



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE QUÍMICA

ANÁLISIS DE RIESGOS EN INGENIERÍA DE
PROYECTOS APLICADO A LA ETAPA DE CONTROL
UTILIZANDO EL MÉTODO JERÁRQUICO ANALÍTICO
(AHP): CASO DE ESTUDIO DE UNA UNIDAD
DESMINERALIZADORA DE AGUA

T E S I S

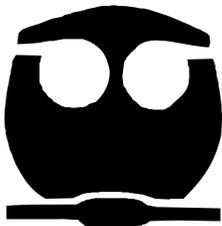
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA
Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

P R E S E N T A :

ING. JULIETA CRISTIANS RODRÍGUEZ PULIDO

TUTOR:

DR. CARLOS ESCOBAR TOLEDO



MÉXICO D.F.

MARZO 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

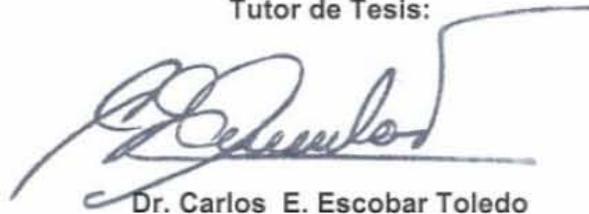
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente	Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero
Secretario	Dr. Modesto Javier Cruz Gómez
Vocal	M. en C. Leticia Lozano Ríos
1er. Suplente	M. en I. Jorge Luis Aguilar González
2o. Suplente	M. en I. Guadalupe Martínez Martínez

Tutor de Tesis:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Escobar Toledo', written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Dr. Carlos E. Escobar Toledo

Sustentante:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julieta Rodríguez Pulido', written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Julieta Cristians Rodríguez Pulido

Dedicatorias

A Dios, por darme la oportunidad de haber llegado hasta aquí, por poner en mi camino a las personas indicadas y por darme la oportunidad de vivir cosas hermosas.

A mi madre, quien ha estado conmigo en todo momento y a quien le debo mucho más que la vida.

A mi padre, por que desde donde esté sé que comparte esta alegría conmigo.

A mis hermanos, René y Rubén, a quien amo infinita e incondicionalmente. Por que además de ser mis hermanos, son mis amigos y confidentes.

A Sergio, por estar siempre conmigo y por todo su amor.

A mi abuela Jose, por su compañía y su amor.

A mi tía Martha, por ser una segunda madre, por que sé que para ella soy su hija.

A mis tíos Luz y Marco, por que sin su amor y apoyo, yo no habría llegado tan lejos.

A mi tío Vicente, por su amor y su apoyo.

A mis amigos, Martha, Jessica, Diana, Ruth, Jahaziel, Raúl, Jessica M, Patricia, Citlalli y Gustavo, por las cosas hermosas que hemos vivido juntos.

A Erika, por su amistad y sus palabras de aliento.

A toda mi familia, por compartir mis sueños y haberlos visto convertirse en realidad.

A todas aquellas personas que hicieron posible llegara hasta donde estoy.

De manera muy especial, dedico este trabajo de tesis al Ing. José Antonio Ortiz Ramírez, por todo su apoyo y por ser más que un jefe, un amigo o un mentor. Siempre estará en mis oraciones.

Agradecimientos

A la UNAM, quien me dio todo a manos llenas y de quien siempre pondré su nombre en alto.

Al Dr. Carlos Escobar Toledo, por dirigir este trabajo de tesis, por todas las buenas pláticas y discusiones que tuvimos.

Al Ing. Antonio López y López, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Al CONACyT, por el apoyo económico que me brindó durante mis estudios de maestría.

Al programa de Movilidad Estudiantil de la UNAM, por confiar en mí y por darme la oportunidad de representar a mi país y a la Máxima Casa de Estudios en el extranjero.

Al honorable jurado, por enriquecer este trabajo con sus comentarios.

A los profesores de la maestría, por sus enseñanzas.

Índice

1. Introducción, objetivos, hipótesis y justificación	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Hipótesis	3
1.4. Justificación	4
2. Administración de riesgos de proyectos	8
2.1. Introducción	8
2.2. Proceso de Administración de riesgos de proyectos	11
2.2.1. Identificación de riesgos	11
2.2.2. Análisis cualitativo de riesgos	15
2.2.3. Análisis cuantitativo de riesgos	17
2.2.4. Planeación de la respuesta al riesgo	23
2.2.5. Monitoreo y control de los riesgos	26
3. Métodos Multicriterio	28
3.1. Introducción	28
3.2. Método jerárquico analítico (AHP)	34
3.2.1. Antecedentes	34
3.2.2. Fundamentos del AHP	35
3.2.3. Aplicaciones	46
3.2.4. Ventajas y desventajas	48
4. Control de proyectos	52
4.1. Introducción	52
4.2. Monitoreo y Control	53
4.2.1. Valor ganado	56
4.2.2. Índices y varianzas	60
4.2.3. Reportes de avances	63
4.2.4. Control de cambios en un proyecto	63

5. Metodología	65
5.1. Introducción	65
5.2. Metodología utilizada en el ciclo de vida del proyecto	66
6. Caso de Estudio	78
6.1. Introducción	78
6.2. Presentación y descripción del caso de estudio	79
6.3. Metodología	79
6.4. Resultados	79
6.5. Análisis de resultados	88
6.6. Conclusiones del caso de estudio	92
7. Conclusiones y Recomendaciones	93
7.1. Conclusiones	93
7.2. Recomendaciones	94
8. Bibliografía	96
Apéndice A. Matrices de comparación par-a-par	A1
Apéndice B. Formatos de estrategia de respuesta a riesgos.	B1
Apéndice C. WBS del proyecto IPC de una Unidad Desmineralizadora de Agua	C1
Apéndice D. Lista de Equipo	D1
Apéndice E. Diagramas de Tubería e Instrumentación	E1

Lista de figuras

Figura 1. Representación de un árbol de decisión.....	15
Figura 2. Estructura jerárquica genérica.....	37
Figura 3. Matriz de comparación por pares.....	39
Figura 4. Matriz de comparación por pares con sus recíprocos	41
Figura 5. Sumatoria de las columnas de la matriz de comparación por pares.....	42
Figura 6. Normalización de la matriz de comparaciones	42
Figura 7. Vector de prioridades	43
Figura 8. Matriz de sumas ponderadas	44
Figura 9. Forma de la matriz de sumas ponderadas.	44
Figura 10. Costo Presupuestado, Valor Ganado y Costo Real de un proyecto.	58
Figura 11. Estimados a la terminación.	59
Figura 12. Índices de desempeño	63
Figura 13. Jerarquía típica de un proyecto IPC	68
Figura 14. Diagrama de flujo AHP.....	71
Figura 15. Análisis combinado de Evaluación de Riesgos y Valor Ganado.	77
Figura 16. Estructura jerárquica de los riesgos de una UDA.	80
Figura 17. Análisis de sensibilidad del factor Riesgos financieros, económicos y jurídicos	83
Figura 18. Análisis de sensibilidad del subfactor falta de integración.	83
Figura 19. Distribución beta.....	91

Lista de tablas

Tabla 1. Tabla de evaluación de impactos.....	16
Tabla 2. Consistencia aleatoria promedio.....	46
Tabla 3. Pesos obtenidos de los factores y subfactores de riesgo.	81
Tabla 4. Continuación de los pesos obtenidos de los factores y subfactores de riesgo.....	82
Tabla 5. Priorización de los riesgos según su probabilidad.....	84
Tabla 6. Severidad de los subfactores de riesgo más importantes.....	86
Tabla 7. Media y desviación estándar de los escenarios del proyecto.	87
Tabla 8. Contingencias para los distintos escenarios del proyecto.....	87
Tabla 9. Formato del riesgo: Cambio de diseño para el proyecto IPC de una UDA.....	88
Tabla A1. Matriz de comparación del objetivo: Análisis de riesgos de una UDA.....	A1
Tabla A2. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos técnicos y de ingeniería.....	A4
Tabla A3. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos Financieros, Económicos y Jurídicos	A5
Tabla A4. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de la naturaleza	A5
Tabla A5. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de procura	A6
Tabla A6. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de construcción	A7
Tabla A7. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de Licitación	A8
Tabla A8. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de Protección Ambiental y Seguridad	A8
Tabla A9. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos técnicos y de ingeniería.....	A9
Tabla A10. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos financieros, económicos y jurídicos	A9
Tabla A11. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de la naturaleza	A10
Tabla A12. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de procura	A10
Tabla A13. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de construcción	A11
Tabla A14. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de licitación.....	A11
Tabla A15. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de protección ambiental y seguridad	A12

Lista de Abreviaturas

AHP: Analytic Hierarchy Process

ELECTRE: ELimination Et Choix Traduisant la REalité

ER: Evaluación del riesgo

GAIA: Geometrical Analysis for Interactive Assistance

IDC: Índice de desempeño de costo

IDP: Índice de desempeño de programa

IPC: Ingeniería, procura y construcción

JIT: Just in time

MAUT: Multiple attribute utility theory

PERT: Program evaluation and review technique

PMBok: Project management body of knowledge

PMI: Project Management Institute

PROMETHEE: Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations

PT: Paquetes de trabajo

QFD: Quality function deployment

TQM: Total quality management

UDA: Unidad desmineralizadota de agua

VA: Valor actual

VG: Valor ganado

VP: Valor programado

WBS: Work breakdown structure

WP: Work package

Introducción

Este trabajo de tesis, tiene la intención de apoyar a la administración de proyectos y en especial a la administración de riesgos; asimismo está enfocado a la etapa de control de proyectos. Esto se debe a que en el proceso de administración de riesgos de proyectos, no basta con identificar y cuantificar los riesgos que se puedan presentar en un proyecto, es necesario también que se tenga un adecuado monitoreo y control de los mismos.

En la actualidad, la administración de riesgos de proyectos está adquiriendo gran auge debido a la reconocida necesidad de aumentar la probabilidad de que cualquier proyecto que una organización emprenda, pueda concluir con éxito (Ansell y Wharton, 1992; Carbone y Tippett, 2004; Caddell, Crepinsek y Klanac, 2004). Sin embargo, a pesar de que existen metodologías que ayudan a llevar a cabo una adecuada administración de los riesgos, el monitoreo y control de éstos no siempre es considerado.

En este trabajo, se identifican y cuantifican los riesgos de un proyecto de ingeniería, procura y construcción (IPC), mediante el método de análisis jerárquico multicriterio, mejor conocido como AHP, por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process). El AHP es un método de apoyo en la toma de decisiones multicriterio que ha sido ampliamente utilizado en diversas disciplinas. Las bondades y cualidades del AHP hacen posible su adaptación a la identificación y cuantificación de los riesgos, la cual se fundamenta en el cuerpo de este trabajo.

Posteriormente, una vez identificados y cuantificados esos riesgos, se propone un método para controlar los riesgos que se presenten durante el ciclo de vida de un proyecto. De esta forma, durante la ejecución de cualquier proyecto, es imprescindible que se tenga un control del mismo para asegurar que el proyecto siga la “línea base”¹ planeada. Evitar desviaciones de esta línea base, y conseguir que el proyecto se apegue a ésta, son razones de singular importancia para monitorear y controlar los riesgos.

Finalmente, se integra lo anteriormente planteado mediante un caso de estudio de un proyecto IPC, el cual es el de una unidad desmineralizadora de agua.

¹ *Línea base*, es la planeación y programación originalmente concebida para el proyecto.

1. Introducción, objetivos, hipótesis y justificación

1.1. Introducción

Este trabajo de tesis, tiene la intención de apoyar a la administración de proyectos y en especial a la administración de riesgos; asimismo está enfocado a la etapa de control de proyectos. Esto se debe a que en el proceso de administración de riesgos de proyectos, no basta con identificar y cuantificar los riesgos que se puedan presentar en un proyecto, es necesario también que se tenga un adecuado monitoreo y control de los mismos.

En la actualidad, la administración de riesgos de proyectos está adquiriendo gran auge debido a la reconocida necesidad de aumentar la probabilidad de que cualquier proyecto que una organización emprenda, pueda concluir con éxito (Ansell y Wharton, 1992; Carbone y Tippett, 2004; Caddell, Crepinsek y Klanac, 2004). Sin embargo, a pesar de que existen metodologías que ayudan a llevar a cabo una adecuada administración de los riesgos, el monitoreo y control de éstos no siempre es considerado.

En este trabajo, se identifican y cuantifican los riesgos de un proyecto de ingeniería, procura y construcción (IPC), mediante el método de análisis jerárquico multicriterio, mejor conocido como AHP, por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process). El AHP es un método de apoyo en la toma de decisiones multicriterio que ha sido ampliamente utilizado en diversas disciplinas. Las bondades y cualidades del AHP hacen posible su adaptación a la identificación y cuantificación de los riesgos, la cual se fundamenta en el cuerpo de este trabajo.

Posteriormente, una vez identificados y cuantificados esos riesgos, se propone un método para controlar los riesgos que se presenten durante el ciclo de vida de un proyecto. De esta forma, durante la ejecución de cualquier proyecto, es imprescindible que se tenga un control del mismo para asegurar que el proyecto siga la “línea base”¹ planeada. Evitar desviaciones de esta línea base, y conseguir que el proyecto se apegue a ésta, son razones de singular importancia para monitorear y controlar los riesgos.

Finalmente, se integra lo anteriormente planteado mediante un caso de estudio de un proyecto IPC, el cual es el de una unidad desmineralizadora de agua.

1.2. Objetivo

Aportar a la metodología de análisis de riesgos de proyectos, la herramienta del método AHP para cuantificar los riesgos de un proyecto. De esta manera, los resultados estarán enfocados a auxiliar a la etapa de control de proyectos en su ciclo de vida.

¹ *Línea base*, es la planeación y programación originalmente concebida para el proyecto.

1.3. Hipótesis

Mediante la aplicación de la metodología del AHP en la administración de riesgos de proyectos que se presenta en esta tesis, se intenta contribuir a mejorar el desempeño de las organizaciones que llevan a cabo proyectos IPC. La hipótesis consiste en afirmar que al aplicar esta metodología en la etapa de control en la administración de proyectos, se aumentará la probabilidad de terminar con éxito el proyecto. Lo anterior, debido a que tanto los riesgos como los elementos de control del proyecto deben estar lógicamente relacionados para asegurar que no haya variaciones significativas en costo, tiempo y calidad en el proyecto, tomando en cuenta que éstos se llevan a cabo en ambientes inciertos. Por lo tanto, la aplicación de la metodología de análisis de riesgos mejorará el desempeño de las organizaciones al aumentar la probabilidad de terminar exitosamente cada proyecto emprendido. De esta manera, la organización contará con más elementos para llevar un adecuado control, tanto de los riesgos, como del proyecto mismo y tomar las decisiones pertinentes.

Por otro lado, en las recomendaciones se dejará expresada la forma en que la etapa mencionada, se podría mejorar la probabilidad de terminar con éxito un proyecto.

Es importante que la organización que lleva a cabo proyectos, sea capaz de utilizar las etapas de este método para poder tomar las acciones pertinentes en caso de que uno o más riesgos hayan ocurrido durante la ejecución del proyecto y así tener un control adecuado del mismo.

1.4. Justificación

Este trabajo de tesis nace principalmente de la necesidad que tienen las organizaciones que realizan proyectos IPC, de contar con un método efectivo para identificar, cuantificar y controlar los riesgos que pueden presentarse durante el ciclo de vida de un proyecto.

En la actualidad, el análisis de riesgos de proyectos está adquiriendo mayor auge en las etapas preliminares al inicio de proyectos, proporcionando información decisiva relativa a la factibilidad de la organización para terminar en tiempo y costo el proyecto estudiado (Caddell, Crepinsek y Klanac, 2004). Sin embargo, el resultado de realizar o no el proyecto no basta para garantizar estas condiciones; es necesario que los riesgos identificados y cuantificados sean monitoreados y controlados durante la ejecución del proyecto.

Los parámetros y tendencias en el control de proyectos utilizados cotidianamente en la administración de proyectos y su efectiva implementación y uso en los mismos son un reflejo de su correcta ejecución. De esta manera, la integración de la administración de los riesgos de un proyecto está estrechamente ligada con el control del mismo para lograr aumentar la probabilidad de terminar oportunamente.

Por otro lado, en este trabajo, el método AHP está enfocado al área de control. Al investigar en la literatura la aplicación de metodologías y programas computacionales en la administración de riesgos en proyectos, se encontró que el método Monte Carlo quizá sea el más usado. Sin embargo, el presente trabajo se enfoca exclusivamente al método AHP debido a que su aplicación en este campo ha sido subestimada y las ventajas y bondades

que presenta (expuestas en el capítulo 3) hacen posible su utilización en la administración de riesgos de proyectos.

De este modo, se aplica en la tesis el método AHP debido a las razones a continuación mencionadas:

- Permite identificar factores y subfactores de riesgo así como sus relaciones jerárquicas.
- Determina la contribución de factores de riesgo específicos a excedente de tiempo y costo;
- El AHP combina aspectos subjetivos y cuantitativos en su metodología,
- Asegura un marco lógico para la planeación de contingencias
- El marco de la toma de decisiones permite la transición de una situación de incertidumbre a otra de riesgos mesurables,
- Ventaja de poder realizar un análisis de sensibilidad que le permite evaluar al tomador de decisiones cómo cambian los pesos si las prioridades de los criterios cambian de acuerdo a las percepciones de los tomadores de decisiones,

Por último, con respecto a la utilización del AHP y no de la versión mejorada conocida como método Rembrandt, se decidió utilizar el primero debido a la amplia información que se tiene en cuanto a su metodología y debido a la disposición que se tenía del programa computacional.

Complementando lo anterior, es necesario contar con un caso de estudio donde se reflejen los conceptos y metodología planteada en este trabajo. Por tal motivo, se presenta el caso

de un proyecto IPC en donde se ejemplifica la problemática que se requiere resolver mediante la metodología planteada en este trabajo de tesis.

La tesis consta de los siguientes capítulos:

En el capítulo 1, se exponen la introducción, objetivos, hipótesis y justificación de este trabajo. Se presentan de manera formal los puntos antes mencionados y las razones por las cuales se realizan y se enlistan los aspectos que se cumplirán a lo largo del trabajo.

En el capítulo 2, se presenta la metodología de administración de riesgos de proyectos, la cual se seguirá en el caso de estudio de este trabajo. Se puntualiza la importancia de llevar a cabo esta metodología en la Administración de Proyectos.

En el capítulo 3, se hace referencia a los métodos multicriterio para la toma de decisiones y se enfoca al AHP, el cual sirve como base para cuantificar los riesgos de un proyecto en el caso de estudio. Se analiza el método seleccionado y se muestran sus aplicaciones en distintas disciplinas, sus bondades y limitaciones.

En el capítulo 4, se expone la etapa de control en la administración de proyectos. Esta presentación se debe a que el enfoque que se le da al análisis de riesgos de proyectos en este trabajo está orientado a llevar un control adecuado del proyecto. Además, se presentan las herramientas más utilizadas en el ámbito profesional.

En el capítulo 5, se señala la metodología empleada en el caso de estudio. Esta metodología se basa en artículos publicados con relación a la administración de proyectos. El primero

hace referencia a la planeación para el control de proyectos a través de un análisis de riesgos (Dey, 1994) y el segundo al control de costos con base en los riesgos de proyectos de construcción (Bender y Ayyub, 2001). Ambos procedimientos son adaptados en el caso de estudio a un proyecto IPC.

En el capítulo 6, se presenta el caso de estudio, el cual integra el AHP en la administración de riesgos de proyectos cuantificando los riesgos de un proyecto IPC. Asimismo, dados los riesgos del proyecto, permite calcular la contingencia según los riesgos que se presentan. Finalmente, se propone un sistema que ajusta los conceptos de control de proyectos, específicamente el de valor ganado², con la evaluación de riesgos de proyectos.

En el capítulo 7, se incluyen las conclusiones y recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos en el caso de estudio. Las recomendaciones están dirigidas a las organizaciones que desarrollen proyectos IPC y que asimismo, deseen implementar la metodología presentada en este trabajo.

Finalmente se presentan las referencias consultadas a lo largo de la investigación y apéndices para aclarar algunos conceptos de este trabajo.

² Valor Ganado se define como un sistema que incorpora los componentes organizados del programa de actividades, los estimados de presupuesto y el alcance del trabajo de un proyecto, en un proceso en el cual los costos pronosticados para el final del proyecto pueden ser determinados más confiadamente Véase capítulo 4.

2. Administración de riesgos de proyectos

2.1. Introducción

Toda actividad que el ser humano realiza, tiene riesgos e incertidumbre asociados. Aún así, y muy a menudo inconscientemente, el ser humano está habituado a reaccionar ante estas situaciones y a enfrentar sus consecuencias. Del mismo modo, cuando una organización realiza un proyecto de gran complejidad, ésta debe reaccionar al poder identificar, cuantificar y controlar los riesgos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

Las fases de que consta la administración de riesgos de proyectos son identificar, cualificar, cuantificar, monitorear y controlar los riesgos. Este proceso se lleva a cabo en distintas etapas del proyecto, empezando en la planeación y culminando en el cierre del proyecto. Además, mediante la información generada, la organización puede determinar si es conveniente, dado el ambiente en el cual se desarrolla el proyecto, emprender este proyecto. La organización lo podrá determinar de acuerdo a los umbrales de riesgo que esté dispuesta

a aceptar (Bender y Ayyub, 2001), al mismo tiempo, si se cuantifican correctamente los riesgos, es posible determinar una determinada contingencia para el proyecto.

Este proceso de administrar los riesgos de un proyecto está adquiriendo cada vez mayor importancia debido a que el agresivo ambiente competitivo que se vive en la actualidad obliga y presiona a las organizaciones a reaccionar rápidamente ante los cambios que se presenten en los ambientes tecnológicos, económicos, ambientales.

En este trabajo de tesis, se seguirá la metodología propuesta por el Project Management Institute (PMI) en su guía PMBoK (A guide..., 2001). Se tipificarán las fases de que consta una adecuada administración de riesgos y posteriormente en el caso de estudio se integrará con los otros conceptos abarcados en este trabajo.

La Administración de Riesgos de un Proyecto según el PMI, se puede definir como el arte y la ciencia de identificar, analizar, evaluar y responder a los riesgos del proyecto a lo largo del ciclo de vida de éste, en beneficio de sus objetivos. Se le llama ciencia porque se basa en principios científicos y aplica lineamientos con base racional, pero también se le llama arte porque interviene en ella el juicio, la habilidad y la experiencia del administrador de proyectos para percibir los posibles eventos de riesgo y responder a ellos en forma adecuada. Por lo tanto, las metas en la administración de riesgos son identificar los riesgos del proyecto y desarrollar estrategias que reduzcan significativamente los riesgos negativos e incrementen los positivos y así tomar acciones para evitarlos o maximizarlos, respectivamente.

El análisis de riesgos de proyectos ayuda a los encargados de tomar decisiones, a elegir sabiamente el mejor camino a seguir bajo condiciones de incertidumbre, ya que es una parte de la administración de riesgos que engloba la identificación, el análisis y la evaluación de estos. Este análisis se lleva a cabo una vez que se haya realizado el análisis económico y el de factibilidad técnica y ambiental; además de tener elementos de planeación, como el WBS (A guide..., 2001) (por sus siglas en inglés Work Breakdown Structure), para poder realizar este análisis. El WBS se define como “un grupo de componentes orientado a los entregables de un proyecto que organiza y define su alcance; así, todo trabajo no contenido en el WBS está fuera del alcance del proyecto.”³

El análisis de riesgos realizado en una etapa previa a la licitación de un proyecto, está dirigido a identificar los riesgos del mismo y a la evaluación de la probabilidad y la severidad de los riesgos asociados con el tiempo de ejecución y el costo correspondiente. Posteriormente, propone soluciones a estos riesgos y su respectivo control en el desarrollo del proyecto.

Los propósitos de la administración de riesgos de proyectos son:

- i. Identificar los factores específicos que pueden tener influencia considerable en los objetivos de Alcance, Calidad, Tiempo y Costo del proyecto,
- ii. Determinar la probabilidad de ocurrencia y estimar el impacto desfavorable y/o favorable de cada uno de los eventos de riesgo previamente identificados,

³ *A guide to the project management body of knowledge. Project Management Institute, Edición 2000, Pennsylvania, 2001, p. 209.*

- iii. Descartar los riesgos intrascendentes y establecer prioridades de los riesgos por considerar,
- iv. Cuantificar el impacto en tiempo y costo que los riesgos encontrados tendrán en el proyecto,
- v. Desarrollar opciones y determinar acciones mediante una planeación de respuesta al riesgo.
- vi. Llevar un control de los riesgos identificados y monitorear los riesgos que llegaran a presentarse, asegurando así, la ejecución de los planes de riesgo.

Los puntos anteriores contribuirán a incrementar el nivel de entendimiento en el proyecto, y asegurar que los riesgos sean adecuadamente considerados, en una forma estructurada y sistemática que permita que sean incorporados dentro de la planeación y desarrollo de un proyecto.

2.2. Proceso de Administración de riesgos de proyectos

El proceso de administración de riesgos de proyectos, según el PMBoK, se divide en los siguientes pasos:

2.2.1. Identificación de riesgos

La identificación de riesgos, un paso crítico en este proceso, es un acercamiento organizado y minucioso para encontrar los riesgos reales que pueden afectar el proyecto y documentar sus características. De esta manera, los riesgos no pueden ser evaluados o administrados eficazmente hasta que hayan sido identificados y descritos de manera clara y precisa.

Categorías de los Riesgos.

Los riesgos pueden identificarse y organizarse de acuerdo a las distintas áreas específicas que la organización haya identificado como amenazadas o con oportunidades para los objetivos del proyecto. Estas categorías pueden clasificarse, de acuerdo lo plantea el PMBoK de distintas maneras, siendo la organización quién defina la forma más conveniente (A guide..., 2001). Tales áreas pueden ser: técnicas, de calidad, relacionadas con la administración del proyecto, organizacionales y las que apliquen en cada tipo de proyecto.

Para lograr una mejor identificación y organización de los riesgos es recomendable llevar a cabo una exhaustiva recopilación de información. Algunas técnicas para recopilar información son las siguientes:

Información Histórica.

Este tipo de información es difícil de obtener, ya que por lo general, las organizaciones no cuentan con la cultura de documentar los problemas de cada proyecto. Es posible que un equipo de trabajo que tiene experiencia en cierto tipo de proyectos sea capaz de identificar estos riesgos intuitivamente, o el administrador con cierta experiencia los pueda identificar sin antecedentes documentados, pero es recomendable que se disponga de una base de datos de los riesgos con los problemas que se han presentado en proyectos anteriores así como las soluciones aplicadas para resolverlos y por ende lograr fortalecer el proceso de administración de riesgos. A su vez, esta base de datos permite transferir la experiencia a los jóvenes que se incorporan a esta área logrando una madurez más acelerada.

Lluvia o Tormenta de ideas.

Esta técnica es utilizada ampliamente para la identificación de riesgos. Es una técnica simple pero efectiva donde el objetivo es obtener una lista coherente de riesgos. Es muy efectiva para encontrar soluciones creativas a problemas potenciales. Es necesario que el facilitador sea capaz de conducir al grupo involucrado, ya que es común que en la discusión del problema el grupo divague, se presenten fricciones o intimidaciones por la jerarquía organizacional (A guide..., 2001; Vose, 2001).

Técnica Delphi

El concepto básico de ésta técnica es obtener un consenso de un grupo de expertos para llegar a una solución convergente de un problema específico. El primer paso es seleccionar un grupo de expertos en el área del problema. Para obtener mejores resultados, los expertos no deben conocer la identidad de los demás integrantes, es decir, la participación de cada integrante será anónima e independiente, para evitar sesgos e influencias. Además, el proceso debe ser conducido en lugares por separado para asegurar el anonimato.

Posteriormente, se harán circular cuestionarios para que cada participante dé su opinión, respuesta o justificación del problema dado. Se evalúan las respuestas de los participantes y se hace una retroalimentación para circular nuevamente los cuestionarios. El proceso es iterativo, hasta que el grupo llegue a una solución convergente y se pueda llevar a cabo el consenso. Si las respuestas de los expertos divergen, es necesario que el facilitador revise el cuestionario, la retroalimentación y la experiencia de los panelistas para determinar si existe un problema que necesite ser corregido.

Análisis de Árboles de Decisión

Los árboles de decisión son herramientas excelentes que ayudan a escoger entre distintos cursos de acción. Proporcionan una estructura altamente efectiva en la cual, se pueden desarrollar opciones e investigar los posibles resultados al escoger esas opciones. También ayudan a formar un balance de los riesgos (positivos y negativos) asociados a cada posible curso de acción (Project and..., 1992).

Un árbol de decisión se inicia con la decisión que hay que tomar. Un nodo cuadrado representa un punto en el cual se debe tomar una decisión y cada línea abandonando el cuadrado representa una posible decisión. Un nodo circular representa situaciones cuyas ocurrencias son inciertas, y cada línea abandonando el círculo representa un posible acontecimiento según lo muestra la figura 1. A continuación se estima la probabilidad de cada resultado, se debe tener presente que la suma de los porcentajes debe ser 100 ó 1 si se usan fracciones. Si se cuenta con la información de eventos pasados, los estimados de la probabilidad serán más rigurosos. De no contar con tal información, se estimará de acuerdo al mejor criterio del administrador.

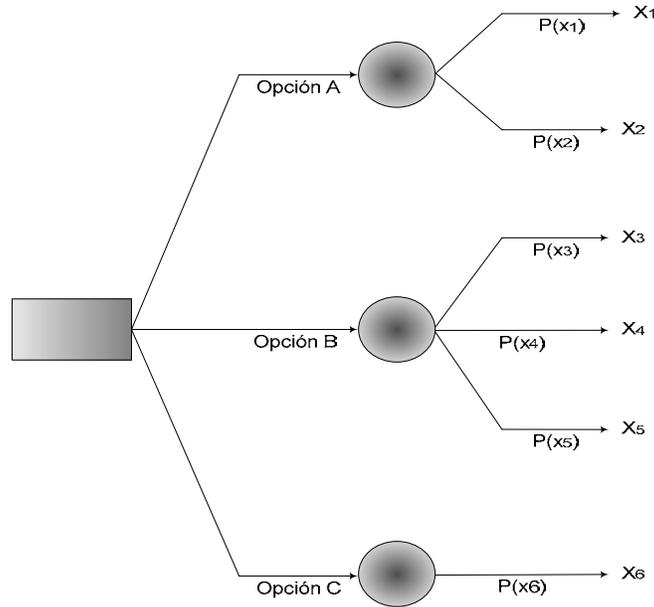


Figura 1. Representación de un árbol de decisión⁴

La ventaja de éste análisis es que se consideran todos los posibles resultados. Así, la probabilidad de falla o de fracaso es cuantificada y cada decisión toma un valor. Este tipo de análisis de riesgo generalmente se aplica a consideraciones de costos y tiempo, ambos escogiendo entre diferentes alternativas.

2.2.2. Análisis cualitativo de riesgos

Una vez que se ha realizado la identificación de riesgos, según la metodología de análisis de riesgos, se procede al análisis cualitativo, el cual tiene como objetivo priorizar o jerarquizar los riesgos identificados. Además, esta priorización de riesgos se convierte en uno de los insumos directos del paso del análisis cuantitativo de riesgos.

⁴ Figura elaborada por la sustentante

Objetivos del Análisis Cualitativo de Riesgos

El realizar el análisis cualitativo de riesgos, permitirá priorizar los riesgos en términos de su probabilidad de ocurrencia e impacto sobre el proyecto, lo cual ofrece la oportunidad de dirigir los esfuerzos hacia el tratamiento oportuno y eficaz de los recursos de mayor importancia.

Evaluación del impacto de riesgos en los objetivos del proyecto

Esta evaluación se puede llevar a cabo mediante una tabla donde se especifique el impacto que se tendrá en los distintos objetivos del proyecto, mostrados en la tabla 1. Estas descripciones escaladas de impacto relativo deben ser preparadas por la organización antes que el proyecto comience.

Tabla 1. Tabla de evaluación de impactos⁵

Objetivo del proyecto	Muy bajo 0.05	Bajo 0.1	Moderado 0.2	Alto 0.4	Muy Alto 0.8
Costo	Insignificante aumento en costo	<5% de aumento en costo	5-10% de aumento en costo	10-20% de aumento en costo	>20% de aumento en costo
Programa	Retraso insignificante de programa	Retraso de programa <5%	Retraso global del proyecto 5-10%	Retraso global del proyecto 10-20%	Retraso global del proyecto >20%
Alcance	Alcance decrece apenas notoriamente	Áreas minoritarias del alcance son afectadas	Áreas mayores del alcance son afectadas	Reducción del alcance inaceptable para el cliente	Artículo final del proyecto efectivamente inservible
Calidad	Degradación de la calidad apenas notable	Sólo las aplicaciones muy rigurosas son afectadas	Reducción de calidad requiere aprobación del cliente	Reducción de calidad inaceptable para el cliente	Artículo final del proyecto efectivamente inservible

⁵ *A guide to the project management body of knowledge*. Project Management Institute, Edición 2000, Pennsylvania, 2001, p. 136.

Jerarquización o Priorización de riesgos

Una vez que la probabilidad y el impacto de los riesgos han sido cualificados, se procede a su jerarquización.

2.2.3. Análisis cuantitativo de riesgos

El análisis cuantitativo permite evaluar los riesgos y sus impactos inherentes a los proyectos, cuantificándolos en tiempo y costo mediante el uso de distintas técnicas, siendo algunas de ellas, el método Monte Carlo, el análisis PERT (Program Evaluation and Review Technique, por sus siglas en inglés) que en español se le podría llamar Técnica de revisión y evaluación de programa y por último el AHP. Esto proporcionará información útil para anticipar problemas, administrar riesgos, tomar decisiones del proyecto y también se toma como base para tener una reserva de contingencia.

Los objetivos de este análisis tienen como propósito determinar numéricamente la probabilidad de la fecha de terminación, la duración total y los costos totales del proyecto.

Objetivos del Análisis Cuantitativo de Riesgos

El análisis cuantitativo de riesgos es el proceso encargado de analizar numéricamente la probabilidad de cada riesgo y sus consecuencias en los objetivos del proyecto, así como la magnitud global del riesgo del proyecto. Este proceso usa distintas técnicas para:

- Determinar la probabilidad de alcanzar un objetivo específico del proyecto.
- Cuantificar el riesgo del proyecto y determinar la magnitud en costo y reservas de contingencia de programa, que pueden necesitarse.

- Determinar los riesgos que requieren la mayor atención, cuantificando su contribución relativa al riesgo del proyecto.
- Identificar costo, programa y alcance realista.

Análisis de Riesgos de costo y de programa

El análisis de riesgos de proyectos se refiere a la valoración de riesgos e incertidumbres que amenazan al proyecto.

Un proyecto consiste en una serie de tareas interrelacionadas cuyo propósito es producir uno o varios resultados específicos. Típicamente, un análisis de riesgos de proyecto consiste en analizar los riesgos del programa y de costos, sin embargo, otros aspectos como la calidad del producto final a menudo es incluido.

Un análisis de riesgo de costo consiste en buscar en los distintos costos asociados al proyecto, sus incertidumbres y cualesquiera amenazas u oportunidades que puedan afectar estos costos. Ambos son caracterizados por estimados de ocurrencia y por la magnitud de su impacto. Las distribuciones de costo son incorporadas al análisis de riesgos para determinar la incertidumbre en el costo total del proyecto.

Un análisis de riesgos del programa se enfoca al tiempo requerido para terminar las distintas tareas asociadas al proyecto y las interrelaciones entre dichas tareas. Se identifica para cada tarea sus riesgos y oportunidades para posteriormente realizar un análisis y determinar la duración total del proyecto. El análisis del programa, generalmente es más

complejo que el de costos debido a las conexiones e interrelaciones lógicas que existen entre las tareas.

Los costos del proyecto, y sus duraciones, están ligadas. Las tareas en un proyecto, generalmente están cuantificadas por la cantidad de trabajo necesario para completarlas así como por los entregables. Los costos y las duraciones también están ligados si existe una cláusula de multa por exceder la fecha de terminación.

Análisis de riesgos de costos

Un Análisis de Riesgos de Costos generalmente se lleva a cabo a partir del WBS, que es un documento donde se detallan, de arriba hacia abajo, los paquetes de trabajo (PT, y WP del inglés work packages), que integran el proyecto. Cada paquete de trabajo estará entonces subdividido en una serie de cantidades y estimados de trabajo requerido para completarlas (Vose, 2001).

Análisis de riesgos de programa

Un Análisis de Riesgos de Programa se basa en los mismos principios que el de costos para modelar la incertidumbre y los riesgos. Sin embargo, también se debe hacer frente a la complejidad añadida debido a las interrelaciones entre las distintas tareas del proyecto (Vose, 2001).

Modelamiento Puntual

Un modelamiento puntual o determinístico requiere el uso de estimados de “mejor aproximación” de cada variable dentro del modelo para determinar su resultado. Se

desarrollan sensibilidades del modelo para determinar qué tanto variará el resultado final con el resultado del modelo. Esto se puede lograr seleccionando varias combinaciones para cada variable de entrada. Estas combinaciones de posibles valores alrededor de la “mejor aproximación” generalmente son conocidas como escenarios “que pasa si”(what if).

Modelamiento Estocástico

El análisis cuantitativo de riesgos se puede realizar mediante distintas técnicas, siendo la Simulación Monte Carlo⁶ una técnica que está adquiriendo gran captación de seguidores. Por otro lado, el AHP es una herramienta reconocida que tiene validez en su adaptación a la modelación estocástico de análisis de riesgos. Esta modelación estocástica va un paso más adelante que la determinística al tomar en cuenta efectivamente cada posible valor que las variables puedan tomar y “dando peso” a cada posible escenario por su probabilidad de ocurrencia. Si esto se toma en cuenta, existe una mayor probabilidad de producir un modelo que sea tanto preciso como realista.

El análisis cuantitativo de riesgos alcanza este objetivo modelando cada variable mediante una distribución de probabilidad.

La estructura del modelo de este análisis es muy similar al modelo determinístico, excepto por que cada variable es representada por una función de distribución de probabilidad en lugar de un solo valor.

⁶ RODRÍGUEZ PULIDO, Julieta C. *Evaluación cuantitativa de los riesgos en administración de proyectos*. UNAM. 2003.

Para poder determinar una distribución de probabilidad de los posibles resultados del modelo, es necesario calcular el impacto combinado de la variabilidad de los parámetros del modelo. Para dicho objetivo se han desarrollado varias técnicas tales como el método de momentos, soluciones algebraicas exactas, la Simulación Monte Carlo y el AHP entre otras, sin embargo el alcance de esta tesis esta limitado al AHP.

Herramientas del análisis cuantitativo de riesgos⁷

Las herramientas utilizadas para este análisis son diversas, aunque en este trabajo, el caso de estudio está basado en el AHP. A continuación se mencionan otras herramientas que pueden ser utilizadas conjuntamente con este análisis.

Entrevistas.

Esta técnica, ampliamente utilizada en la administración de proyectos, permite un mayor acercamiento con los participantes del proyecto y su principal aportación en la cuantificación de riesgos es auxiliar en la determinación de la probabilidad y consecuencias de los riesgos que impactan el alcance del proyecto. La información que se requiere depende del tipo de distribución de probabilidad que se empleará.

Análisis de sensibilidad.

El análisis de sensibilidad ayuda a determinar el impacto potencial de los riesgos en el proyecto. Se basa en la determinación de la variación de una variable con respecto a otra u otras que se mantienen constantes.

⁷ *A guide to the project management body of knowledge.* Project Management Institute, Edición 2000, Pennsylvania, 2001, p. 138

Análisis de árbol de decisiones.

El árbol de decisiones es un diagrama que ayuda a tomar una decisión, además de tener asignadas las probabilidades al considerar los distintos cursos de acción de acuerdo a las alternativas que se presentan. Por lo tanto, incorpora probabilidades de riesgo y costos para cada trayectoria lógica de eventos y decisiones futuras. La finalidad de este diagrama es obtener la decisión que proporciona el mayor valor esperado, cuando se cuantifican todas las alternativas.

Simulación.

Una simulación en términos de administración de riesgos de proyectos emplea un modelo que tomando en cuenta las incertidumbres identificadas, cuantifica los riesgos en el impacto potencial en sus objetivos, ya sean de costo, tiempo y/o calidad, los cuales se expresan a nivel global del proyecto. Las simulaciones de proyectos se realizan generalmente usando la técnica Monte Carlo y en este trabajo se utiliza el AHP.

Análisis PERT.

Este análisis está basado en la cuantificación de los riesgos determinísticamente, tomando como referencia tiempos optimistas, pesimistas y más probables dándoles un peso para tener un estimado del retraso de un proyecto.

Como resultados del Análisis Cuantitativo de Riesgos se tienen:

- Lista de prioridades de riesgos cuantificados. Esta lista de riesgos incluye aquellos que representan la mayor amenaza o la mayor oportunidad al proyecto junto con una medida de su impacto.

- Análisis probabilístico o determinístico del proyecto. Pronóstico de programa y costo listando las posibles fechas de término o duración del proyecto con sus niveles de confianza asociados.
- Probabilidad de lograr los objetivos en costo y tiempo. La probabilidad de llevar a cabo los objetivos del proyecto bajo el plan actual y con el actual conocimiento de los riesgos que enfrenta el proyecto puede ser estimada usando el riesgo cuantitativo.

2.2.4. Planeación de la respuesta al riesgo⁸

El desarrollo de la respuesta al riesgo es un elemento crítico en el proceso de administración de riesgos que determina qué acción se tomará para dirigir el resultado de los riesgos evaluados en la identificación, cualificación y cuantificación de esfuerzos. Toda la información generada a la fecha se convierte en crítica al determinar lo que la organización hará de acuerdo con los riesgos, la tolerancia de la organización y del proyecto y de la cultura del cliente.

En alguna medida, el riesgo es un fenómeno cultural. Diferentes culturas, regiones y organizaciones tienen distintas tolerancias culturales al riesgo y a la respuesta al mismo. El determinar qué límites existen en la planeación de la respuesta al riesgo es importante para asegurar que no se ha malgastado tiempo en acercamientos que son intolerables.

⁸ *A guide to the project management body of knowledge*. Project Management Institute, Edición 2000, Pennsylvania, 2001, p.141-143

Todos los riesgos tienen causas; en ocasiones, múltiples riesgos en un proyecto dado tienen una causa común. Al desarrollar las respuestas al riesgo, el equipo del proyecto debe trabajar para identificar cualquier causa común así como aquellas causas que puedan tener respuestas comunes al riesgo.

Generalmente, las estrategias de respuesta caen en alguna de las siguientes categorías:

Evitar.

En muchas situaciones, una elección de bajo riesgo está disponible dentro de un rango de alternativas de riesgo. Seleccionando una opción de bajo riesgo representa una decisión de evitar un riesgo, como lo es el seleccionar una opción debido a que tiene menos resultados potenciales desfavorables. Ciertamente, no todos los riesgos tienen o pueden ser evitados. En ocasiones, elegir un alto riesgo puede ser juzgado más apropiado debido a la flexibilidad del diseño, un alto desarrollo o por su capacidad de expansión.

La comunicación es fundamental para evitar un riesgo. Eliminando un acercamiento o requerimiento será en vano si la base racional de la acción no está claramente documentada.

Transferencia.

También conocida como desviación, la transferencia del riesgo es un esfuerzo de dividir responsabilidades o consecuencias para un riesgo dado a una tercera parte o persona. La transferencia raramente sirve para eliminar el riesgo. A su vez, crea una obligación para su mitigación, aceptación o rechazo en otro individuo u organización. Los riesgos pueden ser

transferidos a una gran variedad de organizaciones e individuos fuera del proyecto, incluyendo:

- Aseguradoras
- Subcontratistas
- Vendedores
- Socios
- Clientes

La desviación del riesgo a menudo beneficia al proyecto así como al cliente. El tipo de contrato, las incentivas de desarrollo y las garantías pueden estar estructuradas para compartir el riesgo con otros, y en parte, transferir el riesgo.

Mitigación.

La mitigación de los riesgos es la estrategia más común. Es el proceso de tomar acciones específicas para reducir la probabilidad y/o reducir el impacto de los riesgos. A menudo, esto implica el uso de revisiones, nuevos acercamientos de trabajo y acciones de administración similares. El administrador del proyecto debe desarrollar un plan de mitigación al riesgo y después rastrear actividades basado en esos planes. Todas estas acciones se construyen en el plan del proyecto (planes de costo y programa) y finalmente en el WBS.

A través de la mitigación de riesgos, el administrador de riesgos puede hacer énfasis minimizando la probabilidad de que el riesgo ocurra o minimizando el riesgo si es que el riesgo ocurre.

Aceptación.

La aceptación, a menudo es conocida como retención, es la decisión de reconocer y soportar las consecuencias si un evento de riesgo ocurre. Éste se divide en dos tipos básicos de aceptación, activa y pasiva.

La aceptación pasiva es la aceptación del riesgo sin tomar alguna acción para resolverlo, lidiar con él o de alguna otra manera, administrarlo. Las únicas acciones requeridas en la aceptación pasiva son la documentación del riesgo, así como su reconocimiento por la administración y el equipo (y el cliente, si es conveniente) que el riesgo existe, y que la organización tiene la disposición de sufrir las consecuencias, si el riesgo ocurre.

La aceptación activa reconoce al riesgo como tal, pero llama al desarrollo de planes de contingencia. Los planes de contingencia son implementados para enfrentarse a los riesgos sólo cuando los eventos de riesgo llegan a pasar. Esto puede incluir instrucciones detalladas de cómo administrar los riesgos retroactivamente o puede ser tan simple como una reserva de contingencia del presupuesto establecida para el proyecto

2.2.5. Monitoreo y control de los riesgos

Después de que los riesgos son identificados, cualificados, cuantificados y respuestas claras respecto a ellos son desarrolladas, los acuerdos deben ser puestos en acción. El monitoreo y

control de riesgos incluye la implementación del plan de administración de riesgos, el cual debe ser una parte integral del plan del proyecto. Dos retos claves están asociados con el monitoreo y control. El primero es poniendo los planes de riesgo en acción y asegurándose que los planes aún sean válidos. El segundo es generando una documentación significativa para sostener el proceso.

Implementar los planes de riesgo debe ser la función de poner el plan en acción.

3. Métodos Multicriterio

3.1. Introducción

El contenido de la toma de decisiones multicriterio ha sido estudiado ampliamente por la Investigación de Operaciones durante las últimas cuatro décadas, teniendo aplicaciones diversas. La cuestión en estos métodos es contar con los elementos necesarios para poder elegir la mejor opción. Es necesario entonces tener una definición de la acción de decidir, la cual, según Vallín Manrique, es el “proceso por el cual una o más personas seleccionan una alternativa de entre un conjunto para, de acuerdo a ciertos criterios, alcanzar una serie de objetivos y metas preestablecidas”⁹; todo lo anterior, dentro del entorno de los posibles estados que pueda guardar la naturaleza. La necesidad de resolver problemas de gran complejidad dio como resultado el surgimiento de distintos métodos para alcanzar estos objetivos.

⁹ Vallín Manrique E. “Análisis de los métodos: proceso de análisis jerárquico y Rembrandt en la toma de decisiones” p. 1.

Este tipo de métodos no son de amplia aplicación en el área de *ingeniería de proyectos*, por lo que este capítulo tiene como finalidad exponer, aunque sea brevemente, su utilidad para lectores no familiarizados con estos conceptos.

Existe una categorización para el proceso de toma de decisiones que ha sido aceptada ampliamente, el cual consiste en los siguientes pasos descritos por Forman (2001).

- Inteligencia. Esta fase está relacionada con la identificación del problema u oportunidad. Lo más recomendable, siguiendo una estructura bien definida, es tener un enunciado conciso del problema, especificando los síntomas del problema y a quién le corresponde resolver este problema.
- Establecer el criterio de decisión. Son los enfoques bajo los cuales se evalúan las alternativas.
- Selección del modelo. Entre la gran variedad de métodos existentes, es necesario que el tomador de decisión seleccione el que mejor convenga como herramienta.
- Diseño. Identifica las alternativas para solucionar el problema. Existen diversas técnicas utilizadas para completar esