESTUDIO "SELECCIÓN DEL LICITANTE PARA LA AMPLIACIÓN DE UNA PALNTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	89

CAPITULO 4: LAS LICITACIONES PARA EL CASO DE LA INDUSTRIA PETROLERA

4.1 ANTECEDENTES	97
4.2 TIPOS DE PROYECTOS	99
4.3 PROBLEMÁTICA DE LAS LICITACIONES EN LA INDUSTRIA PETROLERA	100
4.4 ASOCIACIONES EN PARTICIPACIÓN	100
4.5 PARTICIPACIÓN DE LA SECODAM	101
4.6 LEY DE OBRAS PÚBLICAS	102
4.7 METODOLOGÍA LA EVALUACIÓN PARA UNA LICITACIÓN	103
4.9 EXPERIENCIA EN UNA EVALUACIÓN	102
4.11 CASO DE ESTUDIO "EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS NATURAL PARA LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA	104

	PAG
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	109
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS.	
A: BASES DE PROBABILIDAD	
A.1 DEFINICIÓN DE PROBABILIDAD	117
A.2 AXIOMAS Y TEOREMAS DE PROBABILIDAD	118
A.3 TEOREMA DE BAYES	119
A.4 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	120
A.4.1 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BINOMIAL	122
A.4.2.DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD HIPERGEOMÉTRICA	122
A.4.3. MEDIA Y VARIANCIA DE UNA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	123
A.4.4.DISTRIBUCIÓN DE POISON	124
A.4.5.DISTRIBUCIÓN DE GEOMÉTRICA	124
A.4.6.DISTRIBUCIÓN DE NORMAL	124
A.4.7.DISTRIBUCIÓN DE UNIFORME	125
A.4.8.DISTRIBUCIÓN DE LOG-NORMAL	125
A.4.9.DISTRIBUCIÓN DE GAMMA	125
A.4.10.DISTRIBUCIÓN DE BETA	126
A.4.11.DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	127
A.4.12.DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR	127
A.4.13.DISTRIBUCIÓN DE EXPONENCIAL	128
A.4.14.DISTRIBUCIÓN DE LOGÍSTICA	128
A.4.15.DISTRIBUCIÓN DE PARETO	128
A.4.16.DISTRIBUCIÓN DE VALOR EXTREMO	128
A.4.17.DISTRIBUCIÓN BINOMIAL NEGATIVO	128
A.5 DENSIDADES DE PROBABILIDAD CONJUNTAS	131
A.6 APLICACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD EN LAS LICITACIONES COMPETITIVAS	132
B: TEORÍA DE LOS JUEGOS	
B.1 INTRODUCCIÓN	133
B.2 JUEGO DE DOS PERSONAS Y SUMA CERO	134
B.3 ESTRATEGIAS MIXTAS	135
B.4 SOLUCIÓN GRÁFICA DE $(2 \times n)$ y $(m \times 2)$	138
B.5 SOLUCIÓN POR PROGRAMACIÓN LINEAL (PL)	140
B.6 CUANDO EL JUEGO NO ES IGUAL A CERO	142
B.7 LIMITACIONES DE LA TEORÍA DE LOS JUEGOS	143
C: DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA JERÁRQUICA PARA LA SELECCIÓN DEL MEJOR LICITANTE PARA LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN, CON AYUDA DEL PAQUETE DE COMPUTO: DECISIÓN PLUS	144

PAG

D: DECISIÓN PLUS

D.1 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN DE DECISION PLUS	165
D.2 ESPECIFICACIÓN DEL MODELO DE DP	166
D.3 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA DE DECISIÓN	166
D.4 AJM o SMART	169

INTRODUCCIÓN

Debido a los créditos obtenidos para financiar los distintos proyectos de PEMEX y a la entrada de México a organismos como el GATT, el Tratado de Libre Comercio (TLC) con Norte América fue necesario llevar a cabo licitaciones internacionales.

En este tipo de licitaciones concursaron empresas de diversos países tales como: Japón, Corea, España, Estados Unidos, Canadá, etc., normalmente asociados con empresas constructoras y firmas de ingeniería mexicanas, sin embargo la participación de éstas últimas fue cuando más del orden del 20%.

Las empresas de origen coreano, motivadas por la crisis asiática, ofrecieron precios muy por debajo de los que pudieron ofrecer otras empresas, probablemente con apoyos de su propio gobierno, pues lo importante para esa nación era el no perder fuentes de empleo y recibir divisas, no importando el precio.

Como resultado de lo anterior, las empresas coreanas, tuvieron como política, el desarrollar toda la ingeniería en su país, dejando fuera a las empresas mexicanas, compartiendo únicamente la parte de construcción, en una pequeña proporción, con compañías mexicanas.

Por otro lado, los esfuerzos de la SECODAM, dentro del marco de la ley de Obras Públicas y servicios relacionados con la misma, para las licitaciones de proyectos industriales, se ha dirigido hacia el control, evaluación y fiscalización, que siendo lo más importante, buscar una mayor eficiencia en las operaciones. Por ello que es conveniente, que sin perder su función de vigilancia, se busquen mecanismos que permitan la mejor selección del licitante para el desarrollo de los grandes proyectos industriales, dentro de la normatividad vigente.

Cuando se concursa dentro de un proyecto "llave en mano" (ingeniería, la compra del equipo y la construcción) la ley de Obras Públicas, presenta limitaciones para diferenciar entre la calidad de una ingeniería y otra y el contrato se debe adjudicar a quien presente la oferta cuyo precio sea el más bajo.

Por todo lo anterior, las Licitaciones Competitivas tienen una importante función en nuestra economía y su atractivo va en incremento conforme aumenta la investigación de sus métodos. En la actualidad, el contratista fija el precio su licitación basándose en una o varias estrategias de la

empresa, manda su cotización y espera obtener el contrato. Basándonos en lo anterior las hipótesis son las siguientes:

Hipótesis 1: Para llevar a cabo una licitación competitiva, existen métodos y modelos que permiten al licitante incrementar el rango de la probabilidad de éxito en el concurso, respetando las restricciones y necesidades que la empresa licitadora (cliente) tiene como norma sin depender solamente la experiencia del tomador de decisiones y dependiendo del número de competidores presentes en la licitación.

Hipótesis 2: Una empresa licitadora (cliente), puede aplicar métodos y modelos para disminuir la subjetividad en la elección del probable licitante ganador, utilizando una metodología multicriterio para darle la importancia adecuada a cada variable de decisión que influya en la mejor selección del licitante.

Ambas hipótesis, dan como resultado que no sea solamente el precio la única variable que deba ser analizada y evaluada, si no que dado que existen factores distintos al precio, éstos pueden ser sujetos a evaluación.

Resumiendo, la aportación del trabajo es que muestra el empleo de modelos matemáticos a través de un caso de estudio de la industria petrolera en la obtención de mejor precio competitivo en el desarrollo de una propuesta y la selección del licitante.

Como en toda modelación, en las licitaciones competitivas, no se pueden considerar todas las variables que afectan a un sistema en específico, y en el caso de las licitaciones, los datos que se deben de alimentar al modelo a veces suelen ser insatisfactorios, pero bajo el análisis de un experimentado tomador de decisiones, pueden minimizarse tales limitaciones.

Las licitaciones que se presentan en la Ingeniería y Administración de Proyectos, deben llegar a un grado de competitividad tal que aumenten la probabilidad de éxito del concursante, y que reflejen en todas las etapas las bases específicas que el cliente haya impuesto para el proceso de licitación.

Por parte de la empresa u organización que emite el concurso debe también analizar otro tipo de variables diferentes al precio de los concursantes, de tal manera que al incluirlas, el proceso de decisión es del tipo multicriterio.

Para satisfacer las hipótesis anteriores, los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

1. **Plantear el estado del Arte de las licitaciones competitivas.**
2. **A partir del estado del arte, presentar la manera de utilizar las metodologías y modelos para obtener una licitación competitiva desde el punto de vista del cliente y desde el punto de vista del licitante.**
3. **Conocer la metodología utilizada por los evaluadores de una licitación y a partir de ésta, analizar si la metodología para la selección del mejor licitante pudiese ser usada.**
4. **Aplicar a un caso de estudio, las metodologías encontradas.**

El presente trabajo se dividió en 5 capítulos y 4 anexos; de los que se proporciona enseguida una breve explicación:

En el capítulo 1, "*Bases en el desarrollo de una licitación,*" aquí se explica lo que es un proyecto, como surge, las partes básicas de un proyecto en forma de una lista mínima de requerimientos; como se debe hacer una propuesta y la manera para elaborar una propuesta que aumente la

probabilidad de ganar. Lo previamente descrito sirve como base para abordar el tema de las licitaciones competitivas, dado que es necesario conocer lo antes dicho, antes de entrar al tema principal. Entendiendo lo que es un proyecto, se tendrá la visión suficiente para adentrarse a los antecedentes o estado del arte de las licitaciones competitivas, tema que se presenta en el siguiente capítulo.

Capítulo 2, "*Estado del arte de las licitaciones competitivas*," se proporciona el estado del arte de las licitaciones competitivas; en donde se explican los orígenes de este tema así como la forma en que ha evolucionado a través del tiempo, las investigaciones que se han llevado a cabo hasta la fecha y lo que falta por hacer al respecto. En este punto encontramos que no es fácil determinar una licitación competitiva para un licitador, si no se tiene conocimiento de la empresa, si no existe la manera de conocer la información de los competidores y, por ende, saber la probabilidad que tiene cada competidor con respecto al licitante que analiza esta oportunidad de poder ganar. Además de lo anterior, existen ciertas características distintas al precio de licitación para que se gane un concurso. En este capítulo se dan a conocer los modelos que se pueden utilizar por los licitadores para obtener una mayor probabilidad de éxito y así obtener licitación competitiva. Se presentan además, los distintos paquetes de computo que pueden ser utilizados para analizar una licitación competitiva.

En el capítulo 3, se presenta el "*Análisis Jerárquico Multicriterio (AJM)*," la cual es una metodología que se usará para evaluar el caso de estudio con el fin de encontrar aquel licitante que bajo ciertos criterios gane el concurso. El AJM parte del diseño de estrategias y su correspondiente análisis, para la Administración de Proyectos, lo cual ayudará a la elección de una línea de actuación futura, teniendo en cuenta distintos contextos probables. Lo anterior implica conjugar una visión determinista para cualquier tamaño de proyecto con la aleatoriedad de los sucesos futuros, impredecibles pero no necesariamente imprevisibles. El análisis de la decisión multicriterio o análisis de criterios múltiples, proporcionará a los tomadores de decisión, herramientas que les permita resolver un problema en donde existen varios atributos, en muchos de los casos contradictorios, que deben tomarse en cuenta. Tal es el caso de las evaluaciones de una licitación en la industria del Petróleo, se presenta un Caso de Estudio para la Industria Petrolera.

En el capítulo 4, se exponen "*Las licitaciones en el área de la Industria Petrolera*," dando ciertos antecedentes de esta industria, así como el marco legal en que esta soportada, la metodología que esta industria utiliza para evaluar las licitaciones en concurso. Además, se presenta un caso de estudio, el cual es, la evaluación de las mejoras de una estación de compresión de gas natural de la Industria Petrolera mexicana, en donde se utilizó la metodología que se expuso en el capítulo 3 (método jerárquico multicriterio), para lo cual se uso, paquete de computo Decisión Plus, el cual hizo el desarrollo del método más sencillo.

En el capítulo 5, se dan las "*Conclusiones y recomendaciones*" del presente trabajo.

Asimismo, se presentan 4 anexos donde se destacan algunos temas de suma relevancia en el desarrollo de esta tesis:

Anexo A, en donde se dan las "*Bases de Probabilidad*", necesarias para entender la incertidumbre de la oferta y la demanda en una licitación competitiva.

Anexo B, "*Teoría de los juegos*", como una metodología que parte de la base de ciertas estrategias, para ayudar a obtener el éxito de un jugador y por ende la pérdida de los demás, o la concertación entre los jugadores a través, por ejemplo de alianzas estratégicas.

En el Anexo C, se presenta la *“Descripción de la estructura jerárquica para la selección del mejor licitante para las mejoras de una estación de compresión, con ayuda del software: Decisión Plus,”* describiéndose ampliamente la estructura jerárquica del caso de estudio.

En el Anexo D, *“Decisión Plus”*, se presentan las principales características del *software*, proporcionando una breve explicación de éste, como se usa y como se utilizó en el presente trabajo.

BASES PARA EL DESARROLLO DE UNA LICITACIÓN

En este capítulo, se pretende mostrar al lector las etapas anteriores a una propuesta para una licitación desde el punto de vista del licitante en la industria petrolera mexicana tomando como base contratos de Ingeniería, Procura y construcción (IPC).

El primer paso para tener una Licitación competitiva (antes de entrar a sus los métodos y metodologías) es entender ciertos conceptos útiles, para que la presentación de una licitación sea buena y sea tomada en cuenta por el cliente. Antes que nada, se requiere que los participantes en el desarrollo de una licitación, conozcan el concepto de proyecto y como surge, ya que al entender este concepto y las necesidades, metas y objetivos que le dieron origen; el desarrollo de una licitación aumentar su probabilidad de éxito.

El Ingeniero y Administrador de Proyectos, deberá saber ubicar a los participantes de una licitación de modo que les sepa transmitir los objetivos y alcances del mismo. Dado que el principal objetivo de una empresa es obtener ganancias por medio del gane de licitaciones, una de las principales áreas que debe de conocer y entender el Ingeniero y Administrador de Proyectos es la planeación estratégica, que le permitirá ayudar a su empresa a conseguir el objetivo antes mencionado, la planeación estratégica es importante en una organización y los medios para seguir siendo competitivos son útiles, para conseguir el éxito de la empresa. Otra área que es necesaria conocer es la evaluación de proyectos, dado que esta nos dará la información necesaria acerca de las ventajas y desventajas de invertir en un proyecto, de lo contrario se puede ganar una licitación sin que esto signifique ganancias para la empresa. Es necesario que se conozca el contenido necesario para una licitación y como debe ser presentada para ser tomada en cuenta por el cliente.

Por lo que en este capítulo, se trataran de abordar los temas antes mencionados, para que posteriormente en el capítulo 2, se desarrollen los métodos que se tienen hasta ahora para obtener el precio para una licitación competitiva, desde el punto de vista del licitante.

1.1 ¿QUÉ ES UN PROYECTO?

Antes de entrar de lleno al tema de las Licitaciones Competitivas, se debe definir lo que es un proyecto. Dentro del marco de los análisis técnico-económicos, el proyecto se define como: el plan prospectivo que involucra numerosas actividades, capaz de materializar algunos aspectos del desarrollo económico y social, proponiendo la producción de algún bien o servicio de acuerdo con uno o varios objetivos únicos y perfectamente definidos, empleando cierta tecnología para obtener alguna ventaja; además, supone la indicación de los medios necesarios para su realización y la adecuación de estos a los resultados que se persiguen, requiriendo invertir tiempo, dinero, habilidades y esfuerzo. Es decir se planean las actividades a realizar de acuerdo a ciertas ventajas

y desventajas (tecnológicas, económicas, sociales, etc.) que se derivan de asignar ciertos recursos para la producción de determinados bienes o servicios¹.

Con el fin de garantizar que los recursos que sean asignados a un proyecto de inversión, sean bien aprovechados; se han incorporado diversas disciplinas al estudio del mismo, tales como la evaluación del riesgo y la incertidumbre, estudios de impacto ambiental, de calidad, del proceso de innovación tecnológica y los llamados métodos "multicriterio" o de atributos múltiples, en donde se hace énfasis en que no es solamente la rentabilidad el único criterio a considerar.

1.1.1 Objetivos y Alcances desde el punto de vista de los participantes de un proyecto.

En una organización licitadora, la práctica actual es modelar a la empresa por proyecto, considerándolo como la célula de la organización de donde provendrá la necesidad de tomar decisiones; en este caso, el tomador de decisiones actuará preguntándose ya no cual es el problema, sino cual es el proyecto; no contentándose con un proyecto ni buscando las aplicaciones conocidas, sino haciendo explícitas las finalidades implícitas acordes con su planeación estratégica.

Por complejo que sea un proyecto de inversión debe establecer como punto de partida los objetivos buscados. Dichos objetivos deben ser armónicos con la visión y misión empresariales del contratista, tomando en cuenta la diversidad de intereses de las personas relacionadas con la empresa:

- Los **accionistas** buscan reforzar y acrecentar su patrimonio, para recibir periódicamente el rendimiento de su inversión y garantizar la supervivencia y progreso de la empresa a largo plazo.
- La **gerencia** contempla los proyectos de inversión como un mecanismo para llevar a cabo modificaciones, ampliaciones o nuevas instalaciones productivas que refuercen su gestión directiva.
- Los **empleados y trabajadores** esperan que los proyectos de inversión faciliten su trabajo, les permiten lograr una mayor productividad y mejoren su calidad de vida.
- Las **instituciones financieras** buscan garantizar el repago de los créditos otorgados y un crecimiento sostenido que represente mayores oportunidades de negocios.
- Los **proveedores** estarán dispuestos a participar en el proyecto -incluso financieramente- en la medida en que implique un fortalecimiento de sus relaciones con el cliente para afianzarse en sus mercados.
- Los **clientes** verán con buenos ojos cualquier proyecto -y ocasionalmente también estarán dispuestos a prestar su colaboración - que mejore el servicio, garantice la calidad y las

¹ PEMEX & IMP "Evaluación de las Tecnologías en la industria de la refinación del petróleo", sept. de 1998, pag. 7.

mejoras continuas y les genere un mayor valor en uso de los productos y servicios de su proveedor.

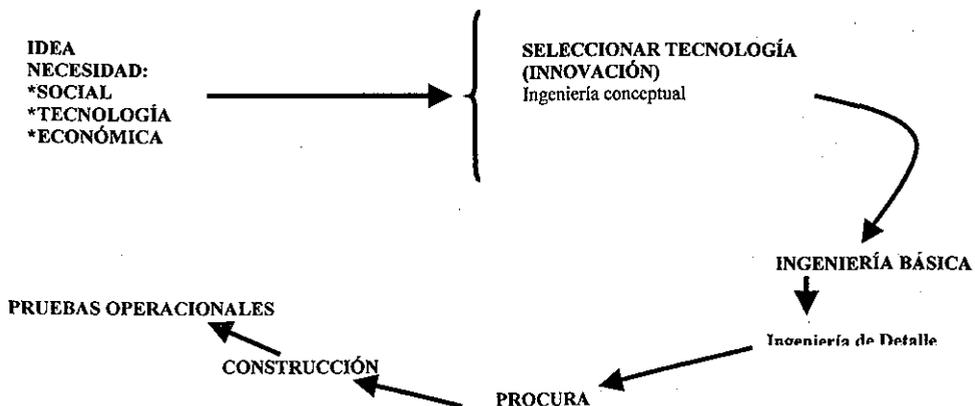
Sin embargo, la mayor parte de los proyectos de inversión se relacionan con objetivos de mejoras y avances para lograr una mayor participación en los mercados y se pueden clasificar en una de las siguientes categorías:

- Manufactura de nuevos productos.
- Integración vertical u horizontal.
- Mejoras de Calidad.
- Nuevas tecnologías.
- Expansión de la capacidad productiva.
- Automatización de procesos productivos.
- Sustitución de equipos.

1.2 ¿CÓMO SURGE UN PROYECTO?

Esta pregunta es de interés general tanto para el cliente como para el contratista, pero en especial para el último, ya que de aquí, se iniciaría la competencia con los demás licitadores, dado que si se entiende la problemática del proyecto en sí, se tendrá más oportunidades de éxito. Un proyecto desde el punto de vista Ingenieril surge de acuerdo a ciertas ideas y necesidades: sociales, económicas y/o tecnológicas, las cuales después de su análisis se logra saber si existe la tecnología necesaria para llevarlo a cabo y si se puede innovar el proceso; en la figura 1.1, se da de manera esquemática las etapas de un proyecto desde que surge hasta que se lleva a cabo y se finaliza.

FIGURA 1.1. ETAPAS DE UN PROYECTO



El desarrollo de un proyecto en sí puede ser visto desde su etapa inicial hasta la operación de la planta en forma de ciclos, que pueden dividirse en tres fases: la preinversión, la inversión y la operacional. Todas ellas se agrupan en la figura 1.2.



FIGURA 1.2

Indudablemente, es útil conocer los aspectos anteriores del desarrollo de un proyecto desde la concepción de la idea, sin embargo, no se debe de olvidar la necesidad de conocer las políticas industriales y los objetivos del Plan Estratégico, dado que este es el que regula la decisión de cómo, qué y para quién invertir, por lo que el juego de la oferta y la demanda se ven afectados por él.

1.3 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

El propósito básico de la Planeación Estratégica se centra en la formulación y desarrollo de la mejor estrategia que conduzca al logro de las metas de la organización del contratista (crecimiento en la rentabilidad y ganancias, penetración en el mercado, productividad, satisfacción del cliente y el empleado, imagen, etc.) y de sus programas de acción que las soporten. El proceso clásico de la Planeación Estratégica obedece a una metodología simple y lógica de seis pasos:

1. Descripción de la misión y los alcances en el negocio de la empresa, sus metas y objetivos.
2. Análisis del ambiente externo (Alcance Construcción) en las tendencias tecnológicas, dinámica del comportamiento de los competidores (c.) para la determinación de las amenazas y oportunidades de la empresa.

Comprenden elementos del ambiente externo los siguientes:

- *Determinación de las oportunidades y amenazas externas*
- *Segmentación del Mercado*
- *Industria y Competencia*
- *Tecnología*

3. Análisis de los recursos disponibles (humanos, financieros, tecnológicos), el ambiente interno de la organización.

Comprenden elementos del ambiente interno los siguientes:

- *Determinación de las fuerzas internas y debilidades de la empresa*
- *Finanzas*
- *Productos / Servicios*
- *Capacidades*

4. Formulación y evaluación de posibles estrategias que conduzcan al cumplimiento de los objetivos organizacionales y la selección de la mejor estrategia.

La estrategia, según *Massé*, “es una conducta y una trayectoria que debe seguirse para convertirse en el antiazar.” *Minizberg* sostiene que “la estrategia es un plan unificado, comprensible e integrado para asegurar los objetivos básicos, metas y resultados que la empresa pretende alcanzar.”

La estrategia cumple con dos propósitos:

El primero es el posicionamiento externo de la empresa en relación con sus competidores en una determinada industria, a través de una adecuada relación de las fuerzas y debilidades de la empresa con las amenazas y oportunidades del mercado.

El segundo propósito de la estrategia es la alineación interna de todas las actividades e inversiones de la empresa. Debido a que la estrategia claramente articula la posición de los productos en el mercado, las actividades de la organización en todas sus funciones, desde la I&DT hasta el mercadeo, deben ser consistentes entre cada una de ellas. De la misma manera, las inversiones pueden ser elegidas para que se refuercen entre ellas y proporcionen un cúmulo sobre el tiempo en la creación de nuevas y mejores ventajas competitivas.

Sin embargo es importante resaltar que la elección de cualquier estrategia trae de forma implícita un riesgo inherente. El riesgo se compone no solo de la probabilidad de éxito o efectividad de la estrategia seleccionada, sino también del número de recursos que la compañía debe asignar a esa estrategia, así como el tiempo en el cual dichos recursos no se encontrarán disponibles para otros usos.

5. Determinación de los recursos necesarios para implantar la estrategia y la obtención de los recursos faltantes.
6. Si los recursos requeridos no se pueden obtener o si éstos implican un riesgo demasiado alto, será necesaria la revisión de los objetivos generales del negocio y se repite el proceso entero.

1.3.1 LOS MEDIOS DE ÉXITO DE LA COMPETITIVIDAD

Los medios de éxito de la competitividad, utilizables por la empresa licitadora, son múltiples por las diferentes combinaciones posibles; estos medios están, sin embargo, limitados cuando se analiza su contenido. Así es posible identificar tres medios de éxito para la competitividad, que son: los costos, el valor y el tiempo, que se engloban en otras variables que se presentan en esta sección. Dependiendo del acento que la empresa ponga en uno de éstos, se efectuará la elección de una estrategia y de un posicionamiento competitivo específicos. Sin embargo, esta elección y, de una manera más general, el conjunto de las elecciones estratégicas, se lleva a cabo con relación al entorno más o menos conocido dentro del cual evolucionan otros actores. No obstante, parece ser que la efectividad y el desempeño de la empresa resultarán finalmente de la ponderación de estos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

tres medios y de sus consecuencias sobre la gestión y sobre la organización en las cuales la empresa se apoyará. Es conveniente realizar una síntesis de las estrategias para cada medio de éxito.

Porter, propone para el desarrollo de estrategias funcionales, el modelo de *estrategias competitivas genéricas*, el cual se basa en dos principales estrategias para la competitividad de las organizaciones en una determinada industria: La estrategia de bajo costo y la estrategia de diferenciación.

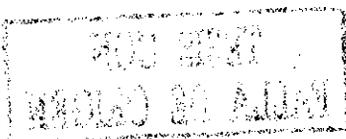
La estrategia de bajo costo radica en la habilidad de la organización para diseñar, producir y ofrecer un producto que en comparación a la competencia resulte más eficiente. En contraste, la estrategia de diferenciación es la habilidad para ofrecer un valor único y superior al comprador en términos de calidad de producto, características especiales o servicio posventa. Porter además menciona que la ventaja competitiva de la empresa en una industria estará determinada por su alcance competitivo, es decir, la amplitud de su objetivo de mercado, a manera de explicación para lo anterior se presenta la figura 1.3.



1.3.1.1 ESTRATEGIAS DE LIDERAZGO EN COSTOS

Es la estrategia competitiva enfocada a amplios sectores de mercado que consiste en alcanzar y mantener costos más bajos que los que ofrecen los competidores utilizando la curva de aprendizaje. La elección de este tipo de estrategia supone ciertas condiciones del entorno industrial y de la organización de la empresa.

Ofrece una protección contra los competidores porque los precios bajos son una barrera de entrada contra otros competidores, ya que pocos serán capaces de alcanzar esta ventaja. Para ello es necesario poseer una penetración de mercado u otras ventajas importantes como el acceso a insumos o materias primas de menor costo.



Habilidades y recursos comúnmente requeridos	Requerimientos organizacionales comunes
Alta capacidad de inversión, es decir, disponibilidad de capital. Habilidad en Ingeniería de proceso Innovación continua y mejora de procesos. Cuidadosa supervisión de la fuerza laboral. Productos diseñados para una fácil manufactura. Sistemas de distribución de bajo costo.	Control estricto de costos Reportes de control frecuentes y detallados Organización y responsabilidades adecuadamente estructuradas Incentivos basados en el alcance de metas cuantitativas.

1.3.1.2 ESTRATEGIAS DE DIFERENCIACIÓN

Esta estrategia está dirigida también a amplios sectores de mercado y se basa en la creación de un producto o servicio que es considerado como único en la industria. La diferenciación protege de la competencia de tal forma que mantiene a los compradores en la preferencia de una marca o empresa y esto reduce sensiblemente los costos. Las características de esta estrategia estriban en lo siguiente:

Habilidades y recursos comúnmente requeridos	Requerimientos organizacionales comunes
Fuerte habilidad de comercialización. Fuerte capacidad en Investigación y desarrollo. Habilidad en Ingeniería de producto. Instinto de creatividad. Renombrada reputación empresarial de calidad y liderazgo tecnológico. Tradicición en la industria o combinación de habilidades únicas derivadas de otros negocios. Fuerte cooperación con los proveedores y canales de distribución	Fuerte coordinación entre las funciones de I&DT, producción y comercialización. Medición e incentivación subjetiva de resultados mas que mediciones cuantitativas. Personal altamente capacitado en habilidades científicas, de operaciones y con gran creatividad.

1.3.1.3 ESTRATEGIA DE SEGMENTACIÓN COMPITIENDO EN COSTOS

Estrategia de bajo costo que se enfoca en un grupo particular de compradores potenciales o mercado geográfico que tiene como intención servir únicamente a este nicho de mercado, en exclusión a otros. Al utilizar la estrategia de segmentación compitiendo en costos, la organización busca una ventaja de costo en su segmento objetivo. Esta estrategia cobra valor debido a que la compañía que centra sus esfuerzos en un estricto campo específico posee una mejor capacidad de atender a sus clientes que sus competidores.

1.3.1.4 ESTRATEGIA DE SEGMENTACIÓN COMPITIENDO EN DIFERENCIACIÓN.

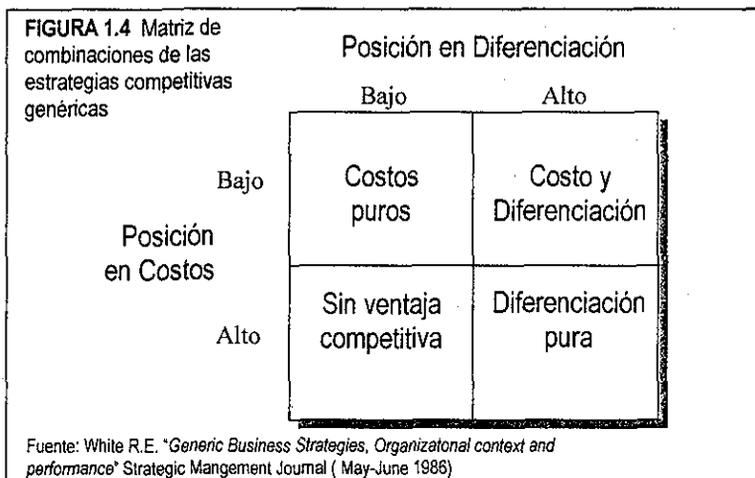
Esta estrategia, al igual que la anterior se concentra en un grupo particular de compradores, una línea de productos o un mercado geográfico. El segmento objetivo debe poseer necesidades inusuales de compra o necesidad de sistemas de producción y entrega con una mejor atención, lo cual distingue a la compañía sobre sus competidores. La organización busca con esta estrategia

diferenciarse en su segmento objetivo de sus competidores. El valor de esta estrategia se basa en el enfoque de esfuerzos en un segmento específico para poseer una capacidad de servicio a los clientes más efectiva que la de los competidores.

Porter afirma que toda organización debe retomar alguna de estas estrategias competitivas genéricas, de lo contrario la empresa se quedará estancada en el mercado sin ofrecer ninguna ventaja competitiva.

También se ha comprobado que es posible que las estrategias de bajo costo y alta diferenciación se encuentren en conjunto y produzcan resultados exitosos. Incluso esto resulta en concordancia con los principios de W.E. Deming que menciona que la calidad y la productividad (producción a bajo costo) son totalmente compatibles "siendo necesario mejorar constantemente y para siempre los sistemas de producción y servicio, para mejorar la calidad y la productividad dando como consecuencia un decremento en los costos".

Las estrategias de liderazgo en costos y diferenciación, en vez de considerarlas como estrategias separadas, se pueden combinar ambas para formar otras variaciones tal como se muestra en la figura 1.4.



A pesar de que es posible para una compañía alcanzar las estrategias de bajo costo y diferenciación simultáneamente, este estado a menudo es temporal debido a que la diferenciación es generalmente costosa.

1.4 EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Uno de los mayores errores en la evaluación de las virtudes de un proyecto de inversión consiste en considerarlo como un caso aislado. Difícilmente se puede concebir como algo independiente; generalmente se ve afectado por el desarrollo armónico interno, la estructura organizacional y las habilidades y conocimientos de los recursos humanos de la empresa. Si no se toman en cuenta las

condiciones internas de la empresa y su posible interferencia con las condiciones cotidianas, un proyecto puede fracasar estrepitosamente.

La evaluación de un proyecto debe tomar en cuenta las consecuencias económicas del mismo a lo largo de un periodo dado, que constituye *el horizonte económico de planeación o vida de la inversión*. Para los fines de la evaluación del proyecto, se consideran los siguientes factores:

- Los productos que tienen una cierta vida o duración, tras la cual dejan de ser necesarios o son superados por otros y que se refiere a su ciclo de vida, como se observa en la Figura 1.5:

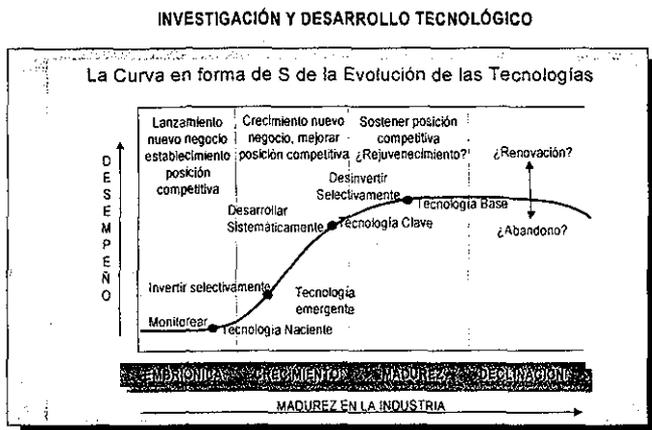


FIGURA 1.5

- La vida útil de los equipos que está determinada por el deterioro y la obsolescencia.
- La capacidad de prever los sucesos económicos futuros, sobre todo a largo plazo que dista mucho de ser una ciencia exacta.
- Los cambios tecnológicos cada vez más rápidos y frecuentes que generan consecuencias muy difíciles de prever.
- El grado de subjetividad que todo proyecto implica para el inversionista: su dinero en el presente *versus* el valor futuro.
- El rendimiento o tasa de retorno de un proyecto no es una medida absoluta de su viabilidad; depende en alto grado del giro de la empresa, las condiciones macroeconómicas y la vida útil del proyecto, y debe considerarse en el mejor de los casos como una medida comparativa para jerarquizar inversiones.

Todos estos factores componen en su conjunto el proceso de evaluación de un proyecto, cuyas principales etapas pueden describirse de la siguiente manera:

1. Cualquier proyecto debe formar parte de un **plan de negocios**. A menos que se trate de un proyecto para crear una empresa totalmente nueva, sería absurdo pretender proyectar una adición, expansión o mejora sin tomar en cuenta su interrelación con lo que ya existe.
2. El proyecto debe tener **objetivos claros y precisos** de lo que se espera obtener y cuando se debe lograr, incluyendo indicadores periódicos durante la etapa de implantación.
3. Se deben incluir y describir las **premisas macroeconómicas** empleadas para la elaboración de las proyecciones. Aún sabiendo que las predicciones tienen un alto contenido aleatorio, servirán para compararlas periódicamente con la realidad, cuantificar las desviaciones y aplicar las correcciones de rumbo.
4. Es importante definir el **marco de tiempo**. Todo proyecto debe tener como tal, un principio, un fin y etapas intermedias perfectamente definidas.
5. Se deben programar las **necesidades inherentes** al proyecto en el marco de tiempo definido. Aunque es por supuesto indispensable que los fondos de inversión estén disponibles en el momento en que se requieran, las necesidades financieras no son las únicas. Debe considerarse también el personal necesario y su capacitación, los trámites de permisos gubernamentales, etc.
6. La mejor manera de **integrar y administrar** todos estos factores en un solo documento de trabajo consiste en preparar un diagrama de ruta crítica. En esencia este tipo de diagramas son mapas en el tiempo de las actividades de un proyecto y la secuencia obligada de muchas de ellas.

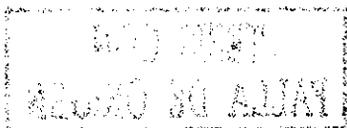
Aunque cada estudio de inversión es único y distinto de otros, existe una estructura general de evaluación como la figura 1.6.

1.5 LOS COSTOS EN EL PROYECTO.

El **precio** de un bien es el monto monetario pagado por la posesión de dicho bien en una operación de compraventa. Esto implica que el precio de un bien poco tendrá que ver con el valor, cualquiera que sea la manera de determinarlo, pues siempre habrá alguien dispuesto a pagar más o menos en función de sus deseos y expectativas. De aquí surge el concepto de **costo**, que se refiere al monto erogado por el bien o servicio requerido para integrar un proceso empresarial.

1.5.1 LOS COSTOS DE INVERSIÓN.

Los costos de inversión se refieren en general a las inversiones que habrá que realizar para llevar a cabo el proyecto. En forma simplificada, éstos son:



<i>Inversión Fija:</i>
Preparación del sitio.
Tecnología, Patentes, permisos
Equipo de Producción.
Equipo de Servicio Auxiliar.
Tecnología de protección ambiental, disposición de desechos, servicios de infraestructura interna.
Piezas de recambio, herramientas, etc.
Ingeniería:
Construcción
Costos de la ingeniería básica y de detalle
Costos de diseño del proyecto
Transportación y manejo
Seguros
Gastos en la etapa de pre-producción:
Costos de estudios previos
Costos de implantación y mercadeo
Reclutamiento de personal
Arranque
Intereses sobre préstamos
<i>Capital de trabajo (tesorería)</i>

1.6 PROYECTOS DE REHABILITACIÓN Y DE EXPANSIÓN.

Los proyectos de rehabilitación o re-ingeniería así como los de expansión se llevan a cabo de acuerdo al ciclo de vida de la tecnología del producto o del proceso.

Si la obsolescencia o aún el deterioro de la tecnología o del propio producto se han ya visualizado, será necesario modernizar las instalaciones y se entrará en la fase de tomar decisiones de cuando reemplazar un equipo o equipos, la tecnología entera o el producto.

Los proyectos de expansión de la capacidad instalada se llevarán a cabo cuando:

Existe la necesidad de incrementar cuantitativamente el producto y co-productos por necesidades del mercado o por satisfacer necesidades de exportación y tiene que analizarse bajo la óptica del camino de expansión del productor de acuerdo a conceptos microeconómicos.

- Cambios en los programas de producción, por la adición de nuevos productos.

1.7. LISTA DE COMPROBACIÓN Y CONTROL DEL CONTENIDO PARA CONCURSAR EN UNA LICITACIÓN.

En esta sección se da en términos generales lo que debe de contener un proyecto a concursar, llamada lista de comprobación y control (chek list), considerando usar el sentido común para descartar al emplearla, todo lo que no concierna al tipo de proyecto real que se este evaluando.

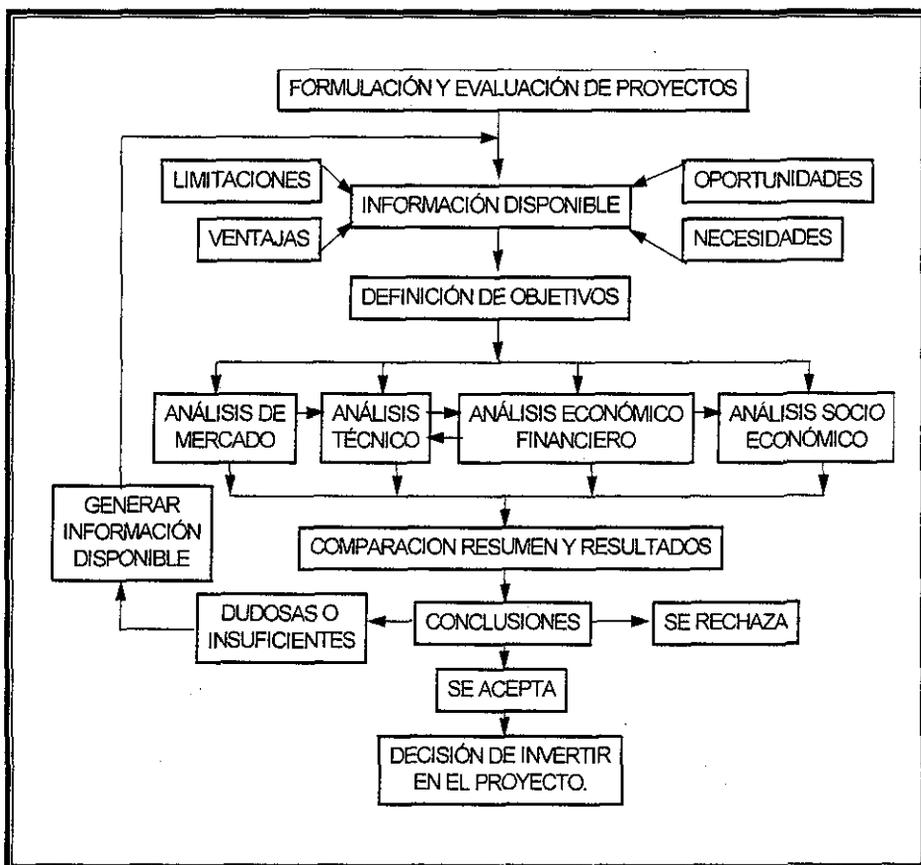


FIGURA 1.6

I. DESCRIPCIÓN SUMARIA DEL PROYECTO

a) Objetivos del proyecto

- i) Identificación del producto
 - Calidad
 - Destino
 - Grado de especialidad Durabilidad
 - Usuarios o consumidores
- ii) Caracterización del proyecto.
 - Naturaleza
 - Importancia
 - Ubicación sectorial y localización física

b) Síntesis de las conclusiones

- i) Desarrollo del estudio del mercado
 - Demanda actual del producto y su proyección
 - Oferta Actual y futura

- Fracción de la demanda que atenderá el proyecto
- ii) Del estudio técnico
 - Capacidad instalada
 - Insumos críticos
 - Tecnología
 - Rendimientos técnicos
 - Localización
 - Obras físicas principales y características
 - Características principales de la empresa como organización
 - Fechas principales de la realización del proyecto
 - Costo e producción total unitario en funcionamiento normal
 - Del Estudio Financiero
 - Necesidades totales de capital
 - Capital propio y créditos
 - Ingresos y gastos en funcionamiento normal
 - Punto de nivelación
- iii) De la evaluación económica
 - Principales relaciones del proyecto en la economía del país, región y sector.
 - Criterios adaptados para la evaluación.
 - Principales indicadores y coeficientes utilizados.
 - Síntesis de las conclusiones de la evaluación del plan de ejecución.
 - Fechas importantes de iniciación y terminación de las tareas de ejecución del proyecto.
 - Alternativas de plazos de ejecución y sus costos

II. ESTUDIO DE MERCADO

a) El producto en el mercado

- i) Producto principal y subproductos
- ii) Productos sustitutivos o similares
- iii) Productos complementarios

b) El área del mercado

- i) Población
 - Contingente actual y tasa de crecimiento.
 - Estructura y sus cambios
- ii) Ingresos
 - Nivel actual y tasa media de crecimiento
 - Estratos actuales y cambios en la distribución
- iii) Factores limitativos de la comercialización o distribución
 - Alterables (plazo viable para alterarlos)
 - Inalterables

c) Comportamiento de la demanda

- i) Situación actual
 - Series estadísticas básicas
 - Estimación de la demanda actual
 - Distribución espacial y tipología de los consumidores
- ii) Características teóricas de la demanda
 - Coeficientes de crecimiento histórico

- Índices básicos y funciones y curvas de demanda.
- iii) Situación futura - Proyección de la demanda
 - Extrapolación de la tendencia histórica.
 - Análisis de los factores condicionantes de la demanda futura.
 - Previsión corregida y calificada de la demanda futura
- d) *Comportamiento de la oferta*
 - i) Situación actual
 - Series estadísticas básicas
 - Estimación de la oferta actual
 - Inventario crítico de los proveedores principales.
 - ii) Análisis del régimen de mercado
 - Naturaleza y grado de la intervención estatal
 - Grado de competencia entre los proveedores
 - iii) Situación futura - Evaluación previsible de la oferta
 - Utilización de capacidad ociosa
 - Planes y proyectos de ampliación de la capacidad instalada
 - Análisis de los factores que condicionan la evolución previsible
 - Estimación corregida y calificada de la oferta futura
- d) *Determinación de los precios del producto*
 - i) Mecanismos de formación de los precios del producto
 - ii) Márgenes de precios probables y su efecto sobre la demanda
 - Análisis de las series históricas de precios
 - Hipótesis de evolución futura de los precios
 - Influencia prevista de los precios en la cuantía de la demanda
- e) *Posibilidades del proyecto (posición en el mercado)*
 - i) Condiciones de competencia del proyecto
 - ii) Demanda potencial del proyecto

III. ESTUDIO TÉCNICO

ESTUDIO BÁSICO

A. Tamaño

a) Capacidad del proyecto

- i) Definición del tamaño
- ii) Capacidad diseñada
- iii) Márgenes de capacidad utilizables
 - Reservas
 - Sobrecarga posible
 - Fraccionamiento

b) Factores condicionantes del tamaño

- i) Dimensión del mercado
- ii) Capacidad financiera
- iii) Disponibilidad de insumos materiales y humanos
- iv) Problemas de transporte
- v) Problemas institucionales
- vi) Capacidad administrativa

c) Justificación del tamaño en relación con el proceso y la localización

B. Proceso

1. Descripción de las unidades de transformación (separando las existentes y las proyectadas)

a) Descripción del proceso de transformación

- i) Insumos principales y secundarios

- ii) Insumos alternativos y efectos de su empleo
- iii) Productos principales, subproductos e intermedios
- iv) Residuos
- v) Identificación y descripción de las etapas intermedias
- vi) Diagrama de flujo del proceso total
- b) *Descripción de las instalaciones, equipos y personal*
 - i) Del proceso de transformación
 - ii) De los sistemas complementarios
- 2. Calificación de las unidades existentes
 - a) *Calificación del diseño* (proceso de transformación e instalaciones)
 - i) Problemas de adecuación
 - ii) Problemas de escala de producción
 - b) *Calificación de la operación*
 - i) En cuanto a insumos
 - ii) En cuanto a instalaciones
 - iii) En cuanto a productos
 - iv) En cuanto a mano de obra
 - v) En cuanto a economías externas
 - c) *Posibilidades de expansión de la capacidad utilizada*
 - i) Capacidad ociosa
 - ii) Instalaciones incompletas
 - iii) Sobredimensionamiento de diseño
 - iv) Expansión por cambios tecnológicos
- 3. Justificación de las unidades nuevas
 - a) *Justificación técnica del proceso de transformación*
 - i) Condiciones iniciales
 - Insumos importados
 - Insumos nacionales disponibles en el mercado
 - Insumos nacionales cuya producción se desarrollará
 - Factores restrictivos o condicionantes
 - ii) Inventario crítico de los procesos existentes
 - iii) Criterios de selección de alternativas y orden de su aplicación
 - iv) Análisis de la escala de producción
 - b) *Justificación de las instalaciones, equipos y personal*
 - i) Del proceso de transformación
 - ii) De los sistemas complementarios
 - c) *Capacidad de expansión de las instalaciones*
 - d) *Justificación del proceso en relación con el tamaño y la localización*

C. Localización

- 1. Descripción
 - a) *Microlocalización*
 - b) *Integración en el medio*
 - i) Condiciones naturales, geográficas y físicas
 - ii) Economías externas
 - iii) Condiciones institucionales
 - c) *Ordenamiento espacial interno*
 - i) Dimensiones y características técnicas del terreno
 - ii) Distribución de las instalaciones en el terreno
 - iii) Flujo grama espacial
- 2. Calificación y/o justificación
 - a) *Con relación al medio*
 - i) Razones de geografía física

- ii) Economías y deseconomías externas
- iii) Razones institucionales
- b) *Con relación a las características del terreno*
 - i) Del proceso productivo
 - ii) Del programa de expansión
- c) *Distancias y costos de transporte*
 - i) De los insumos
 - ii) De los productos
- d) *Posibilidades de conexión de las unidades nuevas con las existentes*
 - i) En la solución de los problemas actuales de localización
 - ii) En la expansión de las instalaciones actuales
- e) *Justificación de la localización en relación con el tamaño y el proceso*

ESTUDIO COMPLEMENTARIO

D. Obras físicas

- a) *Inventario*
 - i) Relación y especificación de las obras que se realizarán
 - ii) Clasificación funcional y características específicas de las obras
- b) *Dimensiones de las obras*
 - i) Exigencias en terrenos
 - ii) Dimensiones materiales y físicas
- c) *Requisitos de las obras*
 - i) Materiales
 - ii) Mano de obra
 - iii) Equipos, maquinarias, herramientas e instalaciones para construcción
- d) *Problemas específicos*
 - i) Resultantes de condiciones geográficas y físicas
 - ii) Resultantes de problemas institucionales
- e) *Costos*
 - i) Costos unitarios de los elementos de obra
 - ii) Costos totales de las obras

E. Organización

- a) *Organización para la ejecución*
 - i) Entidades ejecutoras
 - ii) Tipos de contratos de ejecución
 - iii) Administración y control de la ejecución
- b) *Organización para la operación*
 - i) Establecimiento progresivo de la organización
 - ii) Planteamiento de la organización jurídico-administrativo
 - iii) Planteamiento de la organización técnico-funcional
 - iv) Planteamiento del sistema de control
 - v) Organigrama general

F. Calendario

- a) *Conclusión del proyecto*
 - i) Revisión del anteproyecto
 - ii) Contactos finales con proveedores
 - iii) Dueño definitivo y de detalles
- b) *Negociación del proyecto*
 - i) Consecución del financiamiento
 - ii) Obtención de autorizaciones legales
 - iii) Contratación de firmas ejecutoras
- c) *Ejecución del proyecto*

- i) Construcción de obras físicas
- ii) Adquisición de maquinarias y equipos y/o su fabricación y entrega
- iii) Montaje de maquinaria y equipos
- iv) Contratación y capacitación del personal
- v) Organización e instalación de la empresa
- d) *Operación del proyecto*
 - i) Plazo para operación experimental y puesta en marga
 - ii) Período para llegar a la operación normal prevista

ANÁLISIS DE COSTOS

- a) *Costo total de la inversión física*
 - i) De la construcción de obras físicas
 - ii) De equipos y máquinas
 - iii) De existencias
- b) *Costo total de la operación*
 - i) De la mano de obra
 - ii) De los materiales
 - iii) De los servicios
 - iv) Depreciación
- c) *Costos unitarios*
 - i) Costos unitarios básicos y su estructura
 - ii) Costos unitarios mínimos y su comparación con los de otras alternativas analizadas en el estudio técnico
 - iii) Clasificación de los rubros de costo en fijos y variables

IV. ESTUDIO FINANCIERO

- a) *Recursos financieros para la inversión*
 - i) Necesidades totales de capital
 - Para cubrir la inversión fija
 - Para cubrir las necesidades de capital de giro
 - Calendario de las inversiones
 - ii) Capital disponible
 - El Capital realizado a corto plazo
 - Capital realizado a plazos mediano y largo
 - Aportes en bienes intangibles
 - iii) Capacidad de inversión de la empresa
- b) *Análisis y proyecciones financieras*
 - i) Proyección de los gastos
 - Gastos de inversión
 - Gastos de operación
 - Gastos totales por año
 - ii) Proyección de los ingresos
 - Ingresos de capital
 - Ingresos de operación y otros
 - Ingresos totales por año
 - iii) Financiamiento adicional
 - iv) Punto de nivelación
- c) *Programa de financiamiento*
 - i) Estructura y fuentes de financiamiento
 - Orígenes del financiamiento
 - Distribución en el tiempo
 - Formación del capital propio
 - Modalidades de crédito
 - ii) Cuadro de fuentes y usos de fondos

- Origen y cronología de recaudación de los fondos
- Uso de los fondos y su cronología
- Cronología de las disponibilidades
- Políticas financieras alternativas

d) *Evaluación financiera*

- i) Tasa interna de retorno
- ii) Valor neto actualizado de los ingresos
- iii) Relaciones financieras básicas
- iv) Conclusiones del estudio financiero.

V. EVALUACIÓN ECONÓMICA

a) *El sistema económico como marco actual del proyecto*

i) Indicadores básicos generales

- En la economía como un todo
- En el sector del proyecto
- En el área económica interesada por el proyecto (a nivel del producto interno, ingreso por habitante; monto de exportaciones e importaciones; coeficiente de inversión; y otros índices macroeconómicos).

ii) Naturaleza y ritmo del desarrollo de la economía

- Evolución histórica
 - Población
 - Ocupación
 - Producción
 - Productividad
 - Exportación
 - Importación
- Cambios estructurales
 - En la composición sectorial
 - De la ocupación
 - Del producto interno
 - De la productividad
 - En la participación del sector público
 - En el coeficiente inversión-producto
 - En la distribución de la inversión
 - Por tipos de bienes
 - Entre los sectores público y privado
 - En las estructuras de la exportación y de la importación, sus destinos y orígenes
- Aspectos sociales:
 - Principales variables demográficas
 - Consumo
 - Nutrición
 - Salud
 - Educación
 - Vivienda y organización espacial y de la comunidad
 - Relaciones con el exterior
 - Intercambio y saldos del comercio exterior
 - Variación de las relaciones de intercambio
 - Poder de compra de las exportaciones
 - Desequilibrio y financiamiento externo y sus modalidades
 - Servicios de amortización e intereses del capital extranjero
 - Acumulación de la inversión directa extranjera y su incidencia en la formación de capital

b) Factores condicionantes del sistema sobre el cálculo económico del proyecto

i) Cálculo económico del proyecto en sí

- Inversiones y su costo
- Costos e ingresos de operación
- Actualización de ingresos y gastos
- Rentabilidad del proyecto:
 - Valor neto actualizado
 - Tasa interna de retorno
- Relación beneficio-costo
- Análisis de sensibilidad económica
- ii) El proyecto en el cálculo económico de la empresa
 - El aporte del proyecto a la empresa
 - El costo del proyecto como costo adicional de la empresa
 - La rentabilidad marginal del proyecto
- iii) Calificación y cuantificación de los factores condicionantes
 - Por características del mercado
 - La utilización de precios de cuenta del capital, de la mano de obra y de las divisas
 - Origen e hipótesis básicas de los precios de cuenta
 - Por disponibilidad limitada de recursos financieros
 - Por disponibilidad limitada de divisas
 - Por disponibilidad limitada de insumos físicos
 - Por limitaciones técnicas
 - Por limitaciones derivadas de la planificación
 - Por limitaciones institucionales
- iv) Factores condicionantes no superables
- v) Proposiciones de política económica para ajustar al proyecto determinados factores condicionantes
- c) *Evaluación de los efectos del proyecto sobre variables del sistema económico*
 - i) Efectos del proyecto como inversión
 - Sobre la capacidad de producción del sistema
 - Sobre el balance de pagos
 - Sobre el empleo de mano de obra
 - Sobre la utilización de otros factores de producción
 - Sobre el mercado de capitales y los mecanismos financieros
 - Sobre la estructura de la inversión
 - Sobre las economías externas de otras empresas
 - Sobre el nivel tecnológico
 - Sobre el desarrollo regional y el ambiente humano
 - ii) Efectos del proyecto como programa de producción
 - Sobre el ingreso
 - Sobre el balance de pagos
 - Sobre el empleo de mano de obra
 - Sobre la utilización de otros factores de producción
 - Sobre los mecanismos de financiamiento a corto plazo
 - Sobre la estructura del consumo
 - Sobre las economías externas de otras empresas
 - Sobre el nivel tecnológico
 - iii) Enfoque integrado de los efectos del proyecto como inversión y programa de producción
 - Consolidación de los efectos del proyecto sobre
 - Efectos directos
 - Efectos indirectos
 - Efectos secundarios
 - Consolidación de los efectos del proyecto por sus características
- d) *Resumen y conclusiones de la evaluación*

VI. PLAN DE EJECUCIÓN

- a) *Inventario y especificación de las actividades*
 - i) Adquisición a terceros
 - De bienes
 - De derechos
 - De servicios
 - ii) Aprovisionamiento
 - Transporte externo e interno
 - Almacenamiento, distribución interna y vigilancia
 - Movilización y entrenamiento de mano de obra
 - iii) Construcción y montaje
 - Edificios y servicios complementarios
 - Máquinas, equipos y aparatos
 - iv) Puesta en marcha
 - Verificación y ajuste
 - Utilización experimental
 - Inspección y aprobación
- b) *Estudio de tiempo*
 - i) Estimación de la duración probable de cada actividad
 - ii) Análisis de la secuencia de actividades
 - iii) Presentación de la red de actividades
 - iv) Cálculo de las fechas y otras magnitudes características
 - v) Identificación de caminos críticos y confección del calendario
- c) *Esquema indicativo de los requisitos necesarios de cada actividad*
 - i) Materiales
 - ii) Mano de obra
 - iii) Servicio de terceros
 - iv) Financiamiento
- d) *Planteamiento de alternativas tecnológicas de ejecución: variación en la duración del proyecto*
 - i) Posibilidades de transferir recursos entre actividades
 - ii) Efectos sobre los costos

1.8 DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA LICITACIÓN

Dadas las bases anteriores, para que el lector tenga una visión de lo que se requiere antes de empezar una propuesta, en esta sección se pretende dar una idea de cómo se debe de diseñar una propuesta para licitar proyectos IPC en la industria petrolera.

Una propuesta puede costar desde cientos hasta miles de dólares, sin garantizar la recuperación de la inversión. En todos los casos los costos de las propuestas son deducidos de las ganancias². En un proyecto de IPC (Ingeniería, Procura y Construcción) se puede gastar un licitante, alrededor del 10% anual de las horas-hombre de su empresa haciendo propuestas, por lo que lo que a continuación se presenta, puede ser de gran utilidad a un licitante para presentar una propuesta competitiva.

² B. Lenahan, "Escribir una buena propuesta para la Basura", Hydrocarbon processing, noviembre 1998.

1.8.1 ¿QUÉ ES UNA PROPUESTA?

Un cliente paga a un contratista de IPC por cierto trabajo. El contratista da su propuesta con una descripción del trabajo que realizaría y el precio de esta.

El precio y la descripción del trabajo engloban la propuesta, Pero en una propuesta además se da:

- Una Presentación de la venta
- Un instrumento de negociación
- El trabajo a desarrollar en el proyecto
- El costo del proyecto.

1.8.2 ¿CÓMO SE HACE UNA PROPUESTA?

Para la estimación de una propuesta se puede dividir en tres partes esenciales:

* Evaluación de los costos:

- Cotización del equipo mayor o de un trabajo inusual.
- Costo unitario de los equipos
- Factores de escalación e índices para diferentes capacidades de la planta y localización del sitio donde se construirá.
- Estimación del costo del software a utilizar.

* Administración:

Cada compañía tiene su forma de administrar sus propuestas, ya sea que tengan un departamento especial o que algún jefe de grupo de ingenieros las haga.

* Propuesta escrita.

1.8.3 ¿CÓMO SE PUEDEN HACER MEJORES PROPUESTAS?

Se pueden hacer mejores propuestas tomando en cuenta lo siguiente:

- Haciendo un estimado de la estructura del proyecto,
- Teniendo una estructura administrativa
- Escribir un sistema claro para el cliente, en donde entienda que sus necesidades pueden ser satisfechas.

La primera tarea de un administrador de proyectos es definir el alcance de la propuesta y después los objetivos que se persiguen. En este caso se tienen dos objetivos:

1. Producir una propuesta, para exclusivamente un solo cliente.
2. Desarrollar una estructura administrativa que pueda manejar todo tipo de propuestas y de clientes.

Para analizar los objetivos, se requiere conocer los aspectos básicos de la propuesta y sus requerimientos:

- El cliente necesita ayuda

- Se le debe explicar al cliente específicamente como se resolvería el problema en cuestión.
- Además explicarle al cliente como se resolvió un problema similar en el pasado.
- Explicarle al cliente con que recursos se cuenta para solucionar el problema.
- Darle al cliente una información general acerca de la compañía.
- Presentarle la cotización de cuanto le costaría el trabajo a desarrollar.

Objetivo 1. La propuesta debe estar diseñada de acuerdo a los requerimientos básicos del cliente. En base este objetivo en la Tabla 1.1, se presentan los componentes típicos de una propuesta³.

En la Tabla 1.1, el número de paginas es aproximado, pero puede ayudar como una guía. La columna del "Tipo de texto", indica la cantidad de trabajo que debe de asignársele a la propuesta. Entre el tipo de texto esta:

"Texto totalmente nuevo": Todo el texto de la propuesta debe de ser nuevo en la sección de la tabla 1.1 que esto indique, por ejemplo, cuando se trate de proyectos que el licitante nunca haya participado.

"Texto estandar con revisiones", este se refiere que cuando el licitante haya hecho anteriormente trabajos similares, puede adaptarlos al proyecto en particular. Ejemplo de esto sería la descripción del proceso, lista de equipo, plano de localización, etc.

"Texto estandar sin revisiones" se refiere a textos de la compañía como los Curriculums de los participantes, el de la empresa, los reportes financieros anuales, aunque cabe aclarar que estos datos deben de estar revisados periódicamente.

Objetivo 2. Se requiere una buena estructura administrativa junto con una licitación competitiva, desarrollando una estrategia con el objetivo de reducir los costos de las propuestas.

El trabajo que se tiene que hacer para producir una propuesta, se puede considerar en tres etapas:

- Decidir si la propuesta debe de hacerse.
- Si se decide hacer la propuesta, dividir la propuesta en paquetes de trabajo
- Asignación de las actividades en la propuesta.

Las etapas anteriores se describen en la Tabla 1.2.

En la Tabla 1.3, se presentan algunos consejos, para escribir una propuesta ganadora y en la Tabla 1.4 se dan ciertos puntos importantes para realizar una propuesta perfecta.

³ Esta tabla se baso en una planta de polietileno

TABLA 1.1 REQUERIMIENTOS Y CONTENIDO DE UNA PROPUESTA.				
Requerimientos	Notas	Contenido típico de la propuesta	No. de páginas	Tipo de texto⁴.
1.- el cliente necesita ayuda	La Invitación a la Licitación, es la interpretación del cliente de cómo se puede resolver. Esta interpretación puede ser correcta o no.	- Alcance del trabajo y los requerimientos básicos del cliente, según lo entendido por el licitante.	1	Texto totalmente nuevo
2.- Se debe de analizar y entender el problema del cliente.	<ul style="list-style-type: none"> - Hacer una lista de las principales características del proyecto. - Debe de interesar al cliente en su propuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de los requerimientos - Describir brevemente como resolvería el problema. 	3-4	Texto totalmente nuevo
3.- Se le debe decir al cliente específicamente como se resolvería el problema.	<ul style="list-style-type: none"> - Presentar un folleto de la compañía y un precio competitivo del proyecto. - Detallar la administración de proyectos, la ingeniería de servicios, tecnología, planos de localización, lista de equipo, cédulas, tiempos de entrega costa afuera - costa adentro, descripción completa del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Organización del Proyecto. - Programación - Plan de ejecución del proyecto. - Staff - Tecnología o procesos - Descripción de la planta. - Diseños estándar - Servicios por su compañía - Servicios por el cliente. - Material y equipo por la compañía. - Construcción de la planta. 	50-100	75% del texto será nuevo 25% del texto con revisiones menores* * este enfoque se refiere a que por lo regular las compañías tiene editados los formatos y se anexa sólo la información pertinente de la propuesta
4. Decirle al cliente como se resolvieron problemas similares.	Dar detalles de proyectos similares o proyectos con similares características.	<ul style="list-style-type: none"> - Proyectos con tecnología similar. - Recientes proyectos con el mismo cliente 	1-3	Texto estándar sin revisión.
5. Decirle al cliente que se cuenta con los recursos para resolver el problema.	Dar una lista de las plantas y de las maquinarias disponibles, el staff de competencia, el software especializado, técnicas de ingeniería especial, procedimientos estándares de ingeniería los procedimientos de administración de la calidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum del personal - Servicios que brinda cada departamento de su empresa - Cargos por Departamento - Servicios de oficina 	50	Texto estándar sin revisión.

⁴ Ver en la sección 1.8.3 el Objetivo 1, para saber acerca de los tipos de texto.

TABLA 1.1 REQUERIMIENTOS Y CONTENIDO DE UNA PROPUESTA. (CONTINUACIÓN)				
Requerimientos	Notas	Contenido típico	No. de páginas	Tipo de texto¹.
6. Dar al cliente información de referencia.	- Respalda la propuesta con información curricular de la empresa.	<ul style="list-style-type: none"> - El perfil de la compañía - Informe anual - Manual de calidad - Ejemplos en los procedimientos hechos anteriormente para un caso similar - Copias de los testimonios de los proyectos ganados. 	100	Texto estándar sin revisión.
7. Se le debe decir al cliente cuanto le costará el desarrollo de la propuesta.	Conservando el precio tan general como sea posible. Esta sección por lo regular se da por separado en el "Sobre comercial"	<ul style="list-style-type: none"> - Precio - Plan de pagos - Suministro de datos - Garantías - Riesgos - Contrato general - Condiciones - Fianza de la licitación - Referencia financiera 	5-15	33% de texto estándar con revisión.*

TABLA 1.2 ETAPAS CLAVE EN LA ADMINISTRACIÓN DE UNA PROPUESTA.					
Etapa 1 Decidir si una propuesta se hace o no. (en caso de hacerse la propuesta se ejecutaran las etapas 2 y 3 de esta tabla)			Etapa 2 Dividir en paquetes de trabajo la propuesta		
Entrada	Actividad	Salida	Entrada	Actividad	Salida
Descripción técnica del proyecto	Selección de la propuesta	Decidir si se licita o no	Selección de Resultados	Definición y distribución de los paquetes de trabajo para el desarrollo de la propuesta	Consolidar el contenido de la licitación.
Estimado del valor del proyecto	-	Aprobar las horas de la propuesta	Contenido estándar de la propuesta	-	Consolidar la estrategia

TABLA 1.2 ETAPAS CLAVE EN LA ADMINISTRACIÓN DE UNA PROPUESTA
(CONTINUACIÓN)

Etapa 1 Decidir si una propuesta se hace o no. (en caso de hacerse la propuesta se ejecutarán las etapas 2 y 3 de esta tabla)			Etapa 2 Dividir en paquetes de trabajo la propuesta		
Entrada	Actividad	Salida	Entrada	Actividad	Salida
Estimación de las horas del proyecto	-	Aprobar la estrategia con ayuda de socios locales o subcontratos	Bases de Licitación	-	Consolidar los datos técnicos básicos.
Programación preliminar del proyecto	-	Aprobar lo que sigue de la estrategia primaria	Documentos técnicos de proyectos similares	-	Determinar los alcances de los servicios y proveedores
Tipo de precio estimado	-	Aprobación de la selección del personal	Lista de los servicios	-	Estimación de procedimientos
Estimación de las horas de la propuesta	-	Jerarquización	Dividir los servicios	-	Determinación de los retrasos
Fecha propuesta	-	-	Lista de requerimientos de equipo y material	-	Seleccionar capítulos de las Bases de Licitación para ver los requerimientos
Reportes del vendedor	-	Información confidencial	Dividir los requerimientos	-	Consolidar horario de distribución de los requerimientos del proyecto
Pro y contra de la oferta	-	-	Localización de la compra del equipo mayor y demás	-	-
Posibilidades a futuro de trabajar con este cliente	-	-	Filosofías de operación	-	-
Detalles de precios dados a este cliente en propuestas anteriores	-	-	Fechas clave del proyecto	-	-

TABLA 1.2 ETAPAS CLAVE EN LA ADMINISTRACIÓN DE UNA PROPUESTA
(CONTINUACIÓN)

Etapa 1 Decidir si una propuesta se hace o no.			Etapa 2 Dividir en paquetes de trabajo la propuesta		
Entrada	Actividad	Salida	Entrada	Actividad	Salida
Planeación de la capacidad presente y futura	-		Fechas clave de la propuesta		
Jerarquización de los riesgos preliminares en relación con otras oportunidades de licitar	-		Selección del personal para la propuesta	-	-
Relaciones estratégicas con compañías locales	-		Filosofía de ejecución del proyecto	-	-
División preliminar del trabajo con socios	-		Procedimiento	-	-
Resumen de la estrategia a seguir	-	-	Diseño básico	-	-
Selección preliminar del personal para la propuesta	-	-	-	-	-

etapa 3 "Asignación de las actividades en la propuesta"

	Propuesta del gerente	Estimador	Departamento de propuestas	Departamento de Ingeniería	Directores	Departamento Comercial	Ventas
Preparar el estimado	●	■		○		○	○
Preparar documentos específicos del proyecto	●			○		○	○
Preparar documentos estándar y el texto de la oferta	●		■				
Relacionar todos los documentos	●		■				
Aprobación final del texto y del precio final	■	○	○	○	●	○	○

● Responsable , ■ Coordinador, ○ Soporte funcional

TABLA 1.3 TÉCNICAS PARA ESCRIBIR UNA PROPUESTA GANADORA

Características:
Definir el Alcance de la propuesta
Fijar la estructura de la propuesta antes de comenzar el trabajo
Describir es más importante que escribir
Ser conciso
Hacer una propuesta completa
Ser cortés
Ser claro (Usar voz activa)
Hacer una propuesta correcta (sin errores gramaticales)

TABLA 1.4 CONSEJOS PARA HACER PROPUESTAS PERFECTAS.

CONSEJOS:
1. No empezar la propuesta a menos que se tenga una gran oportunidad de ganar.
2. Escoger un buen Gerente de propuestas
3. Seguir una estrategia clara
4. Recordar que el precio debe ser atractivo.
5. Usar listas de contenidos y formatos estándares
6. Responder a las preguntas del cliente
7. Responder a sus propias preguntas
8. Conservar buena comunicación con el cliente
9. Leer las Bases de Licitación cuantas veces sea necesario
10. Decirle al cliente todo lo necesario
11. Para poder ser competitivos dar un precio pero tener otros dos que ofrecer en caso de estar entre los finalistas, o en caso de ser el ganador y poder entrar a una negociación del precio con el cliente.
12. Conservar la información clara para los directores
13. Toda información contenida en la propuesta debe de ser protegida con los derechos de autor.
14. Liberar la propuesta personalmente
15. Conservar datos históricos

ESTADO DEL ARTE DE LAS LICITACIONES COMPETITIVAS

En este capítulo se presenta el estado del arte de las licitaciones competitivas desde el punto de vista del licitante que nos permitirá obtener los métodos para la determinación del precio competitivo para aumentar la probabilidad de éxito para que un licitante gane.

Cabe aclarar en este punto, que para cuestiones demostrativas se entenderá como competencia del licitante en estudio a los demás licitantes que participan en un concurso de licitación.

2.1 ORÍGENES DE LAS LICITACIONES COMPETITIVAS

Las compañías grandes o pequeñas, necesitan fijar precios, lo cual se hace conociendo el mercado y la información sobre costos con consideraciones estratégicas para determinar el precio más adecuado para un proyecto. Hoy en día existen métodos con más bases teóricas, que pueden ser utilizados para que el tomador de decisiones no sólo se base en su experiencia y las estrategias de su empresa, si no que se valga de herramientas que le permita modelar y optimizar sus ganancias.

Como en toda modelación, en las licitaciones competitivas, no se pueden considerar todas las variables que afectan a un sistema en específico, y en el caso de las licitaciones, los datos que se deben de alimentar al modelo a veces o casi siempre suelen ser insatisfactorios, pero bajo el análisis de un experimentado tomador de decisiones, pueden minimizarse tales limitaciones.

Pero para poder hacer lo anterior, es necesario conocer el tema de las licitaciones competitivas desde sus orígenes hasta hoy, por lo tanto es obligatorio exponer el estado del arte del mismo.

Según Friedman⁵ existen dos formas de clasificar a las licitaciones competitivas: una son las licitaciones cerradas y la otra las licitaciones abiertas; la primera, es en donde dos o más licitadores envían su licitación por los derechos de propiedad o por el arrendamiento de un servicio. El cliente aceptará ya sea la propuesta con el precio más bajo, según las reglas dictadas. El segundo tipo de licitación, las licitaciones abiertas o *auctions*, es donde dos o más licitadores dan su oferta con el mismo valor sin que nadie pueda incrementar la oferta. Los *Auctions* o diferentes tipos de

⁵ FRIEDMAN L. "A competitive-Bidding Strategy", Operations Research 4, (1956) pp. 104-112

situaciones de licitación⁶, son clasificados por Engelbrecht-Wiggans⁷. Con el fin de entender las maneras en que se puede atacar una licitación competitiva, se pueden dividir las diversas situaciones de una licitación en cuatro secciones⁸. En la primera involucra la negociación, todos los competidores presentan una licitación bajo ciertos términos y condiciones del cliente en una fecha dada. El segundo factor es según el criterio de selección del cliente; en donde por lo regular la licitación con el menor precio gana. En el tercer y cuarto factor, están relacionados en cuanto a la selección de un contratista en particular ya sea por la localización o por que este de un servicio único; que ningún otro contratista lo pueda dar.

Los métodos que se utilizan para el desarrollo de una licitación competitiva desde el punto de vista del licitante se pueden dividir en Probabilidad básica, Teoría de los juegos, Estrategia probabilística y los Factores distintos al precio, estos métodos en la actualidad, son más fácilmente utilizados gracias los paquetes de computo comerciales como se puede revisar en la sección dedicada a esta parte en el presente capítulo.

2.2 PROBABILIDAD BÁSICA

En 1956, *Friedman* publicó un artículo en donde determinaba el problema de seleccionar al licitante con el mejor precio. Desde entonces este trabajo, se ha considerado como el mejor enfoque científico sobre las licitaciones competitivas.

Los objetivos que persigue una compañía licitadora según *Friedman*, deben ser claros y en general estos serán: a) Maximizar la ganancia esperada, b) que el porcentaje que se invirtió en la investigación sea por lo menos lo que se obtenga en la ganancia esperada, c) minimizar las pérdidas esperadas, d) minimizar las ganancias del competidor.

Desde este punto de vista interesa saber cuál es el mejor precio que se debe fijar basándose en la incertidumbre existente siendo el objetivo maximizar la esperanza de la ganancia. La suposición básica consiste en que el precio que fije la competencia es independiente (en sentido probabilístico) de la estimación del costo y del precio que pueda ser determinado.

Para ello se puede trazar un árbol de decisiones, en el cual para cada rama inicial se pondría un precio b . Así a cada precio $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$, que se pudiera fijar correspondería una rama, como se muestra en la Figura 2.1.

Entonces:

p = precio fijado por la competencia.

b = el precio fijado por el licitante.

c = el valor real del costo

$b - E(c)$ = ganancia esperada por el licitante si gana el concurso con un precio b

$E(c)$ = la esperanza del costo del licitante si gana el contrato.

$Pr(p > b)$ = es la función de densidad de la probabilidad de que el precio de la competencia sea mayor que el fijado por el licitante.

⁶ KING Malcom and MERCER Alan "Recurrent competitive bidding", *European Journal of Operational Research* 33 (1988) pags. 2-16

⁷ ENGELBRECHT-WIGGANS R, "Auctions and Bidding models: A survey (State of the Art)", *Management Science* 26, (1980) pags. 119-142

⁸ Ídem, pie de nota 1.

$v(b, E(c))$ = el valor esperado en cada rama del árbol de decisiones.

$$v(b, E(c)) = (b - E(c)) \Pr(p > b) \tag{2.1}$$

Al maximizar la ecuación (2.1), se maximiza la esperanza de la ganancia en el concurso y por ende se puede decidir fijar el precio óptimo.

Cuando la función de probabilidad $\Pr(p > b)$ es continua, se puede encontrar el máximo de $v(b, E(c))$ analíticamente. Sea:

$$f(p) = - \frac{d\Pr(p > b)}{db} \tag{2.2}$$

Se deriva la ecuación (2.1):

$$\begin{aligned} v'(b, E(c)) &= \frac{dv(b, E(c))}{db} \\ &= \Pr(p > b) + (b - E(c)) \frac{d\Pr(p > b)}{db} \end{aligned}$$

sustituyendo la ec. 2.2 en la anterior:

$$v'(b, E(c)) = \Pr(p > b) - f(p) (b - E(c)) \tag{2.3}$$

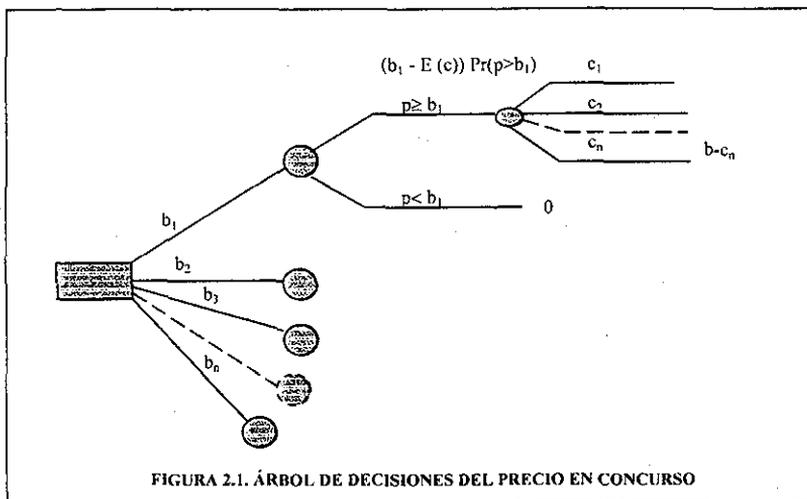


FIGURA 2.1. ÁRBOL DE DECISIONES DEL PRECIO EN CONCURSO

Una condición necesaria para que b^* sea el valor de b que maximiza la ecuación (2.1) es:

$$v'(b, E(c)) = 0 \tag{2.4}$$

igualando las ecuaciones (2.3) y (2.4) y despejando la ganancia esperada si se gana el concurso con un precio b se tiene:



$$b - E(c) = \frac{\Pr(p > b)}{f(p)} \quad (2.5)$$

La Figura 2.2 muestra gráficamente el proceso que ha llevado a cabo. Cuando se tienen un número dado de competidores, la probabilidad de ganar el contrato disminuye cuando el precio de licitación es mayor a su valor óptimo b^* .

En general, cuando nuestra incertidumbre sobre el precio de la competencia está "uniformemente" distribuida en un intervalo α a β ⁹ y nuestro costo esperado es tal que $\alpha \leq E(c) \leq \beta$ entonces el precio óptimo es:

$$b^* = \frac{E(c) + (\beta - E(c))}{2} \quad (2.6)$$

El procedimiento diferencial para encontrar el precio óptimo b^* es sumamente rápido cuando la función de densidad que caracteriza nuestra incertidumbre acerca del precio de la competencia es cualquiera de las funciones de distribución conocidas¹⁰.

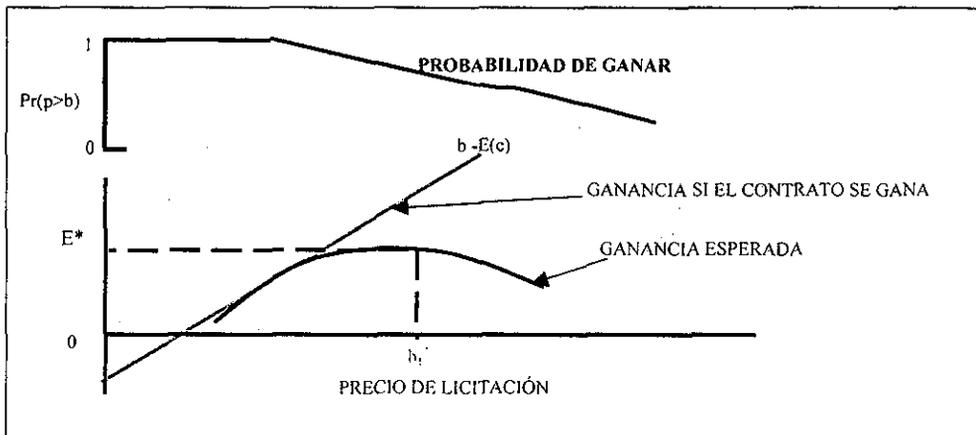


FIGURA 2.2 GANANCIA ESPERADA COMO UNA FUNCIÓN DEL PRECIO DE LA LICITACIÓN Y LA PROBABILIDAD DE GANAR DEL LICITANTE EN ESTUDIO.

⁹ Ver Anexo A "Bases de Probabilidad"

¹⁰ Aplicación de la Teoría de decisiones a la fijación de precios en concursos.

Para un valor dado menor al precio b , $\Pr(p > b)$ tenderá a uno y viceversa para un valor mayor de b , $\Pr(p < b)$ tenderá a cero, como se puede analizar en la figura 2.2, entonces el problema del proveedor se centra en encontrar el valor de b que maximice $v(b, E(c))$. Por otro lado, es más conveniente trabajar con el markup M^{11} que se define como:

$$M = \frac{(b - E(c))}{E(c)} \quad (2.7)$$

Sustituyendo la ecuación (2.7) en la ecuación (2.1), tenemos:

$$E(M) = M E(c) P(M) \quad (2.8)$$

Donde:

$E(M)$ = valor esperado del Markup

$P(M)$ = Probabilidad del Markup

2.2.1 FIJACIÓN DE PRECIOS CUANDO SE CONCURSA CONTRA UN NÚMERO "N" COMPETIDORES.

Cuando existen varios competidores del licitante en estudio, lo que se puede esperar es que el precio de la licitación disminuya para que el licitante gane el contrato. Para calcular la probabilidad $\Pr(p > b)$, de que el precio de la competencia sea mayor que el fijado por el licitante, se han propuesto varios métodos, por ejemplo; los formulados por *Friedman y Gates*.

Supóngase que los licitantes invitados son el contratista y dos competidores. El concurso será otorgado al licitante que fije el precio más bajo. Si se considera que los especialistas del contratista pueden expresar la incertidumbre acerca del precio de cada uno de los dos competidores mediante funciones de probabilidad.

Sean $\Pr_1(p_1 > b)$ y $\Pr_2(p_2 > b)$ las funciones que describen la probabilidad de que el precio del competidor 1 y el competidor 2 sea mayor que el de precio b que fijo el licitante. La probabilidad de que se gane el concurso al fijar un precio b será la probabilidad de que el precio de ambos competidores sea mayor que éste. Si suponemos que el precio que fije el competidor 1 es independiente del que fije el competidor 2, la probabilidad de que sea el menor será:

$$\Pr(p > b) = \Pr_1(p_1 > b) \Pr_2(p_2 > b) \quad (2.9)$$

Donde:

$\Pr_1(p_1 > b)$ y $\Pr_2(p_2 > b)$ = las probabilidades de que el precio del competidor 1 y el competidor 2 respectivamente, mayores al precio b que fijo el contratista.

Si se aplica el criterio de maximizar el valor esperado de nuestra ganancia, se obtendrá la ecuación (2.6).

¹¹ El markup M es la diferencia entre el precio de equilibrio del bien o servicio y el costo de cada competidor, en otras palabras, la ganancia de cada competidor con respecto al precio de equilibrio.

Uno de los argumentos que se oponen al uso de estos métodos es que muchos tomadores de decisión creen que el obtener datos de sus competidores muy difícil, demasiado caro o imposible y si se obtienen no siempre son verídicos. *King y Mercer* concuerdan en que lo anterior es una carencia de entendimiento, dado que lo esencial según estos autores es saber recolectar los datos relevantes, pero por otro lado, la recolección de datos para un análisis cuantitativo puede tomar mucho tiempo (por ejemplo, 3 años en el estudio de *King y Mercer*).

Generalizando la ecuación (2.9) para n competidores, considerando que se cumplió el objetivo de maximizar la ganancia, *Friedman* encontró que:

$$\Pr(p>b) = \Pr_i(p_i>b) \quad (2.10)$$

En términos de M se tendría, la probabilidad de ganar sobre cada competidor individual, i a este markup $P_i(M)$:

$$P(M) = \prod_{i=1}^n P_i(M) \quad (2.11)$$

Donde:

i = número de competidores de 1 hasta n

$P_i(M)$ = probabilidad ganar del competidor i

Si no se conoce a los competidores, entonces $P_i(M)$ será la probabilidad de ganar a un competidor promedio y si el número de competidores n , se desconoce, entonces el lado derecho de la ecuación (2.11) se trabajará para diferentes valores de n y se promediará de acuerdo con los n ocurrientes en el pasado. La probabilidad individual de ganar se tienen en datos del pasado para formar un patrón de licitación para cada competidor, donde el seudo markup se deriva del conocimiento del precio de licitación del competidor y del costo estimado por nuestro proveedor, usando la ecuación (2.7). Con la distribución de estos valores se puede hacer un histograma y *Friedman* fija una función de distribución gamma para cada competidor para formar una probabilidad $P_i(M)$ que pueda usarse, de esta manera se puede encontrar $P(M)$ y por lo tanto calcular $E(M)$ por el procedimiento anterior.

El método anterior para encontrar $P(M)$ y/o $\Pr(p>b)$, involucra ciertas suposiciones:

- a) Existe información adecuada de las licitaciones de los competidores.
- b) Los competidores continuarán con su licitación como en el pasado.
- c) Para cada competidor, la secuencia de licitaciones es estadísticamente independiente del competidor que esta licitando en el modelo.
- d) En cada licitación, las licitaciones de los otros competidores son estadísticamente independientes.
- e) No hay ninguna diferencia entre las estimaciones de costo de los competidores.

Las suposiciones (b) y (c) junto con el uso de un modelo de orden fijo de licitación para cada competidor tienen una implicación significante. Pero existen serios problemas con las suposiciones (d) y (e).

En un esfuerzo por simplificar el método para encontrar $P(M)$ y reducir los datos requeridos, *Hassman y Rivett*, sugirieron usar la distribución más baja de las licitaciones de los competidores. Para cada licitación tomaron el precio más bajo dado por cada competidor y encontraron el seudo

markup. Posteriormente manejaron la distribución en función de logaritmo normal y encontraron la probabilidad de ganar directamente de la distribución. Aunque este método es ciertamente más simple, se basa en las mismas suposiciones anteriores, pero sin requerir tanto la información de los competidores.

Otro modelo que utiliza la teoría de decisiones y se basa en el modelo de Friedman es la de *Michael H. Rothkopf*¹² el cual para encontrar la licitación ganadora desde dos puntos de vista cuando la licitación ganadora es la del menor precio y la otra cuando es la de mayor precio la que gana, donde desarrolla el modelo para n competidores con un mismo precio y cuando el precio de licitación es diferente para cada licitador.

También, el modelo de Friedman lo utilizó *Sugre* quién describe un método de optimización para encontrar la ganancia esperada sin la ayuda de la computadora. Usó aproximaciones del método de Newton para encontrar donde la derivada del logaritmo normal se igualaba a cero. *Sugre* supuso para generalizar el modelo, que los modelos de las licitaciones de los competidores tenían una distribución normal, *Carl*, también asumió una distribución normal para las licitaciones.

Eairler Morin y Clough describieron un desarrollo interesante del modelo de Friedman que relajaron las suposiciones restrictivas. En vez de tratar de ver a los modelos de las licitaciones como distribuciones normales, los analizaron como histogramas y calcularon la probabilidad de ganar directamente de éste. Esto les ayudo mucho en cuanto al tiempo, ya que en estos histogramas se podía observar la tendencia de un competidor por cambiar su licitación posteriormente. Se observo además que la mayoría de los competidores se amontonaban en una distribución del competidor promedio. Finalmente dividieron los contratos en tres clases que se manejan por separado, así tenían tres histogramas para cada competidor importante, así como para el competidor promedio.

Lo anterior es la versión más práctica del modelo de Friedman. En 1960, *Gates* considero los resultados de 381 contratos y descubrió una relación entre el alcance de la licitación y el valor del contrato:

$$\text{Media DB} = 1.08 B^{0.734}$$

Donde:

DB = es la diferencia entre la primera y la segunda más bajas de las licitaciones.

B = es el valor del contrato dado para la licitación del menor precio.

Esta distribución es manipulada de varias maneras para resaltar las licitaciones erróneas y encontrar la licitación optima. Dado que esta ecuación es algo inesperada pocos muestran cierta confianza en utilizarla, además DB es sensible a la disponibilidad de datos y para problemas más complejos ya no es generalizable.

¹² ROTHKOPF, M. "A model of rational competitive bidding". Management Science, vol. 15, no. 7, march 1969, pag. 362-373

2.2.2 CASO DE UN CONCURSO CON 3 LICITANTES.

Una compañía Petrolera, por medio de su pagina de Internet, abrió una licitación pública para la ampliación de la capacidad y modernización de una Planta de derivados clorados, en donde se obtuvieron tres concursantes: Licitante A, Licitante B y Licitante C.

Paso 1:

Reconocimiento del número de licitantes.

Se tienen 3 concursantes: Licitante A, Licitante B y Licitante C.

Paso 2:

Considerando que el objetivo del estudio de las licitaciones competitivas es saber la ganancia que podría obtener el Licitante C en caso de ganar.

Para hacer más entendible este ejemplo, se presenta la siguiente nomenclatura que se utilizará:

p = precio fijado por los licitantes A y B.

b = el precio fijado por el licitante C.

c = el valor real del costo

$b - E(c)$ = ganancia esperada si se gana el concurso con un precio b

$E(c)$ = la esperanza del costo si se realiza el contrato.

$\Pr(p_{AB} > b)$ = es la función de densidad de la probabilidad de que el precio de la competencia (en este caso el licitante A y el licitante B) sea mayor que el fijado por la empresa.

$v(b, E(c))$ = ganancia esperada en cada punto de decisión, en función de la densidad de la probabilidad de que el precio de la competencia sea mayor que el fijado por la empresa..

Paso 2.1:

Primero se debe de conocer la función de densidad que representa la incertidumbre acerca del precio del licitante en estudio y de cada uno de los competidores.

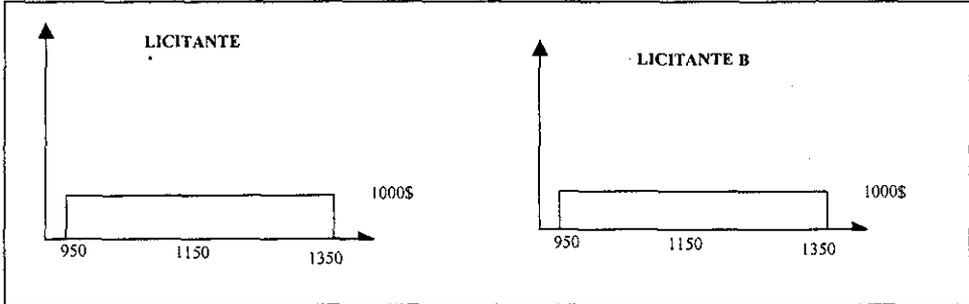
Para establecer la función de densidad el método más sencillo, es que un cierto grupo de especialistas, exprese por medio de probabilidades o porcentajes, la variación de ciertos factores participantes en la licitación en concurso (entre estos factores podemos contar el número de concursantes en la licitación, especialidad de cada licitante, localidad de cada uno, recursos humanos, técnicas de administración de la planeación, maquinaria alquilada o propia, etc.), cada uno de estos factores tendrá sus efectos en la política de precios de cada licitante y se le tomará en cuenta con diferente peso; con lo cual se construirá la función de densidad que se tiene acerca del precio de los licitantes A y B, que en este caso son la competencia del licitante C, en estudio.

Una manera en la que podemos empezar para establecer la función de densidad, es utilizando el siguiente razonamiento, la cotización más baja de la competencia esta relacionada con la estimación del costo de la obra que hará cada licitante, esta relación se puede considerar como su política de fijación de precios.

En este caso, para efectos didácticos se supondrá que los licitantes A y B tienen una función uniformemente distribuida.

El costo esperado $E(c)$ del licitante C para realizar la licitación es de \$1100,000 dólares, y se estima que el precio de los participantes oscila entre \$950,000 y \$1350,000, como se aprecia en la figura 2.3.

Figura 2.3. Incertidumbre sobre el precio de los competidores



Paso 3:

Determinar la probabilidad de que el precio que fije el Licitante C, sea el más bajo con respecto a los licitantes A y B.

$$\Pr(p_{AB} > b) = \Pr(p_A > b) * \Pr(p_B > b) \quad (2.12)$$

Sustituyendo la función de densidad:

$$\begin{aligned} \Pr(p_{AB} > b) &= \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha} \right) \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha} \right) \\ &= \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha} \right)^2, \alpha \leq b \leq \beta \end{aligned} \quad (2.13)$$

donde:

β = límite superior de la función de densidad, en el ejemplo = \$1350,000

α = límite inferior de la función de densidad, en el ejemplo = \$950,000

Paso 4:

Calcular el precio óptimo del licitante C con el cual obtendría una ganancia, si ganase el concurso.

Si consideramos que la función de distribución que se encontró (función uniformemente distribuida), es continua; para encontrar el máximo de la ecuación 2.1, podemos hacerlo derivando por un lado la función de densidad de probabilidad con respecto al precio fijado por el licitante C:

$$f'(p) = - \frac{d\Pr_{AB}(p > b)}{db} \quad (2.2)$$

y por el otro derivando la ecuación 2.1, también por el precio fijado por el licitante C:

$$\frac{dv(b, E(c))}{db} = \Pr_{AB}(p > b) + (b - E(c)) \frac{d\Pr_{AB}(p > b)}{db} \quad (2.14)$$

Sustituyendo ecuación (2.2) en la ecuación (2.14):

$$\frac{dv(b, E(c))}{db} = \Pr_{AB}(p > b) + (b - E(c)) f(p) \quad (2.3)$$

si el valor de b (el precio fijado por el licitante C), se maximiza sólo cuando derivada de la ecuación 2.1 es igual a cero:

$$v'(b, E(c)) = 0 \quad (2.4)$$

igualando ecuaciones 2.3 y 2.4, se tiene:

$$\begin{aligned} 0 &= \Pr_{AB}(p > b) + (b - E(c)) f(p) \\ \Pr_{AB}(p > b) &= -(b - E(c)) f(p) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Rearreglando la ecuación III:

$$b - E(c) = -\frac{\Pr(p > b)}{f(b)} \quad (2.5)$$

derivando la ecuación I, con respecto al precio b del licitante C:

$$\begin{aligned} \Pr(p_{AB} > b) &= \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right) \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right) \\ &= \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right)^2, \alpha \leq b \leq \beta \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\frac{d\Pr_{AB}(p > b)}{db} = -2 \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right) \left(\frac{1}{\beta - \alpha}\right) \quad (2.17)$$

sustituyendo ecuación 2.17 en ecuación 2.2:

$$\begin{aligned} f(p) &= -\frac{d\Pr_{AB}(p > b)}{db} \\ f(p) &= 2 \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right) \frac{1}{\beta - \alpha} \\ \frac{\Pr(p > b)}{f(p)} &= \frac{\beta - \alpha}{2} \end{aligned} \quad (2.18)$$

sustituyendo ecuación 2.18 en ecuación 2.5:

$$b - E(c) = -\frac{\Pr(p > b)}{f(b)} \quad (2.5)$$

$$b - E(c) = \frac{\beta - b}{2} \quad (2.19)$$

despejando el precio del licitante C:

$$b = \frac{\beta + 2(E(c))}{3} \quad (2.20)$$

sustituyendo ecuación 2.20 en ecuación 2.19, para obtener el precio optimo:

$$b - E(c) = \frac{\beta - \left(\frac{\beta + 2(E(c))}{3}\right)}{2}$$

desarrollando y despejando b para dos competidores (licitante A y B) del licitante C, se tiene que el precio optimo es:

$$b^* = \frac{\beta - E(c)}{3} + E(c) \quad (2.21)$$

sustituyendo valores del ejemplo:

datos:

$E(c) = \$1100,000$

$\beta = \$1350,000$

$b^* = \$1183,333$

Paso 5:

Calculo de la probabilidad del precio optimo:

La probabilidad del precio optimo sería, utilizando la ecuación 2.16:

$$\Pr(p_{AB} > b) = \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right) \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right)_2$$

$$= \left(\frac{\beta - b}{\beta - \alpha}\right)^2, \alpha \leq b \leq \beta$$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

$$Pr(p_{AB}>b) = \left(\frac{1350-1100}{1350-950} * 1000 \right)^2$$

$$Pr(p_{AB}>b) = (0.416)^2$$

$$Pr(p_{AB}>b) = 17.4 \%$$

Paso 6:

La ganancia esperada para este precio optimo, si el licitante C gana el concurso, seria:

$$\begin{aligned} b^* - E(c) &= 1183,333 - 1100,000 \\ &= 83,333 \end{aligned}$$

lo anterior es en el supuesto caso que ganase, pero para saber si puede tener una ganancia que cubra sus expectativas antes de entrar al concurso, con la ecuación 2.1, se calcula la ganancia esperada antes de entrar al concurso, con el precio optimo:

$$v(b, E(c)) = (b - E(c)) Pr(p>b) \quad (2.1)$$

sustituyendo valores, se tiene:

$$\begin{aligned} v(b, E(c)) &= (1183,333 - 1100,000) * (17.4\%) \\ &= \$14499.94 \end{aligned}$$

En la siguiente tabla 2.1, se muestra un rango de posibilidades en el precio del licitante C, que puede usar para saber en que limites le conviene negociar su oferta, cuando concursa con otros dos licitantes.

Tabla 2.1

Precio del Licitante C (miles de dólares)	Ganancia esperada si el licitante C, gana el concurso $b - E(c)$ (miles de dólares)	Probabilidad de que el Licitante C, gane $Pr(p>b)$	Ganancia esperada antes de entrar al concurso del Licitante C $v(b, E(c))$ (miles de dólares)
950	-150	1.000	-150.00
1000	-100	0.766	-76.56
1050	-50	0.563	-28.13
1100	0	0.391	0.00
1150	50	0.250	12.50
1183	83	0.174	14.47
1200	100	0.141	14.06
1250	150	0.063	9.38
1300	200	0.016	3.13
1350	250	0.000	0.00

En las figuras 2.4, 2.5 y 2.6, se puede observar los resultados de la tabla 2.1, las cuales se obtuvieron graficando el precio b del Licitante C contra cada una de las columnas de la tabla 2.1, se puede apreciar más fácilmente como el precio que se elija para concursar, está relacionado con una cierta probabilidad de ganar, que a su vez nos dará una Ganancia esperada antes de concursar y la ganancia esperada si se gana la licitación.

La figura 2.7 muestra la comparación de la ganancia esperada al concursar contra uno o dos competidores, como se puede apreciar, a medida que aumenta el número de competidores la ganancia esperada al concursar disminuye..

El análisis del caso en que se concursar contra N competidores es similar al caso de dos competidores. Esencialmente es necesario describir la incertidumbre acerca del precio de cada uno de los competidores mediante funciones que expresen la probabilidad de que sea mayor que un precio dado. Este proceso se repite para cada uno de los competidores, y después estas funciones de probabilidad se combinan para expresar la probabilidad de que todos los competidores fijen un precio mayor que un valor dado.

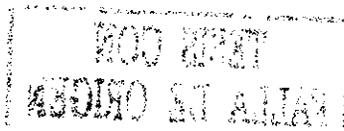


Figura 2.4 Ganancia esperada al concursar con un precio b del Licitante C contra otros dos licitadores.

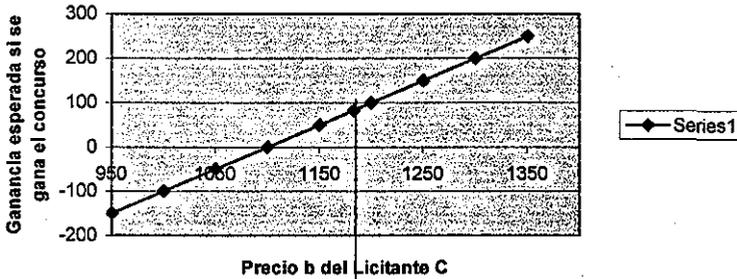


Figura 2.5 Probabilidad de que el precio de ambos licitantes A y B sea mayor que el precio del Licitante C

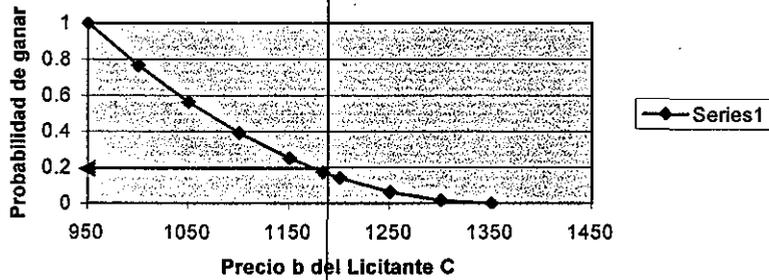
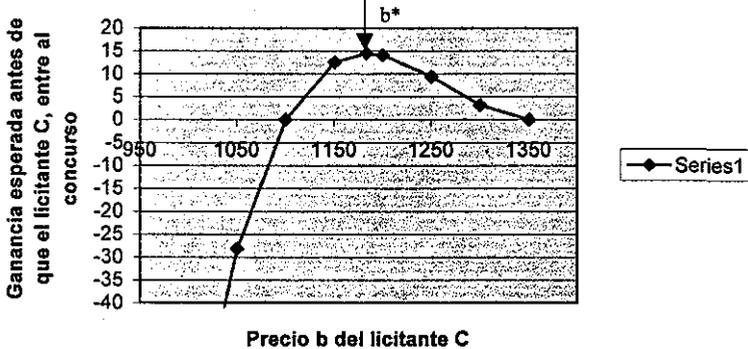
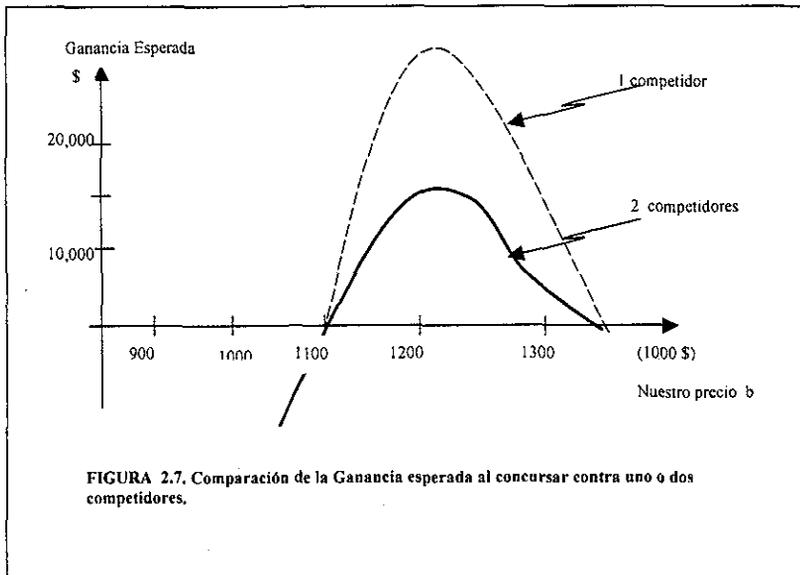


Figura 2.6 Precio optimo para el licitante C

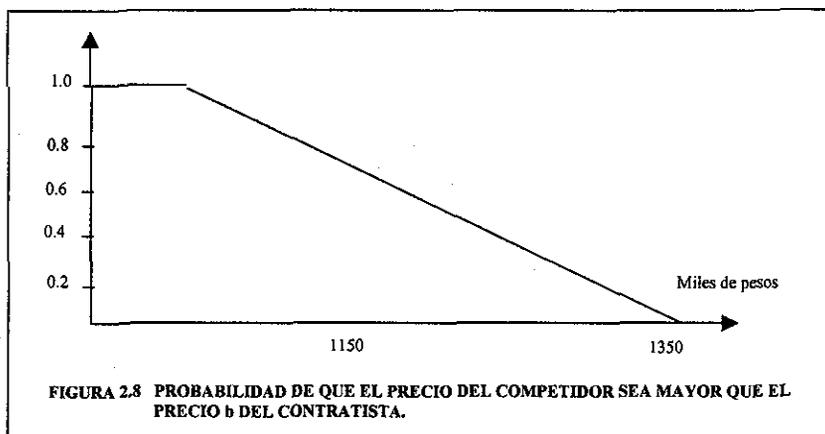




2.2.3 OBTENCIÓN DE LAS FUNCIONES PARA DESCRIBIR LA INCERTIDUMBRE SOBRE EL PRECIO DE COMPETENCIA.

Generalmente no se cuenta con codificaciones adecuadas para expresar la incertidumbre acerca del precio de la competencia. No obstante, se pueden efectuar buenas aproximaciones a estas funciones. Existen dos métodos aplicables a la generación de esta información y que a grandes rasgos se pueden clasificar en subjetivos y objetivos. El método subjetivo ha sido estudiado y aplicado en el campo de las decisiones cuantitativas. Esencialmente consiste en que el individuo o grupo de individuos exprese por medio de probabilidades o de porcentajes la posibilidad de que una variable sea menor o mayor que un valor dado, digamos x_1 . Una vez hecho esto, el procedimiento se repite para otro valor x_2 . Después el procedimiento se repite tantas veces como sea necesario para expresar adecuadamente la incertidumbre que tiene el individuo. Al final de este proceso se cuenta con una curva que expresa la probabilidad de que la variable sea mayor que un cierto valor, por ejemplo las Figuras 2.8 y 2.9.

El método cuantitativo u objetivo consiste en formar modelos de inferencia estadística para evaluar la distribución de probabilidad de la cotización más baja de la competencia en diversas situaciones de concurso, presentadas en el pasado partiendo de la información más relevante acerca de cada concurso.



Estos modelos de inferencia se construyen basándose en el siguiente razonamiento. La cotización más baja de la competencia está relacionada con la estimación del costo de la obra que hizo ese contratista. Esta relación se puede considerar como su política de fijación de precios. Específicamente, se puede pensar que al concursar para una obra, el contratista estima sus costos, y después basado en varios factores que considera de importancia, decide el margen de utilidad que aplicará a su estimación de costo para fijar un precio final. El margen de utilidad puede depender de N diferentes características de la obra por realizar, tales como: tamaño y riesgos en la obra, la forma de pago y financiamiento, número de competidores, tiempo necesario para completar la obra, etc. Cada una de estas características tendrá diversos efectos en la política de precios del contratista, y sería tomada en cuenta con diferente "peso". Además, se puede pensar que la estimación de costo elaborada por ese contratista estará en cierto modo correlacionada con nuestra estimación de costo pues posiblemente el tipo de materiales de construcción y la cantidad de mano de obra y técnica aplicada sería más o menos similares y muchos de los componentes de costo serían los mismos independientemente de quien ganase la obra. Los factores que influirían en que las estimaciones de costo fuesen diferentes serían las técnicas de administración en la planeación y utilización de los recursos humanos, materiales y maquinaria. Mucha de esta información se encuentra disponible, quizás en forma sagregada, en los archivos de los contratistas. Se puede por lo tanto, ordenar y formular estos datos en un modelo estadístico que suministre inferencia sobre la relación entre el precio más bajo de la competencia y los diversos factores más importantes del concurso.

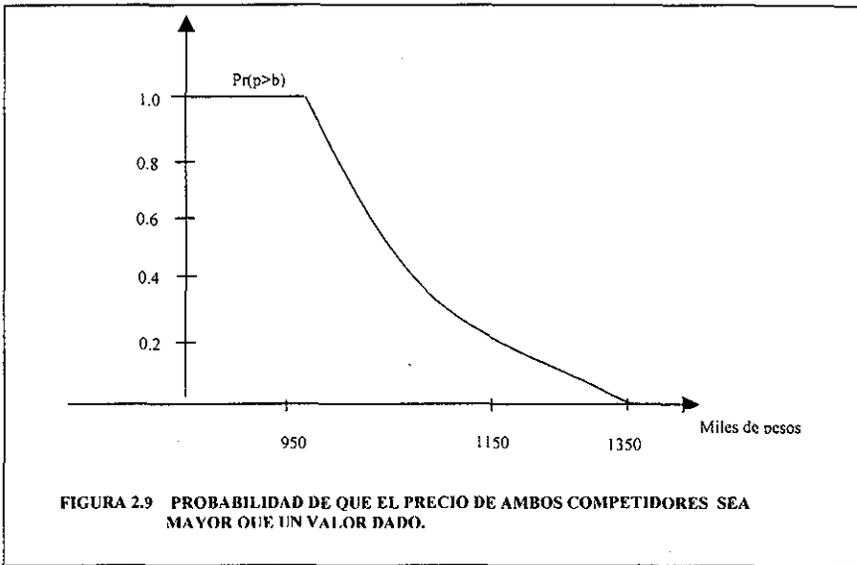
2.2.4 EFICIENCIA DE LOS MODELOS

Se han conducido experimentos de la aplicación de estas técnicas, Broemser¹³ coleccionó datos disponibles en los archivos de la compañía sobre 76 contratos por los cuales había concursado en el término de un año. Para cada uno de estos concursos existían datos como la fecha del concurso,

¹³ Broemser, G.M. "Competitive Bidding in the construction industry", Tesis doctoral, Stanford University, 1968.

la estimación del costo de la obra, las estimaciones de los costos de los sub-contratistas que participarían en el trabajo en caso de ganar la obra, y la duración estimada del trabajo.

Además se conocía quien había sido el ganador del concurso y el precio más bajo y el número de con cursantes. Estos datos se relacionaron por medio de un modelo de regresión lineal, el cual dada una estimación de la relación del precio más bajo fijado por la competencia dependiendo de funciones no lineales de los factores antes mencionados.



Broemser, obtuvo índices estadísticos de error del modelo como estimadores de los parámetros de una función de distribución de probabilidad normal sobre el precio que fijará la competencia en función de los criterios más importantes en los próximos concursos. Broemser, evaluó la efectividad de su modelo comparándolo con las políticas de fijación de precios de la compañía de la siguiente manera: contando con el modelo de inferencia y de optimización de precios, los aplicó a los datos disponibles de concursos pasados tomando en cuenta todos los factores relevantes. Procesando esta información, obtenía un precio óptimo para esa situación y determinaba si la compañía hubiese ganado el contrato. El resultado que arrojó este estudio fue que de las 76 obras en que concurso el contratista en la realidad gana 5 y por medio de su modelo hubiese ganado 12. Además calculo la ganancia que hubiese obtenido en las obras adicionales y resultado bastante significativa, por lo que el costo del estudio y el desarrollo de estos modelos era bajo en comparación con las ganancias que proporcionaría.

Para saber cuando es necesario invertir para obtener mayor información para despejar la incertidumbre acerca de los factores importantes en la decisión de fijación de precios, se presentan a continuación otros modelos matemáticos.

2.2.5 INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DEL COSTO DEL LICITANTE.

Es importante entender el concepto de información perfecta, desde el punto de vista probabilístico, para comprender las premisas de las siguientes secciones, en términos básicos, la información perfecta no es más que la diferencia entre la ganancia esperada por tener la mayor información para tomar la mejor decisión y la ganancia esperada sin tener conocimiento de la información de los competidores, en términos probabilísticas, esto es:

$$IP = B - A$$

Donde:

IP = es el gasto marginal por obtener la información perfecta

B = la ganancia esperada en caso de tener la mayor información de nuestros competidores.

A = es la ganancia esperada, en el caso de no conseguir mayor información

Es obvio que si se conoce mejor el costo de un contrato, la probabilidad de incurrir en una pérdida sería menor. Dado que si se gana el contrato y el costo fue mayor a lo que se cobro, se tendría una pérdida neta. Por lo que el conocer esta información tiene un valor, para determinar el valor de esta información adicional, se debe de determinar la ganancia esperada en un concurso cuando se opta por la alternativa (A) de no conseguir mayor información acerca de costo y tomar una decisión basándose en el costo esperado de manera similar como se desarrollo la ecuación (2.5) y comparándola con la alternativa (B) de determinar la mayor información acerca del costo. La diferencia entre las ganancias esperadas de las Alternativas A y B es el valor que suministra la información adicional. Para evaluar la alternativa A, se procede de acuerdo al desarrollo para obtener la ecuación 2.5 y para evaluar la alternativa B, primero se determina que función de densidad de probabilidad expresa mejor la incertidumbre que se tiene con respecto al costo, después se supone que se tiene el valor exacto del costo y determinamos cual sería el precio óptimo dado para concursar y la ganancia esperada que se tendría si ese fuese el caso, este procedimiento se repite para todos los posibles valores del costo. Finalmente, se determina el valor esperado de la ganancia esperada antes de conocer el costo.

2.2.6 CASO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DEL COSTO DE ADICA:

La compañía ADICA concursa por la IPC (Ingeniería, Procura y Construcción) de una obra. Se supone que ADICA tiene un solo competidor. El contrato se otorgará al que de el menor precio. Se tiene incertidumbre acerca del precio que fijará la competencia y el costo de ADICA al realizar el contrato, en caso de que gane.

Se quiere conocer el valor esperado de tener una información perfecta acerca del costo de ADICA.

Solución:

De manera general, primero se evalúa la alternativa (A) de tomar una decisión sobre el precio de ADICA sin obtener mayor información del costo. El valor esperado de la ganancia de ADICA esta en función de la ecuación 2.1:

$$v(b, E(c)) = (b - E(c)) \Pr(p > b) \quad (2.1)$$

donde

$\Pr(p > b)$ = es la función de densidad de la probabilidad de que el precio de la competencia sea mayor que el fijado por la empresa.

$$\Pr(p > b) = \int_b^{\infty} f(p) dp \quad (2.22)$$

Sustituyendo en la ecuación 2.1 la ecuación 2.16:

$$v(b, E(c)) = (b - E(c)) \int_b^{\infty} f(p) dp \quad (2.23)$$

Para obtener el precio óptimo b^* de ADICA, se debe de obtener el máximo de la ecuación 2.23 igualando a cero la derivada con respecto a b , se tiene:

$$b^* = \frac{f(p)}{f'(p)} + E(c) \quad (2.24)$$

Sustituyendo en la ecuación 2.23 se tiene:

$$\begin{aligned} v^*(E(c)) &= v(b^*, E(c)) \\ &= \frac{f(p)}{f'(p)} \int_b^{\infty} f(p) dp \end{aligned} \quad (2.25)$$

de aquí se evalúan las ecuaciones 2.23, 2.24 y 2.25.

Para la alternativa B. Supóngase que ADICA tiene un proceso que le da la información perfecta sobre su costo c . En tal caso ¿Cuál sería su precio óptimo en función de su costo?. Utilizando el proceso idéntico usando las ecuaciones 2.1, 2.23 y 2.24, se tiene que la ganancia esperada de ADICA al conocer c es:

$$v(b, c) = (b - c) \int_b^{\infty} f(p) dp \quad (2.26)$$

el precio óptimo en función del costo es:

$$b^*(c) = \frac{f(p)}{f'(p)} + c \quad (2.27)$$

y la ganancia máxima esperada en función del costo es:

$$v^*(c) = \frac{f(p)}{f'(p)} \int_b^{\infty} f(p) dp \quad (2.28)$$

Ahora, reconociendo que se tiene una incertidumbre acerca del costo, nos interesa conocer cuál es la ganancia esperada del proceso de conocer la información perfecta del costo antes de obtenerla.

Para lo cual, basta con obtener la esperanza de la función $v^*(c)$ con respecto a la incertidumbre de ADICA sobre el costo, o sea:

$$E(v^*(c)) = \int v^*(c)f(c)dc \quad (2.29)$$

Para obtener el valor de información perfecta sobre el costo, simplemente comparamos la esperanza de la ganancia de ADICA si se opta por el proceso de información perfecta con la del proceso de no obtener información acerca del costo.

2.2.7 VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DEL PRECIO DE LA COMPETENCIA DEL LICITANTE.

Otra variable de la cual tiene incertidumbre es el precio de la competencia. Suponiendo que existiera un proceso por el cual se pudiera conocer el precio que fijaría la competencia, por ejemplo, en base a la historia de sus competidores y por medio de esta plantear la función de distribución de probabilidad del precio de cada competidor y posteriormente una curva utilizando, la metodología planteada en la sección 2.2.1. La pregunta que se debe de formular finalmente es: ¿Cuánto se estaría dispuesto a invertir en ese proceso?.

Para responder a esta pregunta, se tiene el concepto de "Analíticamente perfecta", el cual se expuso en la sección 2.2.5. De manera que, si se conociera el precio de la competencia, se podría cuantificar y expresar analíticamente cuál sería el precio óptimo en función de su precio de la siguiente manera:

$$b^* = \begin{cases} p - \text{si } p \geq E(c) \\ E(c) & p < E(c) \end{cases} \quad (2.30)$$

donde:

p es una cantidad ligeramente menor a p (markup), para que al negociar aún se pueda obtener una ganancia.

y la ganancia esperada:

$$v^*(p) = \begin{cases} p - E(c) & \text{si } p \geq E(c) \\ 0 & p < E(c) \end{cases} \quad (2.31)$$

Cuando se tiene el precio óptimo y la ganancia esperada en función del valor conocido del precio de la competencia p , se puede determinar la esperanza de la ganancia en el proceso antes de conocer p , usando la esperanza condicional sobre la función de densidad del precio que más convenga de manera similar como se expresa la ecuación 2.29 y para obtener el valor esperado de la información perfecta acerca de p , hay que aplicar el mismo procedimiento que en la ecuación 2.30, la cual es la diferencia entre dos alternativas B-A, donde A como ya se dijo es la alternativa cuando no nos interesa conocer más información acerca del precio de la competencia, y B es la alternativa cuando tenemos la información del precio de la competencia.

2.2.8 VALOR ESPERADO DE LA INFORMACIÓN PERFECTA ACERCA DEL PRECIO Y DEL COSTO CONJUNTAMENTE.

La distribución de probabilidad del precio y del costo de la competencia probabilísticamente, la empresa podría no perder. Las reglas son las siguientes: Cuando el precio de la competencia es mayor al costo de la compañía, la compañía puede acercar su precio al de su o sus competidores. Cuando el costo sea mayor al precio de la competencia, se perderá el concurso irremediamente, ya que no se podrá fijar un precio menor que el costo que tiene la compañía para este concurso. No obstante la información perfecta acerca de p y c , tienen un valor, ya que sin ella en algunos casos la compañía puede haber ganado algunos contratos pero habría incurrido en pérdidas netas.

De tal forma, el precio óptimo y ganancia máxima al conocer c y p , viene dado por:

$$b^*(c, p) = \begin{cases} p- & \text{si } p > c \\ c & \text{si } p \leq c \end{cases} \quad (2.32)$$

$$v^*(c, p) = \begin{cases} p-c & \text{si } p > c \\ 0 & \text{si } p \leq c \end{cases} \quad (2.33)$$

Al igual que en los casos anteriores, cuando se tiene el precio óptimo y la ganancia esperada en función del valor conocido del precio y el costo de la competencia, se puede determinar la esperanza de la ganancia en el proceso antes de conocer c y p , usando la esperanza condicional sobre la función de densidad del precio y del costo que más convenga de manera similar como se expresa la ecuación 2.29 pero esta vez, se tendría integrales dobles y para obtener el valor esperado de la información perfecta acerca de p y c , hay que aplicar el mismo procedimiento que en la ecuación 2.30, la cual es la diferencia entre dos alternativas B-A, donde A como ya se dijo es la alternativa cuando no nos interesa conocer más información acerca del precio y el costo de la competencia, y B es la alternativa cuando tenemos la información del precio y del costo de la competencia.

$$E[v^*(c, p)] = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} v^*(c, p) f(p) f(c) dp dc \quad (2.34)$$

2.3. TEORÍA DE LOS JUEGOS¹⁴.

La Teoría de los juegos, se refiere al análisis del dos o más jugadores (en este caso a los competidores de una licitación), donde el objetivo es encontrar las posibilidades de ganar que tiene cada competidor con respecto al otro. Entre las limitaciones de la teoría de los juegos se tiene que

¹⁴ Ver Anexo B

en la práctica existen más de dos jugadores involucrados, y el análisis requiere de métodos más avanzados. En muchas situaciones, de tipo administrativo, existe el problema de cómo cuantificar los posibles beneficios o pérdidas causados por las decisiones hechas a futuro, en otras palabras, es difícil establecer la matriz de pagos.

Existe mucha bibliografía al respecto, entre las cuales se puede citar a *Robert B. Wilson*¹⁵, el cual analiza un problema de licitación bajo incertidumbre cuando uno de los participantes conoce el precio, describe el trabajo de Woods de las licitaciones competitivas bajo incertidumbre con información asimétrica, pero adicionándole la formulación del problema en términos de no-cooperación, el juego de suma variable, con equilibrio de estrategias (usando el equilibrio de Nash), además dado que en una sección toma en cuenta la información incompleta, y las estrategias mixtas, en la siguiente sección considera la información perfecta utilizando las estrategias puras. Wilson¹⁶, además estudia un modelo para las licitaciones competitivas pero ahora con información dispar, en otras palabras, cuando los recursos y fuentes de información disponibles para calcular el valor de la oferta son diferentes. *Griesmer, Shubik y Levitan*, que desarrollan la teoría de los juegos desde lo más básico hasta el desarrollo de modelos con ciertas restricciones. Aunque los autores anteriores nunca trabajan con situaciones reales, tratan de darle una generalidad para las licitaciones.

Desde el trabajo de *Griesmer y Shubik*, se han hecho varios intentos para usar la teoría de los juegos para resolver distintas versiones del problema de licitación. Lo que se trata de hacer es ver las licitaciones como un juego entre dos personas y suma cero y encontrar el equilibrio donde ya ningún competidor pueda ofrecer una mejor oferta. Además Rothkopf, noto que solo pocos tuvieron éxito resolviendo el modelo analíticamente para los juegos de estrategia de equilibrio sin restricciones. Uno de los que tuvo éxito fue *Wilson*, su modelo lleva a dos ecuaciones diferenciales simultáneas, donde estas son resueltas cuando se suponen distribuciones normales para la función de densidad de la probabilidad para los costos y de los valores observados de los costos.

*Rothkopf*¹⁷, extendió el modelo anterior a los casos donde la necesidad estratégica de la licitación no es multiplicativa pero puede estar en función del estimado del costo. Supone que hay una distribución a priori común para todas las licitaciones, esta es el costo del trabajo. Las estrategias de equilibrio son nuevamente consideradas y estas soluciones involucran los parámetros de estimación en la distribución de Weibull y el número de competidores.

Otros autores siguen estos modelos de manera similar, por ejemplo *Smith y Case*¹⁸ haciendo las mismas suposiciones del modelo con el objetivo de encontrar el Equilibrio de Nash para el concurso de licitaciones. Estos modelos los desarrollan como si los autores fuesen observadores, los cuales conocen los valores actuales de cada competidor, pero desconocen las estimaciones de los competidores. La relación entre los costos y los estimados es importante y la suposición es que son estadísticamente independientes, y que los estimados tienen una distribución logarítmica, considerando la información perfecta y las estrategias mixtas en un juego de suma variable para dos licitadores.

¹⁵ WILSON, Robert B. "Competitive Bidding with asymmetric information", *Management Science*, Vol. 13, no. 11, July, 1967.

¹⁶ WILSON, Robert B. "Competitive Bidding with Disparate information", *Management Science*, Vol. 15, no. 7, march, 1969

¹⁷ Rothkopf, M.H., "Equilibrium linear bidding strategies", *Operations Research* 28 (1980) 576-583.

¹⁸ Smith, B. T. and Case, J.H., "Nash equilibria in sealed bid auctions", *Management Science* 22 (1975) 487-497.

*Rothkopf*¹⁹, muestra que hay una inconsistencia en las suposiciones de los modelos de *Smith* y *Case* los cuales consideran estrategias multiplicativas y que hay inconsistencia desde el punto de vista del licitante, este se puede desarrollar para un licitante usando una estrategia multiplicativa que varía con el estimado.

Algunos se acercaron aún más, como es el caso de *Palfrey*²⁰ que examinaron la existencia del equilibrio de Nash en las licitaciones donde los competidores se limitan para conservar la suma de sus efectos debajo de cierto nivel pero pueden licitar en varios contratos simultáneamente.

Oren y *Rothkopf*²¹ desarrollaron un modelo el cual es la extensión del trabajo de estrategias multiplicativas el cual está basado en las suposiciones explícitas que existen varias licitaciones secuenciales y que los competidores de una licitación reaccionaran de acuerdo a sus licitaciones anteriores. Este modelo desarrolla una representación secuencial de los problemas de licitación como un proceso de control multietapa, en donde los controles, la estrategia de licitación y el comportamiento de los competidores. Los autores usan la programación dinámica para llegar a una ecuación general para la optimización de la estrategia de licitación.

Knobe y *Swanson*²², plantean una serie de modelos de una familia estocástica en programación dinámica para licitaciones secuenciales. En este caso cada contrato o varios están disponibles en cada periodo, pero el que se gane el contrato depende de las limitaciones de recursos, lo que limita al licitante en la competencia. Es obvio que el licitante quisiera maximizar sus ganancias dado que tiene recursos limitados y el modelo trata los proyectos disponibles secuencialmente y utiliza las probabilidades de licitación sucesiva para determinar la mejor estrategia para utilizar los recursos restantes. El modelo puede incorporar cualquier forma de distribución de la probabilidad de ganar la licitación. El modelo es muy general y puede involucrar muchos cálculos computacionales, pero el problema más serio es que evita alguna consideración de los competidores por el uso de estimaciones subjetivas de la probabilidad de éxito.

Recientemente *Fruchter*²³, publicó un artículo sobre la teoría de los juegos para n-jugadores, tomando como base el juego de suma cero entre dos jugadores, e introduce el tiempo dado que se trata de estrategias cíclicas y se auxilia con el equilibrio de Nash, encontrando que de esta manera es más entendible el tratamiento de n-jugadores.

2.4. ESTRATEGIA PROBABILÍSTICA.

Desgraciadamente los resultados obtenidos por la teoría de los juegos son difíciles de aplicar directamente a situaciones de orden real. Esto quiere decir que hay que dejar de lado la preocupación por la reacción de los competidores del licitante y el concepto de optimización simultánea. En cambio, una alternativa es analizar las estrategias de todos los competidores y

¹⁹ Rothkopf, M.H. "On multiplicative bidding strategies", *Operations Research* 28 (1980) 570-575.

²⁰ Palfrey J.R., "Multiplicative-object, discriminatory functions with bidding constraints: a game theoretic analysis", *Management Science* 26 (1980) 935-946.

²¹ Oren, S.S., and Rothkopf, M.H., "Optimal bidding in sequential auctions", *Operations Research* 23 (1975), 1080-1090.

²² Knobe, C.S. and Swanson, L.A., "A stochastic model for bidding", *Journal of operational Research Society* 29 (1978) 951-957.

²³ Fruchter, Gila E. "The many advertising Game", *Management science*, vol. 45, no.11, november 1999, pags. 1609-1611.

considerar la de menor variación. Una suposición importante, es que las variaciones adaptadas por el proveedor no alteran las acciones del competidor significativamente.

La primera etapa es intentar modelar la estrategia del proveedor en términos de los factores que influyen, esto es; suponer que el proveedor varió su licitación de contrato a contrato por razones lógicas y no aleatoriamente, entonces se fijara la distribución de los parámetros constantes. Si se alteran estos parámetros obviamente las estrategias de los proveedores cambiarán y viceversa, esto se puede simular en un periodo de tiempo fijo. Esto nos puede dar una buena guía del comportamiento de los competidores a futuro.

La mayoría de las empresas tiene un método bastante sistemático en cuanto a sus estrategias licitativas para calcular el precio, que se basan en factores claves y sus alcances son limitados.

Mercer y Russell²⁴ derivan un modelo para el precio para una serie de licitaciones para distintos competidores.

El modelo es como sigue:

$$X_{ijk} = Y_i - f(S_i) + U_{if} + V_{ijk} \quad (2.35)$$

Donde:

X_{ijk} = es el precio sometido por cada contratista i en una serie por cada competidor j al cliente k .

Y_i = la percepción común de los competidores del precio por el contrato, independientemente de cualquier descuento u organizaciones involucradas.

$f(S_i)$ = es una función del descuento común que se asume que trabaja para todos los competidores y clientes.

U_{if} = representa la actitud especial del competidor j a este contrato particular sin tener en cuenta al cliente, y dependerá de la habilidad del competidor para ganar el contrato.

V_{ijk} = representa la variación especial en el precio del competidor j que hará que el cliente k le otorgue el contrato.

*Rey y Mercer*²⁵ hicieron un estudio para un contratista de ventilación y calefacción, desarrollando modelos basados en 500 cotizaciones recolectadas en tres años. Esto los ayudo a establecer la individualidad de cada proveedor e identificar al cliente donde no hay factores importantes en la licitación estratégica. Otros factores clave sugeridos por la administración incluyeron el tipo de empleo y donde el precio fue fijado o variable, y se supuso que el tiempo de licitación, tamaño y localización del trabajo eran factores clave. Las estrategias de licitación de la compañía fueron modeladas por una segmentación inicial de licitaciones en 17 categorías, de acuerdo al tipo de empleo y naturaleza del precio cotizado, y se realizo un análisis de regresión en cada categoría para representar el markup como una función lineal del tiempo, tamaño y distancia del empleo de las oficinas del proveedor.

De lo anterior resulto que no existía diferencia significativa entre las categorías, por lo que redujeron a tres categorías. En cada categoría, la media esperada se tomo en función lineal del tiempo, tamaño y distancia, y se encontraron los coeficientes para el precio esperado. Las licitaciones ganadoras en el mercado se tomaron en cuenta para estimar la licitación más baja de

²⁴ Mercer, A., and Russell, J.I.T., "Recurrent competitive bidding", *Operational Research Quarterly* 20 (1969) 209-221.

²⁵ King, M., and Mercer, A., "Problems in determining bidding strategies". *Journal of operational Research Society* 36 (1985) 915-923.

cada una de las tres categorías, se observo que si se variaba el tiempo, tamaño y distancia se podía obtener ciertas ganancias y el modelo variaba.

Entre los modelos que se han propuesto para la estrategia probabilística esta el Método de Optimización de la Cartera de Proyectos, desarrollado por Escobar-Toledo²⁶, en donde el objetivo de éste método es seleccionar de la lista de proyectos candidatos, aquellos que proporcionen las utilidades y beneficios mayores a la empresa. Pueden tomar en cuenta los recursos dependientes, restricciones presupuestales, interacciones técnicas, interacciones del mercado, y consideraciones programadas. Debido a que los proyectos no siempre se pueden considerar en forma aislada, existen muchas posibles interacciones entre proyectos, que requieren que los efectos de un proyecto sobre otro sean tomados en cuenta para la elección de una óptima cartera, estas interacciones son:

- Dependencias de Recursos: diferentes proyectos pueden requerir el uso de los mismos recursos, el objeto de tomarlos en cuenta es para asegurar que los requerimientos de la serie de programas incluidos en la cartera no excedan la capacidad de algún recurso único o especializado.
- Interacciones Técnicas: dos o más proyectos pueden requerir el éxito del mismo experimento o del mismo enfoque técnico. El fracaso en el experimento o en el desarrollo de la tecnología puede retrasar o forzar a la cancelación de tales proyectos. Por otra parte, el fracaso de un proyecto puede incrementar la posibilidad de éxito de otro. La cartera debe diseñarse para minimizar las probabilidades de fallas comunes de diferentes proyectos.
- Interacciones del Mercado: dos proyectos pueden interactuar en el mismo mercado. Si ellos resultan en productos que sustituyen parcial o completamente a otros, el éxito de uno puede convertirse en un acto de “canibalismo” para las ventas de otro. Sin embargo, de manera opuesta, los productos pueden ser complementarios y las ventas de uno pueden engrandecer las de otro. La evaluación de la cartera debe incluir las interacciones del mercado entre proyectos.
- Consideraciones Programadas: existen ciertas políticas o consideraciones reglamentarias que requieren que la cartera contenga ciertos tipos de proyectos. Estas inclusiones pueden ser requeridas para satisfacer consideraciones que no pueden expresarse en términos económicos

Se refiere a una clase de técnicas para seleccionar una serie de entidades de entre una colección mayor, de tal forma que la serie seleccionada maximice una función objetivo, sujeta a varias restricciones.

Su utilización resulta particularmente adecuada cuando dos o más recursos imponen restricciones. La programación entera puede ser un enfoque razonable y para casos modestos puede utilizarse una hoja de cálculo. Para casos más complejos es necesario un programa especializado por computadora, a pesar de que la extensión del problema permanece igual que en el uso de una hoja de cálculo.

Supóngase que se tiene una colección X de $x(i)$ proyectos y cada proyecto requiere de una cantidad de recursos $r(i)$ y un total de R recursos disponibles. Mediante el uso de la programación lineal se debe encontrar el subsistema X^* de X , que maximice a la siguiente ecuación:

²⁶ Escobar-Toledo, apuntes del Autor.

$$\text{Función objetivo Utilidades} = \sum_{x(i) \text{ en } X'} p(x(i))$$

Sujeta a:

$$\sum_{x(i) \text{ en } X'} r(x(i)) \leq R$$

en donde x' es el subconjunto óptimo de proyectos que pertenece a x

En 1995, Sudhindra Seshadri²⁷ publicó un artículo donde habla sobre la teoría de las decisiones y la divide en dos secciones: Las licitaciones competitivas y los modelos de colisión licitativa. En la sección de las licitaciones competitivas, los modelos analizan las estrategias de licitación de los vendedores cuando la situación no está disponible para la coordinación de precios de licitación implícita o explícita. Seshadri (1991) analiza una forma de caminos múltiples para las licitaciones competitivas donde el número de licitadores es endógeno (en otras palabras es introducido en el momento de simular el modelo, por el tomador de decisiones). Muchos licitadores son atraídos a esta competencia, el precio del comprador usualmente aumenta. El vendedor reduce su riesgo, seleccionando más de un proveedor y a sí su licitación aumenta. Los modelos de colisión licitativa, se aplican cuando los vendedores entienden el incremento del tamaño del pastel para los licitadores. Esto aumenta cuando el cliente compra sus productos en porciones arbitrarias a los proveedores ganadores. Antón y Yao (1989) analizan un modelo de esta clase de competencia, llamado división de las ganancias. En este modelo existe el equilibrio en las licitaciones en este campo, dividiendo el costo de minimización de las ganancias totales y simultáneamente maximizan el precio del comprador. Los proveedores escogen este tipo de licitación dado que el de las licitaciones competitivas tiene un solo ganador.

El modelo de Antón y Yao, supone:

Estructura de información: El modelo supone información incompleta.

Conocimiento común: Todos los tomadores de decisión (vendedores y compradores) participan con un conocimiento común a priori de la incertidumbre en el proceso. La función de probabilidad es de conocimiento común.

Conocimiento privado: Cada vendedor j tiene conocimiento privado de su propia licitación. Cada proveedor conoce lo que le afecta a su costo, ambos proveedores saben como el costo común afecta a sus costos, pero es desconocido para el comprador.

Simetría. Cada vendedor está regido por una función monótona decreciente en sus ganancias de Von Neumann-Morgenstern. Se supone un riesgo absoluto constante contrario al de hacer un análisis estrecho.

2.5 FACTORES DISTINTOS AL PRECIO.

Cuando un cliente lanza una invitación para licitar un proyecto, puede escoger entre una gran diversidad de licitantes, dependiendo de los criterios que este utilice para escoger al contratista. A pesar de que el cliente determine de antemano ciertos términos y condiciones del servicio que requiera, éste tendrá ciertas preferencias de acuerdo a sus políticas vigentes en el momento de elegir por lo tanto, el precio no siempre es el único criterio para poder ganar. Los criterios o

²⁷ SESHADRI, Sudhindra "Bidding for contests", Management Science, vol. 41, no. 4, abril de 1995 págs. 561-576

factores donde no interviene el precio son importantes en muchas situaciones para que la licitación sea competitiva.

Estos criterios se pueden dividir en:

- Reputación, tamaño y localización de los contratistas.
- Servicios ofrecidos por contratistas (Especialidades)
- La experiencia previa con los contratistas
- Cantidad de trabajo existente con un contratista

La relevancia de los criterios diferentes al precio de licitación puede garantizar un ajuste de las licitaciones "óptimas" derivadas de un análisis cuantitativo con anterioridad, asumiendo que en el contrato los criterios diferentes al precio de licitación no estén contra del precio en el mismo acuerdo.

Simmonds, desarrollo un procedimiento práctico para decidir la mejor combinación de los criterios diferentes al precio de licitación, primeramente asignó un factor al costo marginal de proveedor y al decremento marginal del valor al cliente. Entonces el valor óptimo de un factor es el que incrementa el factor que tiene un costo igual al valor estimado del cliente.

En seguida en el procedimiento de *Simmonds* se describe un método de ajuste de las licitaciones para tomar en cuenta la combinación escogida de los criterios diferentes al precio de licitación. Un precio equivalente se localizará en la diferencia del precio de oferta del contratista y los que cada competidor ofrezcan. El precio equivalente en el estimado del contratista del valor del cliente se localiza en cada diferencia de los criterios diferentes al precio de licitación. Sea q_i la suma de las diferencias por el competidor i , (o un competidor promedio). Si $q_i > 0$, el contratista tiene una serie de ventajas de los criterios diferentes al precio de licitación sobre el competidor i . Con la diferencia de los factores distintos al precio equivalente q_i operando, la probabilidad de una licitación más baja que el del competidor i con una oferta b que cambia de $p_i(p > b)$ a $p_i(p > (b - q_i))$.

Cuando los factores de los criterios diferentes al precio de licitación operan a favor de un contratista, la probabilidad de licitar más bajo que el competidor i se incrementa.

En la Figura 2.10 se ilustra la situación donde el rendimiento es afectado por los factores de los criterios diferentes al precio de licitación que opera a favor del contratista. Si no se toman en cuenta los factores distintos al precio $P_1(b)$ es como se observa en la figura, una función monótonamente decreciente del precio de licitación. La máxima ganancia esperada del licitante en estudio es E_1^* , que corresponde al precio óptimo de licitación b_1^* . Ahora, si tomamos en cuenta los factores diferentes al precio que actúan a favor del licitante en estudio, la probabilidad de ganar la licitación se incrementa de $P_1(b)$ a $P_2(b)$ para todos los posibles valores de b . Considerando que $P_2(b) - P_1(b) > 0$ para toda b .

La parte final, para la preparación de la licitación es el ajuste de oferta b_2^* para maximizar la ganancia esperada. En el contexto del negocio de la firma y el nivel escogido de esfuerzo de una oferta b_2^* representa una ganancia esperada, que nos da la probabilidad relativa de ganar con respecto a otros competidores que pueden ganar.

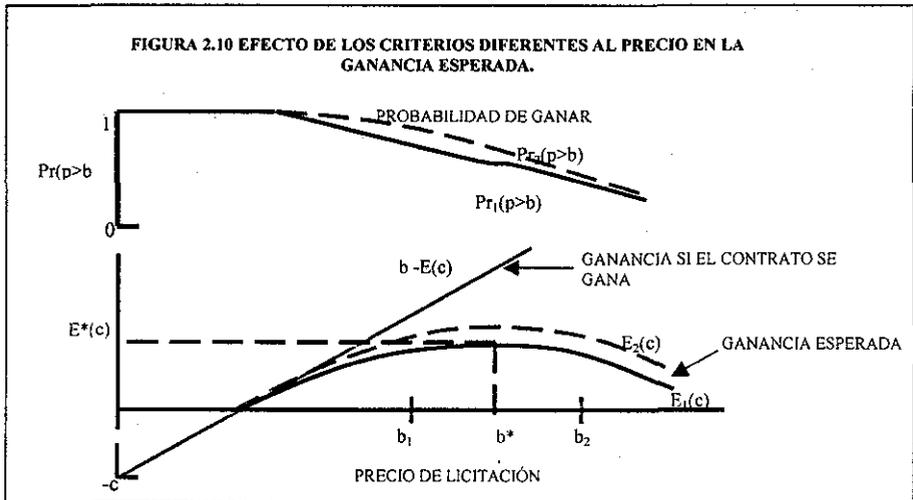
Estos ajustes para la licitación son necesarios tomarlos en cuenta con su interdependencia con otros contratos existentes y futuros. El contrato puede tener ventajas y desventajas de naturaleza competitiva y estratégica.

Stark²⁸ muestra que estos factores distintos al precio puede ser modelados en programación lineal. A pesar de todo lo anterior ha habido un progreso pequeño y a pesar de algunas desventajas obvias del modelo de Friedman es adaptable para las investigaciones de otros autores. Es difícil identificar las estrategias de los competidores y la estrategia probabilística demuestra que hay que ver de manera individual a cada mercado o industria.

James Van Dyke, Kenneth J. Roering y Robert J. Paul²⁹, proponen ciertos criterios distintos al precio para obtener el menor precio:

1. la paridad del dólar en el momento de la negociación.
2. Clara especificación del alcance de la licitación tanto para el contratista (vendedor) como para el cliente (comprador).
3. Asegurarse de tener un número adecuado de contratistas.
4. El contratista debe de comprender el mercado en donde se desea licitar y por tanto obtener el precio más competitivo.

Otro factor importante cuando los anteriores fallan para ganar una licitación es la



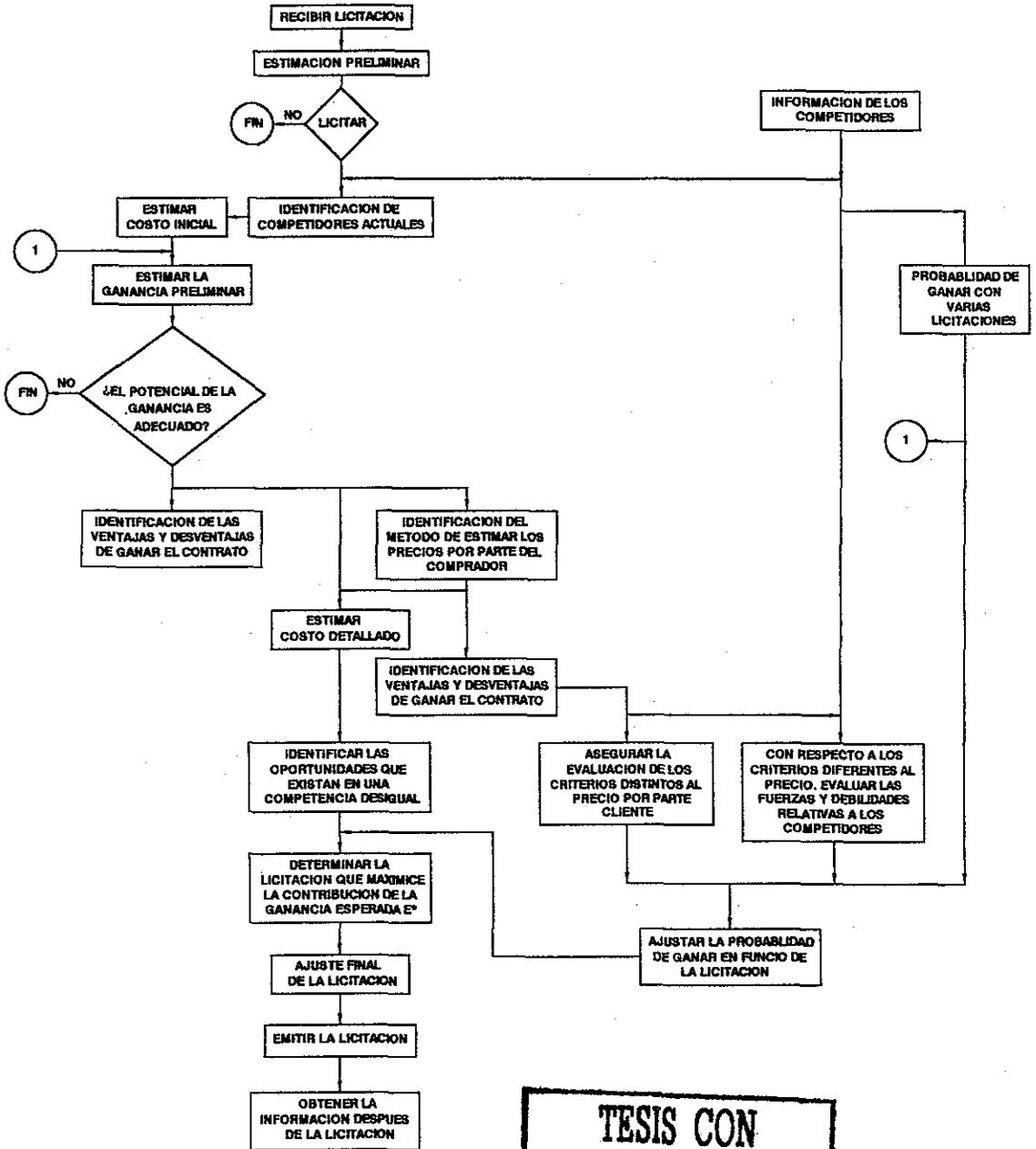
El costo de preparación de la oferta de licitación es significativo, por lo que en la Figura 2.11, se toma en cuenta este punto y a su vez se propone una metodología para una licitación competitiva, tomando en cuenta el análisis preliminar de la ganancia del proyecto para saber si se prosigue o se desecha la licitación desde el principio, entre las cuestiones que se analizan para decidir si se hace la licitación o no son:

El tamaño del contrato: si es muy grande o muy pequeño.

²⁸ Stark, R.M., "Unbalanced bidding models- Theory", J. Const. Div. Am. Soc. Civ. Engrs. 94 (1968) 197-202 and Operational Research Quarterly 25 (1974) 373-388.

²⁹ Van Dyke J."Guía para una licitación competitiva", Journal Purchasing and Material Management, Fall 1975.

FIGURA 2.11 PROCEDIMIENTO PARA UNA LICITACION COMPETITIVA



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Las condiciones del contrato: no-estándares o en contra de las políticas de la empresa.

Localización del contrato. Si es muy lejos o es difícil llegar.

La tendencia del cliente por favorecer a cierto contratista.

Información que se tenga de los competidores: El tamaño, la estructura de la organización, sus cargas de trabajo presentes y futuras y el desarrollo y sofisticación de sus licitaciones.

2.6 PAQUETES DE COMPUTO PARA LICITACIONES COMPETITIVAS

Los paquetes de computo, si bien no existe uno que nos ayude a obtener una licitación competitiva, si hay muchos que nos podemos utilizar como herramienta en alguna etapa de la licitación que nos haga la tarea más rápida, entre los paquetes que se encontraron para estos fines, se tienen:

- Euro XV- INFORMS XXXIV (A DSS for bidding process), En este artículo se describe un sistema para soporte administrativo en los procesos de licitación. Este proceso puede compartir diferentes sub-tareas: precio, costeo, análisis de servicios, Enterprise process y modelado de productos. El objetivo es desarrollar un sistema que soporte las decisiones hechas en su proceso de modelado y productos. De acuerdo con *Sprague* de DSS (1986) tiene tres módulos: la base de datos, la base del modelo y la interfase. La interfase con el usuario esta desarrollada en visual Basic, la base de datos esta en sistema Access, la base del modelo esta compuesta de una base de datos genérica y otra base de datos recurrente de cada firma.

- Pascale Zárate (La descomposición del problema, Polytechnic National Institute of Toulouse. Industrial Engineering department), el objetivo es especificar un modelo llamado EPPMR (Enterprise Products and Process Model Repository), realizado en el proyecto ESPRIT, en donde su objetivo era desarrollar una herramienta que soporte a los licitadores y su procesos de negociación o innovación de productos o servicios.

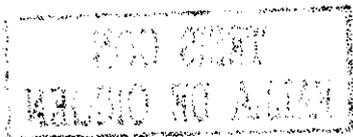
- **Bulk Fuels Bid Evaluation Model Output** Homepage (agosto 1999, <http://www.desc.dla.mil/main/foia/bem/bemfoia.htm>), El modelo de Evaluación para las licitaciones (Bid Evaluation Model BEM) usado por DESC Bulk Fuels Office esta compuesta de la aplicación Microsoft@Foxpro la cual tiene una entrada de datos i reporta las capacidades. Estos datos se envian al paquete de Ketrion Management Science MPSII/pc el cual crea una matriz de Programación lineal mixta entera (LP), se resuelve la LP y se pasan los resultados a FoxPro.

- **Criterion Decisión Plus, Versión 3.0, 1995-1999.**

Es un simulador que puede ayudarnos en las tareas administrativas, para organizar, completar y comunicar una tarea compleja de decisión. Involucra diferentes criterios, que bajo múltiples alternativas se pueden comparar. Este simulador puede ayudarnos a jerarquizar una serie de proyectos en función del presupuesto que le asigne cada empresa a proyectos nuevos, a encontrar el mejor proveedor entre un juego de proveedores, introduciéndole características de cada proveedor, entre otras. Es de fácil manejo, la interfase entre el usuario y el software es sencillo. En el apéndice D se describe más ampliamente este paquete.

- **TreeAge, Data 3.5, 1999.**

Este software, promete hacer más sencillas las tareas de análisis de negocios, por medio de Árboles de decisión, se hace el análisis de diversas situaciones en las cuales se conozcan la probabilidad de cada evento, donde cada rama del árbol representa un evento futuro.



También hace uso de los diagramas llamados de influencia, que a diferencia de los árboles de decisión hace más fácil el entendimiento de ciertos cálculos tales como la revisión de Bayes y el valor esperado de la información perfecta. Aquí cada nodo representa diferentes factores que influyen en el resultado y arcos entre nodos que son los caminos que influyen entre los nodos.

-Crystal Ball 2000

Este Software esta compuesto de cuatro partes: Crystal Ball 2000, Opt Quest para Crystal Ball 2000, CB Predictor y Developer Kit para Cristal Ball 2000 y CB Predictor.

Cristal Ball tiene una interfase de usuario muy amigable, la graficación esta orientada al pronóstico y el análisis de riesgos que toma una incertidumbre fuera de la decisión tomada.

Cristal Ball es fácil de aprender y fácil de usar. Para empezar a usarlo todo lo que se tiene que hacer es crear una hoja de cálculo con Microsoft Excel.

Cristal Ball, incluye una serie de herramientas para realizar tareas especializadas, estas son:

Batch Fit: Esta automáticamente selecciona la probabilidad de distribución para una serie de datos múltiple.

Bootstrap: Direcciona la veracidad y la ocurrencia de una estadística predictiva.

Matriz de Correlación: Rápidamente Define y automatiza la correlación de las variables de incertidumbre.

Tabla de decisión: Evalúa los efectos de decisiones alternas en el modelo de simulación.

Análisis del Escenario: Despliega cuales entradas resultan en particular salidas.

Tornado Chart: Individualmente analiza el impacto de cada variable del modelo en un objetivo de salida.

Simulación de dos dimensiones: Independientemente de la dirección de la incertidumbre y la variabilidad usando una simulación dimensional.

Este software esta dirigido desde los tomadores de decisión, analizadores de negocios hasta los evaluadores científicos. No se requiere un amplio conocimiento de estadística o computación para usar Cristal Ball, sólo se requiere un conocimiento básico del uso de computadoras y la habilidad de crear un modelo en hojas de cálculo.

-OptQuest para Cristal Ball 2000.

OptQuest aumenta la efectividad de Cristal Ball para encontrar la solución optima del modelo de simulación.

Los modelos de simulación para ellos mismos pueden dar solamente un rango posible de salidas para una situación. Ellos no te explican como el control de las variables en el modelo dan la mejor salida.

Al escribir el problema de optimización en OptQuest, posteriormente se llama al Crystal Ball para evaluar el modelo de simulación para diferentes valores para las variables de control. OptQuest encuentra la combinación correcta de los valores que produce el mejor de los resultados posibles.

OptQuest, además tiene una eficiente frontera para localizar una serie de valores objetivos que se encuentran sobre un rango de requerimiento variable.

-CB Predictor Versión 1.1

La Predicción es una parte importante de las decisiones en los negocios. Toda organización requiere formular sus metas, tratar de predecir eventos futuros y entonces tomar acciones que cumplan con las metas esperadas.

El CB Predictor es fácil de usar, y esta orientado para hacer sus predicciones en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

El CB Predictor esta dirigido a las personas que están involucradas en la planeación y predicción de una organización, desde el Gerente de predicción hasta el de proyección financiera.

-Developer Kit para Crystal Ball 2000 y CB Predictor.

Developer Kit Crystal Ball 2000 y CB Predictor, toma la información que necesita de las aplicaciones de automatización y control del Crystal Ball. Por lo anterior abre ciertas posibilidades:

- Integra a Crystal Ball con las aplicaciones del cliente.
- Construye informes del cliente
- Automatiza el análisis post-simulación.

2.7 ESTRATEGIAS DEL LICITANTE FRENTE A SU COMPETENCIA.

*Pedro Wesser*³⁰ propone para hacer frente a la competencia tomar en cuenta una planeación estratégica, y para lo anterior hay que responder ciertas cuestiones como: ¿Que tan grande es el mercado?, o en otras palabras ¿Quién es el verdadero cliente?, ¿Que hábitos específicos de compras muestran?, ¿Que requisitos básicos ha de cumplir el fabricante para poder vender su artículo al cliente? Mientras más amplia sea la información del cliente mayor serán las posibilidades de éxito.

Antes de invertir grandes cantidades de dinero y tiempo hay que hablar con los clientes potenciales para determinar si ellos están interesados en lo que el licitante ofrece y cuanto pagarían por su trabajo. También hay que conocer los hábitos del cliente, esta investigación debe ser lo más profunda que se pueda y se puede llevar a cabo por los siguientes medios: Biblioteca, Internet, avisos oportunos, servicios de búsqueda y exposiciones.

El licitante puede preguntarse, que es lo que tiene en común sus clientes potenciales, si todos trabajan en el mismo sector, si están en la misma ciudad, municipio o estado, si se tiene una cámara de comercio. Si están en otro país habrá un empleado que pueda dar información en la embajada correspondiente y muchas veces un consejo de desarrollo comercial patrocinado de manera local. por lo general estos grupos poseen mucha información y estadísticas.

³⁰Wesser, Pedro "Estrategias frente a la competencia", Management today en español, junio del 2000, pags 26-29

Se debe usar un grupo de análisis que revisen las opiniones de los clientes, que tiendan a mejorar o perfeccionar lo que los clientes piden.

El conocer a la competencia le ayudará a la empresa a refinar las estrategias, perfeccionar el plan financiero y desarrollar una mejor licitación, lo siguiente que hay que saber es qué hacer o en que piensan. Con ello se podrá tener un conocimiento muy completo e impresionante si todos los datos se organizan en una matriz como sigue:

- Nombre del competidor
- Principales clientes
- Principales socios comerciales
- Posición financiera
- Participación del mercado
- Servicios que contratan
- Productos estratégicos
- Precios de producto
- Características fundamentales del producto
- ¿Quién vende el producto?

2.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS MODELOS PARA LAS LICITACIONES COMPETITIVAS.

Aunque ofrecen un formal y estructural aprovechamiento del problema de la licitación competitiva, tienen ciertas limitaciones, debido a la falta de información. Entre los factores más críticos de la falta de información están:

- 1.- La situación competitiva de la firma
- 2.- La situación histórica del cliente.
- 3.- Los factores internos de la firma.

2.8.1 CONSIDERACIONES DEL CLIENTE.

El cliente es sensible a las diferencias entre los precios de la licitación. La firma debe construir para cada cliente una curva de sensibilidad del precio, estableciendo límites por arriba y por abajo del precio de oferta de la compañía.

El problema esta en que los compradores en toda la escala de probabilidad no se comportarán igual para medir el precio y las invariaciones del precio a todos los niveles como se asume en los modelos, pero esto dependerá del nivel del precio.

Una limitación de los modelos para licitación es que se ignora cuanto sabe el cliente. Además una oferta debe aplicar en situaciones donde el comprador acepte el menor precio. (p.e. construcciones para el gobierno). Entonces, los modelos de oferta se tomarán de acuerdo a la curva de sensibilidad construida.

2.8.2 CONSIDERACIONES INTERNAS.

Un aspecto de los modelos para licitación es el tratamiento de los factores internos que determinan el del rango de oferta que actúan sobre una compañía. Una de las consideraciones es la estabilidad

financiera de la empresa. Muchos modelos asumen que el objetivo de estos es obtener la máxima ganancia.

Los modelos con frecuencia fallan al considerar todos los costos en la licitación. Aunque muchos modelos consideran el costo de Hora-hombre, materiales y gastos generales, con frecuencia ignoran el costo total de la licitación. La preparación del costo licitación es en muchos casos significativos. Por lo que muchas firmas no pueden hacer licitaciones para todos los contratos, dado que se tiene un presupuesto restringido para las licitaciones. Una restricción adicional restringir estas licitaciones de acuerdo a su capacidad disponible. Las firmas tienen dos problemas con las licitaciones, el primero es el problema secuencial de la licitación, donde la firma tiene la oportunidad un cierto numero de contratos; el segundo problema es el caso de la licitación concurrente donde la firma es forzada a seleccionar cual de los contratos a licitar esta disponible. Para lo cual la firma puede empezar con un precio de oferta alto y bajarlo hasta donde le sea posible.

ANÁLISIS JERÁRQUICO MULTICRITERIO

Desde el punto de vista del cliente en la Industria Petrolera Mexicana en proyectos de Ingeniería, Procura y Construcción (IPC), es necesario evaluar las licitaciones competitivas que basándose en ciertos criterios cumplan técnicamente y posteriormente gane la de menor precio según la Ley de Obras Públicas. Con respecto a lo anterior también se encontró que no se tiene ninguna metodología formal para evaluar las licitaciones competitivas, por lo que en este capítulo se tratará de explicar una metodología con bases teóricas que puede ser útil para seleccionar al licitante ganador que en base a ciertos criterios seleccionados por el cliente, nos de una respuesta más clara de la selección del ganador.

3.1 NATURALEZA DE LOS PROBLEMAS DE DECISIÓN

La decisión en cualquier nivel puede ser ejercida por diferentes tipos de actores, un solo individuo, corporaciones constituidas o una colectividad determinada. En el ámbito del enfoque de toma de decisiones multicriterio, a estos actores se les denomina interventores, quienes condicionan directamente la decisión, en la medida de su intervención y en función de sus sistemas de valores.

El proceso de decisión es el desarrollo de intercambios permanentes de las referencias de los diferentes actores, o el producto de la sucesión de interacciones concomitantes, que tienen lugar entre los interventores dentro de la esfera de influencia donde ellos se mueven.

Para orientar adecuadamente la decisión se deben contemplar las siguientes normas:

- a) Imaginar y enumerar el mayor número de posibilidades que puedan ser consideradas como el objeto de la decisión;
- b) analizar las consecuencias de cada una de las posibilidades tomadas en cuenta, a fin de apreciar las ventajas y desventajas que existan;
- c) comparar las evaluaciones que resulten a la luz de los objetivos, a modo de adquirir una seria convicción con respecto al valor relativo de las diferentes posibilidades o los defectos de alguna de ellas;
- d) clasificar las conclusiones de estas evaluaciones de los distintos Interventores, de tal forma que la evolución del proceso tome en cuenta, en lo posible, sus sistemas de valores.

- e) Finalmente, hay que tomar en cuenta que para llevar adelante un buen proceso de decisión, se debe contar con una excelente información, el análisis científico, una deducción rigurosa y una capacidad de persuasión muy grande.

Dada la complejidad de la realidad, es preciso utilizar modelos que nos ayuden analizar el proceso de interacción entre las causas y efectos de los fenómenos que se debaten en ella. Por lo anterior, debemos definir lo que es un modelo. Un modelo es un esquema que, para un campo de preguntas es tomado por un observador, como representación de una clase de fenómenos para servir de soporte a la investigación y/o a la comunicación.

El profesional de la modelación, aunque tenga una gran experiencia y conocimiento en su actividad, no escapa al hecho de tener que actuar por aproximaciones sucesivas en algún momento de su trabajo. El tener que delimitar una clase de fenómenos, tomando en cuenta un campo de preguntas, implica muchas opciones, que pertenecen sobre todo a la observación, a la imaginación y al saber hacer; es por eso que durante el proceso se deben aislar distintos fragmentos considerados como integrantes del modelo y finalmente unirlos al contexto inicial.

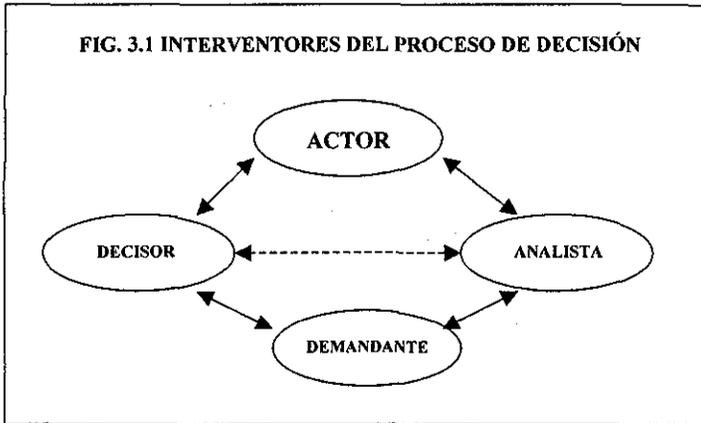
La ayuda a la decisión es la actividad de aquel, que apoyándose en modelos claramente explícitos, más no necesariamente formalizados, ayuda a obtener elementos de respuesta a las preguntas que se plantea un interventor en un proceso de decisión. No hay que perder de vista que la ayuda a la decisión contribuye a construir, a asentar y a hacer participar, convenciendo y no a demostrar, en todos los casos, la optimalidad de una decisión.

Si bien el decisor es el que recibe el auxilio en la toma de decisiones, la ayuda proviene de otra o de otras personas no involucradas directamente en el proceso; así surge quien se llama el analista, que generalmente es distinto del decisor y se reconocerá de la siguiente manera: El analista es el experto que actúa solo o dirigiendo un equipo, que tiene a su cargo apoyar la decisión.

Generalmente no hay vinculación directa entre el decisor y el analista; ésta la ejerce quien o quienes demandan el trabajo haciendo la labor de conjunción y se identifican como: El demandante, el cual es aquella persona que solicita el estudio, proporciona los medios para este y aparece en el proceso de decisión como el contacto directo y se interpone entre el decisor y el analista.

El cuarto personaje que interviene en el proceso es el Actor (pueden ser varios), este influye directa o indirectamente en él, ya sea por su sistema de valores y sus intervenciones o por la manera en que hace intervenir a otros individuos.

Para un mejor entendimiento de lo anterior, en la Figura 3.1 se muestra a los participantes y su relación en el proceso de decisión.



Roy (1983) presenta un estudio referente a la decisión y sus actores. Igualmente "Equipe de Recherche Associé CNRS" (1983).

Lo que espera el decisor del analista es una serie de actividades que pueda cristalizar o una asesoría sobre las posibilidades que tenga de hacer algo. A pesar de la diversidad existente de estas realizaciones posibles, denominadas acciones, es necesario definir las como ayuda, integradas al proceso de modelación.

Las acciones se pueden dividir en: reales, ficticias, imaginarias, globales, potenciales entre otras.

- Una **acción real** es aquella que nace de un proyecto elaborado, susceptible a ejecutarse.
- Una **acción ficticia** se opone a las acciones reales y corresponde a un proyecto idealizado completamente construido en la imaginación.
- Una **acción realista** es aquella cuya ejecución puede ser razonablemente encaminada a un proyecto.

Una **acción imaginaria** se opone a las realistas y corresponde por ejemplo a aquellas que satisfacen objetivos incompatibles, aunque al mismo tiempo constituyen un buen soporte de discusión y razonamiento.

Una **acción global** es aquella que al ponerse en ejecución es exclusiva de cualquier otra acción dentro del modelo. En caso contrario se llama acción fragmentada.

Una **acción potencial** es una acción real o ficticia anteriormente juzgada realista por un actor al menos o supuesta como tal por el analista. Caracterizar las acciones potenciales que deben ser tomadas en cuenta, al menos temporalmente, deriva en problemas más o menos difíciles. Estos provienen de las condiciones de pertenencia o no-pertenencia de acciones al conjunto A , que inevitablemente encierra algo de arbitrariedad. Una vez resuelta esta dificultad, el conjunto queda definido si se cumplen las dos "condiciones de estabilidad" siguientes:

Condición I: (Estabilidad interna) Teniendo en cuenta la concepción interna del conjunto de acciones, la fase de estudio no interfiere con la definición inicial del conjunto A y la metodología de ayuda a la decisión puede apoyarse sobre este conjunto impuesto a priori sin tener que tomar en cuenta sus eventuales revisiones.

Cuando esta condición no se considera, en una misma fase de estudio hay que distinguir un conjunto inicial de acciones A_0 y los conjuntos A_1, A_2, \dots susceptibles de deducirse a través de revisiones sucesivas. En otros casos, el estudio retroactúa sobre aquellas acciones que produce el estado de avance del proceso, haciendo evolucionar algunos de los datos que cada fase de estudio le han condicionado. Se establece entonces una segunda condición, que se proporciona a continuación sobre la cual el analista debe interrogar al principio.

Condición 2: (estabilidad externa) La concepción externa del conjunto de acciones A en el marco del proceso de decisión goza normalmente de una cierta permanencia.

De este hecho, la metodología de ayuda a la decisión puede apoyarse sobre un conjunto A susceptible de una definición exhaustiva durable, sin tener que tomar en cuenta un carácter transitorio de él. Sin condición, el conjunto A se considera cambiabile.

En relación con estas dos condiciones, se define que el conjunto A de acciones se considera:

Estable:	Si las condiciones de estabilidad interna y externas se cumplen.
Evolutivo:	Si no es estable.
Impuesto:	Si la condición de estabilidad interna se satisface.
Revisable:	Si no es impuesto.
Permanente:	Si la condición de estabilidad externa se cumple.
Transitorio:	Si no es permanente.

En la siguiente sección se expondrá las etapas que se debe de seguir para resolver un problema de decisión.

3.2 ESTRUCTURA DE UN PROBLEMA DE DECISIÓN

Un criterio es una función real g sobre el conjunto de acciones A que representa las preferencias del decisor según uno de sus puntos de vista o asesorado por un grupo de expertos y por que sabe, puede y quiere tomar decisiones al respecto de un problema dado. Si la estructura de preferencias es de pre-orden total, cuasi orden, orden de intervalo o un pseudo orden; entonces este criterio resulta ser un criterio verdadero, cuasi criterio, criterio de intervalo o pseudo criterio, respectivamente [Vincke; 1989].

La representación de los criterios por una familia $F = \{g_1, \dots, g_j, \dots, g_n\}$ ó simplemente $F = g_j(a)$, es una de las partes más delicadas de la formulación de un problema de toma de decisiones. Roy y Bouyssou [1987a] dan las propiedades para que una familia coherente de criterios en el sentido que las preferencias parciales de los criterios sean consistentes con las preferencias considerando todos los criterios simultáneamente (preferencias globales), evitando redundancias.

Un problema multicriterio, es una situación, donde habiendo definido un conjunto A de acciones, es una familia F coherente de criterios sobre A :

- Se determina un subconjunto de acciones consideradas como las mejores respecto de F (problema de selección).

- Se particiona A en subconjuntos que siguen normas preestablecidas (problema de clasificación).
- Se ordena las acciones de A de la mejor a la menos buena (problema de jerarquización).

Para resolver un problema de toma de decisiones se consideran las siguientes etapas: (Nijkamp, P.; Voogd, H.; 1985).

- Etapa I: Definición de las acciones y formulación del problema (escoger una acción, seleccionar un subconjunto de acciones y ordenar acciones).
- Etapa II: Determinación de criterios y modelado de las preferencias del decisor respecto a cada uno de estos criterios
- Etapa III: Síntesis de la información existente en un modelo global (agregación de criterios).
- Etapa IV: Aplicación de algún procedimiento para resolver el problema de toma de decisiones.

Formalmente tomar una decisión consiste en determinar:

- a) un conjunto de cursos de acción, A ;
- b) un conjunto de consecuencias, C ;
- c) un conjunto de estimados de consecuencias, E ;
- d) una función $e : A \longrightarrow E$ llamada estimación de consecuencias;
- e) una relación binaria asimétrica de ordenamiento $>$ sobre E , llamada una relación de preferencias.
- f) un curso de acción $a \in A$ tal que $e(a) > e(b)$ para todo curso de acción $b \in A$, llamada solución del problema de toma de decisiones.

Cada uno de los conjuntos A , C es un conjunto excluyente y exhaustivo. La realización de cualquier curso de acción $a \in A$ implica que se realiza un cierto elemento de C , llamado las consecuencias del curso de acción a o un estimado $e(a) \in E$ de dicha consecuencia. La decisión consiste en elegir el curso de acción $a \in A$ de modo que el estimado de su consecuencia, $e(a)$ sea al menos tan preferible como el de cualquier otro curso de acción, lo que se denota por $e(a) > e(b)$.

Los problemas de toma de decisiones pueden ser clasificados de forma matemática por los estimados de las consecuencias:

Para cada $a \in A$, $e(a) \in E$ es un elemento de C , un conjunto de C distribución de probabilidad sobre C , entonces se dice que el problema es bajo certeza, incertidumbre o riesgo, respectivamente (otra posibilidad es que $e(a)$ sea un conjunto borroso de C , [Roubens y Vincke, 1987]).

Si el conjunto de consecuencias C es un producto cartesiano, el problema de toma de decisiones se llama multicriterio (objetivos o atributos múltiples) por que cada una de las componentes se asocia con un criterio relevante para la decisión.

3.3 ANÁLISIS DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO

El diseño de estrategias y su correspondiente análisis, en la Administración de Proyectos, conlleva a la elección de una línea de actuación futura teniendo en cuenta distintos contextos probables; ello implica conjugar una visión determinista (la filosofía de la empresa y si es un megaproyecto de éste en sí) con la aleatoriedad de los sucesos futuros, impredecibles pero no necesariamente imprevisibles.

Por lo que el análisis de la decisión multicriterio o análisis de criterios múltiples, tiene como objetivo proporcionar a los tomadores de decisión, herramientas que les permitan resolver un problema en donde existen varios puntos de vista, en la mayoría de los casos contradictorios, que deben tomarse en cuenta.

El análisis de la decisión multicriterio se ha desarrollado desde hace 25 años y existen dos formas representativas de modelar las preferencias del decisor: el modelo funcional y el modelo relacional. Estos modelos son la base de los enfoques MCDM (Múltiple Criteria Decision Making) y MCDA (Múltiple Criteria Decision Aid), que dan lugar a dos grandes escuelas: la norteamericana y la europea, respectivamente.

Pardalos, Siskos y Zopounidis (1995) proponen dividir el análisis multicriterio en las siguientes cuatro categorías:

- I) Programación matemática multiobjetivo,
- II) Teoría de utilidad multiatributo,
- III) Enfoque de relaciones de sobre clasificación, y
- IV) Enfoque de desintegración de preferencias.

Actualmente la programación por metas (del trabajo de Charles y Cooper [1961] basado en los conceptos de Koopmans) es uno de los métodos más conocidos del análisis multicriterio, el cual se basa en la programación lineal e involucra metas elegidas por cada objetivo. Otros enfoques interesantes que han tenido grandes resultados en la incorporación de múltiples objetivos a problemas de toma de decisiones individual y en grupo son la Programación lineal multiobjetivo (Franz et al., 1992), y la Optimización multiobjetivo no lineal (Miettinen, 1999).

En la teoría de utilidad multiatributo, el problema de ayuda a la decisión consiste en modelar las preferencias del decisor por medio de una función de valor (decisión bajo certeza), o por una función de utilidad (decisión bajo incertidumbre), las cuales con frecuencia se suponen aditivas o multiplicativas.

Bernard Roy se considera el creador del concepto de sobre clasificación en el análisis multicriterio. Este concepto nació de las dificultades encontradas para modelar ciertos problemas concretos. Para hacer frente a estos problemas Roy (1968) desarrolló ELECTRE I (Elimination Et Choix Traduisant la REalité), en el que las preferencias del decisor se representan en forma relacional. De acuerdo con Roy (1996), una relación de sobre clasificación es una relación binaria S definida en un conjunto de alternativas A tal que la alternativa a sobre clasifica a la alternativa b si hay suficientes argumentos para decidir que a es al menos tan buena como b y no hay razones de peso para refutar esta aseveración. Posteriormente se desarrollaron los métodos consecutivos de ELECTRE II, III y IV (Roy y Skalka desarrollaron el software ELECTRE IS, basado en ELECTRE I), otros métodos

basados en relaciones de sobre clasificación, que se pueden enunciar son: QUALIFLEX, ORESTE, MELCHOIR y PROMETE.

El método Electra I, se basa en una relación de sobre clasificación, la cual es una relación binaria «S» definida en A tal que aSb si, dadas las preferencias del decisor y la calidad de las evaluaciones de las acciones y la naturaleza del problema, hay argumentos suficientemente grandes para admitir que «a» es al menos tan buena que «b», sin que exista una argumentación en contra para rechazar esta afirmación.

Por otra parte, estos métodos hacen intervenir la noción de «pesos» de los criterios, para poder representar su importancia relativa.

El método Electra I, se aplica para problemas de selección multicriterio; con esta meta, este método trata de obtener un subconjunto N de acciones tal que toda acción que no esté en N es sobreclasificada por al menos una acción de N. Este subconjunto (lo más pequeño que sea posible) no es, por lo tanto el conjunto de buenas acciones sino es el conjunto donde se encuentra el mejor de los compromisos buscado, dado el problema multicriterio.

3.3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA RELACIÓN DE SOBRECLASIFICACIÓN.

Para construir una relación de sobreclasificación, se le da a cada criterio, un peso, « p_j » que entre más grande es, más importante es el criterio K que se le asocia. A cada par de acciones (a,b) el índice de concordancia asociado es :

$$c(a,b) = \frac{\text{Suma de los coeficientes de ponderación de los } K_a \text{ (}\forall a > b\text{)}}{\text{Suma total de los coeficientes de ponderación de los } K_a \text{ si } a \text{ siempre fuese absolutamente mejor que } b}$$

donde :

$$K_a = \text{criterio para la acción } a$$

Este índice varia entre 0 y 1, mide los argumentos en favor de la afirmación : «a sobreclasifica b». Entre los criterios en favor de «b», puede haber para los cuales las preferencias de «b» sobre «a» sea tal, que ponga en duda la afirmación precedente. En ELECTRA I, este fenómeno, estaba representado por un índice de discordancia definido como sigue:

$$d(a,b) = \frac{\text{Mayor diferencia de calificación entre dos proyectos en } K_a}{\text{Mayor rango existente en la puntuación de la escala de calificación}}$$

Este índice (comprendido entre 0 y 1) será más grande como la preferencia de «b» sobre «a» sea fuerte al menos en uno de los criterios.

Habiendo definido un umbral de concordancia, \hat{c} , (relativamente grande) y un umbral de discordancia, \hat{d} , (relativamente pequeño), se define la relación de sobreclasificación «S» por:

aSb si y solamente si:

- $c(a,b) \geq \hat{c}$,
- $d(a,b) \leq \hat{d}$,

o,

aSb si y solamente si :

- $c(a,b) \geq \hat{c}$,
- $[g_j(a), g_j(b)] \notin D_j, \forall j$,

de acuerdo a como se haya definido la discordancia.

Teniendo la relación de sobreclasificación, «S», que puede representarse por un grafo en donde los nodos son las acciones, se busca un subconjunto «N» de acciones tal que:

- $\forall b \in A \setminus N, \exists a \in N : aSb$;
- $\forall a, b \in N, a$ no es preferido a b (aS/b).

Se busca por lo tanto, un subconjunto «N» de acciones tal que toda acción que no está en N es sobreclasificada por al menos una acción de N y las acciones de N son incomparables entre ellas.

En teoría de grafos, el conjunto se llama «núcleo» del grafo y existen algoritmos para poderlo determinar. Es necesario recordar que si no hay circuito en el grafo, el núcleo existe y es único. Una técnica consiste entonces en reducir los circuitos del grafo inicial, es decir reemplazar cada circuito por un elemento único, que es en realidad tomar la consideración de empatar las acciones del circuito, pero esta operación puede eliminar una buena parte de la información contenida en la relación de sobreclasificación.

Para evolucionar hacia el mejor compromiso, es necesario analizar de manera más fina las acciones que se encuentran en el núcleo. Es necesario realizar por lo tanto parametrizaciones sobre p_i, \hat{c}, \hat{d} y de estudiar tanto la estabilidad como la robustez del resultado con respecto a las variaciones de los parámetros. Este análisis paramétrico puede servir igualmente a reconsiderar las acciones del núcleo.

El método ELECTRA II, sirve para clasificar o jerarquizar las acciones de la peor a la mejor.
CONSTRUCCIÓN DE LA RELACIÓN DE SOBRECLASIFICACIÓN.

En realidad la metodología de ELECTRA II³¹, esta basada sobre la anterior, aunque de manera muy importante se vuelven a calcular los índices de discordancia y concordancia, fijando dos umbrales para la concordancia que llamaremos « \hat{c}_1 y \hat{c}_2 », tales que $\hat{c}_1 > \hat{c}_2$, construyéndose una relación de sobreclasificación «FUERTE», S^f y una relación de sobreclasificación «DÉBIL», S^d como sigue:

³¹ Roy, B. P. Bertier, « la méthode ELECTRE II, une application au média-planning », en OR 72, M. Ross (edit). North Holland, (1973), pp 291-302.

$$\text{Índice de Concordancia : IC } S1/S2 = \frac{\sum P_j \text{ para los cuales } S_1 \geq S_2}{\sum P_j}$$

$$\text{Índice de Discordancia : ID } S1/S2 = \frac{\text{diferencia máxima de calificación entre } S2/S1}{\text{diferencia máxima de calificación posible}}$$

3.3.2 EXPLOTACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOBRECLASIFICACIÓN.

La clase de las mejores acciones, es decir, la primera clase en la jerarquización, es obtenida como sigue: después de la reducción de los circuitos de S^F , se determina el conjunto «B» de las acciones que no están sobreclasificadas fuertemente por ninguna otra acción; al interior de este conjunto, se reducen los circuitos de S^f y se determina el conjunto A^1 de las acciones que no están sobreclasificadas débilmente por ninguna otra acción de B. El conjunto A^1 constituye la primera clase de la jerarquización y el procedimiento comienza en el conjunto restante, proporcionando así un preorden completo.

Un segundo preorden de preferencia completo se construye de manera análoga, pero comenzando con la clase de las acciones menos buenas y subiendo hacia las mejores.

En este caso también es muy importante un análisis de la robustez y de la estabilidad de la solución. Entre otras metodologías a seguir para obtener preordenes completos, está aquella que consiste en basarse en los nodos de un grafo, es decir, a representar el número de acciones que sobreclasifican fuertemente o que están sobreclasificadas por cada acción, y los empates pueden rearrreglarse sobre la base de la sobreclasificación débil.

Una relación de sobre clasificación S es una relación binaria sobre un conjunto A de alternativas o acciones potenciales tal que dados cualquiera dos alternativas a, b en A , se dice que a sobre clasifica a b (denotada por aSb) si, dada la información de las preferencias del decisor, hay suficientes argumentos para afirmar que " a es al menos tan buena como b y no hay razones de peso para refutar dicha aseveración" (Vanderpooten, 1990). La construcción de una relación de sobre clasificación S sobre A se concibe como una manera de modelar la parte de las preferencias del decisor que pueden establecerse con argumentos suficientemente fuertes. De manera más precisa, decimos que se acepta la aseveración aSb si cuando comparamos a a con b se cumplen las siguientes condiciones:

- La condición de concordancia, que nos asegura que la mayoría de los criterios están de acuerdo con aSb (*principio de mayoría*),
- La condición de discordancia, que nos asegura que ninguno de los criterios discordantes refuta lo suficientemente fuerte que se cumpla aSb (*principio de respeto a las minorías*).

La *prueba de concordancia* corresponde a la aceptación de la regla de mayoría, que aquí se utiliza para enriquecer a la regla de unanimidad, aceptando el sobre clasificación de a sobre b sin alguna expresión de veto (Roy, 1990). La relación de sobre clasificación S usualmente no es completa. En diversas situaciones el decisor no puede o no sabe cómo comparar dos acciones. Esta situación se presenta con frecuencia en la práctica debido a fenómenos como la inseguridad, la incertidumbre o la imprecisión en los datos. Si no se pueden encontrar argumentos que nos indiquen que aSb o bSa ,

entonces solamente podemos concluir que "a es incomparable con b" (denotada usualmente como aRb).

Otra propiedad significativa es que *S no necesariamente es transitiva*, lo cual se traduce en el hecho que la aceptación de aSb y bSc no implica necesariamente que aSc .

Se han desarrollado dos tipos de modelación de preferencias.

Tipo I.- Se considera a un conjunto de $r(r \geq 1)$ relaciones de sobre clasificación para modelar las preferencias del decisor con las siguientes características:

$$S_1 \subset S_2 \subset \dots \subset S_r$$

El *crecimiento en el índice*, desde 1 hasta r , corresponde a un decrecimiento en la fuerza de los argumentos requeridos para validar $a.Sb$.

Tipo II.- Dentro del enfoque de sobre clasificación, el analista puede tener más o menos deseos (puede tomar más o menos riesgos) para aceptar el sobre clasificación, y es aquí de donde surge el concepto de relación de sobre clasificación borrosa (Fodor y Roubens, 1994), (Zadeh et al. , 1975).

3.3.3 LA BÚSQUEDA DE VARIABLES CLAVE POR EL MÉTODO MICMAC³².

Después de haber buscado exhaustivamente en la lista de variables que deben tomarse en cuenta, se trata entonces de reducir la complejidad del sistema y de detectar cuáles son las variables clave que será necesario estudiar con prioridad.

Cuando el interés se dirige a un sub-sistema interno, en relación a un entorno, hay dos tipos de variables esenciales; por una parte las variables que pertenecen al sub-sistema externo y que son las que más influyen y las más explicativas (es decir, las determinantes principales del sistema); por otra parte, las variables que son las más sensibles a la evolución del sistema (generalmente las variables internas). Aquellas variables que no parezcan tener influencia alguna sobre el sistema podrán ser no tomadas en cuenta.

El objeto de Micmac es de identificar las variables más influyentes y las más dependientes (las variables clave), construyendo una tipología de las variables en términos de una clasificación directa e indirecta.

3.3.3.1 LAS RELACIONES DIRECTAS E INDIRECTAS.

Un simple examen de la matriz permite observar las variables que tienen la mayor influencia directa. Para ello se puede obtener una primera serie de informaciones analizando primeramente las influencias directas: la suma de un renglón, representa en el número de veces donde la variable «i» actúa sobre el sistema. Este número constituye un indicador de influencia de la variable «i». De la misma manera, la suma por columnas representa el número de veces donde «j» sufre la influencia de las otras variables, y constituye un indicador de la dependencia de la variable «j». Se obtiene así

³²Micmac : Matriz de Impactos Cruzados-Multiplicación Aplicada a una Clasificación. Godet, M. (1997). " Manuel de Prospective Stratégique ". Dunod, Paris.

para cada variable un indicador de influencia y un indicador de dependencia, permitiendo clasificar las variables de acuerdo a estos dos criterios.

Además de las relaciones directas, existen las indirectas entre variables a través de las cadenas de influencias y de retroalimentaciones.

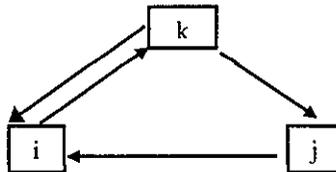
El método Micmac, un programa de multiplicación de matrices aplicado a la matriz estructural, permite estudiar la difusión de los impactos por las diferentes cadenas de influencia y por las retroacciones, y por consecuencia de jerarquizar las variables:

- por orden de influencia, teniendo en cuenta el número de caminos o rutas de cadenas y las retroalimentaciones de longitud 1,2,...,n, que salen de cada variable;
- por orden de dependencia, teniendo en cuenta los caminos y retroalimentaciones de longitud 1,2,...,n que llegan a cada variable.

3.3.3.2 EL PRINCIPIO DE MICMAC : LA ELEVACIÓN EN POTENCIA DE LA MATRIZ.

El principio de Micmac se apoya en las propiedades clásicas de las matrices booleanas que recordaremos brevemente a continuación.

Si la variable «i» influencia directamente a la variable «k» y si «k» influencia directamente a la variable «j», se tiene el esquema siguiente:



En este caso, todo cambio que afecte a la variable «i» puede ser repercutido sobre la variable «j». Hay una relación **indirecta** entre «i» y «j».

En la matriz de análisis estructural, existen numerosas relaciones indirectas del tipo ij, que la clasificación indirecta no permite considerar. La elevación al cuadrado de la matriz pone en evidencia las relaciones de segundo orden entre «i» y «j».

En efecto, $A^2 = A \times A = (a^2_{ij})$

con $a^2_{ij} = \sum_k a^1_{ik} \times a^1_{kj}$

Si a^2_{ij} es no nula, quiere decir que existe al menos una k tal que $a^1_{ik} \times a^1_{kj} = 1$, es decir, que existe al menos una variable intermedia «k» tal que la variable «i» actúa sobre «k» ($a^1_{ik} = 1$) y que la variable «k» actúa sobre la variable «j» ($a^1_{kj} = 1$). Se dice que existe un camino de longitud 2 que va de «i» hacia «j», pasando por «n» variables intermedias.

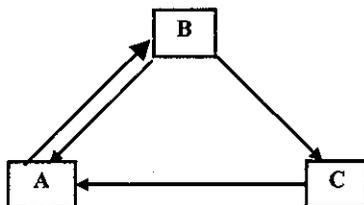
Calculando A^3, A^4, \dots, A^n , se obtiene de la misma manera el número de caminos de influencia (o retroalimentaciones) de orden $3, 4, \dots, n$, ligando las variables entre ellas.

A cada iteración se deduce una nueva jerarquía de las variables, ésta vez clasificadas en función del número de acciones indirectas (es decir, de las influencias) que éstas ejercen sobre las otras variables. Se puede comprobar que a partir de una cierta potencia (en general a la potencia cuarta o quinta), la jerarquía es estable. Es esta jerarquía la que constituye la clasificación Micmac.

Cuando la suma por renglón $S_j a_{ij}^n$ está elevada para la variable «i»,

(a_{ij}^n , siendo un elemento de la matriz elevada a la potencia n), esto significa que existen un gran número de caminos de longitud «n» que parten de la variable «i», y que la variable «i» ejerce un gran número de influencias sobre las otras variables del sistema. La clasificación indirecta Micmac, permite por lo tanto de clasificar las variables en función de su influencia que ejercen (o que sufren), teniendo en cuenta el conjunto de la red de las relaciones que describe la matriz de análisis estructural.

Para aclarar los conceptos, consideremos un sistema constituido por tres variables, A, B, C, que actúan las unas sobre las otras de acuerdo al grafo siguiente:



La matriz de análisis estructural se escribe:

$M^1 =$

	A	B	C	suma
A	0	1	0	1
B	1	0	1	2
C	1	0	0	1
Suma	2	1	1	

En esta primera matriz, los elementos de la diagonal principal son siempre ceros, es decir, no se toman en cuenta las influencias de una variable sobre ella misma, mientras que los efectos indirectos (mostrados por la multiplicación de la matriz por ella misma), se toma en cuenta los efectos de una variable sobre ella misma.

M^2

	A	B	C	suma
A	1	0	1	2
B	1	1	0	2
C	0	1	0	1
Suma	2	2	1	

La cifra 1 del primer renglón, primera columna, significa que existe un circuito de longitud 2 que va de A a B. La cifra 1 del segundo renglón, primera columna, indica que existe un camino de longitud 2 para ir de B a A (éste pasa por C).

Las clasificaciones que proporciona la matriz cuando es elevada a un cierto exponente, aclaran la importancia de ciertas variables de acuerdo a los efectos indirectos de *feed-back*.

Se obtiene la misma estabilidad después de un cierto número de iteraciones con una matriz que contenga números 1,2,3, en función de la intensidad de las relaciones. Tomar en cuenta tales intensidades puede comprenderse si se considera una relación de intensidad « 2 » entre dos variables como el equivalente de dos pseudorelaciones directas de intensidad « 1 » entre estas variables.

Se llama una matriz MAO (matriz de actores/objetivos) a una matriz que se construye de la siguiente manera:

- (+1), si el actor «i» está en favor del objetivo «j»
- (-1), si el actor «i» se opone al objetivo «j»
- (0), si el actor «i» es neutro respecto del objetivo «j».

La matriz traspuesta de MAO es llamada MOA, matriz objetivos/actores. Así la matriz por su traspuesta, se obtiene el número de elementos en común entre cada pareja de renglones de la matriz original.

3.3.4 LA ESCUELA NORTEAMERICANA

La teoría normativa supone que el decisor puede establecer una relación de preferencia " al menos tan buena como" (P) sobre el conjunto de alternativas (y de loterías en caso de riesgo), y que esa relación es transitiva y completa. Con estas propiedades se puede demostrar que, en el caso de decisiones bajo certidumbre, existe una función $V: A \rightarrow \mathbf{R}$ donde \mathbf{R} es el conjunto de números reales que coincide con P sobre A , en el sentido de que para todo $a, b \in A$, $V(a) \geq V(b) \Leftrightarrow a P b$. En el caso de decisión bajo riesgo y L_1 y L_2 dos loterías, se pueden demostrar la existencia de una función de utilidad U definida sobre el conjunto de loterías de modo que $\bar{U}(L_1) \geq \bar{U}(L_2) \Leftrightarrow L_1 P L_2$, donde \bar{U} es el valor esperado de la utilidad.

Los principales inconvenientes de este enfoque son los siguientes (Roy, 1990), (Roy y Vanderpooten, 1995):

- I) Con frecuencia es necesario contar con un conjunto de analistas para llevar a cabo la modelación,
- II) Aún cuando el número de atributos sea pequeño, por lo regular en la práctica es muy difícil establecer una función de valor o de utilidad multiatributo que modele razonablemente bien el comportamiento del decisor,
- III) La teoría establece un modelo ideal de decisor,
- IV) A menudo no existe el verdadero decisor, o el analista no tiene acceso a él,
- V) La información disponible es demasiado imprecisa o subjetiva.

Vale la pena aclarar que, conceptualmente, multiobjetivo se refiere a los problemas con diferentes criterios que cuentan con un sentido definido mientras que los atributos múltiples sólo caracterizan a las alternativas.

Todos los problemas multicriterio dentro de la escuela norteamericana pueden resolverse en general, con alguna de las siguientes técnicas:

- a) Toma de decisiones multiobjetivo
- b) Toma de decisiones multiatributo

3.3.4.1 TOMA DE DECISIONES MULTI OBJETIVO

Esta área trabaja en espacio de decisiones continuas, principalmente en programación matemática con varias funciones objetivo, que se ocupa de resolver el denominado problema del vector máximo, estudiado originalmente por Kuhn Tucker.

En los problemas de programación multiobjetivo se desea:

$$\begin{array}{lll} \text{Opt}^{(1)} & f_j(x_1, x_2, \dots, x_n) & j=1, 2, \dots, p \\ \text{s.a. q.} & g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) < 0 & i=1, \dots, n \end{array}$$

Las variables $x_1, = 1, 2, \dots, n$ pueden ser continuas, enteras, booleanas, mientras que las funciones $f_j, j=1, 2, \dots, p$ pueden ser lineales o no, convexas, diferenciales.

Entre los enfoques multiobjetivo destacan (Steuer, 1985):

- a) Programación lineal multiobjetivo
- b) Programación por metas
- c) Métodos Interactivos.

Los dos primeros suponen que el decisor puede expresar su función de preferencia respecto a la combinación de las funciones objetivo Individuales con anticipación. Esta función puede tomar la forma de una agregación ponderada de las funciones objetivo. La tercera usa solamente información local para llegar a una solución de compromiso aceptable. A continuación se dan los lineamientos generales de cada uno de ellos.

Programación lineal multiobjetivo

Un problema lineal de objetivos múltiples se puede escribir así:

$$\begin{array}{l} \text{máx } \{c^1 x = z_1\} \\ \text{máx } \{c^2 x = z_2\} \\ \dots \\ \text{máx } \{c^k x = z_k\} \\ \text{s.a. } x \in S \end{array}$$

$$\text{Es decir} \quad \text{Máx } \{C x = Z \mid X x \in S\}$$

donde: k número de objetivos
 c^i gradiente (vector de los coeficientes de la función objetivo) de la i -ésima función objetivo

z_j	valor criterio (valor de la función objetivo, z-valor) del i-ésimo objetivo
S	región factible.
C	matriz-criterio $k \times n$ de los coeficientes de la función objetivo cuyas filas son los gradientes c de las k funciones objetivos.
z	vector criterio (vector de la función objetivo, z-vector)

Uno de los problemas de este enfoque es que, en la práctica, no es fácil obtener una representación matemática de la función de utilidad del tomador de decisiones; asimismo es muy difícil tener puntos que maximicen simultáneamente todos los objetivos.

Para esto último, lo que se hace es maximizar cada objetivo en la mayor extensión posible. En la programación lineal de un solo objetivo, el conjunto eficiente y el optimal son convexos (es más, son iguales). Sin embargo, con objetivos múltiples no siempre es así; el conjunto optimal puede ser finito y desconectado (esto es que más de un punto optimal no implica una Infinidad de puntos óptimales), o tener más de un vector criterio optimal distinto.

Una forma para resolver un problema lineal multiobjetivo es utilizando una función de utilidad.

Para medir la utilidad de los bienes y servicios, dado que la acumulación de bienes no es necesariamente lineal, se desarrolla la siguiente Teoría de Utilidad:

Para resolver un problema de objetivos múltiples, a través de Teoría de Utilidad, se le asigna una función de utilidad U al tomador de decisiones y se resuelve de la siguiente manera:

$$\left. \begin{array}{l} \text{máx } \{ \in U(z_1, z_2, \dots, z_k) \} \\ \text{s.a. } f_i(x) = z_i, \quad 1 \leq i \leq k \end{array} \right\} \quad (1)$$

de otra manera se tiene: $\text{máx } \{ U(z) \mid z = Cx, x \in S \}$

La dificultad de la función de utilidad U y la posibilidad de su no-linealidad no se consideran para encontrar el óptimo del problema lineal multiobjetivo, ya que en un contexto más amplio permite obtener el óptimo del problema.

Programación por metas

Es Ideal para criterios, con respecto a los cuales, los valores de los objetivos a alcanzar son significativos. La P.M. se distingue de la programación lineal en lo siguiente:

1. La conceptualización de objetivos como metas
2. La asignación de prioridades y/o pesos para lograr las metas
3. La presencia de variables de desviación d_i^+ y d_i^- para medir logros por encima o por debajo respectivamente de los objetivos a alcanzar t_i
4. La minimización de sumas-pesadas de variables de desviación para encontrar soluciones que mejor satisfagan las metas

Generalmente un punto que satisface todas las metas no es factible, entonces lo que se busca es un punto factible que se acerque lo más posible a las metas. Este punto se encuentra estableciendo prioridades y/o pesos que es la estructura que define la P.M.

Un problema multiobjetivo puede tener cuatro tipos de criterios de meta [Ver fig 3.2]:

1. Mayor que ó igual a
2. Menor que ó igual a
3. Igualdad
4. Rango

Los distintos tipos problemas pueden ser escritos respectivamente como:

Meta $\{c^1 x = z_1 \mid z_1 \geq t_1\}, x \in S$

Meta $\{c^2 x = z_2 \mid z_2 \leq t_2\}, x \in S$

Meta $\{c^3 x = z_3 \mid z_3 = t_3\}, x \in S$

Meta $\{c^4 x = z_4 \mid z_4 \in [t_1^l, t_1^u]\}, x \in S$

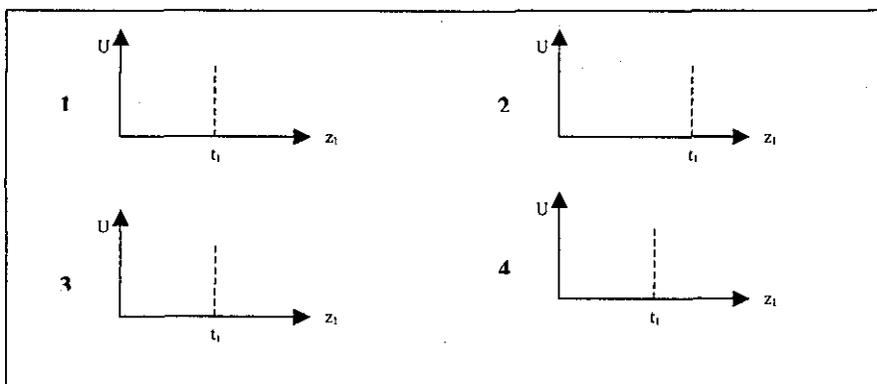


Fig. 3.2 Los cuatro tipos de criterios por meta

En P.M. existen dos modelos básicos: el arquimediano y el de prioridad. En el primero se generan soluciones candidatas calculando puntos en cuyos vectores de criterios son lo más cercanos en el sentido L_1 métricos ponderados al conjunto utópico en el espacio de los criterios. En el segundo se generan soluciones cuyos vectores de criterios están más cercanamente relacionados en el sentido lexicográfico a los puntos en el conjunto utópico.

Existe además una estrategia de P.M. que utiliza ambos modelos pero en un contexto Interactivo y entonces no surgen las dificultades que pueden presentar los dos modelos antes mencionados.

Si un nivel prioritario consiste en variables de desviación de varias metas, una posible construcción sería minimizar la máxima desviación. Esto requeriría la creación de una variable minimax $\alpha \in R$. Y el problema consistiría en: $\min.\{\alpha\}$. Con tantas restricciones adicionales como variables de desviación hay en el nivel prioritario.

En la programación por metas, la función multicriterio especifica tipos de metas, señalando los valores de los objetivos a alcanzar de los niveles de prioridad y aplicando en orden de niveles

ponderaciones arquimedianas. Pero en lugar de resolver la formulación resultante lexicográficamente, se resuelve como un modelo de programación lineal multiobjetivo, esto es, cada nivel prioritario será una función objetivo, y se buscará el espacio de las tasas de Intercambio entre los niveles de prioridad para encontrar la mejor solución para todas las metas consideradas. Para resolver este problema se usa cualquier técnica de programación multiobjetivo que exista.

Métodos Interactivos

Un método Interactivo (Roy, B.; Vincke Ph.; 1981) es un procedimiento que consiste en fases alternadas de cálculo y discusión. En cada interacción se examina una acción (o grupo de acciones) y el tomador de decisiones incorpora esa Información al proceso de solución. La discusión *entre las etapas* le permite considerar las propuestas del analista y dar Información adicional acerca de sus preferencias, que se introducen en el modelo en la siguiente fase del cálculo.

La mayoría de los métodos interactivos propuestos se refieren a programas lineales multiobjetivos. Existen formas de comparar estos métodos para utilizar el más adecuado de acuerdo con las condiciones especiales del problema y obtener el mejor resultado.

En general, en los problemas de decisión un *criterio* es una función g de valor real definida en un conjunto de acciones A tal que: a es mejor que b si y solo si $g(a) > g(b)$.

Dado un conjunto de criterios $\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ una acción a domina a una acción b si y sólo si $g_i(a) \geq g_i(b)$ para toda i y al menos una de las desigualdades es estricta.

Una acción a es eficiente para el conjunto de criterios $\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ si no hay acción b en A que domine a a .

La Imagen del conjunto de acciones A en el espacio de criterios se representa como $A = \{g_1(a), g_2(b), \dots, g_n(a)\} \in P^n$.

Como caso particular, el punto Ideal en el espacio de criterios se escribe:

$$\begin{array}{ccc} \text{Máx } g_1(a), & \text{Máx } g_2(b), & \dots & \text{Máx } g_n(a) \\ a \in A & a \in A & & a \in A \end{array}$$

Existen muchos métodos interactivos, que son utilizados de acuerdo con las características de cada problema. A continuación se presentan algunos de ellos.

El método STEM [Benayoun et al; 1971]

El método STEM fue el primer procedimiento interactivo de impacto en programación multiobjetivo. Diseñado originalmente para programas lineales, actualmente se aplica en programación multiobjetivo no lineal y entera. Se basa en el estudio de la distancia entre los puntos de la Imagen de A en el espacio de los criterios y el punto Ideal. La propuesta para un programa lineal es como sigue:

Sean $\{g_1(a), g_2(b), \dots, g_n(a)\}$ y (M_1, M_2, \dots, M_n) las coordenadas de un punto de la imagen de A y del punto ideal, respectivamente. Se escoge la distancia

$$\text{Máx } \pi_1 (M_1 - g_1(a))$$

donde π_i ($i = 1, 2, \dots, n$) son coeficientes para normalizar los intervalos de variación de las funciones g_i .

La primera iteración consiste en determinar el elemento $a' \in A$, cuya imagen en el espacio de los criterios esté cercana al punto ideal que se encuentra resolviendo el programa lineal.

Si el tomador de decisiones no está de acuerdo con la solución, debe precisar en qué criterio g_i él está dispuesto a hacer una concesión y cuál sería la máxima cantidad Δ_i con la que estaría satisfecho.

Esto se expresa introduciendo en el programa las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} g_i(a) &\geq g_i(a') \text{ para toda } i \neq i^* \\ g_i^*(a) &\geq g_i^*(a') - \Delta_i \end{aligned}$$

En la siguiente fase el criterio g_{i^*} (se elimina poniendo $\Delta_{i^*} = 0$). Esto garantiza la convergencia del método.

Como en ningún momento se supone una coherencia en las respuestas del tomador de decisiones y como las conexiones hechas son irrevocables, la solución no necesariamente es uno de los vértices del poliedro.

El método GDF (Geoffrion, Dyer, Feinberg; 1972)

El método GDF es presentado en el marco de la programación convexa y se basa en la existencia de una función U que agrega un número finito de criterios y su estimación a través de un método interactivo de cambio. Usa en su procedimiento, por sencillez, el algoritmo ascendente del gradiente de Frank-Wolfe por su simplicidad y la propiedad de convergencia inicial rápida en programación no lineal.

El algoritmo de Frank-Wolfe utiliza a su vez otro algoritmo con el que se encuentra una función diferenciable que se optimiza en la región factible del problema lineal, y resuelve:

$$\max \{ [\nabla_x F(X^{(h-1)})]^T x \mid x \in S \}$$

donde $[\nabla_x F(X^{(h-1)})]$ es el gradiente de F en $X^{(h-1)}$.

Se hace una búsqueda lineal hasta encontrar:

$$\max \{ [F(X^{(h-1)}) + td^{(n)}] \mid 0 \leq t \leq 1 \}$$

donde $d^{(n)} = F(X^{(h)}) - F(X^{(h-1)})$ define una dirección, con $X^{(h)} \in S$.

A través del algoritmo GDF, el método obtiene las preferencias ponderadas del tomador de decisiones.

c) Método Z-W (Zions, Wallenius; 1976, 1983)

El método Z- resuelve el problema:

$$\text{Máx } g^{(x)} = C_{j1} X_1 + C_{j2} X_2 + \dots + C_{jp} X_p, \quad j=1,2,\dots,n.$$

s.a. $a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p$, $i = 1, 2, \dots, m$.

donde las funciones objetivos estan siempre normalizadas.

Supone la existencia de una función de utilidad $U: R^p \in R$ lineal, seudo cóncava que agrega criterios g_1, g_2, \dots, g_n .

Las ponderaciones λ_j , ($j = 1, 2, \dots, n$) están definidas de tal forma que si a y b son dos elementos del conjunto A , el tomador de decisiones prefiere a a b si y sólo si:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j g_j(a) > \sum_{j=1}^n \lambda_j g_j(b), \quad j = 1, 2, \dots, n$$

donde g_j son funciones lineales definidas en el espacio.

El método se propone evaluar las λ_j y así encontrar la mejor acción para el tomador de decisiones. Se utiliza el método simplex para encontrar las soluciones eficientes y en su desarrollo se verifican las variaciones en los criterios que está dispuesto a aceptar. Estas respuestas proporcionan un conjunto de restricciones reflejadas en las ecuaciones de preferencias.

El procedimiento termina cuando la solución se estabiliza en un vértice del poliedro del programa lineal.

Existen otros enfoques intelectivos. Entre ellos, los más conocidos en la literatura actual son:

- i) Ponderaciones del criterio Intervalo / vector máximo, que localiza puntos extremos eficientes de mayor utilidad,
- ii) Interactive Weighted-Sums / Filtering Approach, cuya filosofía de desarrollo es igual a i) con la diferencia de que éste, en lugar de reducir el cono criterio, reduce el espacio vector ponderado que es aleatorio,
- iii) Método de Aubin y Naslund, basado en la distancia euclidiana, que tiene problemas al tratar con más de dos criterios.

3.3.4.2 TOMA DE DECISIONES MULTIATRIBUTO

La toma de decisiones multicriterio incorpora formalmente el concepto de criterios múltiples al proceso analítico de problemas con esta característica. Tomando en cuenta si el número de alternativas es pequeño y el carácter de éstas es de incertidumbre, o por lo contrario si es grande y de certeza existen el análisis de decisión multiatributo y la optimización de criterios múltiples. El primero es más aplicable a problemas públicos (p.e. ubicación de una planta nuclear, de un proyecto, producción industrial, manejo de recursos hidráulicos, etc.) En él trabajan, investigadores destacados como Keeney R.L. y Raiffa H. desde la década del 70. El segundo se usa en administración y negocios (planes de una refinería, planeación de una producción, etc.).

Sin embargo, en esta sección se dividen las áreas atendiendo a la continuidad o discretización del espacio de decisiones, y en este sentido se presentan las nociones básicas de dos enfoques, teoría de utilidad multiatributo y proceso de jerarquización analítica, que toman en cuenta dichas características.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Teoría de utilidad multiatributo: El interés de ordenar las distintas alternativas de decisión o de contar con unas preferencias del tomador de decisiones es indispensable para tomar decisiones.

El enfoque de toma de decisiones multiatributo se ha desarrollado a través de la teoría de utilidad multiatributo, cuya base axiomático se origina en la teoría de utilidad. Los modelos de teoría de utilidad multiatributo incorporan la incertidumbre para ordenar las preferencias del decisor. La teoría de utilidad multiatributo separa su trabajo principalmente en dos fases:

1. Agregación de opiniones con respecto a las metas propuestas y por alternativas de decisión
2. Ordenamiento clasificado de las alternativas de decisión de acuerdo con las opiniones agregadas.

El modelo básico es:

Sean $X = \{X_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$
 y $G = \{g_j\}$, $j = 1, 2, \dots, m$,

un conjunto finito de alternativas de decisión
 un conjunto finito de metas, atributos o criterios
 en quienes se basa para juzgar una alternativa (o
 acción).

lo que se pretende es: determinar la alternativa óptima para el decisor, tomando en consideración a G.

Con base en lo anterior, la teoría de utilidad multiatributo representa las preferencias del tomador de decisiones para cada criterio (atributo) i , por una función U_i , decimos que para todo $a, b \in A$: a es mejor que b para todo i si y sólo si $U_i(a) > U_i(b)$ y une estas funciones U_i en una sola función $U: A \rightarrow \mathbb{R}$ que convierte el problema multicriterio en uno de optimización matemática. El deseo del decisor es (consciente o inconscientemente) maximizarla.

De esta manera la existencia de la función de utilidad U es básica. Es por eso que esta teoría se estructura con el siguiente postulado:

"Existe una función U que representa las preferencias globales del tomador de decisiones."

En el marco de ella se ha trabajado en tres problemáticas:

a) Cuáles deben ser las, propiedades de las preferencias del decisor para que U sea una determinada función de los criterios g_1, g_2, \dots, g_n ; (por ejemplo: $U = \sum_{i=1}^n g_i$)

- b) Cómo probar e identificar esas propiedades
- c) Cómo construir la función U .

La función de utilidad U debe ser de naturaleza continua o inferiormente semicontinua para garantizar la existencia de extremos cuando el dominio es cóncavo o convexo, pues de no cumplirse estas condiciones el esfuerzo de matematización quedaría frustrado.

La idea fundamental sobre la que reposan los trabajos es la de independencia preferencial. Esto es:

Sea $K \subset G$, K es *preferencialmente* independiente en G si las preferencias entre las acciones las cuales son sólo diferentes para los criterios en K no dependen de sus valores en los criterios en $G \setminus K$. Formalmente, [Fishburn; 1970] (caso de dos dimensiones).

Sean $G_1 \times G_2$, un orden débil. Para todo $x_1, y_1 \in G_1$, y $x_2, y_2 \in G_2$,
 si $(x_1, x_2) (y_1, x_2) \Rightarrow (x_1, y_2) > (y_1, y_2)$ y
 $(x_1, x_2) > (x_1, y_2) \Rightarrow (y_1, x_2) > (y_1, y_2)$ entonces G_1 y G_2 son preferencialmente independientes.

El *teorema básico* señala que:

Teorema 1

Si existen $U_i, i=1, \dots, n$ funciones reales, de tal forma que:

$$U_i = \sum_{j=1}^n U_i(g_j)$$

para toda $K \subset G$, K es preferencialmente independiente en F .

Un resultado derivado de lo anterior señala que:

Teorema 2: si K_1 y K_2 son preferencialmente independientes en G y si $K_1 \cap K_2 \neq \emptyset$ entonces $K_1 \cup K_2$ y $K_1 \cap K_2$ son preferencialmente independientes en G .

El método Jerárquico Multicriterio (AJM)

El método AJM (Analytic Hierarchy Process), tiene por objeto la descomposición del problema en niveles jerárquicos para determinar en forma clara, a través de la síntesis de los valores de los agentes de decisión, una medida global para cada una de las alternativas, priorizándolas o clasificándolas hasta el final. Este método de escalamiento proporcional es usado para asistir a las personas en la toma de decisiones, en la figura 3.3 se puede apreciar una jerarquía de tres niveles para la resolución de un problema en particular.

Forma de estructurar una jerarquía.

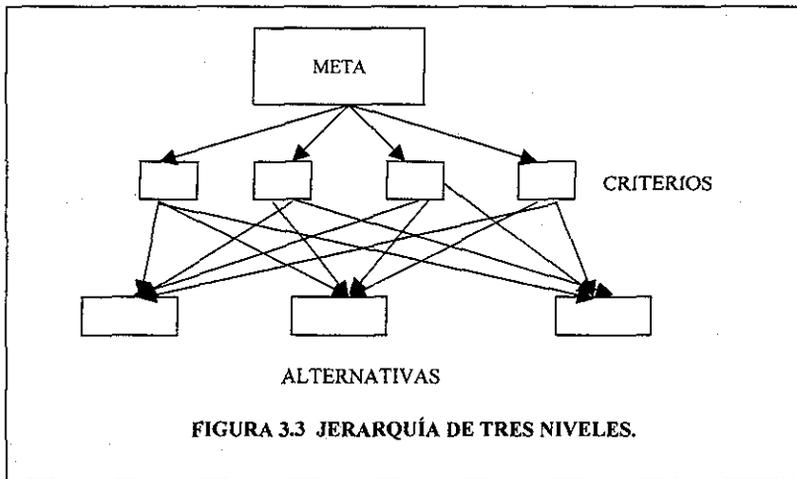
El principio, básico a seguir para crear una estructura jerárquica, es poder contestar la siguiente pregunta:

¿Se puede comparar los elementos de un nivel más bajo en términos de algunos o de todos los elementos del siguiente nivel jerárquico más alto (superior)?

La consistencia para trabajar una jerarquía, es partiendo de la meta hacia las alternativas y luego de las alternativas hacia la meta para hacer posibles las comparaciones. En la solución de los problemas por medio del método AJM se tienen diez pasos significativos:

- 1.- Identificar la meta global ¿cuál es el objetivo que se desea alcanzar? ¿cuál es el problema principal?.
- 2.- Identificar las submetas asociadas a la meta global. Si es relevante deben identificarse los horizontes de tiempo que afectan a la decisión.

- 3.- identificar los criterios que deben satisfacerse para satisfacer las submetas asociadas a la meta global.
- 4.- identificar los subcriterios asociados a los criterios. Los criterios y subcriterios se pueden especificar en términos de rangos de valores de los parámetros o en términos cualitativos (alto, medio, bajo, etc).
- 5.- Identificar los actores involucrados.
- 6.- Identificar las metas de los actores.
- 7.- identificar las políticas de los actores.
- 8.- Identificar opciones (alternativas) o resultados.
- 9.- Tomar el resultado preferido y comparar la relación de beneficio / costo y de tomar la decisión contra aquella de no tomarla.
- 10.- Llevar a cabo el análisis beneficio / costo utilizando valores marginales. Debido que el precio involucra jerarquías dominantes, es necesario preguntarse cual alternativa proporciona el mayor beneficio. Si lo que se trata de analizar es el costo, es necesario preguntarse que alternativa proporciona le mayor costo.



Formalmente estos diez pasos, se pueden resumir en cuatro, según Saaty:

PASO I: Establecimiento de una jerarquía de decisión dividiendo el problema en una jerarquización de elementos de decisión interrelacionados.

Con la construcción de una jerarquía, cada agente de decisión hará una comparación llevada a cabo por pares (par a par) de un nivel jerárquico dado, creando así, una matriz de decisiones cuadrada donde se representará, a partir de una escala predefinida, su opinión / preferencia de entre los elementos comparados entre sí, dado un elemento del nivel superior, C_k se lleva a cabo la comparación de dos elementos de un nivel inferior A_{ij} en función de C_k generando una matriz cuadrada de preferencia:

$$A_{ij}; i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n.$$

Lo que será hecho para cada uno de los niveles de la jerarquía.

Así, un agente de decisión deberá hacer $n(n-1)/2$ comparaciones. Se llama una matriz de "dominio" a aquella que expresa el número de veces que una alternativa domina a las demás o que es dominada por alguna o alguna(s) de éstas. Se trata de una matriz cuadrada en que las alternativas se comparan par a par.

Se dice que una alternativa es superior a otra si ésta domina a una segunda alternativa en un número de factores mayor del que la segunda alternativa domina a la primera.

Cada elemento de A_{ij} del vector línea de la matriz de dominación representará la dominación de la alternativa A_{ij} sobre la alternativa A_{ij+1} . A su diagonal principal será precedida por un valor estipulado que represente la dominación de una alternativa sobre otra.

Para la comparación por pares se utiliza una escala definida por Saaty como *escala fundamental*.

Es, tal vez, lo más importante del método. En la cima de la jerarquización se ubica el objetivo general principal del problema de decisión. Los niveles más bajos contienen atributos (u objetivos) que contribuyen a la calidad de la decisión y cuyos detalles aumentan a medida que se baja de nivel. El último nivel contiene las alternativas de decisión.

PASO II: Obtención de datos de entrada a partir de comparaciones por pares de los elementos de decisión.

El calculo analítico de pesos relacionados con los elementos de peso de la descomposición multijerarquica.

Después de que el tomador de decisiones haya efectuado $n(n-1)/2$ comparaciones por pares y que se haya colectado la información necesaria de las calificaciones correspondientes, se debe encontrar el vector de pesos: $\underline{w} = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ cuya matriz de comparación correspondiente **A** se da enseguida:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & & & & & \\ & w_1/w_1 & & & & \\ \dots & & \dots & & & \\ & & & & & \\ & w_n/w_1 & & & & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

donde:
 w_i es el peso de importancia relativa del elemento i

multiplicando la matriz **A** por el vector \underline{w} se tiene:

$$A \underline{w} = n \underline{w}$$

La matriz **A** tiene un rango unitario ya que todos sus valores propios que se llaman λ_{ij} son nulos a excepción de uno entre ellos:

Sabiendo que:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{traza}(M) = n$$

donde:

n = valor propio máximo

Los juicios dados por el tomador de decisiones son raramente perfectos, como los que aparecen en la matriz A expresada arriba. Sabiendo que para la matriz de comparación a partir de la cual el sistema calcula los pesos de importancia relativa no es perfecto desde el punto de vista puramente matemático, es necesario resolver el sistema siguiente:

$$A \underline{w} = \lambda \max \underline{w}$$

esta ecuación es necesaria para obtener el estimador \underline{w} del vector \underline{w} .

De esta manera, la matriz obtenida de acuerdo al tomador de decisiones debe descomponerse en su estructura propia, para guardar el vector propio correspondiente al valor propio máximo. Este vector propio corresponde a los pesos de importancia relativa de cada uno de los elementos.

Medida de Inconsistencia.

Considerando los elementos de un determinado nivel, donde se desea determinar sus peso en relación con algún elemento del nivel inmediato superior, **de la matriz de comparaciones** se calcula su auto vector para definir las prioridades; esto es teniendo $A_{ij} = A$, contiene los elementos resultantes de al comparación par a par. A es una matriz recíproca tal que:

$A_{ij} = 1/A_{ji}$, que además verifica $A_{ij} A_{jk} = A_{ik}$, para cualquier i, j, k . Si esto sucede se le llamará **matriz consistente**.

Saaty, demuestra que siendo A una matriz de valores, es necesario encontrar un vector que satisfaga la ecuación:

$$A \underline{w} = \lambda \max \underline{w}$$

Donde:

λ = el valor propio de la matriz de datos que es igual a n (que es el valor propio no nulo de la matriz teórica perfecta A).

Se puede observar que pequeñas variaciones de A_{ij} implican también pequeñas variaciones de λ , y una desviación de éste en relación a n (**el orden de la matriz**), es una medida de consistencia.

Medida de consistencia.

De lo expuesto en el párrafo anterior, se puede afirmar que λ permite afirmar que con una escala de razones o cocientes con que se pretende trabajar las estimaciones de prioridades, puede conducir a un índice de consistencia.

Teorema 1. A es consistente si y solamente si $\lambda_{\max} \geq n$.

Prueba: Si **A** es consistente, entonces cada columna de **A** es una constante múltiplo de otra columna.

Se puede entonces determinar la magnitud de la perturbación o consistencia de la matriz, utilizando la relación:

$$C = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n-1)$$

Por lo tanto el índice permitido sería un valor que se encuentra entre 0 y 1. Considerando que cuando $C = 0$, esto indicará una coherencia perfecta en los juicios de los participantes. Por ello, Saaty considera que:

“ es interesante hacer notar que los juicios presentados por el tomador de decisiones, pueden violar la relación de consistencia, pudiendo no ser transitivos; esto es, si una importancia relativa de C_i en relación a C_j , mayor es la de C_i en relación a C_k , una relación de importancia de C_i no necesariamente tiene que ser mayor que C_k , que es una idea comúnmente humana (Saaty, 1993)³².

De esta manera se admite una inconsistencia que puede ser inherente al comportamiento humano, debiéndose así, trabajar en equipo para que en una jerarquía se proporcionen medidas de relatividad a través del aprendizaje y la comprensión. Es importante hacer notar que una inconsistencia en la matriz de decisión debe servir como un factor de alerta al tomador de decisiones, más que un hecho necesariamente indeseable. Por ello, se debe tener cuidado con forzar la consistencia ya que podrían alterar el resultado del problema planteado. Bajo tal óptica, es el decisor quién debe ser alertado para que él y solamente él altere el juicio realizado.

Saaty propone un cálculo de la Razón de Consistencia (RC) que es obtenida por:

$$RC = C / IR, \text{ donde } RC \leq 0.10.$$

C es un índice de consistencia calculado a partir de $(\lambda_{\text{máx}} - n) / (n-1)$

Esto resultará en un nuevo vector en que cada elemento deberá ser dividido por el elemento correspondiente y los resultados sumados, calculando entonces su media.

IR es un índice aleatorio que se calcula para matrices cuadradas³³ de orden n . Algunos valores de IR, se presentan en la tabla siguiente:

Matriz	2	3	4	5	6	7
IR	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32

La relación de consistencia es le resultado del cociente del índice de consistencia (C) entre un índice aleatorio (IR) medio, resultante de la generación de un gran número de matrices que se encuentran entre los valores de 9 y 1/9. El índice calculado “C” para una matriz cuadrada de tamaño n esta dividido por el índice aleatorio correspondiente a matrices del mismo tamaño.

³² Saaty, T.L., "What is Relative Measurement? The ratio Scale Phantom, *Mathematical and Computational Modelling*", Vol 17, (1993), pp 1-12.

³³ Laboratorio Nacional de Oak Ridge.

La escala fundamental.

Saaty observa que a pesar de las diferencias entre los estímulos que siguen una escala geométrica, la percepción de un individuo obedece a una escala lineal, que ocurre en puntos discretos pero conteniendo la sensación de una función lineal del logaritmo del estímulo, donde el punto inicial será un estímulo $b=0$, con un origen S_0 de la escala, $\log S_0=0$, es decir $S_0=1$. El límite máximo de la escala está directamente relacionado con estudios según los cuales, se tiene que:

“ De modo general existen cinco distintas: igual (indiferente), fuerte, muy fuerte, absoluta y aquellas que le son adyacentes, lo que lleva a un total de 9, que son compatibles con un orden de una magnitud supuesta³⁴”. A ello existe un llamado límite psicológico según el cual, el ser humano puede juzgar un máximo de 7 ± 2 factores, como se muestra en la tabla 3.1:

Tabla 3.1

Intensidad de importancia en una escala absoluta	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Ambas actividades contribuyen igualmente al objetivo.
3	Diferencia moderada de importancia entre una y otra.	Experiencia y opiniones favorecen moderadamente una actividad sobre otra.
5	Importancia esencial o fuerte	Experiencia y opiniones favorecen notablemente una actividad sobre otra
7	Importancia muy fuerte	Una actividad es la favorecida señaladamente y su dominio se ha demostrado en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es del orden más alto posible de afirmación.
2,4,6,8	juicios intermedios entre las dos opciones adyacentes	

PASO III: Uso del método del valor propio para la estimación de los pesos relativos de los elementos de decisión

PASO IV: Agregación de los pesos relativos de los elementos de decisión de los niveles para llegar a un vector clasificador (vector de pesos relativos mixtos) de las alternativas de decisión en el logro del objetivo más general del problema.

Cada comparación par a par representa una estimación de la razón de las prioridades o pesos de cada elemento.

³⁴ Saaty, T.L., *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, Vol VI, Pittsburgh, RWS Publications, 1994.

Con la estructura jerárquica definida, se efectúa la comparación par a par de cada alternativa dentro de cada criterio, del nivel inmediatamente superior, individualmente, o sea tendremos para cada criterio las alternativas debidamente posicionados dentro de la escala "verbal" mostrada. De esta forma se transforman los juicios verbales en una escala con valores numéricos.

Usando una matriz de decisiones, el método AJM calcula los resultados parciales del conjunto A dentro de cada criterio, $v_i(A_j)$; $j=1, \dots, n$, denominado "valor de impacto" que representan valores numéricos de las atribuciones verbales dadas por el tomador de decisiones a cada comparación de alternativas. Estos valores, entonces, son normalizados por la expresión siguiente:

$$\sum_{j=1}^n v_i(A_j) = 1; j=1, \dots, m$$

Cada parte de esta sumatoria consiste de:

$$\check{v}_i(A_j) = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^n A_{ij}}; j=1, \dots, m$$

Así el vector de prioridades es:

$$A_k = \frac{\sum_{i=1}^n \check{v}_i(A_j)}{n}; j=k=1, \dots, n$$

Donde "n" es el número de alternativas.

Adoptando el mismo procedimiento, se pasa al nivel de los criterios, que normalizados se obtiene:

$$\check{v}_i(C_j) = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^j C_{ij}}, j=1, \dots, n$$

El vector de prioridad es:

$$C_k = \frac{\sum_{j=1}^n \check{v}_i(C_j)}{m}; j=k=1, \dots, m$$

Donde "m" es el número de criterios.

Finalmente, un proceso de agregación se encargará de colocar los valores finales de las alternativas, escalonándolas, utilizando una función aditiva, como la siguiente:

$$f(A_j) = \sum_{i=1}^m \omega(C_i) \check{v}_i(A_j); j=1, \dots, n$$

siendo "n" el número de alternativas y "m" el número de criterios correspondiente al último nivel.

Se obtiene así, un orden global a través de una función global de valor.

Teoría de la utilidad y el método AJM.

Lo anterior acarrea una escala de razón de preferencias aditiva con una escala de intervalos. Al compararse para a par, se elimina el problema de transitividad de las comparaciones y ayudando a derivar una escala única de preferencias. El proceso puede también visualizarse como un proceso de toma de decisiones en grupo, cuyos juicios individuales pueden ser agregados en un juicio único por compromiso o media geométrica, pudiéndose trabajar con diversos niveles de complejidad.

Medidas absolutas y relativas.

Se pueden realizar dos tipos de comparaciones en el proceso descrito.

Comparación absoluta: Se comparan las alternativas a través de un padrón que se establece con el paso del tiempo, o por cualquier sistema de "memoria".

Comparación relativa: Compara las alternativas por medio de atributos que éstas posean en común.

Las escalas absolutas se usan para graduar las alternativas en términos de criterios. Después de establecidos los criterios y realizada la comparación, dentro de cada uno de ellos, la suma de los valores producen una nueva escala para las alternativas. Éstas pueden ser entonces normalizadas.

Por su parte, las escalas relativas sirven para determinar las preferencias.

Juicios en grupo.

Para realizar juicios en grupo se debe satisfacer la propiedad recíproca. La escala de la media geométrica presupone que, para su cálculo, no interesa quien votará en primer lugar.

Dado un grupo de tomadores de decisión, D_i , $i=1, \dots, n$ el valor de la matriz de decisiones resultante es:

$$v(C_j) = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n v(C_{jd})} \quad j=1, \dots, m$$

Para la cual será entonces aplicada una función aditiva del tipo:

$$f(A_j) = \sum_{i=1}^m \omega(C_i) \check{v}(A_j); j=1, \dots, n$$

Incertidumbre.

Existen dos tipos de incertidumbre en el método AJM: la primera se refiere a la emisión de juicios y la segunda al número de criterios y alternativas que se establezcan. La incertidumbre puede expresarse en función de la estimación de probabilidades o a través de una distribución de éstas.

Un procedimiento a seguirse, sería llevar a cabo las prioridades de los criterios de las posibles alternativas, es decir, atribuirles valores aplicando el método. Así se establecerían los valores para

las alternativas para luego seguir comparándolas en función de los pesos de los criterios. A través de un procedimiento computacional, se verificará su consistencia en función de un valor crítico, y corregirse dicha inconsistencia en caso de considerarse alta.

3.3.5 LA ESCUELA EUROPEA

La tendencia predominante en Francia, Países Bajos y otros de la Unión Europea se reconoce como Ayuda a la Decisión Multi Criterio (Multiple Criteria Decision Aid) (MCDA). El objetivo de todo estudio realizado con MCDA es el de ayudar a construir un camino en presencia de ambigüedad, incertidumbre y de bifurcaciones abundantes.

El modelo de integración de preferencias en MCDA está basado en una relación de sobre clasificación. En este enfoque el objetivo principal es construir o crear algo que, por definición, no existe y que debe ayudar a los participantes en el proceso de decisión a:

- I) formular, argumentar, transformar sus preferencias, o
- II) a tomar una decisión conforme a sus objetivos.

Con respecto a los paquetes de computo, se tiene una línea de investigación y desarrollo que está teniendo mucho auge en la actualidad, es la que se refiere al desarrollo de sistemas de apoyo a la decisión multicriterio (MCDSS por sus siglas en inglés) (Marakas, 1998), (Sauter, 1997), (Turban y Aronson, 1998), (Belton y Hodgkin, 1999). Un MCDSS es simplemente un sistema de apoyo a la decisión que ayuda a implementar computacionalmente los métodos de análisis multicriterio. Entre otros, un MCDSS cuenta con los siguientes componentes:

- I) análisis de múltiples criterios,
- II) una base conceptual y operativa de métodos MCDM,
- III) la incorporación de las preferencias del decisor en el proceso de modelación (Jelassi et al., 1985), (Sawaragi et. al., 1981).

3.4 CASO DE ESTUDIO “SELECCIÓN DEL LICITANTE PARA LA AMPLIACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA”

En el siguiente ejemplo se muestra la aplicación del método Jerárquico Multicriterio, podemos seleccionar al mejor licitante desde el punto de vista del cliente en un concurso.

Una compañía nacional petrolera, tiene una Planta de Tratamiento de Agua, la cual tiene 20 años de antigüedad, por lo que requiere ser modernizada, el cliente, en este caso la compañía petrolera, requiere seleccionar al licitante que cumpla con sus bases de licitación y además proporcione el menor precio, con la finalidad de que esto se lleve de acuerdo con la ley, la compañía en cuestión envía a licitación pública la modernización de la Planta de Tratamiento de Agua.

Paso 1:

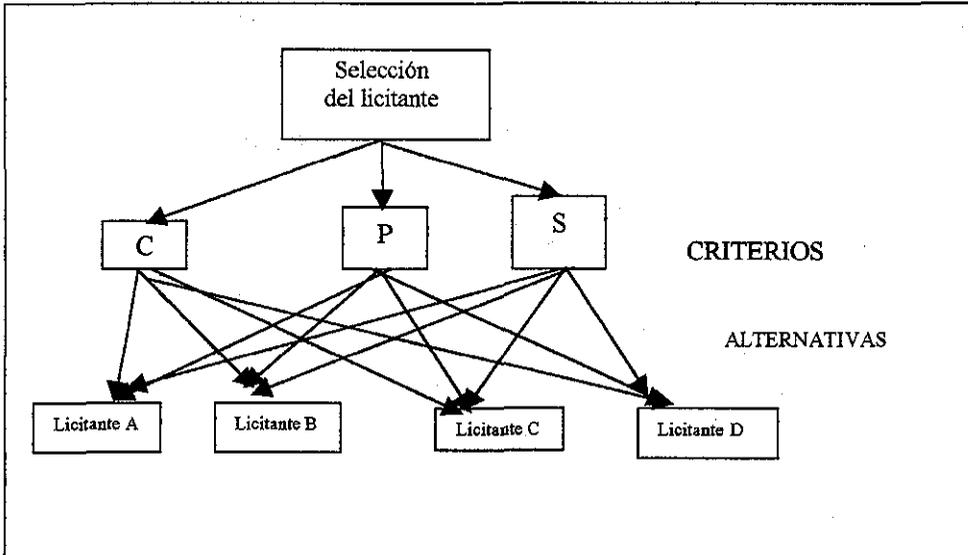
En este primer paso se determinara, cuantos concursantes son los que entraron a la licitación, en este caso se tienen 4 licitantes: Licitante A, Licitante B, Licitante C y Licitante D.

Paso 2:

Reconocimiento de los criterios o atributos a evaluar:

Los atributos a analizar en este problema son la calidad (C), precio (P) y servicio (S) de cada licitante, a cada uno de estos atributos se le dará un cierto peso con respecto a las bases de licitación que cada licitante presente y se compararan entre si. En la Figura 3.4, se presenta la estructura jerárquica del problema de la selección del licitante.

Figura 3.4 Estructura Jerárquica del problema



Paso 3:

Construcción de las matrices de comparación:

Esta matriz se puede hacer utilizando los conocimientos de un grupo de especialistas que compare para cada uno de estos atributos entre sí y les dé un cierto peso, según la evaluación de las mejoras de una estación de compresión de gas natural.

	C	P	S
C	1	1/3	1
P	3	1	2
S	1	1/2	1
SUMA1	5	11/6	4

En este caso, el atributo de Calidad (C), se compara contra el atributo Precio (P), el cual según tabla anterior es tres veces menos preferido por el grupo de especialistas que la calidad C, y el servicio es igualmente preferido a la calidad.

Al final de la tabla se tien una fila llamada SUMA1, al cual es la suma de cada columna por sus atributos,

Normalizando la matriz se tiene:

En otras palabras se dividen las columnas por la SUMA1 de cada una y posteriormente se suman las filas y se dividen en tantas columnas de atributos sean, en este caso son 3:

	C	P	S	7/3
C	1/5	6/33	1/4	0.2106
P	3/5	6/11	2/4	0.5480
S	1/5	6/22	1/4	0.2409

Por lo que se obtiene el vector de prioridades:

$$VP1 = (0.2106, 0.5480, 0.2409)$$

De esta manera se obtiene la contribución de cada atributo para la selección del licitante:

C: 21.06%, P:54.8M y S:24.09%

En otras palabras, en este problema de las mejoras de la estación de compresión lo que más interesa al grupo evaluador, según expectativas del cliente es EL SERVICIO, lo cual si un licitante le da más interés a este punto su probabilidad de ganar aumentaría.

El siguiente aspecto consiste en encontrar la contribución de los atributos a cada una de las Alternativas que en este caso son los Licitantes en concurso.

Siguiendo la misma secuencia de cálculos se tiene:

Paso 4:

Matrices de comparación para cada atributo, de manera similar se utiliza el método anterior para encontrar el vector de prioridades de C.

Para C:

	Licitante A	Licitante B	Licitante C	Licitante D
Licitante A	1	2	1/3	1/2
Licitante B	1/2	1	1/3	1/3
Licitante C	3	3	1	1
Licitante D	2	3	1	1
	13/2	9	8/3	17/6

	Licitante A	Licitante B	Licitante C	Licitante D
Licitante A	CT	CB	ID	PE
Licitante B	1/13	2/9	1/8	3/17
Licitante C	1/13	1/9	1/8	2/17
Licitante D	6/13	1/3	3/8	6/17
	4/13	1/3	3/8	6/17

El vector VP2 que se obtuvo de C es $VP2 = (0.1685, 0.1052, 0.3797, 0.3394)$

Para P:

	Licitante A	Licitante B	Licitante C	Licitante D
Licitante A	1	2	3	2
Licitante B	$\frac{1}{2}$	1	12	2
Licitante C	$\frac{1}{3}$	3	1	2
Licitante D	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	$\frac{7}{3}$	$\frac{9}{2}$	$\frac{11}{2}$	7

	Licitante A	Licitante B	Licitante C	Licitante D
Licitante A	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{9}$	$\frac{6}{11}$	$\frac{2}{7}$
Licitante B	$\frac{3}{14}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{2}{7}$
Licitante C	$\frac{1}{7}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{2}{7}$
Licitante D	$\frac{3}{14}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{11}$	$\frac{1}{7}$

El vector VP3 que se obtuvo de P es $VP3 = (0.4221, 0.2254, 0.2080, 0.1394)$

Para S:

	Licitante A	Licitante B	Licitante C	Licitante D
Licitante A	1	2	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
Licitante B	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
Licitante C	3	3	1	1
Licitante D	3	2	1	1
	$\frac{15}{2}$	8	$\frac{8}{3}$	$\frac{17}{6}$

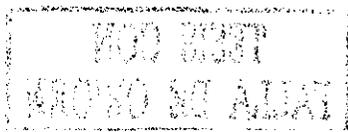
	Licitante A	Licitante B	Licitante C	Licitante D
Licitante A	$\frac{2}{15}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{6}{51}$
Licitante B	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{17}$
Licitante C	$\frac{6}{15}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{6}{17}$
Licitante D	$\frac{6}{15}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{6}{17}$

El vector VP4 que se obtuvo de S es $VP4 = (0.1564, 0.1231, 0.375, 0.3444)$

Paso 5: Obtención de las contribuciones de cada atributo o criterio para la selección del licitante.

Para obtener finalmente las contribuciones de cada atributo a la selección del licitante, se ponderan VP2, VP3 y VP4 por VP1.

VP1=	0.2106 C	0.5408 P	0.2409 S
	VP2	VP3	VP4
Licitante A	0.1685	0.4221	0.1564
Licitante B	0.1052	0.2254	0.1231
Licitante C	0.3797	0.2080	0.3757
Licitante D	0.3394	0.13994	0.3444



Ejemplo de la ponderación: $VP1*VP2 = (0.2106 * 0.1685)$
 $= 0.354$

	VP1*VP2	VP1*VP3	VP1*VP4	SUMA2
Licitante A	0.0354	0.2313	0.0376	0.3043
Licitante B	0.0221	0.1235	0.0296	0.1752
Licitante C	0.0799	0.1139	0.0905	0.2843
Licitante D	0.0714	0.0766	0.0829	0.2309

La calificación de cada licitante según cada atributo en resumen quedo de la siguiente manera:

LICITANTE A: 30.43%

LICITANTE B: 17.52%

LICITANTE C: 28.43%

LICITANTE D: 23.09%

Por lo que se observa que el licitante A, será el seleccionado.

La metodología, se empieza a complicar a medida que los atributos y el número de alternativas crecen, por fortuna existen programas comerciales como Decision Plus, que utiliza esta metodología y nos puede hacer la tarea más sencilla, cuando lo anterior sucede.

Entonces, utilizando el paquete de computo de **Decisión Plus** para resolver este problema se tiene lo siguiente:

En la figura 3.5, podemos ver la estructura del problema en Decisión Plus y los datos para el atributo calidad, en el paquete de computo, en la figura 3.6 se presentan los resultados obtenidos con Decisión Plus, que son similares a los resultados obtenidos en este ejemplo hecho a mano y por último, en las figuras 3.7, 3.8 y 3.9, se presentan las las otras matrices de comparación de los otros atributos.

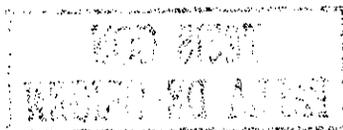
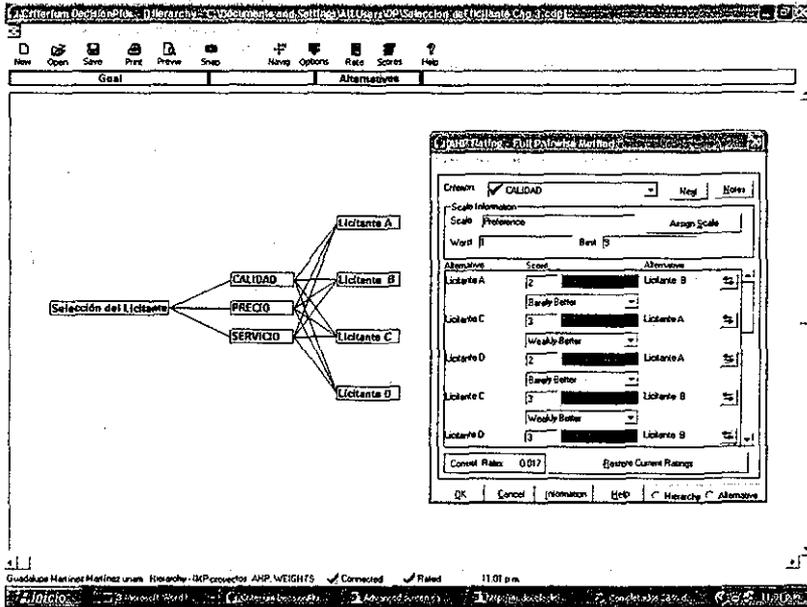
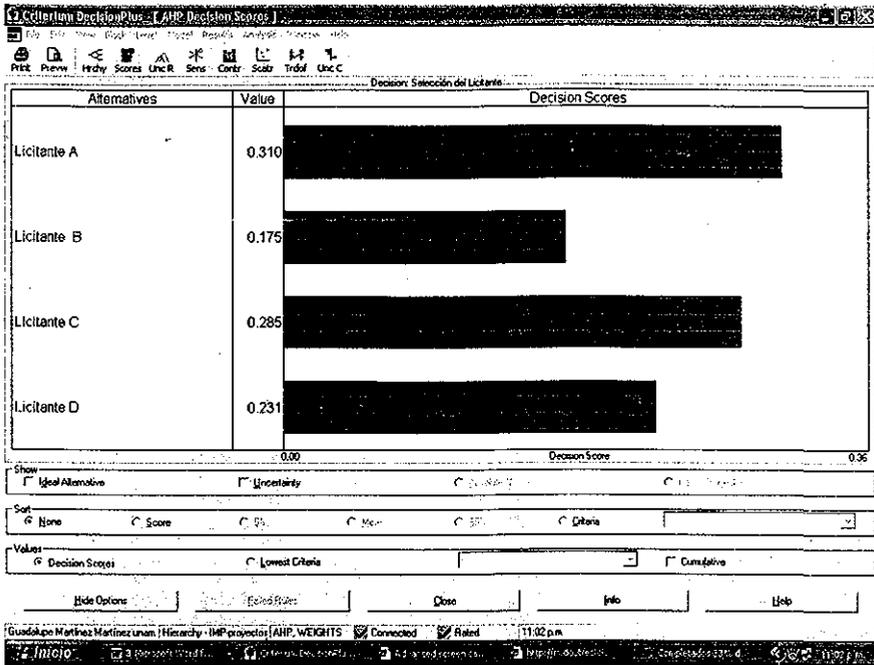


FIGURA 3.5



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 3.6



Como preparación para el caso de estudio de las "Licitaciones Competitivas" y para aplicar la metodología en este capítulo expuesta se desarrollo un caso hipotético, en donde se utilizó el Decision Plus, este fue en un estudio para elegir al mejor licitante:

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZAS
 CALABAZAS, QROO. MEXICO

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

FIGURA 3.7

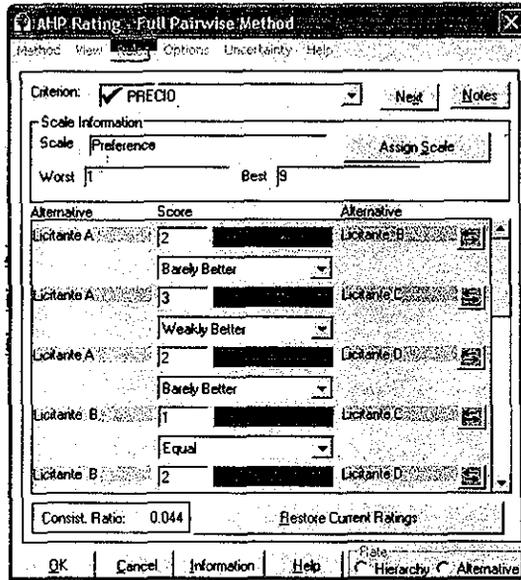
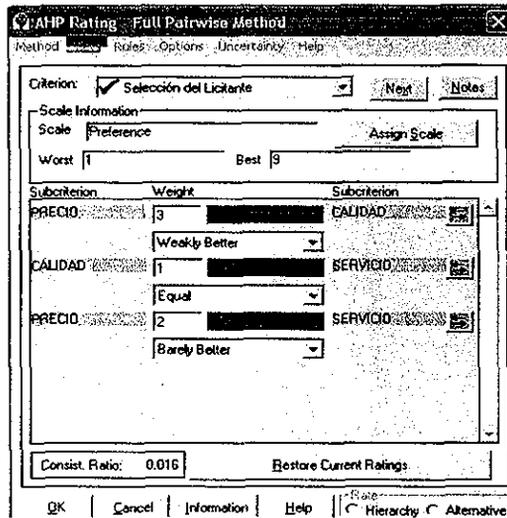


FIGURA 3.8



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS DE GRADO
 PRESENTADA EN
 EL INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 PARA OBTENER EL GRADO DE
 MAESTRO EN CIENCIAS
 EN EL ÁREA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

LAS LICITACIONES EN LA INDUSTRIA PETROLERA, CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS NATURAL.

En este capítulo se analizará el caso de las licitaciones en la Industria Petrolera Mexicana, así como la problemática con la que se enfrenta esta industria para el desarrollo de sus licitaciones desde la parte interna hasta los requerimientos que deben cumplir con el estado en función de las entidades establecidas tales como SECODAM, para poder concursar y desarrollar las licitaciones competitivas.

4.1 ANTECEDENTES

La ingeniería de plantas industriales y petroleras en México, fue realizada en un inicio, por empresas extranjeras de ingeniería y construcción, bajo concesión del Estado.

En 1938, por decreto presidencial se creó Petroleos Mexicanos, y debido al bloqueo que enfrentó para la obtención de tecnología, desarrollo de ingeniería, financiamientos, bienes y servicios, fue necesario que se apoyara en los profesionistas de ingeniería en México.

En los años 50's se iniciaron dentro de PEMEX los trabajos de diseño de plantas a instalaciones de embarque y, para finales de esta década, cuando se llevaron a cabo la modernización de las Refinerías de Azcapotzalco, Cd. Madero, Minatitlan y Salamanca, las empresas constructoras mexicanas ya eran capaces de realizar obras con la calidad requerida.

Algunas de las empresas constructoras, tomaron la decisión de formar compañías de ingeniería, mismas que fueron el semillero para formar empresas de alta especialización.

Debido a que el crecimiento de la industria petrolera se estaba viendo afectado por una alta dependencia tecnológica del extranjero, PEMEX presento una iniciativa al Ejecutivo Federal, proponiendo la creación de un organismo que lo apoyara en la solución de sus necesidades de

tecnología y de servicios de alto contenido técnico. Por lo que el 23 de agosto de 1965, por decreto presidencial, se fundo el IMP como un Organismo Descentralizado.

El 1º de febrero de 1974, mediante decreto del Ejecutivo Federal, se ampliaron las funciones y objetivos del IMP, para incluir la ingeniería de proyecto de instalaciones industriales. Paralelamente a las áreas de investigación, se desarrolló un grupo de ingeniería de proyecto, no sólo como suministro de servicios, sino también como una oportunidad de desarrollo de tecnología.

Las aportaciones de esta entidad son de gran relevancia en el panorama de las áreas de ingeniería en México. Se inicia, por lo tanto, la etapa de producir ingenierías básicas de procesos con licencias importadas y, posteriormente, el desarrollo de tecnologías propias.

Una aportación extra de los desarrollos del IMP, consiste en que las normas y especificaciones de ingeniería, elaboradas por el IMP, constituyeron un modelo de normalización y fueron adoptados como base durante la creación de otras firmas de ingeniería nacionales.

Dado que el objetivo final de los proyectos es la construcción misma de las obras, y tomando como base que el diseño de las plantas por sí sola no es un negocio rentable, se crearon empresas dedicadas de manera integral a ingeniería y construcción.

A mediados de los años 70's, existían en México, casi veinte millones de horas hombre al año dedicadas a PEMEX, compuestas por el grupo interno de PEMEX, el IMP y las firmas de ingeniería privadas, mismas que satisfacían cerca de la mitad de las necesidades de PEMEX. En este periodo se llevaron a cabo los proyectos de las refinerías de Tula, Cadereyta y Salina Cruz, los complejos Petroquímicos de Pajaritos, Cangrejera, Morelos, Tula y Escolín, los centros de procesamiento de gas de Cactus, Nuevo Pemex, Cd. Pemex, Huimanguillo, El Tejar y Matapionche, en los cuales se alcanzó una participación en bienes y servicios de origen mexicano superior al 85%.

A partir de 1984, se inició, un descenso considerable en la demanda de Ingeniería, causado por la crisis de los 80's, debido a la cual se cancelaron muchos proyectos, así como por los nuevos criterios de competencia global, a la entrada de México al GATT y la decisión de abatir la participación del estado en la economía.

En los inicios y mediados de los años 90's, se reactivó la construcción de plantas industriales con el "Paquete Ecológico", y se inició la competencia entre firmas nacionales y extranjeras. En estos proyectos, las firmas nacionales de ingeniería compitieron y obtuvieron una buena proporción de los contratos.

Esta nueva política tuvo también su efecto en el IMP, el cual se vio en la necesidad de participar en las licitaciones públicas, buscando obtener los proyectos de ingeniería.

PEMEX generó en esta época los concursos del tipo "Llave en Mano", los cuales incluyeron ingeniería, procura y construcción de las plantas, partiendo, por lo general, de ingenierías básicas previamente licitadas.

Para poder participar en este tipo de proyectos fue necesario que el IMP se asociara con empresas constructoras y de bienes de capital, logrando obtener el 50% de los concursos en que participó.

En esta misma época, se deshicieron los cuadros de ingeniería y construcción de PEMEX, agrupados en la Subdirección de Proyectos y Construcción de Obra (SPCO), se redujeron las superintendencias de proceso y en el IMP los grupos de ingeniería.

Con la apertura del mercado a las licitaciones internacionales, se propició el arribo de empresas extranjeras, que se abocaron a construir plantas bajo la modalidad de llave en mano y, en el mejor de los casos permitieron sólo un 20% de participación de las empresas mexicanas.

Posteriormente se definieron los primeros esquemas concesionados en proyectos paquetes, entrando de lleno las grandes constructoras, participando con financiamiento en la construcción.

Anteriormente, participar en los grandes proyectos demandaba un sólido prestigio con probada capacidad de ejecución en tiempo, calidad y costo, en un entorno de un nivel medio de tecnología. Ahora es crucialmente competitivo disponer de innovaciones tecnológicas y presentar un esquema de financiamiento, lo cual requiere formar alianzas estratégicas para sumar capacidades en el nivel tecnológico y tener la facilidad de acceder a más recursos financieros en mejores condiciones.

Las fluctuaciones del mercado en los últimos años (1994-1999) han hecho que disminuya sensiblemente la cantidad de empresas dedicadas a desarrollar ingeniería en México, de 1,407 empresas registradas en la Cámara Nacional de **Empresas de Consultoría (CNEC)** en 1994, se redujo a un padrón de 573 (40% del original) en 1999. Esto obedece, principalmente, a una contracción del mercado nacional, el cual pasó de contratar un promedio de 6,368 millones a 1,821 millones de pesos anualmente (a pesos de 1999), lo cual representa el 28% del original.

Esta depresión en el mercado está determinada por la crisis económica y por los tipos de contratos, en los que las funciones de las firmas de ingeniería nacionales han sido transferidas a empresas extranjeras a las que se han adjudicado los concursos, quienes la realizan, ya sea en su país de origen o la subcontratan al mejor postor internacional, sacrificando, en ocasiones, la calidad.

4.2 TIPOS DE PROYECTOS

Hasta los años 70's la forma común de contratación de los proyectos de las empresas del sector público, fue por administración para las firmas de ingeniería y por precios unitarios para la construcción de las obras y, únicamente en casos específicos, la contratación a precio alzado.

Lo anterior fue posible, en el caso de PEMEX debido a que contaba dentro de la Subdirección de Proyectos y Construcción de Obra (SPCO), con un grupo de ingenieros altamente capacitados, capaces de administrar los proyectos.

En el caso de los proyectos por administración, la compra de equipo y materiales para las plantas, quedó a cargo de la SPCO, dejando al constructor únicamente el montaje y la instalación de los mismos.

Específicamente, en el IMP, la contratación de PEMEX se basó en distintos convenios, los cuales establecían, por medio de órdenes de trabajo, las condiciones bajo las cuales se llevaban a cabo, en forma específica, cada uno de los proyectos o servicios de ingeniería.

Tanto en PEMEX como en la CFE, generaron los concursos del tipo "Llave en Mano", los cuales incluyeron ingeniería, procura y construcción de las plantas, en los que la tecnología fue licitada por separado.

Los proyectos "Llave en mano" son a precio alzado y no permiten modificaciones a lo contratado, salvo casos especiales en los que se tiene que emitir un convenio modificatorio. En este tipo de proyectos las razones para la aceptación de una modificación son más de carácter administrativo que técnico.

A finales de los años 90's, nuevamente se modificó el esquema de contratación, principalmente en la reconfiguración de las refinerías de Cadereyta, Cd. Madero, Salamanca y Tula, mediante la formación de megaproyectos que involucraron un paquete completo de construcción de varias plantas y su integración. Algunos de estos megaproyectos se dieron con financiamiento externo.

Adicionalmente, PEMEX contrató los servicios de empresas de ingeniería extranjeras para llevar a cabo la administración de estos megaproyectos.

4.3 PROBLEMÁTICA DE LAS LICITACIONES EN LA INDUSTRIA PETROLERA .

Uno de los puntos más difíciles de cumplir es el correspondiente al llamado **Estado del Arte**, en el que el contratista se obliga a incluir los últimos desarrollos tecnológicos, sin modificación del monto contratado, aún y cuando estos no estuvieran definidos en el alcance original.

Otro punto importante, es el que, dentro de las bases de concurso, de un proyecto industrial, con frecuencia se proporcionan diversas especificaciones, que en ocasiones se contradicen entre sí, sin embargo, el contratista siempre está obligado a cumplir la especificación más estricta, aunque en realidad no se requiera su aplicación o no lo tenga contemplado en su cotización.

En los contratos se establece que el contratista deberá examinar e inspeccionar el sitio de la obra para obtener por su cuenta toda la información relacionada con la ejecución de los trabajos. Con frecuencia la visita al sitio se maneja como un trámite de un solo día, por lo que el contratista no tiene en realidad un conocimiento completo del sitio.

Adicionalmente, las exigencias de garantías, que se establecen, no pueden ser cubiertas por ninguna empresa mexicana de ingeniería y construcción, máxime que son cartas de crédito incondicionales e irrevocables, imposibles de obtener, si no se cuenta con un respaldo económico que garantice al banco que extiende la carta. Estas garantías son normalmente del 10% del contrato.

4.4 ASOCIACIONES EN PARTICIPACIÓN

A fin de poder concursar en los proyectos "Llave en mano", las empresas tuvieron que formar Asociaciones en Participación, las cuales corresponden a una asociación temporal para un fin determinado.

La idea de las Asociaciones en Participación es la de unir fortalezas de cada una de ellas.

Desgraciadamente, en la mayor parte de las Asociaciones en Participación que se formaron, el socio principal fue una empresa de origen extranjero para proyectos de gran tamaño o una constructora mexicana para los proyectos menores, en ningún caso las firmas de ingeniería pudieron ser líderes de las mismas.

En los proyectos de tipo industrial, el costo de la ingeniería varía entre el 4 y el 8% del costo total, lo que hace imposible que la empresa de ingeniería sea el socio principal, sin embargo, el costo de una mala ingeniería puede ocasionar pérdidas enormes durante toda la vida útil del proyecto.

Adicionalmente, el requerimiento de PEMEX, para la Asociación en Participación, era que cada uno de los socios fuera solidario y mancomunado en sus responsabilidades, lo que puso a las empresas de ingeniería en una situación aún más desventajosa.

En conclusión a esta sección citaré lo expresado por el Ing. Javier Jiménez Espriú³⁶ al recibir el grado de Académico de honor de la Academia Mexicana de Ingeniería:

“La ingeniería es consubstancial a todos los actos de la vida, acciona nuestra existencia y modifica las relaciones entre los individuos. La ingeniería no es un área de exclusividad de los ingenieros; es sin duda, un patrimonio de la humanidad, patrimonio que nos toca administrar a los ingenieros, pero que pertenece a la sociedad toda. Patrimonio que por ignorancia, por apatía, por intereses, por corrupción, por inconsistencia en ocasiones se deteriora, se degrada y se aniquila...”

No hemos aprendido una lección fundamental: la autodeterminación tecnológica, de no lograrlo seguiremos exportando los frutos del subdesarrollo, e importando con la ineficiencia de la ignorancia lo que nos vendan; y hoy no sólo no lo hemos logrado, sino que estamos destruyendo lo conseguido en largos y penosos esfuerzos.

4.5 PARTICIPACIÓN DE LA SECODAM

En 1982 se creó la Secretaría de la Contraloría General de la Federación, la que en 1994 cambió su denominación, por la de Secretaría de la Contraloría y Desarrollo Administrativo (SECODAM).

Dentro de los objetivos de la SECODAM están los procedimientos de control, evaluación y fiscalización, así como los de propiciar una mayor eficiencia y honestidad en el ejercicio y manejo de los fondos públicos.

Los esfuerzos, de la SECODAM, dentro del marco de la ley de Adquisiciones y Obra Pública, para las licitaciones de proyectos industriales, se han dirigido más hacia el control, evaluación y fiscalización que al de buscar una mayor eficiencia en las operaciones, por lo que es conveniente, que sin perder su función de vigilancia, se busquen mecanismos que permitan la optimización en el desarrollo de los grandes proyectos industriales, dentro de la normatividad vigente.

La Ley de Obras Públicas tiene su verdadera aplicación en las obras de infraestructura pública, pero no en los proyectos industriales, en los que se debe buscar una optimización, no sólo del uso

³⁶ Jiménez Espriú Javier, “El futuro de México sin ingeniería mexicana”, Academia Mexicana de Ingeniería, septiembre 1997, 36 pgs.

de los recursos, sino de los aspectos tecnológicos para poder contar con una ventaja competitiva en su fase de producción.

La intervención de la SECODAM en todas las fases del proyecto, no permite una fluidez del mismo, ya que obliga a los funcionarios a presentar una gran cantidad de documentos de justificación de la obra, por lo que sería conveniente que la fiscalización de este tipo de proyectos se base más en el desempeño final de los mismos que en la vigilancia de cada una de sus etapas.

Las modificaciones en los proyectos presentan problemas de lentitud, en general por la toma de decisiones, debido al temor que tienen los funcionarios responsables de caer en errores u omisiones que les ocasionen graves cuestionamientos y sanciones por los organismos de vigilancia.

4.6 LEY DE OBRAS PÚBLICAS

La ingeniería, al definir los documentos y especificaciones con los que se lleva a cabo una obra industrial, es la responsable directa de la calidad total del proyecto. Sin embargo, cuando se concursaba en un mismo paquete la ingeniería, la compra del equipo y la construcción, la Ley de Obras Públicas, presenta limitaciones para diferenciar entre la calidad de una ingeniería y otra, debido a que las cotizaciones se deben evaluar desde el punto de vista económico total y *el contrato se debe adjudicar a quien presente la oferta cuyo precio sea el más bajo.*

Adicionalmente a lo anterior, los concursos regidos bajo la Ley de Obras Públicas, parten del criterio de que las bases con las cuales se lleva a cabo la licitación, definen en forma completa la obra en cuestión. En una instalación industrial, lo anterior no es posible, ya que en la fase del proyecto en que se lleva a cabo el concurso, normalmente se tiene definida, únicamente la ingeniería básica o una ingeniería conceptual y se cuenta con algunas especificaciones generales, pero de ningún modo con un diseño detallado.

Anteriormente, la ingeniería no se concursaba, sino que se asignaba directamente a aquel que podía proporcionar las mejores condiciones tecnológicas, de conocimiento del proyecto y de confianza, a fin de definir el proyecto en forma completa y posteriormente concursar únicamente la construcción.

La Ley de Obras Públicas que entró en vigor en marzo del 2000, aceptará mecanismos de puntos y porcentajes para la evaluación de las ofertas, aunque con ciertas limitaciones.

Bajo la ley anterior, no se consideraba la contratación de servicios relacionados con la ampliación, control, remodelación y adecuación de bienes, afortunadamente, la nueva ley ya considera estos conceptos, además que da una posibilidad en su artículo 38, de poder evaluar los servicios relacionados con las mismas con puntos y porcentajes.

La ley anterior no permitía que una empresa que hubiera participado en la elaboración de las bases de concurso, interviniera como oferente del mismo, ya sea en forma directa o en asociación en participación con otras empresas, en la licitación de la obra. Esta situación, si bien es correcta en principio, limita a las empresas, como el IMP, cuando desarrollan parte o toda la tecnología y que tienen un conocimiento profundo del proyecto a participar, aun y cuando este conocimiento pudiera redituarse en una mejora para el desarrollo del mismo y por lo tanto una ventaja para el cliente. Esta situación continúa en la nueva ley.

Una limitación importante en la Ley de Obras Públicas, corresponde a los tiempos para la presentación de las ofertas para instalaciones industriales, ya que normalmente estos son muy limitados, situación que no permite elaborar una cotización completa, a excepción de que se hayan diseñado instalaciones semejantes. Las empresas mexicanas no cuentan con una red internacional de búsqueda de precios de equipos y normalmente su experiencia en las instalaciones industriales es limitada, por lo que concursan en una situación de desventaja frente a los grandes consorcios extranjeros.

La Ley de Adquisiciones y Obra Pública no permitía excepciones a la licitación o la invitación restringida para los montos que corresponden a un proyecto industrial, sin embargo, la nueva Ley, se refiere a la opción de no llevar a cabo el procedimiento de licitación pública, y celebrar en su caso contratos de adjudicación directa según las circunstancias que ocurran, tomando en cuenta los criterios de economía, eficacia, eficiencia, imparcialidad y honradez que aseguren las mejores condiciones para el Estado.

4.7 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA UNA LICITACIÓN.

Para la evaluación de una licitación para una ampliación o una nueva instalación u otro servicio, antes de lanzar el concurso, esta empresa petrolera debe de tener los manifiestos de Impacto Ambiental y el Índice preliminar de Riesgos. Cuando lanza la convocatoria, ésta debe de contener lo presentado en la Tabla 4.1.

Posteriormente, las compañías que les interese el concurso, compran las Bases de Licitación, y analizan si les es viable o no entrar al concurso. Si están en condiciones de participar, entregan sus cotizaciones técnicas y comerciales a al cliente petrolero.

Tabla 4.1	
Contenido de una Convocatoria	
No. de licitación	
No. de Concurso	
No. de Solicitud	
No. del renglón del gasto	
No. del Centro de trabajo	
Título de la licitación	
Descripción de los Trabajos	
Fecha de Inicio de la ejecución de la obra	
Plazo de ejecución en días naturales	
Fecha de Visita a campo	
Fecha de la Junta de dudas y aclaraciones	
Documentación requerida	

La Recepción de las cotizaciones técnicas, lo hace la Firma de Ingeniería, bajo la supervisión del Líder de Proyecto. Se analizan las cotizaciones técnicas, con ciertos parámetros establecidos en los cuestionarios técnicos de la Base de Concurso, estos parámetros son evaluados por varios grupos de especialistas y revisados por el Líder de Proyecto; si existieran comentarios en algún rubro de la

evaluación, se establece contacto escrito con el o los contratistas para aclarar estos puntos, si se aclaran estas dudas, se vuelve a analizar estos puntos para tener un fallo, si no se pudieron aclarar las dudas se dicta una “declaración de no-cumplimiento”.

Finalmente, al término de la evaluación, esta es entregada al cliente (al Director de Proyecto), si existiera más de un contratista que cumpliera con la parte técnica, se procederá a evaluar las ofertas comerciales básicamente del precio, de los contratistas que cumplieron técnicamente. Este análisis se hace por medio de un Comité Evaluador por parte del cliente. Cuando ya se tiene al ganador, se elabora el contrato y se inicia los trabajos en sitio.

4.8.1 CASO DE ESTUDIO “EVALUACIÓN DE LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS NATURAL PARA LA INDUSTRIA PETROLERA MEXICANA

La Auditoría de Seguridad Industrial y protección ambiental, encomendó a una compañía especializada, la realización de una Auditoría para llevar a cabo una evaluación del desempeño funcional y operativo, así como de las áreas de riesgo de las estaciones de compresión de gas natural a su cargo en la República Mexicana. Lo anterior, tiene como finalidad la creación de una guía de apoyo útil para tomar las decisiones pertinentes para llevar a cabo las acciones necesarias que permitan mantener las instalaciones en cuestión a niveles de operación competitivos, funcionales, de seguridad industrial y protección ambiental.

Para dar solución a los hallazgos detectados por dicha auditoría y que son producto principalmente de la antigüedad de las estaciones de compresión de Gas; el cliente de la empresa petrolera, tomó la decisión de mejorar dichas situaciones basándose en las Normas³⁷ y especificaciones actuales.

En base a lo anterior, se desarrolló un concurso para licitar, las mejoras de una de estas estaciones de compresión y el resultado del dictamen técnico se obtuvo por dos vías:

- 1) En forma tradicional. En ésta se proporcionaron los criterios por especialidad y se calificaron por licitante, expresando simplemente si cumplen o no cumplen, con los criterios requeridos, sin proporcionar un juicio sobre la medida en que cumplen. Aquellas que no cumplieron se les agrega una sección de notas, donde se explican los motivos y las secciones de las Bases de concurso con las cuales estas no cumplieron. Por razones obvias no se presentan las tablas de evaluación de criterios emitidas por los especialistas y sólo se dará a conocer el resultado del dictamen obtenido por esta vía por los especialistas.
- 2) Con ayuda a las tablas de criterios que cada especialidad aportó, y pidiéndole a cada especialista que le diera una calificación de cero a cien, a cada criterio aportado, se diseñó la estructura jerárquica que se presenta en la Figura 4.1, la cual se anexa al final del trabajo, tanto la estructura jerárquica como los datos fueron introducidos al paquete de cómputo **Decision Plus** donde se puede ver los criterios y subcriterios que se utilizaron para llegar al dictamen técnico.

Como se expuso en el Capítulo 3, para realizar el análisis jerárquico multicriterio, de este caso de estudio, antes que nada es necesario diseñar la estructura jerárquica con la cual se seleccionará al licitante, utilizando los siguientes pasos y viendo la figura 4.1:

³⁷ Anexo B, “Especificaciones generales”

1. Definir la meta: Selección del licitante
2. Definir el entorno de la solución del problema: Retrato de la empresa y Proyecto.
3. Definición de criterios: Relación de Obras, Solidez financiera, Organigrama, Recursos Humanos, el Currículo de cada empresa licitante, criterios Técnicos, Programación y control de la obra
4. Definición de subcriterios 1: Obras relacionadas con el sector público, obras que costaron más de \$25 millones de dolares, Civil concreto, etc (como puede apreciarse en la Figura 4.1)
5. Definición de subcriterios 2: de los subcriterios 1 se desprenden otros subcriterios a analizar para la selección del licitante, tales como: Material que proporcione el contratista, Centro de control de motores, Rehabilitación de extractores, elaboración de planos As-built, (los demás subcriterios pueden verse en la figura 4.1)
6. Definir Licitantes: En este nivel se definen el numero de participantes en la selección del licitante y en este caso se tienen a los licitantes A, B, C y D.

En el anexo C, se presenta la descripción de la estructura jerárquica de la selección del mejor licitante para las mejoras de una Estación de Compresión, así como las tablas de valores que se utilizaron, en la resolución de este caso de estudio, utilizando el paquete de computo llamado Decisión Plus para tal efecto.

Cabe aclarar, que si bien, los especialistas, en su tarea de evaluar, sólo se limitan a calificar si cumplen o no cada licitante, en base al artículo 38 de la Ley de Obras Públicas y servicios relacionados con las mismas³⁸, el cual en resumen dice que para los Servicios relacionados con las obras públicas, como es el caso, siempre y cuando se demuestre su conveniencia se podrá utilizar puntos y porcentajes para evaluar las propuestas. Por lo anterior, se le pidió a cada uno de los especialistas, que diera una puntuación de cada criterio y subcriterio por licitante, de modo que se *obtuviera al mejor licitante*.

El resultado de esta evaluación basándose en la puntuación que se proporcionó para cada criterio y subcriterio asociados se presentan a continuación en la figura 4.2.

³⁸ "Ley de Obras Públicas y servicios relacionados con las mismas", Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 4 de enero de 2000.

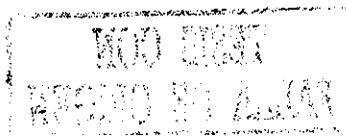
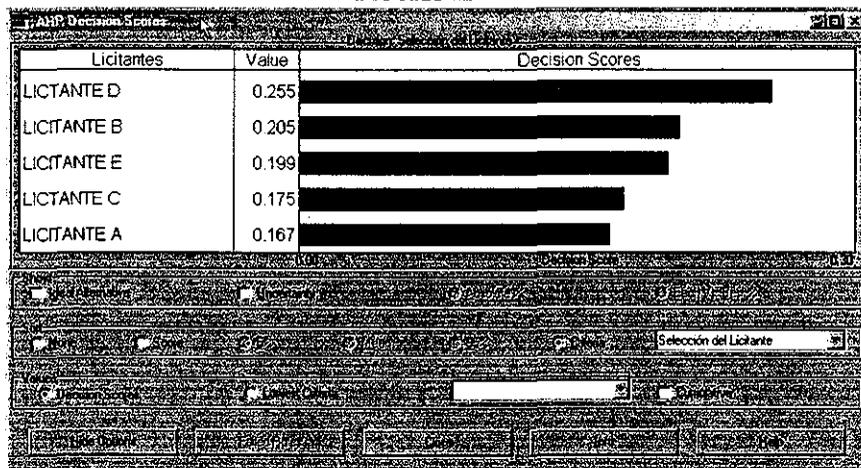
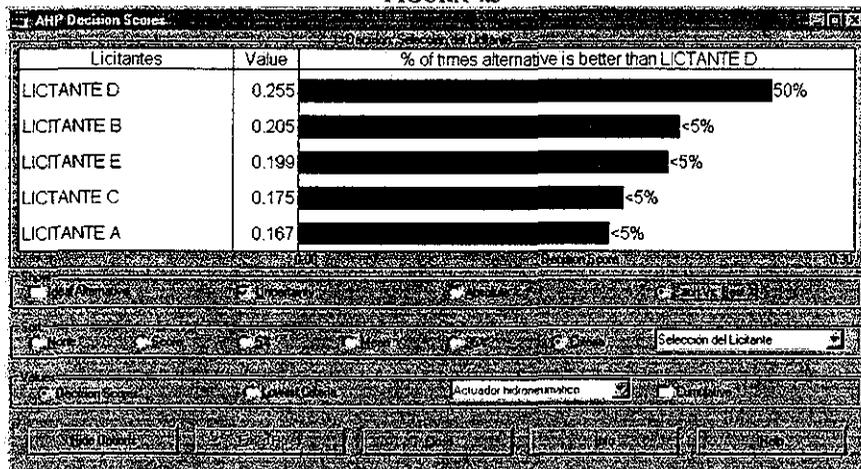


FIGURA 4.2



En la figura 4.3, se puede apreciar al mejor licitante contra cada uno de los demás licitantes:

FIGURA 4.3



Como se puede observar en la Figura 4.2, el licitante ganador por medio de esta herramienta computacional es D, seguida por B, E, C y A. Como se vio en los capítulos anteriores, para encontrar la solución a los problemas, primero se evaluó que criterios eran los más importantes y posteriormente se seleccionaron los subcriterios; tanto a los criterios como a los subcriterios se les dio una calificación de cero a cien por ciento para cada licitante, tomando en cuenta de que si no cumplía con algún criterio se le asignaría el valor de cero, si cumplía con sólo una parte del requerimiento de acuerdo a cada especialista se le daba un porcentaje diferente a cero, y si cumplía totalmente con lo pedido, se le calificaba con el cien por ciento de la puntuación.

El objetivo, que se persigue con esta metodología, es determinar de la mejor manera a los licitantes más calificados para la realización de la obra, dado que puede ser que la evaluación técnica, no la pase una compañía que tenga un 90% de calidad en comparación con una que pase la evaluación técnica por cumplir con todo pero con una calidad del 40%, y que además pueda ser un licitante no muy confiable financieramente, por lo que introducir la variable de calidad en las evaluaciones técnicas, nos puede conllevar a mejores elecciones. En consecuencia, de lo anterior se concluiría con un buen termino del proyecto.

Por otro lado, en la forma tradicional, se encontró que el licitante que cumplía técnicamente con todos los criterios requeridos por los especialistas y por ende por el cliente, fue la compañía D, los demás licitantes no cumplieron con algunos o la mayor partes de los requerimientos, sin cuantificar claramente la apreciación cualitativa.

En esta evaluación, se dio la particularidad de que sólo un licitante cumplía con los requerimientos. No obstante hay evaluaciones donde existen más de uno que cumple técnicamente, entonces se califican utilizando la evaluación económica y eligiendo, entonces, aquel que tenga el precio más bajo.

Para llevar acabo el proceso de selección del licitante el cliente usa el siguiente cronograma de actividades de la tabla 4.2.

Tabla 4.2
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE LA ESPECIALIDAD TÉCNICA DE CONCURSOS

ACTIVIDADES	FECHA PROGRAMADA	LUGAR Y HORA	No. DE DIAS
1. SOLICITUD DEL OPERATIVO PARA LICITACIÓN			
2. RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS COMPLEMENTARIOS			
3. REVISIÓN DEL MODELO DEL CONTRATO C.I. Y JURÍDICO			
4. REVISIÓN COMITÉ			
5. RESPUESTA DEL JURÍDICO Y C.I.			
6. PREPARACIÓN BASES DE CONCURSO			
7. FIRMA DE BASES DE LICITACIÓN			
8. PREPARACIÓN Y FIRMA DE CONVOCATORIA			
9. REPRODUCCIÓN DE BASES DE LICITACIÓN			
10. PUBLICACIÓN DE CONVOCATORIA			
11. VENTA DE LAS BASES			
12. LIMITE PARA SOLICITUD DE INSCRIPCIONES			
13. LIMITE DE VENTA DE BASES			
14. VISITA AL SITIO DE LOS TRABAJOS			
15. JUNTA DE ACLARACIONES			
16. RESPUESTA DE ACLARACIONES			
17. APERTURA TÉCNICA (1ª. ETAPA)			
18. DICTAMEN, FALLO TÉCNICO, APERTURA ECONÓMICA			
19. FALLO DE ADJUDICACIÓN			
20. ENVÍO DE TOMOS A CONTRATOS Y PAGO DE ANTICIPO			
21. PUBLICACIÓN DE FALLO DE ADJUDICACIÓN			
22. FIRMA DE CONTRATO			
23. ENTREGA DE FIANZAS			
24. PAGO DE ANTICIPOS			
25. INICIO DE OBRA			
26. TERMINACIÓN			

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de esta tesis se consideraron los siguientes objetivos:

1. Plantear el estado del Arte de las licitaciones competitivas.
2. A partir del estado del arte, presentar la manera de utilizar las metodologías y modelos así como las herramientas más modernas para obtener una licitación competitiva desde el punto de vista del cliente y desde el punto de vista del licitante.
3. Conocer la metodología utilizada por los evaluadores de una licitación y a partir de ésta, analizar si la metodología para la selección del mejor licitante pudiese ser usada.
4. Aplicar a un caso de estudio, las metodologías encontradas.

Los objetivos anteriores cumplieron con las hipótesis planteadas, de la siguiente manera:

Hipótesis 1: Para llevar a cabo una licitación competitiva, existen métodos y modelos que pueden incrementar la probabilidad de éxito en el concurso, respetando las restricciones y necesidades que la empresa licitadora (cliente) tiene como norma.

Con el capítulo 2 “Estado del Arte de las licitaciones competitivas”, que fue el primer objetivo de esta tesis, se cumplió la hipótesis 1, dado que en el desarrollo de éste capítulo, se encontraron métodos para que el licitante aumentara su probabilidad de éxito en un concurso, se plantearon algunos modelos basados en ciertas funciones de probabilidad y se presenta la paquetería para obtener la probabilidad de éxito de un licitante (contratista) con respecto a sus competidores. Entre la paquetería investigada, se tuvo acceso a: DATA 3.5, Decisión Plus y Cristal Ball. De los paquetes anteriores el que se uso en el caso de estudio, de acuerdo a los requerimientos de éste y dadas sus especificaciones fue el paquete computacional Decisión Plus.

Hipótesis 2: Una empresa licitadora (cliente), puede aplicar métodos y modelos para disminuir la subjetividad en la elección del probable licitante ganador, utilizando una metodología multicriterio y dándole la importancia adecuada a cada variable de decisión, que influye en la selección del licitante.

La hipótesis anterior, se cumplió con la realización del capítulo 3 “Análisis Jerárquico Multicriterio”, en donde se presenta el método jerárquico multicriterio (AJM) y por medio de algunos ejemplos se muestra tanto la aplicación del AJM como el uso de un paquete de computo “Decisión Plus”, como herramienta en el empleo del AJM y así también, tanto este capítulo como el capítulo 2 cumplieron con el objetivo 2.

Ambas hipótesis dan como resultado que no sea solamente el precio, la única variable que deba ser analizada y evaluada, si no que existen factores distintos al precio que deben ser valorados para la mejor selección del licitante.

En adición, las hipótesis 1 y 2, fueron finalmente comprobadas al cumplir con los objetivos 3 y 4, que al realizar el capítulo 4 “Las licitaciones en el área de la Industria Petrolera”, donde se expone ampliamente la metodología que es utilizada por un grupo decisor, en la evaluación de un proyecto de la industria petrolera; y por medio del Caso de Estudio, el cual fue la evaluación de las mejoras de una estación de compresión de gas natural de PEMEX Gas y Petroquímica Básica; mismo que se presenta que en este capítulo, analizando la manera de aplicar la metodología encontrada en el capítulo 3 (método jerárquico multicriterio) con ayuda del paquete de computo Decisión Plus. Dado que fue factible la utilización de esta metodología, se encontraron que los resultados obtenidos por esta vía fueron parecidos a los obtenidos de forma comparativa con los proporcionados por el Instituto Mexicano del Petróleo (el cual actúa como consultor en la evaluación de la licitación), pero la forma para obtenerlos fue más rápida, objetiva, transparente y eficaz, estos resultados se presentan en el capítulo 4.

Para comprobar la hipótesis 2 y llevando a cabo el segundo objetivo, se presentó un caso de estudio para la industria petrolera, concerniente a la evaluación, jerarquización y selección de una cartera de proyectos de investigación y desarrollo, que se presenta en el capítulo 3.

Desde el punto de vista del licitante, se establece que la metodología que se propone para que un contratista pueda incrementar su probabilidad de ganar un concurso puede implementarse en las empresas que concursan en una licitación a condición de poseer datos de sus competidores tales como: datos históricos de precios en donde haya concursado anteriormente, la infraestructura de la empresa competidora, especialización, tendencia en los últimos años, etc.

Desde el punto de vista del cliente. Se puede mejorar el proceso de evaluación de proyectos de la industria petrolera, a través del análisis jerárquico multicriterio (AJM), en el cual se califica cada criterio por medio de una cierta puntuación establecida por consenso por los propios evaluadores. Sin embargo, se debe considerar la limitación impuesta por La ley de obras públicas y servicios relacionados con las mismas, que en su artículo 38, que entre los párrafos más sobresalientes al respecto dice:

“Tratándose de obras públicas, deberá verificar, entre otros aspectos, el cumplimiento de las condiciones legales exigidas al licitante; que los recursos propuestos por el licitante sean los necesarios para ejecutar satisfactoriamente, conforme al programa de ejecución, las cantidades de trabajo establecidas; que el análisis, cálculo e integración de los precios sean acordes con las condiciones de costos vigentes en la zona o región donde se ejecuten los trabajos. **En ningún caso podrán utilizarse mecanismos de puntos y porcentajes en su evaluación.**

Atendiendo a las características propias de cada servicio y siempre y cuando se demuestre su conveniencia se utilizarán mecanismos de puntos y porcentajes para evaluar las propuestas, salvo en los casos de asesorías y consultorías donde invariablemente deberán utilizarse estos mecanismos, de acuerdo con los lineamientos que para tal efecto emita la Contraloría.

Una vez hecha la evaluación de las proposiciones, el contrato se adjudicará de entre los licitantes, a aquél cuya propuesta resulte solvente porque reúne, conforme a los criterios de adjudicación establecidos en las bases de licitación, las condiciones legales, técnicas y económicas requeridas por la convocante, y garantice satisfactoriamente el cumplimiento de las obligaciones respectivas.

Si resultare que **dos o más proposiciones son solventes** porque satisfacen la totalidad de los requerimientos solicitados por la convocante, **el contrato se adjudicará a quien presente la proposición cuyo precio sea el más bajo.**

La convocante emitirá un dictamen que servirá como base para el fallo, en el que se hará constar una reseña cronológica de los actos del procedimiento, el análisis de las proposiciones y las razones para admitirlas o desecharlas”.

Desde el punto de vista de la Industria Petrolera, la Ley de “Obras Públicas y los Servicios relacionados con las mismas” y en especial el artículo anterior, es poco flexible, debiendo considerar por lo menos en el área petrolera, la utilización de metodologías tales como el AJM, debido a que con una dicotomía de “sí” o “no” cumple no se puede seleccionar al mejor licitante. Ya que lo anterior es poco objetivo, y se llega a la conclusión de que gane no el mejor sino el que cumpliendo mediocrementemente con los aspectos técnicos gane sólo por presentar el precio más bajo para llevar acabo el proyecto.

En la investigación que llevamos acabo, se encontró que cada licitación que existe en la Industria del Petróleo es muy particular, por lo que los modelos a implantar deben ser adecuados a la situación particular de cada proyecto licitado, no obstante la metodología que aquí se expone seria de gran ayuda para guiar las decisiones de los encargados de proyectos y/o los de tomadores de decisión de alto rango, para poder elegir la licitación más competitiva.

Se recomienda a las empresas usen esta metodología no sólo en la fase de ganar un concurso si no también para retroalimentar en lo futuro las licitaciones, guardando con ello una memoria de información relevante en términos de un sistema de informativo que acumule conocimiento y experiencia.

Entre las sugerencias que esta tesis puede aportar para el mejoramiento de una licitación competitiva son:

Dentro de las bases de concurso con frecuencia se proporcionan diversas especificaciones, que en ocasiones se contradicen entre sí, esto puede ser fácilmente resuelto, utilizando sistemas de procedimiento para la realización de las bases con una estricta norma de calidad.

El contratista para examinar e inspeccionar, el sitio de la obra sólo tiene un día, por lo que no tiene una visión completa del sitio, se sugiere que el cliente determine una escala dependiendo del tamaño del proyecto para que el contratista tenga el tiempo suficiente para revisar el sitio.

Se debe de dar preferencia a las empresas mexicanas en tanto sea posible, sin dejar a un lado la calidad de la ingeniería.

La SECODAM dentro del marco de la Ley de Adquisiciones y Obras Públicas, para las licitaciones de proyectos industriales, se ha dirigido más hacia el control, evaluación y fiscalización, al buscar una mayor eficiencia, por lo que se sugiere que sin perder su función de vigilancia, se apliquen metodologías como las expuestas en esta tesis que permitan la optimización en el desarrollo de los grandes proyectos industriales. La fiscalización de los proyectos de tipo industrial y en particular de la Industria Petrolera, debe basarse en el desempeño final de los mismos que en la vigilancia de cada una de las etapas, lo cual entorpece la fluidez del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

ARIET, Mario, "Game Theory and decisions in a competitive situation", Universidad de Florida , pags. 214-220.

Broemser, G.M. "Competitive Bidding in the construction industry", Tesis doctoral, Stanford University, 1968.

Bierwag G. "Optimal TIC Bids on Serial Bond issues"
Management Science/Vol. 22, No. 11, 1976

Capen., Campbell E.C, W.M. And Clapp R. V. "Copmetitive Bidding in High-Risk Situations"
Journal of Petroleum Technology, Vol. 23 (june 1971), pp. 641-653.

Desai P. and Srinivasan K."Demand signalling Under Unobservable Effort Franchising. Linear and no Linear Price Contracts"
Management Science/ Vol.41, No. 10, october 1995

Engelbrecht-Wiggans R. and Weber R."An example of a multi-object auction game"
Management Science Vol. 25, No. 12 Decembewr 1979

Engelbrecht-Wiggans R, "Auctions and Bidding models: A survey"
Management Science 26 (1980) 119-142

Engelbrecht-Wiggans R, "On Optimal Competitive Contracting"
Management Science 33 (1987) 1481-1488

Escobar T. El proceso para la preparación de una licitación

Escobar T. Bid Evaluation Models

Escobar T. Cost and Price Forecasting in Strategic Planning

Fruchter Gila E."Many-Player advertising Game"
Management science/ Vol. 45, No. 11, November 1999

Ghemawat P. and Mc Gahan A."Order Backlogs and Strategic Pricing: The Case of the U.S. Large Turbine Generator Industry"
Strategic Management Journal/ Vol. 19, 255-268 (1998)

Godet, M. "Manuel de Prospective Stratégique". Dunod, Paris, (1997).

ILPES, "Guía para la presentación de Proyectos", 19ª. Edición, 1991, México, 179-191

IMP, "Evaluación de Tecnologías en la Industria de Refinación del Petróleo", 1998, México

IMIQ "La Ingeniería de Proyectos en México", Julio del 2000.

Jiménez E., "El futuro de México sin ingeniería mexicana",
Academia Mexicana de Ingeniería/ septiembre 1997, 36 pgs.

King M. and Mercer A. "The optimum markup when bidding with uncertain costs"
European Journal Research 32 (1987) 462-466

King M. and Mercer A. "Recurrent competitive bidding"

King, M., and Mercer, A., "Problems in determining bidding strategies".
Journal of operational Research Society 36 (1985) 915-923.

Knodel, C.S. and Swanson, L.A., "A stochastic model for bidding",
Journal of operational Research Society 29 (1978) 951-957.

European Journal Operational Research 33 (1988) 2-16

Lenehan B. "Write an offer too good to refuse"
Hydrocarbon Processing, November 1998. 147-154

Lenehan B. "To bid or not to bid"
Hydrocarbon Processing, May 1999. 55-60

Mesak H. and Clelland R. "A competitive pricing model"
Management Science Vol. 25, No. 11, Nov. 1979

Meranka, D. (1987) "La prise de decisión en management". Vuibert Paris.

Mercer, A., and Russell, J.I.T., "Recurrent competitive bidding",
Operational Research Quarterly 20 (1969) 209-221

Miller I., "Probabilidad y Estadística para Ingenieros"/ Freud J. and Jonson R.—4ª. Ed, Edit.
Prentice Hall, 1992, México, 41-186

Naert, P.A. And Weverbergh, M., "Cost uncertainty in Competitive bidding Models"
Journal of Operational Research 29 (1978) 361-372

Oren, S.S., and Rothkopf, M.H., "Optimal bidding in sequential auctions",
Operations Research 23 (1975), 1080-1090.

Palfrey J.R., "Multiplicative-object, discriminatory functions with bidding constraints: a game
theoretic analysis", Management Science 26 (1980) 935-946.

Pardo Rafael, "¿Ingenieros o jornaleros?"
Academia Mexicana de Ingeniería/ Enero de 1998. 49 pgs

- Ray D. and Cashman E. "Operational risks, bidding strategies and information policies in restructured power markets". *Decision Support Systems/ 24* (1999) 175-182
- Roy A, Dominique M. and Raju J. "Competitive Pricing by a Price Leader" *Management Science/ vol 40, No. 7, July 1994*
- Rothkopf, M.H., "Equilibrium linear bidding strategies", *Operations Research 28* (1980) 576-583.
- Rothkopf, M.H. "On multiplicative bidding strategies", *Operations Research 28* (1980) 570-575.
- Rothkopf, M. H., "A Model of Rational Competitive Bidding" *Management Science /Vol. 15, no. 7* (1969) 362-373
- Roy, B. P. Bertier, « la méthode ELECTRE II, une application au média-planning », en OR 72, M. Ross (edit). North Holland, (1973), pp 291-302.
- Saaty, T.L. , "What is Relative Measurement ? The ratio Scale Phantom, Mathematical and Computational Modelling", *Vol 17, (1993), pp 1-12,*
- Saaty, T.L., "Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process", *Vol VI, Pittsburgh, RWS Publications, (1994).*
- Seshadri S."Bidding for Contests"
Management Science Vo. 41, No. 4 Abril 1995
- Singh H."Auctions for ancillary services"
Decision Support Systems/ 24 (1999) 183-19
- Smith, B. T. and Case, J.H., "Nash equilibria in sealed bid auctions", *Management Science 22* (1975), 487-497.
- Stark R. M. And Rothkopf, m. H. "Competitive Bidding: A Comprehensive Bibliography" *Operations Res, Vol. 27, no. 2 (March-April 1979) pp 364-390.*
- Stark, R.M., "Unbalanced bidding models- Theory", *J. Const. Div. Am. Soc. Civ. Engrs. 94* (1968) 197-202 and *Operational Research Quartely 25* (1974) 373-388.
- TAHA, Hamdy A., "Investigación de operaciones (una Introducción)", *Edit RSI (Representaciones y servicios de ingeniería, S.A.) N.Y., (1976), pags. 339-355*
- VADJA S. "An introduction to Linear Programming and the Theory of games", *Edit. Science Paperbacks,(1968), pags. 49-70.*
- Van Dyke J."Guía para una licitación competitiva"
Journal Purchasing and Material Management
- Vilcassim, Kadiyall, and Chintagunta "Investigating Dynamic Multifirm Market Interactions in Price and Advertising"
Management science/ Vol. 45, No. 4, april 1999

Ward and Chapman "Developing Competitive Bids: A Framework For Information Processing"
Journal of the Operational Research Society 39 (1988) 123-134

Wilson, R.B. "Competitive bidding with disparate information"
Management Science 15 (1969) 446-448

Wesser P. "Estrategias frente a la competencia"
Management Today en español Junio de 2000, pp. 26-29

Zwick R. and Chen X. "What Priece Fairness? A barganing study"
Management Science/ Vol. 45, No. 6, June 1999

Software:

Cristal Ball 2000, Denver Colorado E.U.A.

Criterion Decisión Plus, 1999,

DATA 3.5 (Decisión Análisis by TreeAge 3.5), 1999, EUA

A.1 DEFINICIÓN DE PROBABILIDAD

Históricamente la forma más antigua de medir lo incierto es el concepto clásico de probabilidad, el cual tuvo su origen en los juegos de azar. Se aplica cuando todos los resultados son igualmente posibles; decimos entonces que: Si hay n resultados igualmente posibles, todos los cuales ocurren y s son los considerados favorables o como un éxito entonces la probabilidad de éxito está dada por:

$$\frac{s}{n}$$

Ejemplo: ¿Cuál es la probabilidad de sacar un as de un paquete de barajas de 52 naipes?

Solución: Hay $s =$ cuatro ases entre los $n = 52$ naipes; así que se tiene:

$$\frac{s}{n} = \frac{4}{52} = \frac{1}{13}$$

Un inconveniente del concepto clásico de probabilidad es su limitada aplicación, ya que existen situaciones en que las posibilidades no pueden ser consideradas todas como igualmente probables. Este sería el caso, por ejemplo, si quisiéramos saber si lloverá mañana, si una turbina diseñada recientemente funcionará al menos 1000 horas o bien si un cierto candidato ganará una elección.

Entre las diversas nociones de probabilidad, la más ampliamente utilizada es la interpretación de probabilidad como frecuencia relativa. La cual dice que la probabilidad de que un evento suceda es la proporción de veces que el evento sucedería en una serie prolongada de experimentos repetidos.

Por ejemplo, si se dice que un avión que vuela de Guadalajara a Monterrey tiene una probabilidad de llegar a tiempo de 0.78, se entiende que estos vuelos llegan a tiempo 78% de las veces.

Ejemplo: Ciertas pruebas muestran que 294 de 300 aislantes de cerámica probados podrían resistir un choque térmico, ¿Cuál es la probabilidad de que cualquiera de tales aislantes pueda resistirlo?

Solución: $\frac{294}{300} = 0.98$ este resultado se toma como una estimación de probabilidad.

Otro punto de vista alternativo que actualmente ha obtenido popularidad es interpretar las probabilidades como evaluaciones personales o subjetivas. Estas se aplican cuando existe poca o ninguna evidencia, así que no hay otra opción que considerar evidencias paralelas (indirectas), conjeturas fundamentadas y quizás intuiciones u otros factores subjetivos.

A.2 AXIOMAS Y TEOREMAS DE PROBABILIDAD

Sea S un espacio muestral finito y un evento A en S y $P(A)$ una función que asocia un número con cada suceso A en S . Entonces $P(A)$ es llamada una función de probabilidad asociada a las siguientes reglas:

Axioma 1. Para cualquier suceso A en S , $0 \leq P(A) \leq 1$.

Axioma 2. $P(S) = 1$.

Axioma 3. Si A y B son eventos que se excluyen mutuamente en S , entonces:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B)$$

Con el apoyo de la inducción matemática, el Axioma anterior puede extenderse para incluir cualquier número de eventos mutuamente excluyentes como sigue:

Teorema 1. Para cualquier secuencia A_1, A_2, \dots, A_n , y si son eventos que se excluyen mutuamente en un espacio muestral S , se tiene:

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n)$$

Regla para calcular la probabilidad de un evento:

Teorema 2. Si A es un evento en el espacio muestral finito S , entonces $P(A)$ es igual a la suma de las probabilidades de todos los resultados individuales incluidos en A .

Demostración: Sea una secuencia E_1, E_2, \dots, E_n , los n resultados de que consta el evento A ; así que podemos escribir $A = E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_n$. Dado que los E_i son resultados individuales, se excluyen mutuamente, y según el teorema 2, se tiene:

$$P(A) = P(E_1 \cup E_2 \cup \dots) = P(E_1) + P(E_2) + \dots + P(E_n)$$

Teorema 3. $P(\phi) = 0$, donde ϕ es el suceso que no contiene resultados (conjunto vacío).

Teorema 4. Regla general de la adición. Para dos sucesos A y B cualesquiera de S , $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$, donde $P(A \cap B) = 0$ por lo que esta propiedad se reduce al tercer axioma de probabilidad.

Teorema 5. Si A y B son sucesos de S y $A \subset B$, entonces $P(A) < P(B)$.

Teorema 6. Probabilidad de complemento. Si A es cualquier suceso en S y A^c es su complemento ($A \cap A^c = \phi$ y $A \cup A^c = S$), entonces:

$$P(A^c) = 1 - P(A)$$

Teorema 7. Probabilidad condicional, Si A y B son eventos en S y $P(B) \neq 0$, la probabilidad condicional de A con respecto a B está dada por:

$$P(A \setminus B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Teorema 8. Regla Especial de la Multiplicación. Si A y B son eventos independientes, entonces:

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

Teorema 9. Regla General de la Multiplicación. Si A y B son eventos en S, entonces:

$$\text{Si } P(A) \neq 0 \text{ entonces: } P(A \cap B) = P(A) \times P(B \setminus A)$$

$$\text{Si } P(B) \neq 0 \text{ entonces: } P(A \cap B) = P(B) \times P(A \setminus B)$$

Teorema 10. Regla de eliminación. Si B_1, B_2, \dots, B_n , son eventos mutuamente excluyentes, uno de los cuales debe ocurrir, entonces:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(B_i) \cdot P(A \setminus B_i)$$

Esperanza matemática. Si las probabilidades de obtener las cantidades a_1, a_2, \dots, a_k son p_1, p_2 y p_k , respectivamente, entonces la esperanza matemática es:

$$E = a_1 p_1 + a_2 p_2 + \dots + a_k p_k$$

A.3 TEOREMA DE BAYES.

De la definición de probabilidad condicional y la regla de multiplicación de probabilidades, tenemos:

$$P(A \setminus B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

$$P(B \setminus A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

$$P(A \cap B) = P(B) \times P(A \setminus B) \dots$$

Combinando las dos últimas ecuaciones se obtiene:

$$P(B \setminus A) = \frac{P(A \setminus B) \times P(B)}{P(A)} \dots$$

Esta última ecuación es conocida como Ley de Bayes, que es un poderoso método de evaluación de nueva información, con el fin de revisar estimados anteriores de las probabilidades de sucesos de interés. Cuando se usa correctamente, puede ser de gran ayuda en la toma de decisiones basadas en las probabilidades subjetivas (*a priori*), cuando es muy difícil o a veces imposible, proporcionar probabilidades basadas en datos empíricos, utilizando distribuciones de probabilidad conocidas.

Sea B un evento B^c su complemento. Si otro evento A ocurre, entonces:

$$P(B \setminus A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{P(A \setminus B) \times P(B)}{P(A \setminus B) \times P(B) + P(A \setminus B^c) \times P(B^c)} \dots$$

La probabilidad P(B|A) es llamada probabilidad *a-posteriori* del evento B dado la información contenida en el evento A. Las probabilidades P(B) y P(B^c) son referidas como las probabilidades *a-priori* de los eventos B y B^c respectivamente. En cierto sentido la Ley de Bayes revisa o actualiza la probabilidad *a-priori* P(B) incorporando en el modelo la información de que A ocurrió.

En algunas ocasiones, las probabilidades condicionales P(A|B) y P(A|B^c) no se conocen. Cuando este es el caso, se utilizan estimaciones de ellas, empíricas o subjetivas, con distintos grados de aproximación.

A.4 DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Comencemos por definir a una variable aleatoria. Una variable aleatoria es una función que asocia a un número real a cada elemento de un espacio muestral. Si un espacio muestral contiene un número finito de posibilidades o una secuencia sin final con igual número de elementos que números enteros, se le denomina espacio muestral discreto. Si un espacio muestral contiene un número infinito de posibilidades iguales al número de puntos que se encuentran en un segmento de línea, se le denomina espacio muestral continuo.

Las variables aleatorias se clasifican generalmente de acuerdo al número de valores que pueden asumir; teniendo entonces *variables aleatorias discretas*, las cuales pueden tomar solamente un número finito o infinito contable de valores y *variables aleatorias continuas* que surgen cuando se trabaja con cantidades que se miden en una escala continua y en un intervalo definido.

Si X es una variable aleatoria discreta, se define una función de probabilidad P(X) que asigna una medida de la probabilidad de esta variable. A cada variable aleatoria discreta x del espacio muestral le corresponde una probabilidad f(x) comprendida entre cero y uno. La relación de correspondencia entre x y f(x) es la función de probabilidad P(X).

El conjunto de pares ordenados (x, f(x)) es una función de probabilidad o una **distribución de probabilidad** de la variable aleatoria discreta X si, para cada resultado posible x,

1. $p(x) \geq 0$
2. $\sum p(x) = 1$
3. $P(X = x) = f(x)$

La función $f(x)$ es una función densidad de probabilidad para una variable aleatoria continua X , definida sobre el conjunto de los números reales R , si,

1. $f(x) \geq 0$ para toda $x \in R$
2. $\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$
3. $P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx$

La gráfica de esta función se muestra en la siguiente figura:

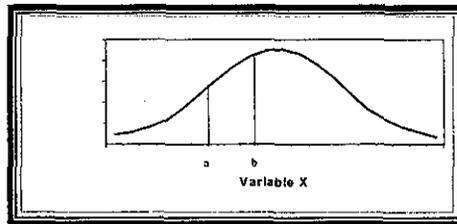


Figura A.1

El área total bajo la curva es 1. El área bajo la curva comprendida entre a y b proporciona la probabilidad de que x se encuentre entre a y b .

Para el manejo de variables aleatorias discretas se emplean las distribuciones de probabilidad binomial, multinomial, geométrica, hipergeométrica y Poisson. **Para variables aleatorias continuas las distribuciones de probabilidad normal, uniforme, log-normal, gamma, beta, Weibull entre otras.**

Puesto que los datos son estimados basándose en tendencias futuras y a la dificultad de que los datos obtenidos en la práctica se ajusten exactamente a una curva de cualquiera de los modelos anteriores, las aproximaciones son usadas y la representatividad de la distribución normal es aceptable. Esto es debido a las propiedades mismas de la curva normal y al teorema del límite central, el cual dice:

Si \bar{X} es la media de una muestra aleatoria de tamaño n tomada de una población con media μ y varianza finita σ^2 , entonces la forma límite de la distribución de:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad \text{cuando } n \rightarrow \infty, \text{ es la distribución normal.}$$

La aproximación normal para \bar{X} será por lo general aceptable si $n \geq 30$, independientemente de la forma de la población. Si $n < 30$, la aproximación es aceptable sólo si dicha población no es muy diferente de la distribución normal.

Es decir, este teorema demuestra que cuando un número elevado de variables aleatorias independientes son manejadas, siguen una curva de distribución normal independientemente del tipo de distribuciones que tenga cada una de las variables aleatorias. Por esto se analizará con detalle la distribución normal en esta sección.

A continuación se presentan las distribuciones de probabilidad más conocidas.

A.4.1 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BINOMIAL

Se denomina distribución binomial cuando para $x = 0, 1, 2, \dots$ y n , los valores de las probabilidades son los términos sucesivos del desarrollo binomial de $[p + (1-p)]^n$; por la misma razón las cantidades combinatorias $\binom{n}{x}$ reciben el nombre de coeficientes binomiales. La fórmula que define a esta distribución binomial es:

$$b(x; n, p) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad \text{para } x = 0, 1, 2, \dots, n$$

donde:

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

A.4.2 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD HIPERGEOMÉTRICA

Supóngase que se quieren conocer el número de elementos defectuosos presentes en una muestra de n unidades extraídas de una urna que contiene un total de N elementos de los cuales a están defectuosos. Si la muestra es extraída en tal forma que en cada extracción sucesiva, cualquier elemento que haya quedado en la urna tiene la misma oportunidad de ser elegido, la probabilidad de que en la primera extracción haya un elemento defectuoso es $\frac{a}{N}$, pero para la segunda extracción es $\frac{a-1}{N-1}$ ó $\frac{a}{N-1}$, dependiendo de que en la primera extracción se haya obtenido o no un elemento defectuoso. Como las extracciones no son independientes, una de las condiciones de la distribución binomial no es satisfecha.

Por lo que para el muestreo sin reemplazo su probabilidad de obtener "x éxitos en n ensayos" se formula de la forma siguiente:

$$h(x; n, a, N) = \frac{\binom{a}{x} \binom{N-a}{n-x}}{\binom{N}{n}} \quad \text{para } x = 0, 1, \dots, n$$

subrayando que x no puede exceder a a y $n-x$ no puede sobrepasar a $N-a$.

Donde:

n = al tamaño de la muestra o ensayos.

N = la cantidad de elementos en el tamaño de población
 a = número de éxitos en el tamaño de población.

A.4.3 MEDIA Y VARIANCIA DE UNA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Entre las características de una distribución de probabilidad que describen su localización y su variación están la media y la variancia.

La media de una distribución de probabilidad es simplemente la esperanza matemática de la variable aleatoria correspondiente. Si una variable aleatoria asume los valores x_1, x_2, \dots, x_k , con las probabilidades $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_k)$, su esperanza matemática es:

$$x_1 f(x_1) + x_2 f(x_2) + \dots + x_k f(x_k)$$

y usando la notación Σ , podemos escribir:

$$\mu = \sum_{\text{sobre } x} x \cdot f(x)$$

donde la media de una distribución mide su centro en sentido promedio.

Para una distribución binomial la media esta dada por:

$$\mu = n \cdot p$$

y para una distribución hipergeométrica se tiene que su media es:

$$\mu = n \cdot \frac{a}{N}$$

Dado que además se quiere conocer la magnitud de las desviaciones $x - \mu$, se tiene que la variancia de una distribución de probabilidad esta dada por:

$$\sigma^2 = \sum_{\text{sobre } x} (x - \mu)^2 \cdot f(x)$$

y por lo tanto la desviación estandar se puede encontrar despejando σ .

La variancia para una distribución binomial esta dada por:

$$\sigma^2 = n \cdot p \cdot (1 - p)$$

y la variancia de una distribución hipergeométrica con parámetros n, a y N esta dada por la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \frac{n \cdot a(N - a) \cdot (N - n)}{N^2 \cdot (n - 1)}$$

A.4.4 DISTRIBUCIÓN DE POISSON

Cuando n es relativamente grande y p es pequeña, las probabilidades binomiales a menudo se aproximan por medio de la fórmula:

$$f(x; \lambda) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad \text{para } x = 0, 1, 2, \dots$$

donde:

λ = al producto de np

$x = 0, 1, 2, \dots$ significa que existe un número infinito y contable de posibilidades.

A.4.5 DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA.

La distribución geométrica esta dada por:

$$g(x; p) = p(1-p)^{x-1} \quad \text{para } x = 1, 2, 3, 4, \dots$$

y su media es:

$$\mu = \frac{1}{p}$$

A.4.6 DISTRIBUCIÓN NORMAL

Este tipo de distribución es la más importante y se define de la siguiente manera:

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad -\infty < x < \infty$$

La media de la población es:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N f(x_i) \times x_i}{N}$$

La desviación estándar de la población es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 f(x_i)}{N - 1}}$$

donde:

x_i = valor de la variable

$f(x_i)$ = frecuencia de aparición de x_i .

En la distribución normal la moda, mediana y media coinciden por ser simétrica.

A.4.7 DISTRIBUCIÓN UNIFORME

La distribución uniforme con los parámetros α y β se definen por la siguiente:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta - \alpha} & \text{para } \alpha < x < \beta \\ 0 & \text{en los demás puntos} \end{cases}$$

donde su media es:

$$\mu = \frac{\alpha + \beta}{2}$$

y la variancia es:

$$\sigma^2 = \frac{1}{12} (\beta - \alpha)^2$$

A.4.8 DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL

La distribución log-normal ocurre en la práctica siempre que se encuentre una variable aleatoria tal que su logaritmo posea una distribución normal esta se define:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\beta}} x^{-1} e^{-\frac{(\ln x - \alpha)^2}{2\beta}} & \text{para } x > 0, \beta > 0 \\ 0 & \text{en los demás puntos} \end{cases}$$

su media de la distribución Log-normal esta dada por:

$$\mu = e^{\alpha + \beta^2/2}$$

y su variancia es:

$$\sigma^2 = e^{2\alpha + \beta^2} (e^{\beta^2} - 1)$$

A.4.9 DISTRIBUCIÓN GAMMA

Esta distribución esta dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} & \text{para } x>0, \alpha>0, \beta>0 \\ 0 & \text{en los demás puntos} \end{cases}$$

donde:

$\Gamma(\alpha)$ = es el valor de la función gamma.

y se define como:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

mediante la integración por partes es posible demostrar que:

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)\Gamma(\alpha - 1)$$

para cualquier $\alpha > 1$:

$$\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)!$$

la media de la distribución gamma es:

$$\mu = \alpha\beta$$

su variancia es:

$$\sigma^2 = \alpha\beta^2$$

En el caso especial cuando $\alpha=1$, se obtiene la distribución exponencial cuya densidad de probabilidad es, por lo tanto:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} & \text{para } x>0, \beta>0 \\ 0 & \text{en los demás puntos} \end{cases}$$

y cuya media y variancia son respectivamente: $\mu = \beta$ y $\sigma^2 = \beta^2$

A.4.10 DISTRIBUCIÓN BETA

Para una variable que toma valores sobre el intervalo de 0 y 1 se tiene la distribución Beta:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} & \text{para } 0<x<1, \alpha>0, \beta>0 \\ 0 & \text{en los demás puntos} \end{cases}$$

la media de esta distribución es:

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

y la variancia de esta distribución:

$$\sigma^2 = \frac{\alpha \beta}{(\alpha + \beta)^2 (\alpha + \beta + 1)}$$

A.4.11 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Muy relacionada con la distribución exponencial se encuentra la distribución Weibull, cuya densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} & \text{para } x > 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0 & \text{en los demás puntos} \end{cases}$$

la media de esta distribución esta dada por:

$$\mu = \alpha^{-1/\beta} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

La variancia de la distribución de Weibull:

$$\sigma^2 = \alpha^{-2/\beta} \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\}$$

A.4.12 DISTRIBUCIÓN TRIANGULAR

$$f(x) = \begin{cases} \frac{h(x-Min.)}{P-Min.} & \text{si } Min. < x < P \\ \frac{h(x-P)}{P-Max.} + h & \text{si } P < x < Max. \end{cases}$$

donde:

$$h = \frac{2}{Max. - Min.}$$

Mín.= punto mínimo del rango

Máx.= punto máximo del rango

P= valor más probable

A.4.13 DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

A.4.14 DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA

$$f(x) = \frac{z}{\alpha(1+z)^2} \quad \text{para } -\infty < x < \infty$$

donde:

$$z = e^{\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}$$

A.4.15 DISTRIBUCIÓN PARETO

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta \cdot L^\beta}{x^{\beta+1}} & \text{si } x > L \\ 0 & \text{si } x \leq L \end{cases} \quad L > 0$$

A.4.16 DISTRIBUCIÓN VALOR EXTREMO

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} z e^{-z} \quad \text{para } -\infty < x < \infty$$

donde:

$$z = e^{\left(\frac{x-m}{\alpha}\right)}$$

A.4.17 DISTRIBUCIÓN DE BINOMIAL NEGATIVO.

$$P\{x = i\} = \begin{cases} \binom{i-1}{\beta-1} p^\beta (1-p)^{i-\beta} & i = \beta, \beta+1, \beta+2, \dots \\ 0 & \text{en los demás puntos} \end{cases}$$

A.1 TABLA DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.

Distribución	Condiciones	Aplicaciones	Ejemplos
Binomial	<ul style="list-style-type: none"> - Para cada ensayo se tiene sólo dos posibles resultados. Éxito ó fracaso - Los ensayos son independientes - La probabilidad es la misma en cada ensayo. - Hay n ensayos, donde n es constante. 	Número de veces que un evento ocurre en un número fijado de ensayos además es por la Lógica Boleana (verdadero / falso).	- Número de soles en 10 lanzamientos de una moneda, probabilidad de éxito o fallo.
Hipergeométrica	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando el tamaño de la muestra es fijado. - La probabilidad de éxito cambia después de cada ensayo. 	- Describe el número de veces que un evento ocurre en un número fijado de ensayos, pero los ensayos son dependientes del resultado previo.	- La oportunidad de escoger un tornillo de una caja (sin reemplazar los demás tornillos en la caja para el siguiente ensayo).
Poisson	<ul style="list-style-type: none"> - El número de ocurrencias no esta limitada - Las ocurrencias son independientes. - La probabilidad es la misma en cada ensayo. 	-Describe el número de veces que ocurre un evento en un intervalo dado.	- Número de llamadas telefónicas por minuto Número de defectos en 100 m ² de material
Geométrica	<ul style="list-style-type: none"> - El número de ensayos no es fijado. - Los ensayos continúan hasta el primer éxito - La probabilidad de éxito es la misma en cada ensayo. 	- Describe el número de ensayos hasta que el primer éxito ocurre	<ul style="list-style-type: none"> - El número de veces que giras una ruleta, antes de que se gane. - El número de pozos que se perforarían hasta encontrar petróleo.
Normal	<ul style="list-style-type: none"> - El valor más significativo es el más probable. - Es simétrica alrededor del valor más significativo. - Es más probable estar cerca del valor significativo. 	- Fenómenos Naturales	<ul style="list-style-type: none"> - Peso de las personas. - Reproducción - Inflación
Uniforme	<ul style="list-style-type: none"> - El punto mínimo y máximo son fijados - Todos los valores en el rango tienen la misma probabilidad de que ocurran 	- Cuando se conoce el rango que se quiere trabajar y que todos los valores tienen la misma probabilidad de ocurrencia.	-Una fuga en una tubería.

A.1 TABLA DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD. (CONTINUACIÓN)			
Distribución	Condiciones	Aplicaciones	Ejemplos
Log-Normal	<ul style="list-style-type: none"> - Los valores no pueden estar cerca del cero. - La distribución es sesgada positivamente, la mayoría de los valores están cerca del límite inferior. - El logaritmo natural de la distribución es una distribución normal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Situaciones donde los valores están en el sesgo positivo, pero no pueden ser negativos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reserva de petróleo. - Los precios - Escala de pagos.
Gamma*	<ul style="list-style-type: none"> - Las posibles ocurrencias en alguna unidad de medición es ilimitada. - Las ocurrencias son independientes. - El número promedio de ocurrencias es constante de unidad a unidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se aplica a cantidades físicas, tales como el tiempo entre eventos cuando el proceso no es completamente aleatorio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda del número esperado de unidades vendidas durante un tiempo de espera. - Proceso meteorológico (concentraciones de contaminantes)
Beta	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando el rango de trabajo esta entre cero y un valor positivo. - La forma puede ser especificada con dos valores: alfa y beta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Representa la variabilidad sobre un rango fijo. - Describe un dato empírico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Representa la confiabilidad de las divisas de una compañía.
Weibull	<ul style="list-style-type: none"> - Esta distribución flexible puede suponer propiedades de otras distribuciones. - Cuando los parámetros son iguales a 1, es igual a la exponencial y cuando es igual a 2 es idéntica a la de Rayleigh. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de Fatiga y falla. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de fallo en un estudio de confiabilidad. - Prueba de esfuerzos de materiales.
Triangular	<ul style="list-style-type: none"> - El punto mínimo y máximo son fijados. - El valor más probable esta en el rango, el cual forma un triangulo entre el punto máximo y mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando se conoce el rango a trabajar y el valor más probable. - Cuando se tienen datos limitados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estimado de ventas. - Número de carros vendidos en una semana. - Numero de inventario - Costeo de mercado.
Exponencial	<ul style="list-style-type: none"> - Describe el tiempo entre cada ocurrencia. - La distribución no es afectada por eventos previos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Describe eventos que ocurren a la aleatoriedad. 	<ul style="list-style-type: none"> - El tiempo entre entradas de llamadas telefónicas. - El tiempo entre cada llegada de un cliente.
Logística*	<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones y parámetros complejos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Describe crecimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento de población como una función del tiempo. - Reacciones químicas.

A.1 TABLA DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD. (CONTINUACIÓN)			
Distribución	Condiciones	Aplicaciones	Ejemplos
Pareto*	- Condiciones y parámetros complejos.	-Analiza otras distribuciones asociadas con fenómenos empíricos	- Distribuciones asociadas con tamaños poblacionales. - Tamaño de compañías.
Valor Extremo*	- Condiciones y parámetros complejos.	-Describe valores grandes de respuesta sobre el tiempo. - Esfuerzos de materiales.	-Grandes flujos por inundación. - Tolerancias
Binomial Negativo.*	-El número de aciertos no esta fijado. -Los sucesos son iguales o mayores de r. -La probabilidad del suceso es la misma de ensayo a ensayo	- Los modelos de distribución del numero de aciertos o fallos hasta una ocurrencia r.	- El número de ventas hasta que se cierre la orden 10.

* estos tipos de distribuciones son las menos usadas.

A.5. DENSIDADES DE PROBABILIDAD CONJUNTAS

Existen múltiples situaciones en las cuales describimos un resultado dando los valores de varias variables aleatorias. Por ejemplo, podemos medir el peso y la dureza de una roca, el volumen, la presión y la temperatura de un gas o el grosor, color, resistencia a la compresión y contenido de potasio de un pedazo de vidrio. Si x_1, x_2, \dots, x_k son valores de k variables aleatorias, a la función f con valores $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ la llamaremos densidad de probabilidad conjunta de estas variables aleatorias, si la probabilidad de que $a_1[x_1]b_1, a_2[x_2]b_2, \dots, a_k[x_k]b_k$ esta dada por la integral múltiple:

$$\int_{a_1}^{b_1} \int_{a_2}^{b_2} \dots \int_{a_k}^{b_k} f(x_1, x_2, \dots, x_k) dx_1 dx_2, \dots, dx_k$$

si $f(x_1, x_2, \dots, x_k) > 0$, entonces para todos los valores x_1, x_2, \dots, x_k para los cuales la función esta definida, y si:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_k) dx_1 dx_2, \dots, dx_k = 1$$

y se satisfacen los axiomas antes presentados.

Para encontrar la densidad marginal de la i-ésima variable aleatoria, dada la densidad de probabilidad conjunta anteriormente, la densidad de la i-ésima variables aleatoria puede obtenerse integrando otras variables, de la siguiente manera:

$$f_i(x_i) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_k) dx_1 dx_2, \dots dx_{i-1} dx_{i+1} \dots dx_k$$

las variables aleatorias independientes de la densidad de probabilidad conjunta esta dada por:

$F(x_1, x_2, \dots, x_k) = F_1(x_1) F_2(x_2) \dots F_k(x_k)$, donde estas funciones están definidas.

Dadas dos variables aleatorias continuas con valores x_1 y x_2 , definiremos la densidad de probabilidad condicional de la primera dado que la segunda toma el valor de x_2 como:

$$g_1(x_1, x_2) = \frac{f(x_1, x_2)}{f_2(x_2)} \quad \text{donde } f_2(x_2) \neq 0$$

donde $f(x_1, x_2)$ y $f_2(x_2)$ son los valores de la densidad conjunta de las dos variables aleatorias y la densidad marginal de la segunda.

A.6 APLICACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD EN LAS LICITACIONES COMPETITIVAS

En las Licitaciones competitivas, la aplicación de las distribuciones de probabilidad es muy amplia y esta en función del cada caso en particular, a pesar de que las distribuciones más usadas en esta área son la normal, uniforme, log-normal, gamma, beta, Weibull, no se puede decir que sean las únicas, pues la infinidad de áreas en donde la licitación competitiva puede aplicarse es amplia y la manera en que el modelador ataque el problema es lo que hace que las funciones de probabilidad puedan ser aplicadas en su mayoría. Tal como lo demuestran Sugre en sus estudios de la ganancia esperada basándose en el modelo de Friedman, *Hassman y Rivett* para encontrar la probabilidad de ganar usaron la función de distribución de logaritmo normal. *Carl*, también asumió una distribución normal para las licitaciones.

TEORÍA DE LOS JUEGOS

B.1 INTRODUCCIÓN.

Dado que en la Ingeniería de Costos, se deben tomar decisiones cuantitativas, como por ejemplo en las negociaciones donde se tienen situaciones de un simple juego de estrategias, que pueden ser resueltos con ayuda de la Teoría de los juegos.

La Teoría de los juegos, nació en los años 20's, con el matemático francés Emile Borel aportó sus ideas, que son parte de la Teoría y John von Neumann la presentó a la Sociedad de Matemáticas en 1926, como un Teorema y en 1944, von Neumann y Morgenstern, presentaron un artículo llamado "La Teoría de los juegos y su comportamiento económico".³⁹

En la Teoría de juegos, un oponente se designa como jugador. Cada jugador tiene un número de elecciones finito o infinito, llamadas estrategias. Los resultados o pagos de un juego se resumen como funciones de las diferentes estrategias para cada jugador. Un juego que es igual a la pérdida del otro se conoce como un **juego de dos personas y suma cero**.⁴⁰ En tal juego es suficiente expresar los resultados en términos del pago a un jugador, tales pagos están dados por los renglones de la matriz.

³⁹ VADJA S. "An introduction to Linear Programming and the Theory of games", Edit. Science Paperbacks, (1968), pags. 49-70.

⁴⁰ TAHA, Hamdy A. (1976), "Investigación de operaciones (una Introducción)", Edit RSI (Representaciones y servicios de ingeniería, S.A.) N.Y., pags. 339-355

B.2 JUEGO DE DOS PERSONAS Y SUMA CERO

Problema del Detergente⁴¹.

En el siguiente ejemplo, la Compañía X, para reducir los costos de producción de su detergente, puede llevar a cabo dos estrategias; la estrategia x_1 , consiste en hacer la reingeniería de la planta existente; en la estrategia x_2 , se propone hacer una nueva planta. Su competidora la Compañía Y, conoce los planes en general de la Compañía X. Decide igualar la reducción de los costos de la Compañía X, para incrementar las ventas en áreas mutuas preparará un programa de publicidad como estrategia y_1 o como estrategia y_2 , una serie de acuerdos, por medio de los cuales un cliente puede comprar un producto similar a menor costo. Ambas compañías hacen el producto secundario. Las ganancias netas de estas dos compañías se pueden evaluar, por medio de la Teoría de los juegos, si proporcionamos la matriz de juegos 2×2 expresada en unidades de ganancia para la Compañía X, para cada estrategia se tiene:

Compañía X	Compañía Y	
	Estrategia y_1	Estrategia y_2
Estrategia x_1	-2	4
Estrategia x_2	2	3

En esta matriz, el elemento a_{ij} , es el pago cuando la estrategia i -ésima de la Compañía X, se intersecta con la estrategia j de la Compañía Y.

Si el jugador X, desea maximizar sus ganancias y desea obtener el pago de 4, el cual es el máximo pago que podría obtener usando la estrategia x_1 , pero si consideramos que la Compañía X, de acuerdo a su conocimiento del campo en cuestión, se decide por usar la estrategia x_2 , donde el pago sería de 2 ó 3 dependiendo de la estrategia que use la Compañía Y, ya sea y_1 o y_2 . Si la compañía X, escoge la estrategia x_1 , para ganar 4, la compañía Y podría contrarrestar la anterior decisión de X, con la estrategia x_1 y ganarle 2 a la compañía X.

En este juego, la Compañía X, escoge la estrategia x_2 , todo el tiempo. De manera similar, la Compañía Y, para minimizar sus pérdidas, decide escoger la estrategia y_1 , todo el tiempo. Por lo tanto, como solución a este problema, la Compañía X, gana 2 y la compañía Y pierde -2, como se puede observar en la matriz anterior.

En el caso anterior, se usaron *estrategias puras*, todo el tiempo.

La ganancia, que se obtiene por medio de estrategias puras, cuando estas estrategias son "óptimas" se dice que el juego tiene un punto de silla. El valor del juego, dado por la cantidad común de las estrategias puras óptimas, es igual a los valores máximin y mínimax. La Optimalidad, significa que ningún jugador este tentado a cambiar su estrategia ya que su oponente puede contraatacar eligiendo

⁴¹ ARIET, Mario (), "Game Theory and decisions in a competitive situation", Universidad de Florida, pags. 214-220.

otra estrategia que proporcione pagos menos atractivos. En general el valor del juego debe satisfacer la igualdad:

$$\text{Valor máximin (inferior)} \leq \text{valor del juego} \leq \text{Valor minimax (superior)}$$

En el ejemplo que estamos tratando, el valor máximin = valor minimax = -2. Esto implica que el juego tiene un punto de silla que está dado por el elemento a_{11} en la matriz del problema del Detergente. Como se analizó anteriormente, ningún jugador puede mejorar su posición seleccionando otra estrategia.

B.3 ESTRATEGIAS MIXTAS

Cuando un problema no tiene un punto de silla, las estrategias minimax-máximin (puras), pueden fracasar, por lo que en general, para dar una solución óptima al juego ha llevado a la idea de usar estrategias mixtas. Cada jugador, en lugar de seleccionar una estrategia pura solamente, puede jugar todas sus estrategias de acuerdo con un conjunto predeterminado de probabilidades.

Regresando a nuestro problema, sean $p_1(x_1)$, $p_2(x_2)$, y $p_1(y_1)$, $p_2(y_2)$, las probabilidades del renglón y de columna por las cuales las Compañías X y Y, seleccionarían sus estrategias puras. Generalizando se tendría:

$$\sum_{i=1}^m p_i(x_i) = \sum_{j=1}^n p_j(y_j) = 1 \quad (\text{B.1})$$

donde $p_i(x_i), p_j(y_j) \geq 0 \forall i \text{ y } j$

En general, si a_{ij} , representa el (i,j) -ésimo elemento de la matriz del juego, $p_i(x_i)$, y $p_j(y_j)$, aparecerán en la matriz de la siguiente manera:

		Compañía Y				
		Estrategia y_1	Estrategia y_2	...	Estrategia y_j	
Compañía X		$p_1(y_1)$	$p_2(y_2)$...	$p_j(y_j)$	
	$p_1(x_1)$	Estrategia x_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
	$p_2(x_2)$	Estrategia x_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
	$p_i(x_i)$	Estrategia x_i	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

Para el problema en cuestión sería:

		Compañía Y		
		Estrategia y_1	Estrategia y_2	
Compañía X		$p_1(y_1)$	$p_2(y_2)$	
	$p_1(x_1)$	Estrategia x_1	5	2
	$p_2(x_2)$	Estrategia x_2	3	4

La solución del problema de estrategias mixtas está basado en el criterio minimax. La única diferencia que en las estrategias puras, es que la Compañía X elige $p_i(x_i)$, la cual maximiza el pago esperado más pequeño en una columna, mientras que la Compañía Y selecciona $p_j(y_j)$, la cual minimiza el mayor pago esperado en un renglón. Matemáticamente, el criterio mínimas para una estrategia mixta esta dado como sigue. El jugador X elige $p_i(x_i)$, lo cual nos dará en forma general, denominado como pago maximin:

$$\max_{p_i(x_i)} \left\{ \min \left(\sum_{i=1}^m a_{i1} p_i(x_i), \sum_{i=1}^m a_{i2} p_i(x_i), \dots, \sum_{i=1}^m a_{in} p_i(x_i) \right) \right\}$$

y para el jugador Y, tendremos en forma general, un pago minimax:

$$\min_{p_j(y_j)} \left\{ \max \left(\sum_{j=1}^n a_{j1} p_j(y_j), \sum_{j=1}^n a_{j2} p_j(y_j), \dots, \sum_{j=1}^n a_{mj} p_j(y_j) \right) \right\}$$

y como en las estrategias puras, se debe de verificar la relación:

$$\text{pago esperado minimax} \geq \text{pago esperado maximin}$$

Cuando $p_i(x_i)$, y $p_j(y_j)$, corresponden a la solución óptima, se cumple la igualdad y los valores resultantes llegan a ser iguales al valor esperado (óptimo) del juego. Este resultado se deduce del teorema minimax. Si $p_i^*(x_i)$, y $p_j^*(y_j)$, son las soluciones óptimas para ambos jugadores cada elemento de pago a_{ij} estará asociado a la probabilidad $(p_i(x_i), p_j(y_j))$. Por consiguiente el valor óptimo esperado del juego es:

$$v^* = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} p_i(x_i^*) p_j(y_j^*) \quad (\text{B.2})$$

De acuerdo a lo anterior y aplicándolo al ejemplo, se tiene, que dado que $p_1(x_1)$ es una fracción del total de las decisiones (que en este caso son dos x_1 y x_2), si a la probabilidad $p_2(x_2)$ de la estrategia x_2 la ponemos en función de la probabilidad de $p_1(x_1)$ de la estrategia x_1 , se tendría:

$$p_2(x_2) = 1 - p_1(x_1)$$

y de manera similar para el jugador Y, se tendría que:

$$p_2(y_2) = 1 - p_1(y_1)$$

expresado en la matriz, se vería de la siguiente manera:

		Compañía Y		
		Estrategia y_1	Estrategia y_2	
Compañía X		$p_1(y_1)$	$1 - p_1(y_1)$	
	$p_1(x_1)$	Estrategia x_1	5	2
	$1 - p_1(x_1)$	Estrategia x_2	3	4

Sustituyendo los valores en la ecuación (B.2) tenemos:

$v^* = (5)p_1(x_1)p_1(y_1) + (3)(1 - p_1(x_1)) p_1(y_1) + (2)p_1(x_1)(1 - p_1(y_1)) + (4)(1 - p_1(x_1))(1 - p_1(y_1))$
 derivando parcialmente la función anterior, primero con respecto a $p_1(x_1)$ y luego con respecto a $p_1(y_1)$ e igualando a cero las derivadas parciales, para satisfacer de esta manera el criterio de Optimalidad del juego se tiene:

$$\frac{\partial v}{\partial p_1(x_1)} = 5p_1(y_1) - 3p_1(y_1) + 2(1 - p_1(y_1)) - 4(1 - p_1(y_1)) = 0 \quad (\text{B.3})$$

$$\frac{\partial v}{\partial p_1(y_1)} = 5p_1(x_1) - 3(1 - p_1(x_1)) - 2p_1(x_1) - 4(1 - p_1(x_1)) = 0 \quad (\text{B.4})$$

Resolviendo la ecuación 2 para $p_1(y_1)$ se tiene que:

$$p_1(y_1) = 1/2$$

de manera similar, se resuelve la ecuación (3) para $p_1(x_1)$:

$$p_1(x_1) = 1/4$$

por lo tanto, el valor óptimo del juego será.

$$v^* = 5(1/2)(1/4) + 3(1-1/4)(1/2) + 2(1/4)(1-1/2) + 4(1-1/4)(1-1/2)$$

$$v^* = 3.5$$

La técnica anterior, sólo es válida cuando se tienen dos alternativas (una distribución de probabilidad binomial).

Cuando existen más de dos alternativas, se deben de usar otros métodos. A menos que se encuentre el punto de silla y se reduzcan nuevamente a dos alternativas.

Por ejemplo, en la siguiente matriz de 3×2 :

	Compañía Y		
	Estrategia y_1	Estrategia y_2	
Compañía X	Estrategia x_1	2	3
	Estrategia x_2	4	1
	Estrategia x_3	-2	-5

Como se puede observar el jugador X nunca escogerá la estrategia x_3 , porque entonces, el jugador Y siempre ganaría, por lo tanto la matriz se reduce obviamente a una de 2×2 :

	Compañía Y		
	Estrategia y_1	Estrategia y_2	
Compañía X	Estrategia x_1	2	3
	Estrategia x_2	4	1

Resolviendo la matriz, con el método anterior se tiene que:

$$p_1(y_1) = 1/2$$

$$p_1(x_1) = 3/4$$

aplicando estos resultados, al juego donde el jugador x tiene tres alternativas:

$$p_1(y_1) = 1/2, p_2(y_2) = 1/2$$

$$p_1(x_1) = 3/4, p_2(x_2) = 1/4, p_3(x_3) = 0$$

de lo anterior, se deduce que la estrategia x_3 , es una estrategia dominada.

Existen varios métodos para resolver el juego de dos personas y suma cero para los valores de $p_i(x_i)$ y $p_i(y_i)$. En este trabajo sólo presentaremos dos métodos. El método gráfico para resolver juegos $(2 \times n)$ ó $(m \times 2)$ y el método de programación lineal general para resolver cualquier juego $(m \times n)$.

B.4 SOLUCIÓN GRÁFICA DE $(2 \times n)$ y $(m \times 2)$.

Las soluciones gráficas son únicamente aplicables a juegos en los cuales por lo menos uno de los jugadores tiene solamente dos estrategias. Como en la matriz de pagos siguiente, suponiendo que no

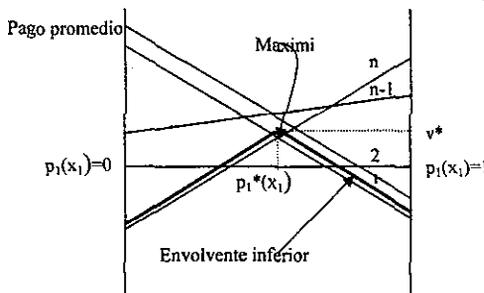
tiene un punto de silla y que las probabilidades de las estrategias de la Compañía X, cumplen que $p(x_2)=1-p(x_1)$; donde $p(x_2)$ y $p(x_1) \geq 0$:

Compañía X	Compañía Y					
			Estrategia y_1	Estrategia y_2	...	Estrategia y_j
			$p_1(y_1)$	$p_2(y_2)$...	$p_j(y_j)$
	$p_1(x_1)$	Estrategia x_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
	$p_2(x_2)$	Estrategia x_2 ($x_2=1-x_1$)	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}

Sus pagos correspondientes a las estrategias puras de la Compañía Y están dados como:

Estrategia pura de X	Pago esperado de A
1	$(a_{11}-a_{21})p(x_1) + a_{21}$
2	$(a_{12}-a_{22})p(x_1) + a_{22}$
...	...
n	$(a_{1n}-a_{2n})p(x_1) + a_{2n}$

De acuerdo con el criterio minimax para juegos con estrategias mixtas el jugador X deberá seleccionar el valor de x_1 que maximiza su pago mínimo esperado. Esto puede hacerse trazando las líneas rectas anteriores como funciones de x_1 , como se muestra en la figura de abajo.



Como puede ver, cada línea está numerada de acuerdo con su correspondiente estrategia pura de Y. La envolvente inferior de estas líneas (indicada por segmentos más gruesos) proporciona el pago mínimo esperado como función de $p_1(x_1)$. El punto más alto en esta envolvente inferior (indicado por un punto) da el pago maximin esperado y, por tanto, el valor óptimo de $p_1(x_1)$ ($=p_1^*(x_1)$).

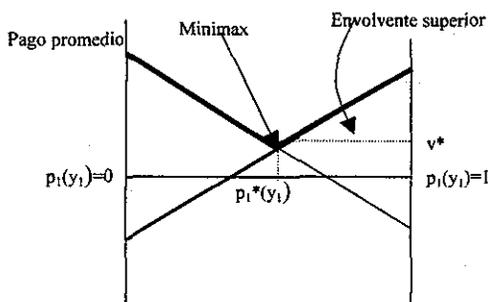
La $p_j(y_j)$ óptima para Y, puede obtenerse observando la definición del valor esperado del juego. Tal valor está dado para el juego anterior ($2 \times n$) como:

$$v^* = p_1^*(y_1)\{(a_{11}-a_{21})x_1^*+a_{21}\} + p_2^*(y_2)\{(a_{12}-a_{22})x_1^*+a_{21}\} + \dots + p_n^*(y_n)\{(a_{1n}-a_{2n})x_1^*+a_{2n}\}$$

las líneas que no pasan por el punto maximin, tendrán su correspondiente $p_j^*(y_j)=0$. Los pagos esperados de Y correspondientes a la estrategia X estan dados por:

Estrategia pura de X	Pago esperado de Y
1	$(a_{11}-a_{12})p(y_1) + a_{12}$
2	$(a_{21}-a_{22})p(y_1) + a_{22}$

Ya que Y desea minimizar su máximo pago esperado, el punto mínimo de la envolvente superior de estas dos líneas identifica a $p^*(y_1)$. Veamos la figura siguiente, en esta dado que se tienen sólo dos estrategia de X, la solución es más obvia.



B.5 SOLUCIÓN POR PROGRAMACIÓN LINEAL (PL)

Cuando se tienen dos jugadores con más de dos alternativas cada uno, este problema se puede resolver por programación lineal.

En la Industria del petróleo, la teoría de los juegos puede ser aplicada, dado que existen diversos procedimientos por los cuales el petróleo puede ser procesado. Un barril de crudo, se pueden obtener diversos productos, tales como. Hidrocarburos ligeros, gasolinas, combustibles especiales, solventes especiales, aceites lubricantes, asfaltos, petroquímicos, etc., de acuerdo a ciertas estrategias asociadas a diversos costos y ganancias. De acuerdo a la situación del mercado, a las estaciones del año, a la demanda de las industrias nacionales y en general a la economía del país influenciada por ciertas políticas .

Para entender lo anterior , se presenta el siguiente ejemplo:

La Compañía X usa tres estrategias, basadas en la manera de utilizar el crudo, la estrategia x_1 , sería utilizar el crudo para producir petroquímicos, la estrategia x_2 , para producir gasolinas y la estrategia x_3 , para producir productos a base de asfaltos. La Compañía Y, que es competidora de la Compañía X, tomará ciertas acciones para limitar las ganancias de la Compañía X. La Compañía X ha evaluado la influencia de la Compañía Y en sus ganancias de acuerdo a sus estrategias con los siguientes resultados expresados en la siguiente matriz:

	Compañía Y			
	Estrategia y_1	Estrategia y_2	Estrategia y_3	
Compañía X	Estrategia x_1	4	3	4
	Estrategia x_2	3	4	5
	Estrategia x_3	6	5	1

La esperanzas del jugador Y pueden ser expresadas de la siguiente manera:

$$4 p_1(y_1) + 3 p_2(y_2) + 4 p_3(y_3) \leq v \quad (\text{B.5a})$$

$$3 p_1(y_1) + 4 p_2(y_2) + 5 p_3(y_3) \leq v \quad (\text{B.5b})$$

$$6 p_1(y_1) + 5 p_2(y_2) + p_3(y_3) \leq v \quad (\text{B.5c})$$

Donde v es el valor esperado del juego. La suma de las estrategias del jugador Y, debe ser igual a 1, de acuerdo a la ecuación (B.1).

Haciendo un juego algebraico para trabajar mejor las ecuaciones anteriores se tiene que:

$$Y_i = p_i(y_i)/v \quad (\text{B.6})$$

Sustituyendo la ecuación (A.6) en las ecuaciones (B.5a), (B.5b) y (B.5c), se tiene:

$$4Y_1 + 3Y_2 + 4Y_3 \leq 1 \quad (\text{B.7a})$$

$$3Y_1 + 4Y_2 + 5Y_3 \leq 1 \quad (\text{B.7b})$$

$$6Y_1 + 5Y_2 + Y_3 \leq 1 \quad (\text{B.7c})$$

donde:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 1/v \quad (\text{B.8})$$

Dado que $p_i(y_i)$ minimiza a v , esto equivale a maximizar a $1/v$.

Por lo que expresado en Programación lineal se tiene que:

$$\text{Max. } Z = 1/v = Y_1 + Y_2 + Y_3 \quad (\text{B.9})$$

$$\text{s.a.q. : } 4Y_1 + 3Y_2 + 4Y_3 + Y_4 = 1 \quad (\text{B.10a})$$

$$3Y_1 + 4Y_2 + 5Y_3 + Y_5 = 1 \quad (\text{B.10b})$$

$$6Y_1 + 5Y_2 + Y_3 + Y_6 = 1 \quad (\text{B.10c})$$

donde Y_4, Y_5, Y_6 , son las variables de holgura. Para resolver el sistema de ecuaciones anteriores, se puede hacer por medio del método simplex o un programa como puede ser el LINDO (Linear, Interactive and Discrete Optimizer) o el programa MPS/360. De manera similar, se pueden evaluar las estrategias optimas para la Compañía X.

Para este caso, la estrategia optima es:

$$p_1(y_1)=0.5, p_2(y_2)=0.4, p_3(y_3)=0.1, \\ p_1(x_1)=0.3, p_2(x_2)=0.5, p_3(x_3)=0.2$$

Teniendo la solución para las probabilidades de las estrategias de la Compañía Y, se puede obtener la solución de la Compañía X, dado que el dual es un producto de la solución primal de la Programación Lineal.

B.6 PARA CUANDO EL JUEGO NO ES IGUAL A CERO.

En este tipo de juego, no necesariamente el que pierda un jugador es igual a que el otro gane. Por ejemplo: Se tienen dos compañías, las cuales contemplan la instalación de un nuevo proceso más competitivo. La siguiente matriz de pago describe los aspectos económicos bajo ciertas políticas:

Compañía X	Compañía Y	
	Estrategia y_1	Estrategia y_2
Estrategia x_1	3,3	6,1
Estrategia x_2	1,6	4,4

Como puede observar el punto 3,3, indica que tanto la Compañía X, como la Y ganan, pero la estrategia donde podrán ganar lo máximo es con la estrategia x_1, y_2 , donde ganarían 4 cada una, en otros casos, existiría la incertidumbre de perder.

Para este tipo de problemas, existe una técnica que se basa en 4 políticas, a saber:

- 1) Usar la estrategia y_1 , sin preocuparse de lo que X haga,
- 2) Seleccionar la estrategia y_2 , sin preocuparse de lo que X haga
- 3) Usar la misma estrategia que X (por ejemplo, si usa la estrategia x_1 , entonces Y, usara la estrategia y_1).
- 4) Usar la estrategia opuesta de X (por ejemplo, si usa la estrategia x_1 , entonces Y, usara la estrategia y_2).

La siguiente matriz, se obtuvo de acuerdo a las políticas anteriores:

Compañía X	Compañía Y			
	Estrategia pura y_1	Estrategia pura y_2	Misma Estrategia y_3	Estrategia opuesta y_4
Estrategia x_1	3,3	6,1	3,3	6,1
Estrategia x_2	1,6	4,4	4,4	1,6

Supongase que la Compañía X, conoce estas cuatro políticas, entonces X puede formular 16 posibles combinaciones de las anteriores. La primera política de X puede ser jugar siempre con la estrategia x_1 , excepto de que la compañía Y, juegue con la estrategia y_4 , que en ese caso, la Compañía X, jugara con la estrategia x_2 .

Entonces la matriz de pagos, se vería como sigue:

Compañía X	Compañía Y			
	Estrategia pura y_1	Estrategia pura y_2	Misma Estrategia y_3	Estrategia opuesta y_4
(1) x_1, x_1, x_1, x_1	3,3	6,1	3,3	6,1
(2) x_1, x_1, x_1, x_2	3,3	6,1	3,3	1,6
(8) x_1, x_2, x_1, x_2	3,3	4,4	3,3	1,6
(15) x_1, x_2, x_2, x_2	3,3	4,4	4,4	1,6
(16) x_2, x_2, x_2, x_2	1,6	4,4	4,4	1,6

B.7 LIMITACIONES DE LA TEORÍA DE LOS JUEGOS.

En la práctica existen más de dos jugadores involucrados, y el análisis requiere de métodos más avanzados. En muchas situaciones, de tipo administrativo, existe el problema de cómo cuantificar los posibles beneficios o pérdidas causados por las decisiones hechas a futuro (es difícil establecer la matriz de pagos).

DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA JERÁRQUICA PARA LA SELECCIÓN DEL MEJOR LICITANTE PARA LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN, CON AYUDA DEL SOFTWARE: DECISIÓN PLUS

La estructura de este caso de estudio como se puede apreciar en la figura 4.1, esta dada por seis niveles, los cuales se citan a continuación:

Nivel	Descripción	Observaciones
1	Meta	Selección del Licitante: Para la selección del licitante se divide el problema en dos grandes rublos: el Ret. de la empresa y el proyecto en sí, como se puede ver en la figura C.1.
2	Entorno	Este nivel, llamado entorno de la solución del problema, esta constituido del Retrato de la empresa , el cual se divide en cinco criterios: Relación de obras, Solidez financiera, Organigrama, Recursos humanos y el Curriculum de cada empresa licitante, sus pesos se presentan en la Figura C.2 y C.3. También encontramos en este nivel al Proyecto que se dividió en los siguientes criterios: Técnicos y Programación y Control de la Obra, sus valores dados por los especialistas se dan en la Figura C.4
3	criterios	En este nivel se dan los criterios requeridos por el entorno del problema en cuestión. Del lado del Retrato de la Empresa, se tiene la Relación de obras que se divide en: Obras relacionadas con el sector público y las obras de más de \$25 MM pesos, las calificaciones dadas para este criterio se dan en la Figura C.5. Los demás criterios que vienen del Retrato de la empresa: Solidez financiera, Organigrama, Recursos humanos y el Curriculum de cada empresa licitante, se calificaron directamente para cada licitante, dado que no se tenían otros subcriterios que evaluar, lo cual se puede apreciar en las figuras C.6, C.7, C.8 y C.9. Del rublo, Proyecto del entorno, como ya se observó en el nivel 2, se tiene dos criterios: El Técnico y el de Programación y Control , el primero se divide en: Civil concreto, Eléctricos, Mecánica, Sistemas hidráulicos, instrumentación y control, Diseño de Equipo, Tuberías, Seguridad, sus pesos o calificaciones las podemos ver en la Figura C.10 y C.11. El segundo criterio del rublo Proyecto: Programación y Control de la obra se divide en seis subcriterios que pueden ser vistos en la figura C.12 y C.13, los cuales son: Programa de adquisición de material y equipo permanente, Programa de utilización de material y equipo, programa calendarizado de la ejecución de los trabajos, programa de asignación en sitio del personal, programa de supervisión y coordinación y por último el programa de transporte terrestre de equipo pesado. Los tres primeros subcriterios anteriores, están compartidos con el subcriterio de civil concreto que se encuentra en el nivel 4.

4	subcriterios	<p>En este nivel existen subcriterios de subcriterios del nivel anterior, tales como: de la Relación de obras de la cual se desprenden dos subcriterios: Las obras relacionadas con el sector público y las obras de más de \$25MM de pesos, las cuales califican directamente a cada licitante, en las Figuras C.14 y C.15, se aprecian los valores relacionados a cada licitante.</p> <p>Por el lado del criterio Técnico, se tiene 8 subcriterios, de los cuales el subcriterio de Civil concreto que puede verse en las figuras C.16 y C.17, se desprenden otros 10 subcriterios, a saber: Material que proporcione el contratista, Relación de Maquinaria y Equipo proporcionado por el contratista, Programación para la utilización del personal, Costo de la mano de obra, la Programación para la adquisición de material y equipo permanente, Programación de utilización de maquinaria y equipo, programación calendarizada de ejecución de los trabajos (estos tres últimos a su vez tiene relación con el criterio de Programación y control de la Obra, del nivel 3).</p> <p>El subcriterio Eléctrico (el cual viene también del criterio Técnico, como se aprecia en la Figura 4.1), se divide en tres subcriterios más: Fuerza, cajas de registro, conexiones eléctricas, alumbrado interno y externo y por último el centro de control de motores, que se presenta en la Figura C.18. Se tiene además, el subcriterio de la especialidad de mecánica, el cual se divide en: Rehabilitación de extractores, Rehabilitación de ventiladores de inyección, Rehabilitación de la grúa viajera, Mtt. Mayor a moto generadores de emergencia, Mtt. a ductos de escape de turbocompresores, suministro del equipo de monitoreo de gas de escape, Rehabilitación al carro del sistema de agua de lavado, grúa giratoria para taller mecánico, elaboración de planos as-built. Las calificaciones dadas a estos subcriterios se dan en las Figuras C.19 y C.20.</p> <p>El subcriterio de sistemas hidráulicos, se divide en: arrestadores de flama, secadora de gas de instrumentos, construcción del tanque acumulador de condensados Fa-110 (que esta relacionado con el subcriterio de Diseño de equipo). Véase Figura C.21.</p> <p>El subcriterio de instrumentación y control, se divide en 15 subcriterios que se enlistan a continuación: Sistema de control de encendido electrico del calentador de gas, controlador de nivel, vidrios de nivel, transmisores de nivel interruptores de nivel, válvulas de control de nivel, válvulas reguladores de presión, indicadores-interruptores de presión y presión diferencial, manómetros, interruptores de presión, transmisores de presión y presión diferencial, termómetros bimetalicos, interruptores de temperatura, transmisores de temperatura, actuador hidroneumático, refacciones, actuadores hidroneumáticos. Ver figuras C.22, C.23 y C.24.</p> <p>El subcriterio de Diseño de equipo, se divide en tres subcriterios: Construcción del tanque acumulador de condensados (que también esta relacionado con el Subcriterio de Sistemas Hidráulicos), rehabilitación de soloaires EA-321 y 3220, Inspección y mtt. del calentador de gas combustible. Véase figura C.25.</p> <p>El subcriterio de tuberías no se dividió en otros subcriterios dado que sólo se evaluó el material y de aquí se calificó a cada licitante por parte de este subcriterio. Ver Figura C.26.</p> <p>El subcriterio de Seguridad se dividió en: Plan de capacitación en todas las áreas, relación de equipo y del personal que impartirán los</p>
---	--------------	--

		cursos de seguridad. Ver Figura C.27.
5	subcriterios	Es esta sección se tienen los subcriterios que se desprenden del nivel 4, los cuales califican por último a cada licitante, vease las Figuras de la C.28 a la C.72
6	Licitantes	Lista de licitantes que van a concursar según los criterios y subcriterios expuestos arriba.

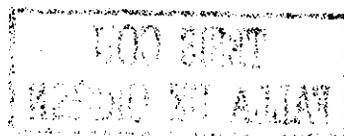


FIGURA C.1

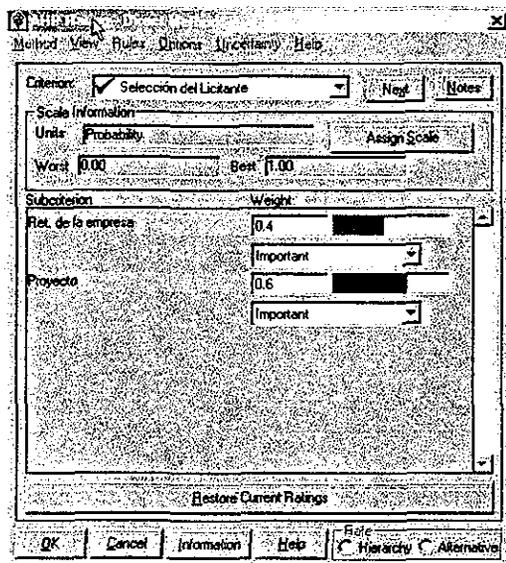


FIGURA C.2

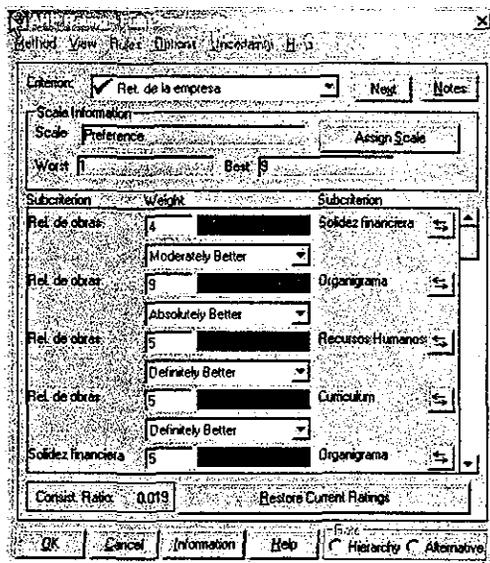


FIGURA C.3

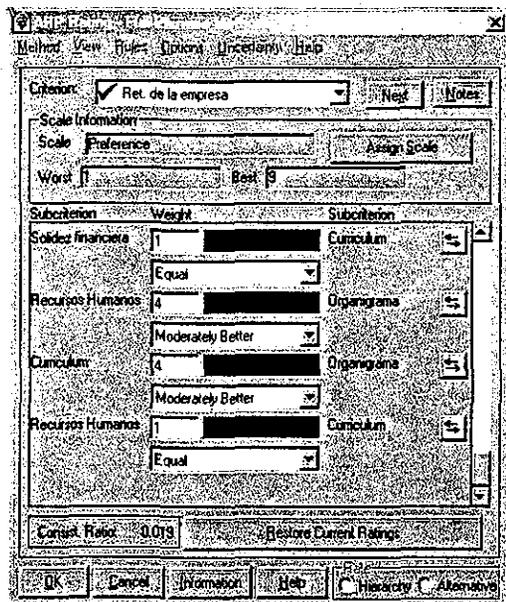
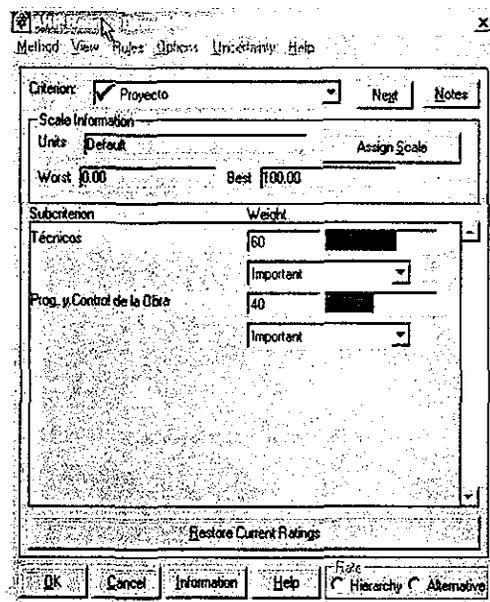


FIGURA C.4



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

FIGURA C.5

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Rel. de obras Neg. Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Subcriterio	Weight	Importance
obras relacionadas con el sector	40	Important
obras de más de \$25 MM	60	Important

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Hierarchy Alternative

FIGURA C.6

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Solidez financiera Neg. Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Alternative	Score	Importance
LUNA RODRIGUEZ	100	Critical
ATICA	40	Important
CAPSA	40	Important
PYPASA	60	Important
DICA	100	Important

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Hierarchy Alternative

FIGURA C.7

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Organograma Neg. Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Alternative	Score	Importance
LUNA RODRIGUEZ	30	Unimportant
ATICA	80	Very Important
CAPSA	30	Unimportant
PYPASA	70	Very Important
DICA	80	Very Important

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Hierarchy Alternative

FIGURA C.8

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Recursos Humanos Neg. Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Alternative	Score	Importance
LUNA RODRIGUEZ	10	Trivial
ATICA	90	Critical
CAPSA	60	Very Important
PYPASA	40	Important
DICA	10	Trivial

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Hierarchy Alternative

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.9

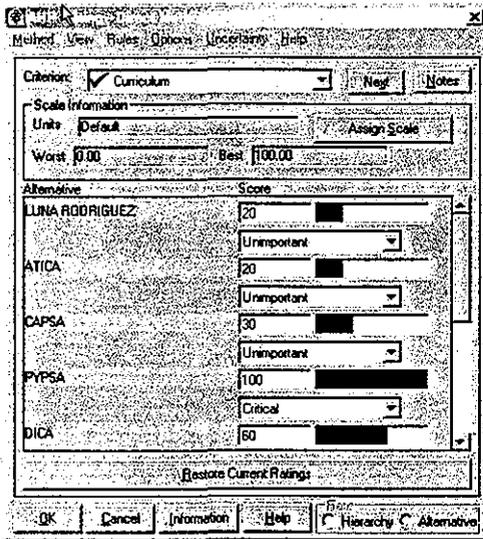


FIGURA C.10

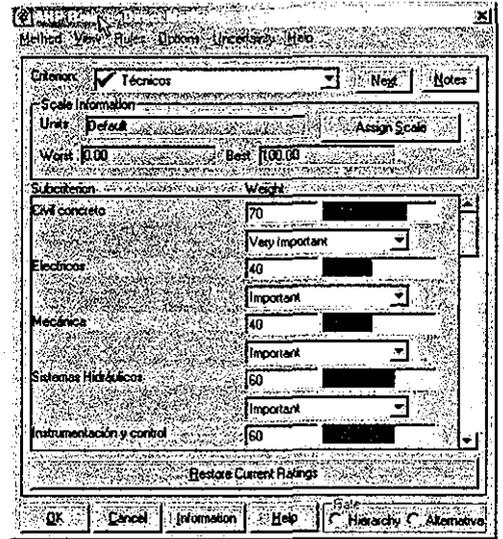


FIGURA C.11

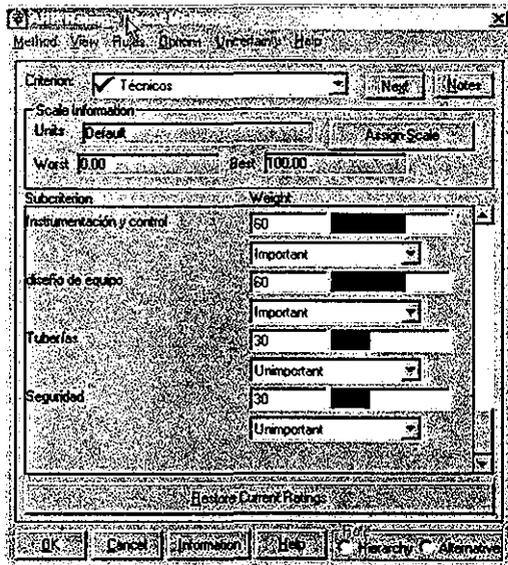


FIGURA C.12

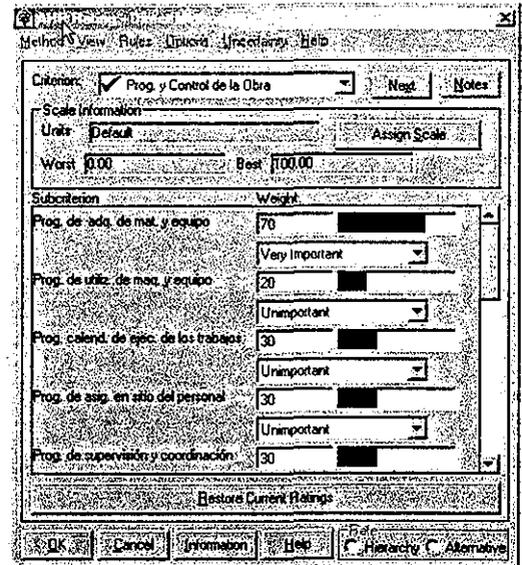


FIGURA C.13

Method: View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: obras relacionadas con el sector púb Neg Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Subcriterio	Weight
Prog. calend. de nec. de los trabajos	30
Prog. de seg. en sitio del personal	30
Prog. de supervisión y coordinación	30
Prog. de transp. interest. de eq. pesado	60

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help File Hierarchy C Alternative

FIGURA C.14

Method: View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: obras relacionadas con el sector púb Neg Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Alternative	Score
LUNA RODRIGUEZ	60
ATICA	70
CAPSA	70
PYPSA	100
DICA	70

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help File Hierarchy C Alternative

FIGURA C.15

Method: View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: obras de más de \$25 MM Neg Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Alternative	Score
LUNA RODRIGUEZ	50
ATICA	50
CAPSA	0
PYPSA	100
DICA	90

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help File Hierarchy C Alternative

FIGURA C.16

Method: View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Civil concreto Neg Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Subcriterio	Weight
Materiales que proporciono el contratista	50
Ret. de Maq. y Equip. prop.	50
Prog. de utiliz. de personal	50
Prog. de adq. de mat. y equipo	50
Prog. de utiliz. de maq. y equipo	30

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help File Hierarchy C Alternative

100 TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.17

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Civil concreto Negt Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Subcriterio	Weight
Prog. de ada. de met y equipo	50
	Important
Prog. de uso de maq y equipo	20
	Unimportant
Prog. control de enc. de los trabajos	30
	Unimportant
Costo de la mano de obra	50
	Important

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Role Hierarchy C Alternative

FIGURA C.18

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Electricos Negt Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Subcriterio	Weight
Fuerza, cajas de registro, conexiones	10
	Trivial
Iluminado interno y externo	20
	Unimportant
Centro de control de motores	70
	Very Important

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Role Hierarchy C Alternative

FIGURA C.19

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Mecánica Negt Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Subcriterio	Weight
Rehabilitación de extractores	5
	Trivial
Rehabilitación de ventiladores de	5
	Trivial
Rehabilitación de grúa visera	10
	Trivial
Mta. mayor a motogeneradores de	15
	Unimportant
Mta. a ductos de escape de	5
	Unimportant

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Role Hierarchy C Alternative

FIGURA C.20

Method View Rules Options Uncertainty Help

Criterio: Mecánica Negt Notes

Scale Information
Units: Default Assign Scale
Worst: 0.00 Best: 100.00

Subcriterio	Weight
Mta. a ductos de escape de	5
	Trivial
Suministro de equipo de monitoreo de	15
	Unimportant
Rehabilitación al canal del sist. de	10
	Trivial
Grúa giratoria p/ taller mecánico	15
	Unimportant
Elaboración de planos As-built	45
	Unimportant

Restore Current Ratings

OK Cancel Information Help Role Hierarchy C Alternative

FIGURA C.21

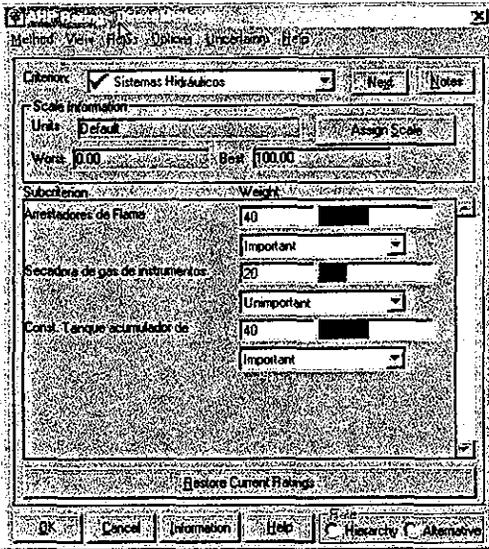


FIGURA C.22

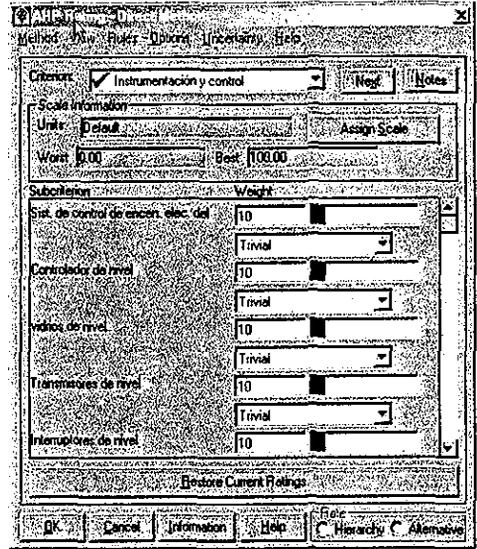


FIGURA C.23

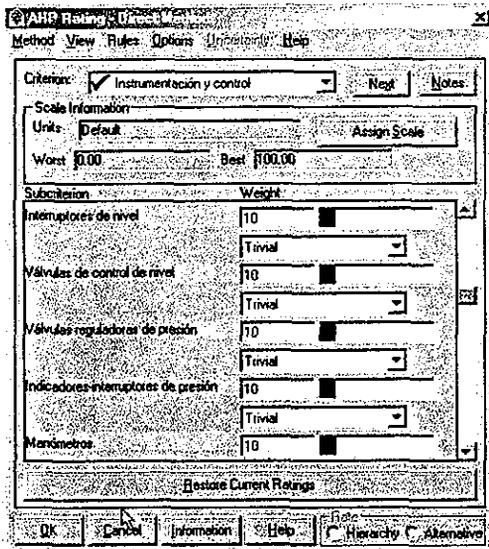
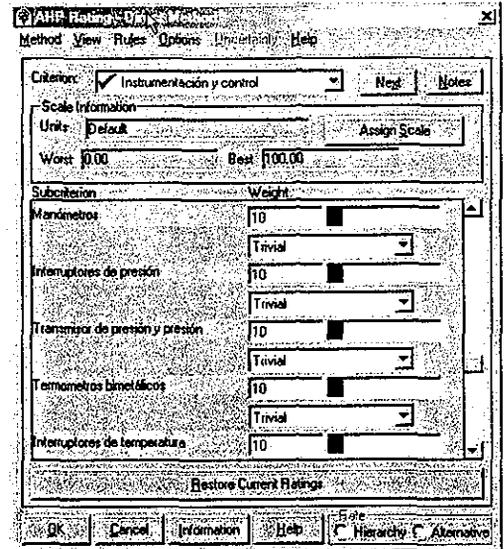


FIGURA C.24



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.25

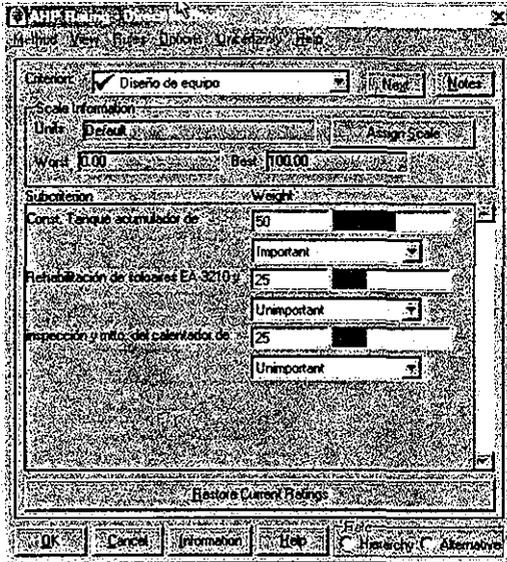


FIGURA C.26

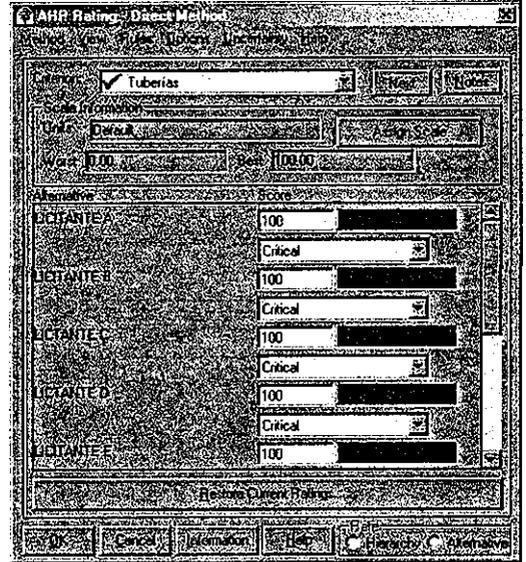


FIGURA C.27

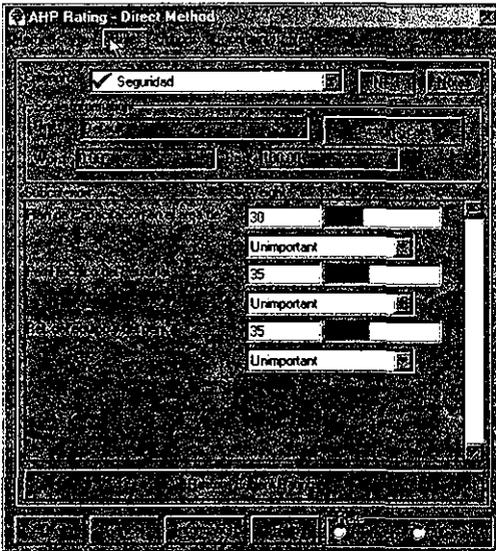


FIGURA C.28

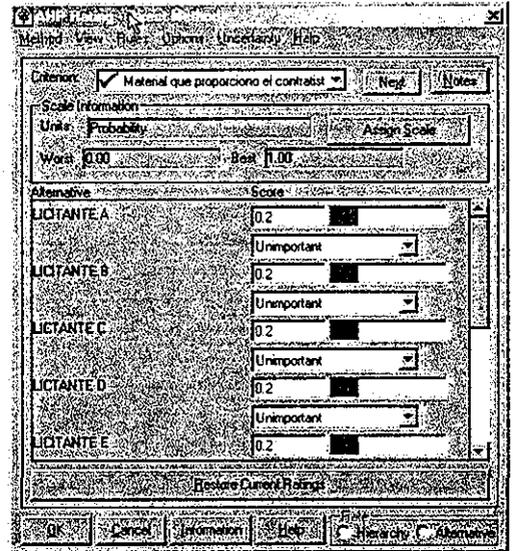


FIGURA C.29

Criteria: Rel. de Maq y Equip prop. p/contrat

Scale Information: Units: 0-10, Worst: 0.00, Best: 10.00

Alternative	Score	Quality
LICTANTE A	10	Critical
LICTANTE B	10	Critical
LICTANTE C	10	Critical
LICTANTE D	5	Important
LICTANTE E	7	Important

FIGURA C.30

Criteria: Prog. de utilz. de personal

Scale Information: Units: Default, Worst: 0.00, Best: 100.00

Alternative	Score	Quality
LICTANTE A	66.67	Above Average
LICTANTE B	66.67	Above Average
LICTANTE C	33.33	Below Average
LICTANTE D	93.33	Excellent
LICTANTE E	66.67	Above Average

FIGURA C.31

Criteria: Prog. de utilz. de maq y equipo

Scale Information: Units: Default, Worst: 0.00, Best: 100.00

Alternative	Score	Quality
LICTANTE A	50	Average
LICTANTE B	66.67	Above Average
LICTANTE C	66.67	Above Average
LICTANTE D	66.67	Above Average
LICTANTE E	16.67	Below Average

FIGURA C.32

Criteria: Prog. calend. de elec. de los trabajos

Scale Information: Units: Default, Worst: 0.00, Best: 100.00

Alternative	Score	Quality
LICTANTE A	50	Average
LICTANTE B	93.33	Excellent
LICTANTE C	50	Average
LICTANTE D	33.33	Below Average
LICTANTE E	16.67	Below Average

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.33

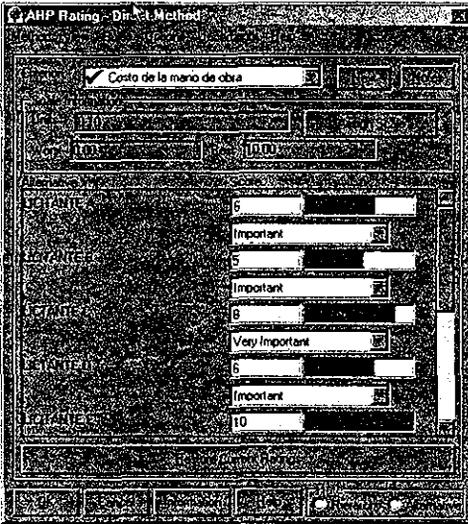


FIGURA C.34

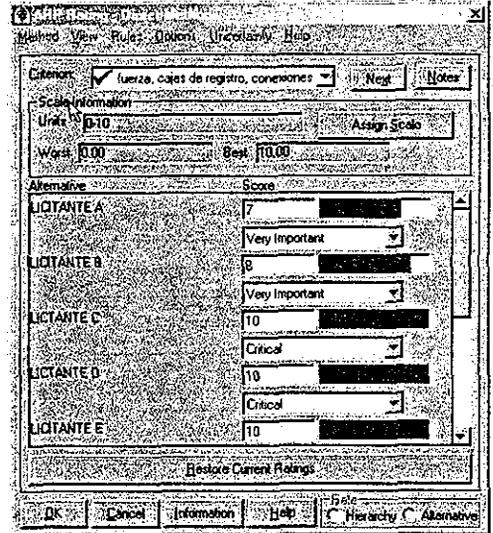


FIGURA C.35

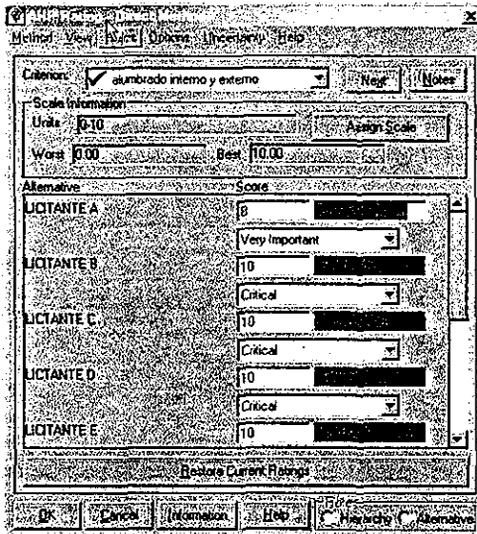
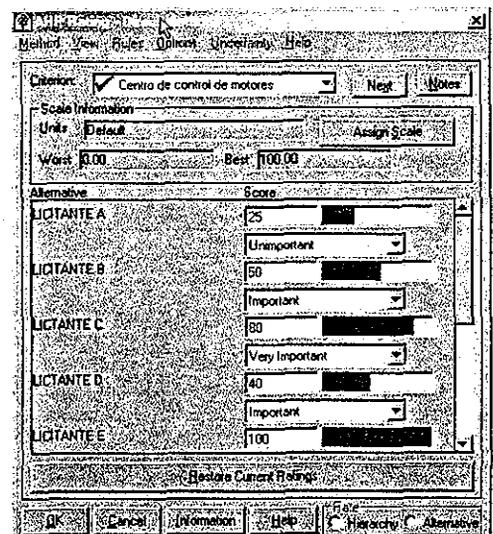


FIGURA C.36



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.37

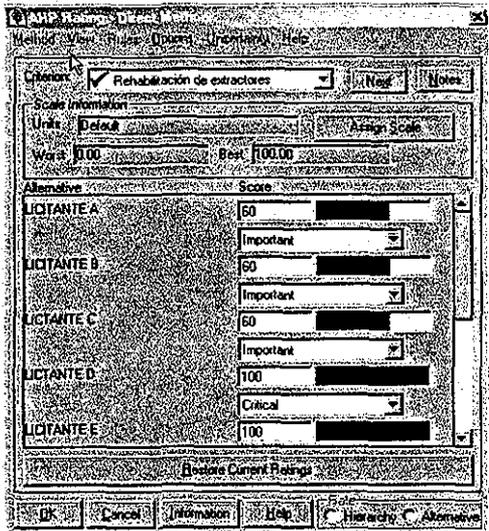


FIGURA C.38

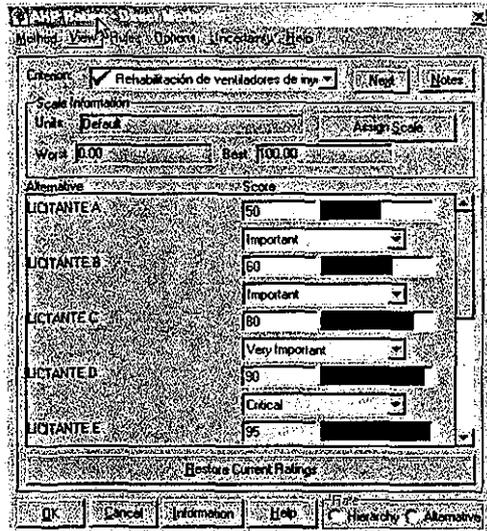


FIGURA C.39

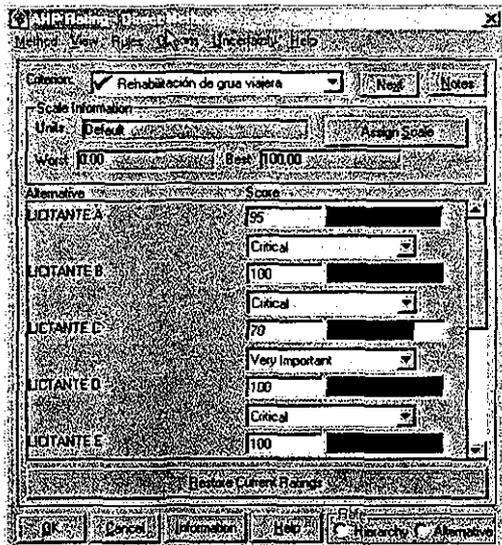
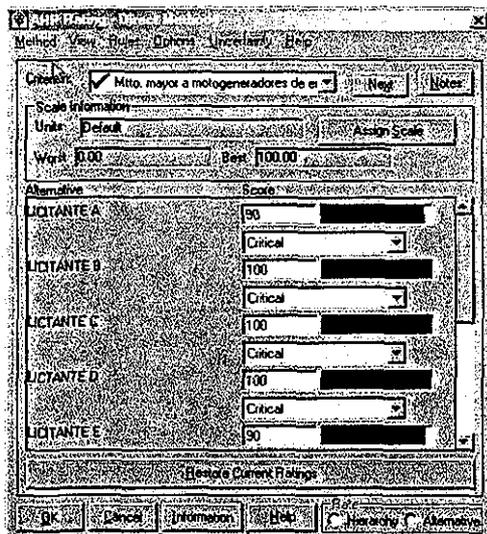


FIGURA C.40



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.41

ANAP - [Title Bar]

Method: [Default] | [Assign Scale]

Scale Information: Worst: 100 | Best: 100.00

Alternative	Score	Importance
LICTANTE A	60	Important
LICTANTE B	70	Very Important
LICTANTE C	90	Critical
LICTANTE D	90	Critical
LICTANTE E	100	Critical

Buttons: OK, Cancel, [Previous], [Next], Help, [Hierarchy], [Alternative]

FIGURA C.42

AHP Rating - Direct Method

Suministro de equipo de monitoreo de []

[]	70	[]
[]	70	Very Important
[]	70	Very Important
[]	70	Very Important
[]	100	Critical
[]	100	Critical

FIGURA C.43

AHP Rating - Direct Method

Rehabilitación al carro del est. de ag []

[]	80	Very Important
[]	100	Critical
[]	50	Important
[]	100	Critical
[]	100	Critical

FIGURA C.44

AHP Rating - Direct Method

Grúa gratoria p/ taller mecánico []

[]	0	Trivial
[]	100	Critical
[]	0	Trivial
[]	100	Critical
[]	100	Critical

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

FIGURA C45

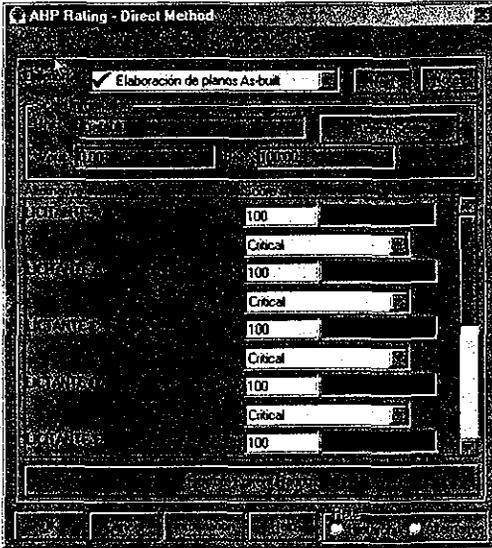


FIGURA C.46

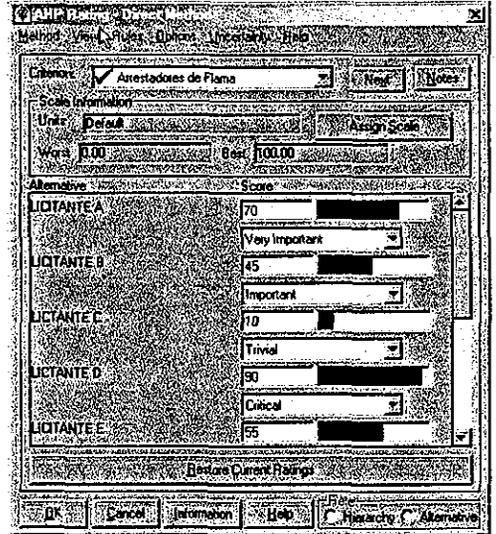


FIGURA C.47

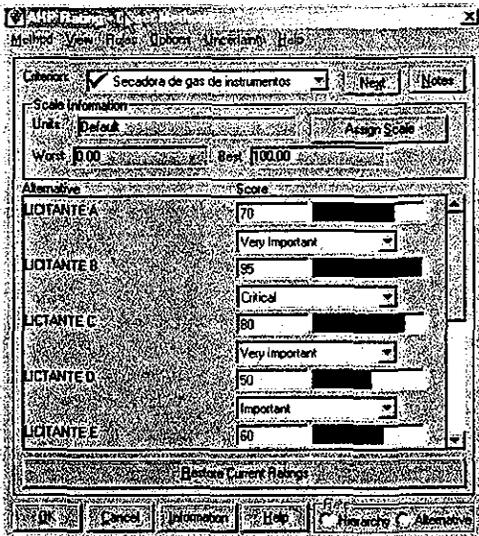
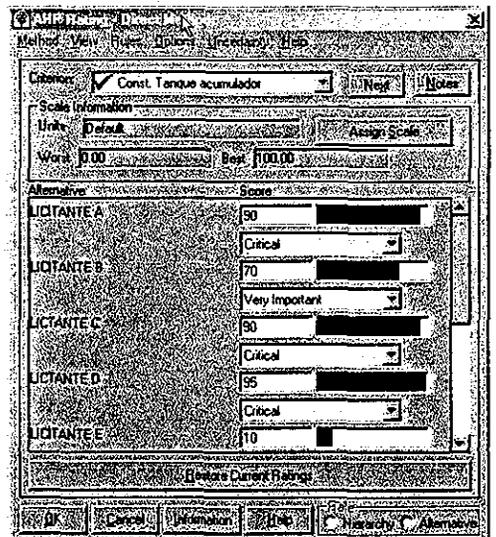


FIGURA C.48



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.49

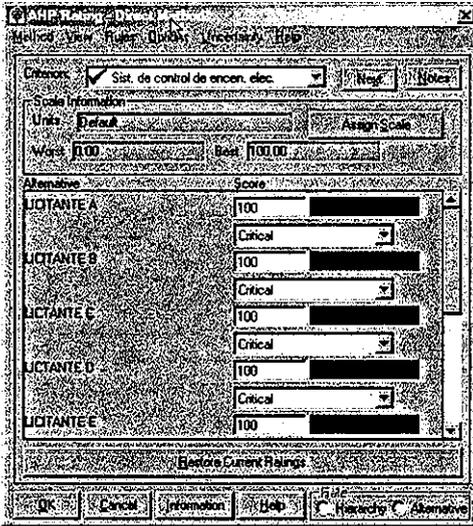


FIGURA C.50

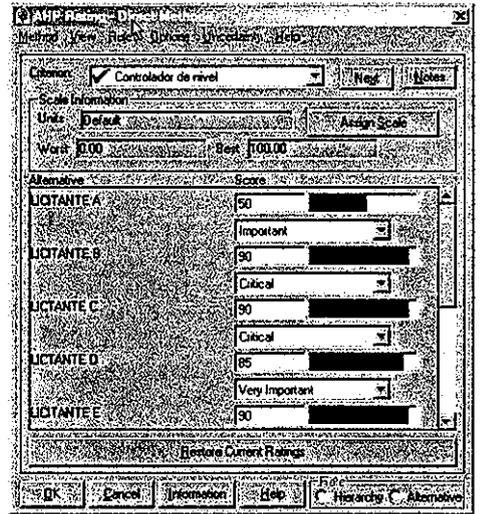


FIGURA C.51

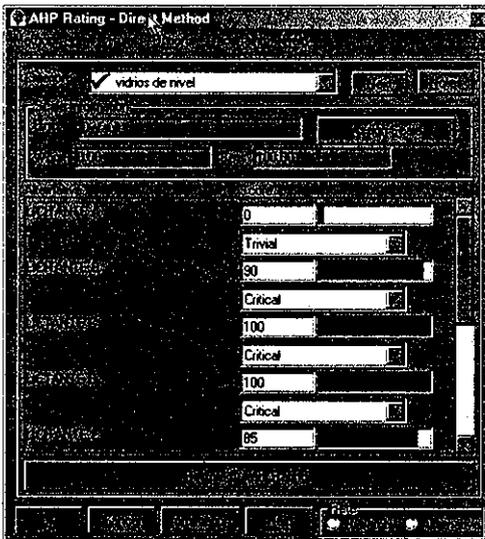
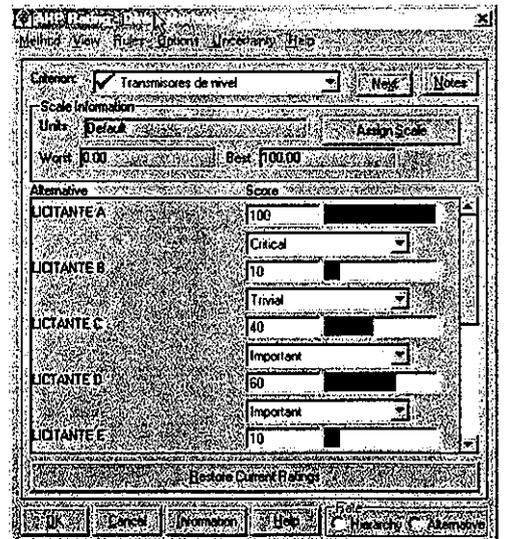


FIGURA C.52



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.53

Alternative	Score	Importance
LICITANTE A	0	Trivial
LICITANTE B	95	Very Important
LICITANTE C	85	Very Important
LICITANTE D	100	Critical
LICITANTE E	45	Critical

FIGURA C.54

Alternative	Score	Importance
LICITANTE A	50	Critical
LICITANTE B	100	Critical
LICITANTE C	100	Critical
LICITANTE D	100	Critical
LICITANTE E	50	Critical

FIGURA C.55

Alternative	Score	Importance
LICITANTE A	100	Critical
LICITANTE B	100	Critical
LICITANTE C	50	Important
LICITANTE D	100	Critical
LICITANTE E	50	Critical

FIGURA C.56

Alternative	Score	Importance
LICITANTE A	0	Trivial
LICITANTE B	95	Critical
LICITANTE C	40	Important
LICITANTE D	95	Critical
LICITANTE E	30	Critical

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.57

FIGURA C.58

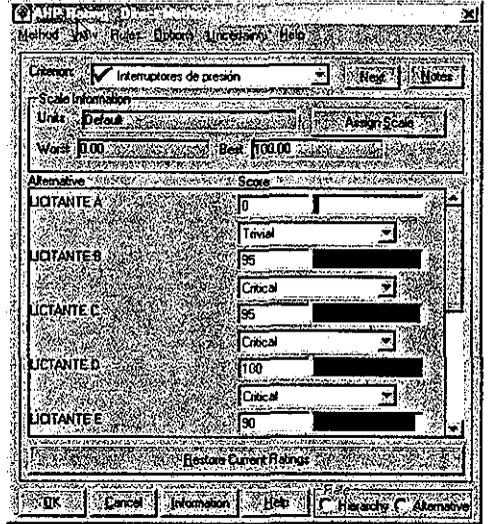
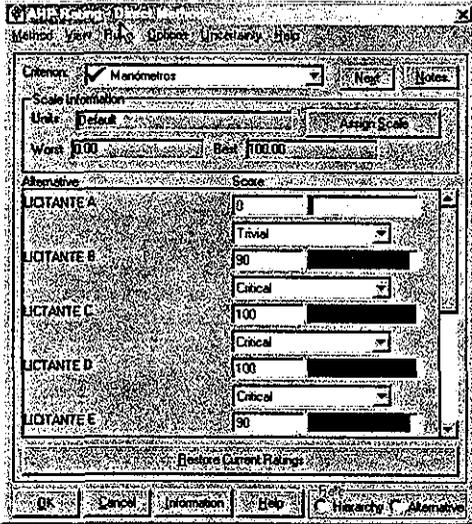
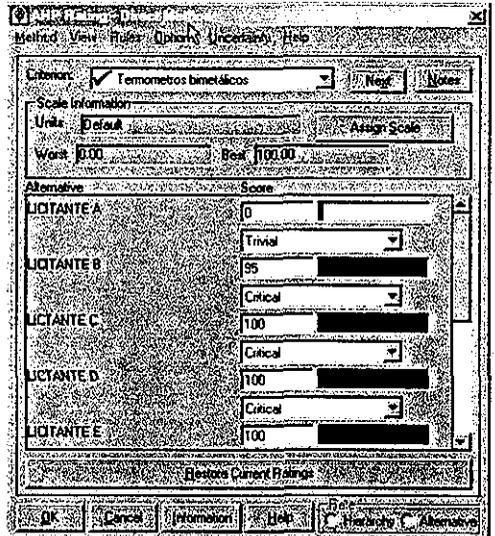
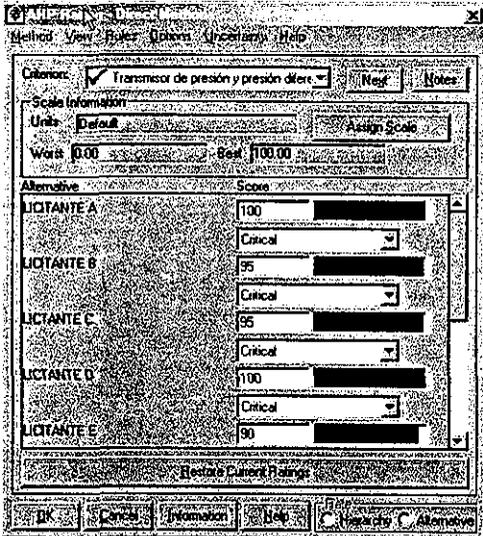


FIGURA C.59

FIGURA C.60



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.61

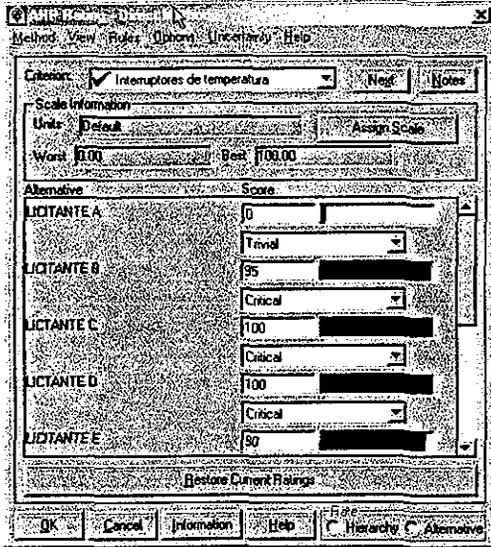


FIGURA C.62

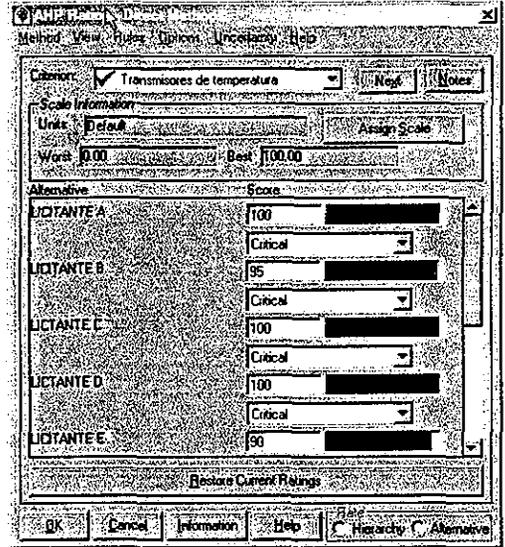


FIGURA C.63

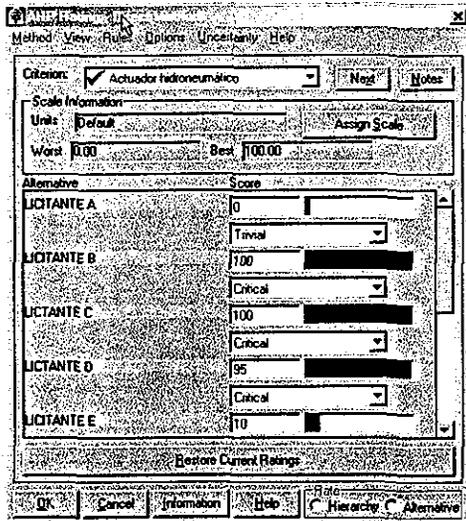
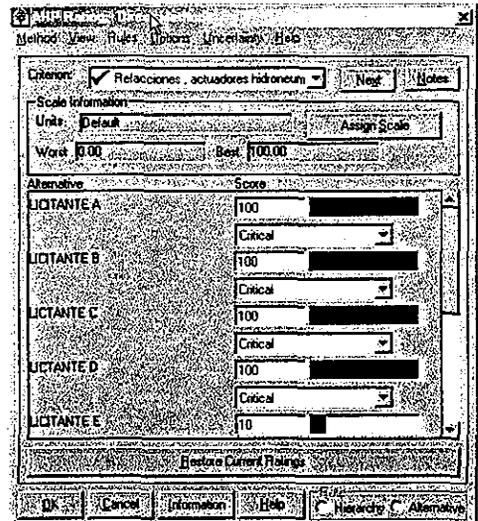


FIGURA C.64



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.65

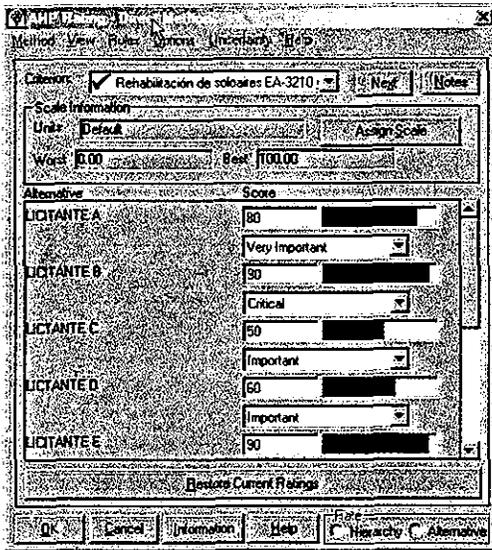


FIGURA C.66

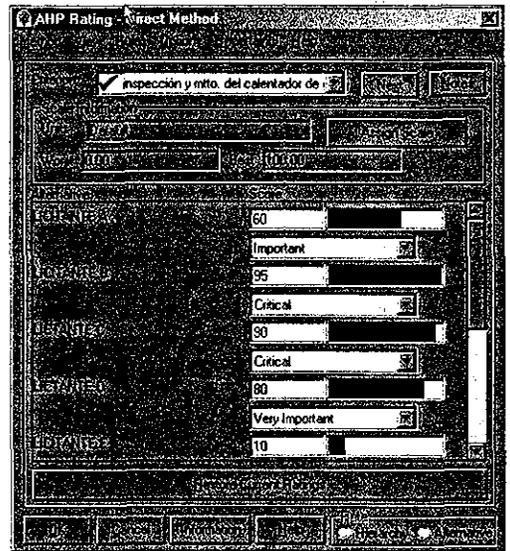


FIGURA C.67

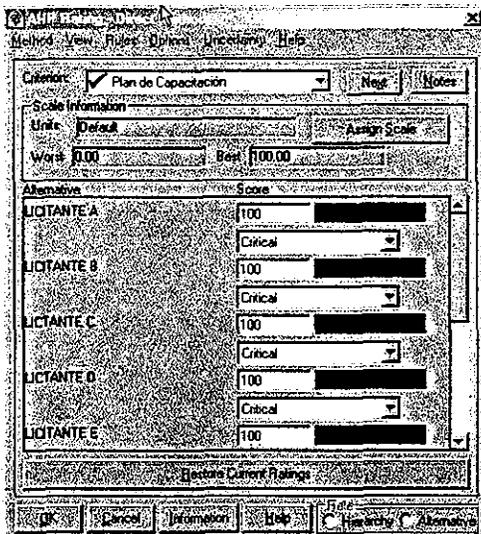
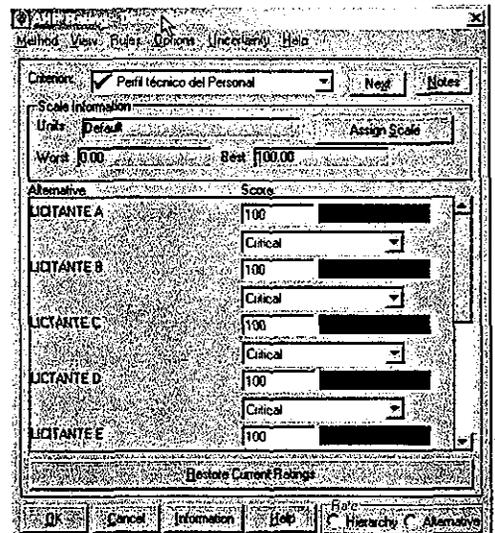


FIGURA C.68



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA C.69

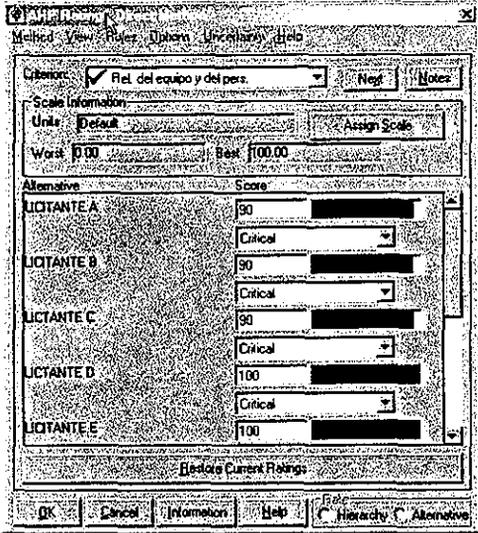


FIGURA C.70

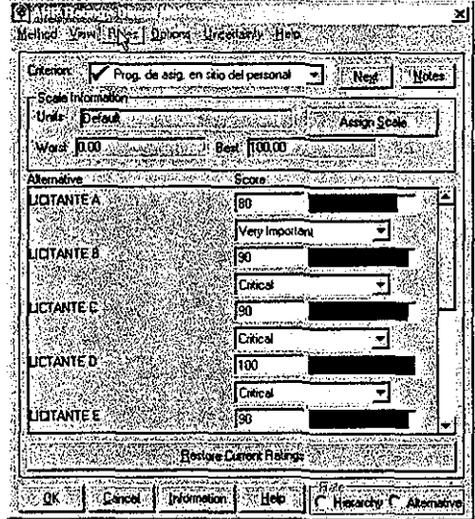


FIGURA C.71

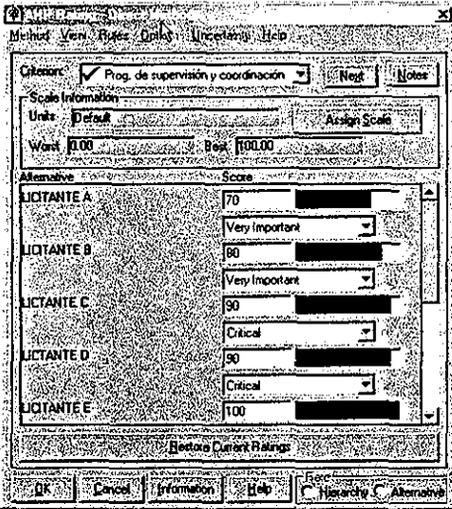
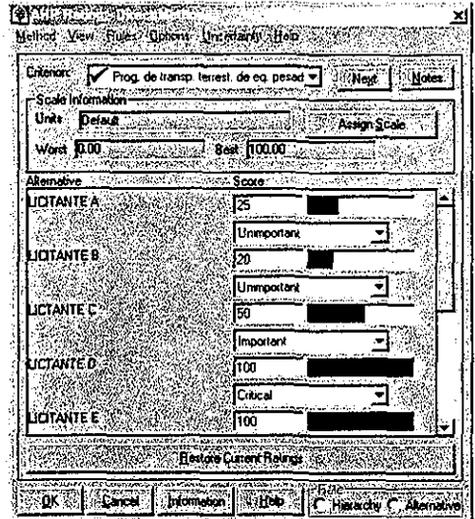


FIGURA C.72



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

D.1 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN DE DECISION PLUS

Decisión Plus (DP), es un simulador que puede ayudar en los problemas de toma de decisiones, para organizar, completar y comunicar la solución a un problema complejo de decisión. Este simulador jerarquiza una serie de proyectos en función del presupuesto que cada empresa le asigne a nuevos proyectos, para encontrar la mejor licitación entre un grupo de licitantes. Para ello es menester introducir al sistema los criterios a calificar para cada licitante. La interfase entre el usuario y el paquete es de fácil manejo, siempre y cuando el usuario conozca las bases teóricas del algoritmo consideradas en el AJM. Por ello en esta tesis fue de gran ayuda para seleccionar al licitante de acuerdo multicriterios y normas establecidas por el cliente.

Las opciones de DP se dividen en dos categorías: Las opciones del entorno y las opciones del modelo.

Decisión Plus, tiene dos ventanas de acceso, la de lluvia de ideas (Brainstorm) y la de Jerarquías (Hierarchy). La primera se utiliza, cuando se tienen decisiones complejas, se esta inseguro sobre como trabajar el problema y tomar la mejor decisión basada en la información disponible y/o si no se esta familiarizado con DP. La segunda, es utilizada cuando el usuario ya esta familiarizado con DP y requiere introducir su modelo, aunque la facilidad de DP es que se puede empezar con la ventana de lluvia de ideas para concretar el modelo y DP tiene la opción de enviarlo a la ventana de Jerarquías y presentarlo en forma de diagrama jerárquico.

Para instalar Decisión Plus (DP) se requiere lo siguiente:

MS-Windows 95, Windows 98 o NT 4.0 (SP3 o más alto) y Windows 2000 (solo versión Beta)

- Al menos que el modelo del CPU sea 486
- Al meos 16 MB de RAM, (se recomiendan 32)
- 14 MB de espacio en disco duro
- una unidad de CD
- monitor VGA, super VGA o con adaptador gráfico

D.2 ESPECIFICACIÓN DEL MODELO DE DP

Este software tiene las siguientes especificaciones:

- 7 niveles (que incluye el nivel de la meta y el de las alternativas)
- se pueden disponer de máximo 500 bloques en el modelo (un bloque es una meta, un criterio o una alternativa)
- máximo de 200 bloques en un nivel (sin incluir el nivel de alternativa)
- máximo 50 subcriterios por criterio
- máximo de 200 alternativas

Etapas de selección un grupo de decisores:

En muchos organismos, la decisión se toma acudiendo a un grupo experto en el que se puede incluir al gerente, a los técnicos y consultores con cierta experiencia en el problema, entre otros. Un elemento clave en la toma de decisiones es seleccionar un grupo que aplique su experiencia en la decisión. En el caso de estudio de la evaluación de las mejoras de una Estación de Compresión, el grupo decisor, es en este caso el grupo evaluador.

La identificación de los problemas, puede llevarse acabo identificando todos los factores, que se puedan considerar en la decisión, es donde la lluvia de ideas, puede ayudar en esta etapa.

D.3 DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA DE DECISIÓN.

Las etapas para el desarrollo de una estructura de decisión son:

1. identificar la meta
2. Identificar los factores o criterios importantes para satisfacer la meta.
3. Encontrar la posición jerárquica apropiada para cada subcriterio.
4. Considerando que la estructura jerárquica de la meta hacia las submetas y de estas a cada criterio, finalizando con las alternativas, las necesidades de información se incrementan fuertemente. Estos niveles que representan a los criterios y subcriterios representan un atributo de las alternativas que pueden ser evaluados objetivamente.

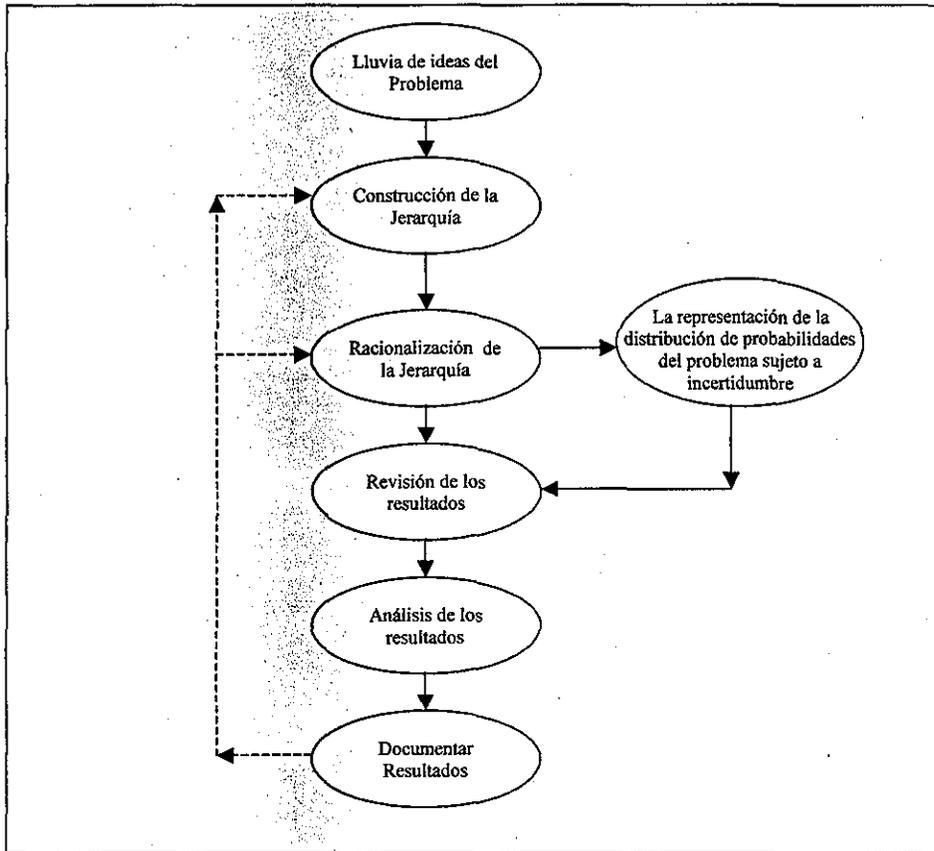
Antes de generar la jerarquía, se pueden asignar pesos a los criterios. Si la cantidad de datos de los criterios encuentra disponible, entonces se puede asignar directamente un valor para cada nivel de la jerarquía. Si no se tienen datos se deben comparar los criterios de par en par. Cada criterio es comparado con cada uno de los criterios del mismo nivel.

Una vez teniendo los resultados iniciales, el grupo evaluador debe de analizar los resultados. Con las preguntas ¿qué pasa si se hacen pequeños cambios en los pesos?. Así el grupo decisor podrá concluir si requiere cambiar alguna etapa del proceso, hacer alguna modificación y/o recalcular los resultados.

Hay que tener en cuenta también la documentación de los resultados por si se requiera una revisión para hacer algún cambio.

El Diagrama del Proceso (figura D.1) para resolver un problema con _ecisión Plus es el siguiente:

FIGURA D.1



En Decisión Plus, se puede introducir el peso de cada criterio de tres formas: numéricamente, cualitativamente o gráficamente, además de combinar la comparación de par en par de los criterios, con estas tres formas.

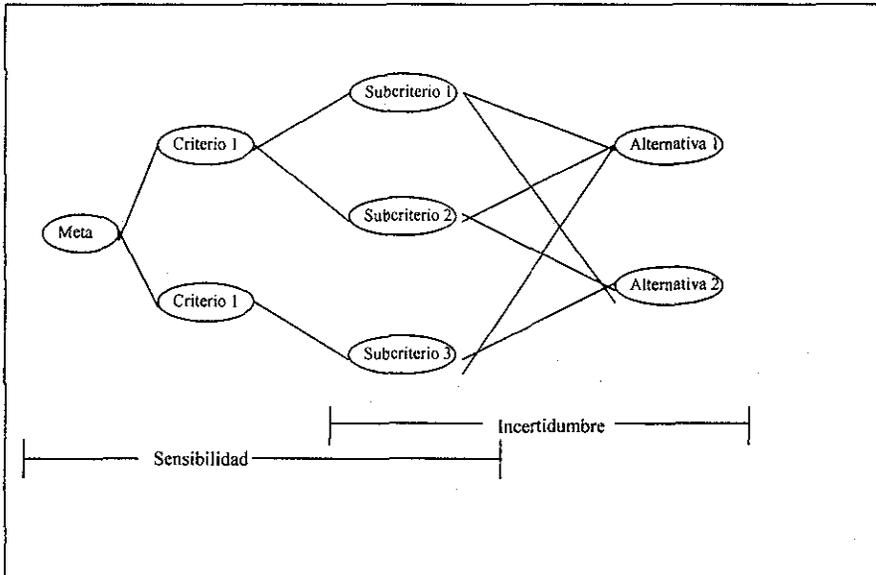
Etapa de modelación de la incertidumbre y riesgo.

Para determinar el riesgo, se debe de responder a la siguiente pregunta: "¿Cómo la incertidumbre afecta a mi decisión?"; esta pregunta puede ser respondida analizando la incertidumbre en la información y concluir en el proceso de decisión. Decisión Plus, tiene una sección de Funciones de "Distribuciones de Probabilidad", la cual puede usarse de acuerdo al problema planteado.

En figura D.2, se explica ampliamente el uso de la incertidumbre en Decisión Plus. Como se puede ver en el diagrama, el análisis de sensibilidad considera la sensibilidad de los resultados de los pesos de los subcriterios con respecto a sus criterios antecesores. La incertidumbre, por otro lado, se aplica solamente a los subcriterios que están directamente relacionados con las alternativas. Lo

anterior, es debido a que cuando se tienen muchos niveles, el criterio se ramifica y estas ramificaciones se reflejan en los niveles más bajos dando como resultado una mayor complejidad del problema. Los criterios más altos son más abstractos y subjetivos.

FIGURA D.2



Etapa de revisión de resultados

La siguiente etapa, es la revisión de resultados. Los resultados son valores discretos, que representan las preferencias de las alternativas. Decision Plus presenta un diagrama de barras o histograma donde se representa la contribución de cada criterio.

Etapa de análisis de resultados

Es importante comprobar la lógica y la consistencia de la decisión en los procesos, Decision Plus analiza esta lógica y consistencia a través del un análisis de intercambios (*Tradeoff Análisis*) y de un análisis de Sensibilidad, respectivamente.

Etapa de documentación de la decisión

La última etapa del proceso, pero no por ello la menos importante, esta representado por el documento de decisión. Decision Plus proporciona un informe completo de su trabajo.



Construcción del Modelo de decisión

La ventana de Jerarquía auxilia en la construcción y mantenimiento de la jerarquía del modelo de Decisión y de los criterios. Se puede usar el modelo construido en la ventana de lluvia de Ideas (*Brainstorm*) o partir de cero en la ventana de Jerarquía (*Hierarchy*).

D.4 AJM o SMART

Antes de usar la ventana de Jerarquía, se debe pensar que técnica se usará para estructurar el modelo de decisión: la técnica Análisis Jerárquico Multicriterio (AJM) o una simple Técnica de Multiatributo (SMART).

Como escoger entre estas dos técnicas: SMART o AJM

AJM

Se sugiere su uso cuando sea posible. Es decir, cuando ya se tiene determinada la estructura jerárquica, lo cual sucede si es ya improbable que ninguna nueva alternativa se necesita introducir. Sin embargo, en cada caso, si la mayoría de los datos disponibles son cuantitativos, y particularmente si hay incertidumbre conocida en ese datos, SMART nos proporcionará una metodología muy satisfactoria, para la solución del problema.

SMART

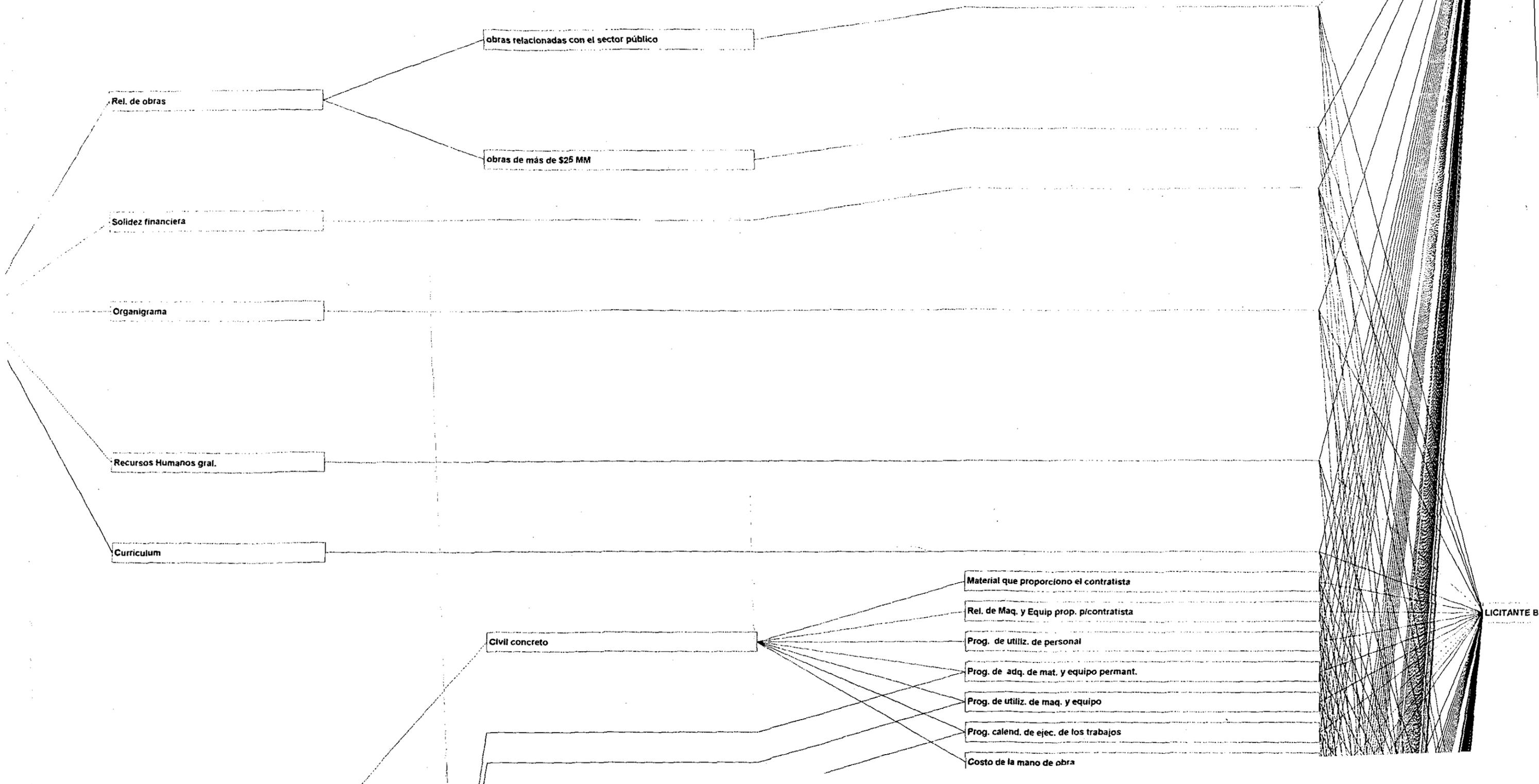
Si se cree que se puedan adicionar nuevas alternativas en el modelo posteriormente y, si además los subcriterios son parametrizables en términos de una información que las caracteriza, entonces se sugiere la presente técnica.

Algunas diferencias entre SMART y AJM en DP

La Terminología usada en SMART es diferente que el usado en AJM. En SMART, los criterios más bajos son llamados atributos. El valor numérico asignado a estos atributos se deriva del valor de las funciones y son llamados rangos.

La estructura usada en el modelo en el problema de decisión en SMART es llamada valor del árbol o jerarquía objetivo. La diferencia entre un valor del árbol SMART y una Jerarquía AJM es que el valor del árbol es una estructura verdadera de árbol, y un subcriterio será conectado solamente a un criterio de nivel más alto. En AJM, se puede conectar subcriterios a más de un criterio del nivel más alto.

1



Técnicos

Electricos

Mecánica

Sistemas Hidráulicos

Instrumentación y control

diseño de equipo

Tuberías

Seguridad

Prog. y Control de la Obra

fuerza, cajas de registro, conex. elects.

alumbrado interno y externo

Centro de control de motores

2

LICTANTE C

Rehabilitación de extractores

Rehabilitación de ventiladores de inyec.

Rehabilitación de grua viajera

Mtto. mayor a motogen. de emergen.

Mtto. a ductos de escape de Turbocomp.

Suministro de equipo de monitoreo

Rehabilitación al carro del sist. de agua de lavad

Grua giratoria p/ taller mecánico

Elaboración de planos As-built

LICTANTE D

Arrestadores de Flama

Secadora de gas de instrumentos

Const. Tanque acumulador

Sist. de control de encen. elec.

Controlador de nivel

vidrios de nivel

Transmisores de nivel

Prog. y Control de la Obra

3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Transmisores de nivel
- Interruptores de nivel
- Válvulas de control de nivel
- Válvulas reguladoras de presión
- Indicadores-interruptores de presión dif.
- Manómetros
- Interruptores de presión
- Transmisor de presión y presión dif.
- Termómetros bimetalicos
- Interruptores de temperatura
- Transmisores de temperatura
- Actuador hidroneumático
- Refacciones , actuadores hidroneumátic.
- Rehabilitación de soloaires EA-3210 y 20
- Inspección y mto. del calentador de gas

- Plan de Capacitación
- Perfil técnico del Personal

- Rel. del equipo y del pers.

- Prog. de asig. en sitio del personal
- Prog. de supervisión y coordinación
- Prog. de transp. terrest. de eq. pesado

LICITANTE E

4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1

- Transmisor de presión y presión dif.
- Termómetros bimetalicos
- Interruptores de temperatura
- Transmisores de temperatura
- Actuador hidroneumático
- Refacciones , actuadores hidroneumátic.
- Rehabilitación de soloalres EA-3210 y 20
- Inspección y mtto. del calentador de gas

- Plan de Capacitación
- Perfil técnico del Personal

- Rel. del equipo y del pers.

- Prog. de asig. en sitio del personal
- Prog. de supervisión y coordinación
- Prog. de transp. terrest. de eq. pesado

LICITANTE E



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



MAESTRIA EN INGENIERIA Y ADMINSTRACIÓN DE PROYECTOS

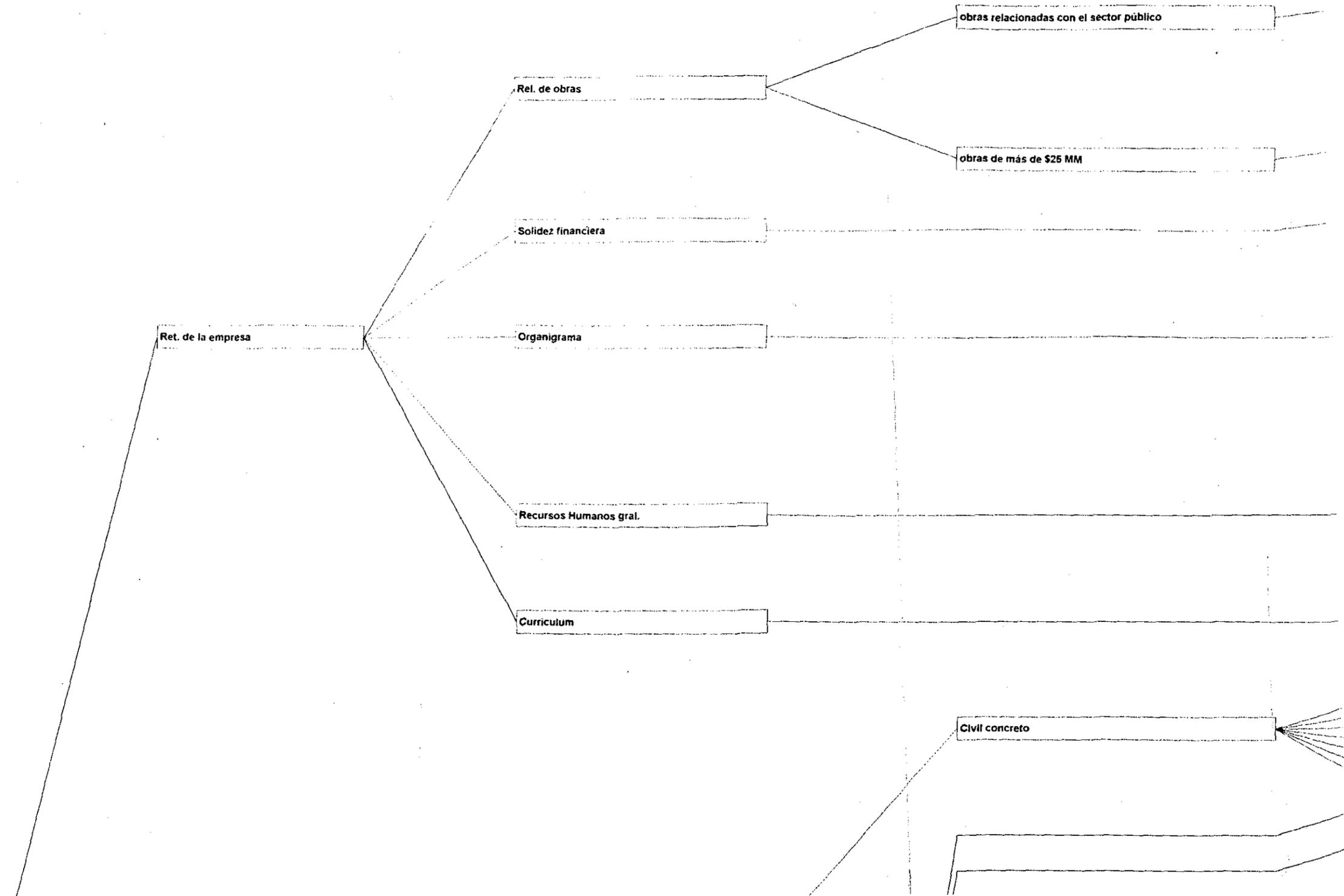
FIGURA 4.1 ESTRUCTURA JERÁRQUICA PARA LA SELECCIÓN DEL MEJOR LICITANTE PARA LAS MEJORAS DE UNA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN, CON AYUDA DEL PAQUETE DE COMPUTO: DECISION PLUS

ESCALA: -
ACOT. EN:-

Dib No. 1

Rev. 0

5



6

Selección del Licitante

Técnicos

Electricos

Mecánica

Sistemas Hidráulicos

Instrumentación y control

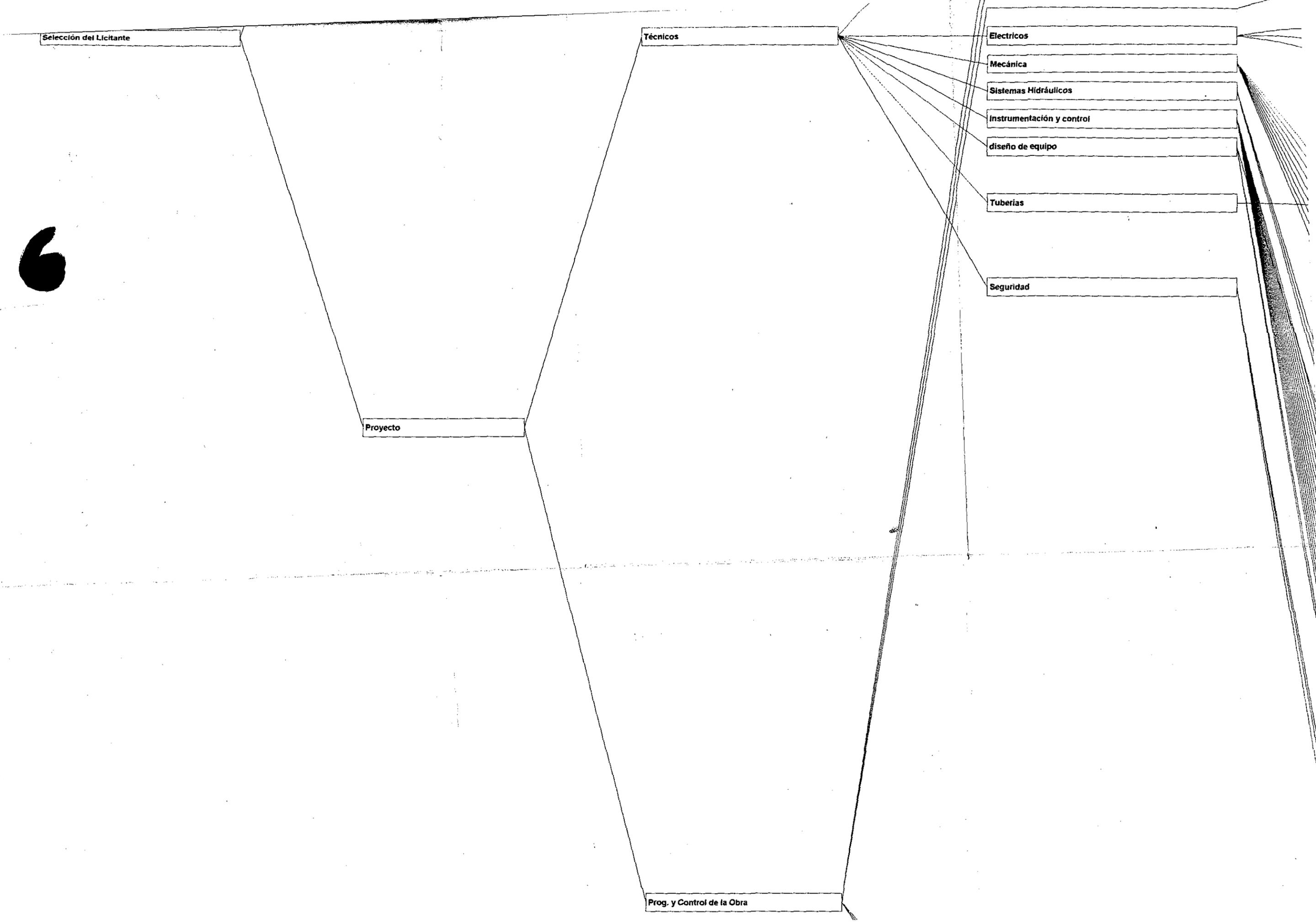
diseño de equipo

Tuberías

Seguridad

Proyecto

Prog. y Control de la Obra



7

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

8

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN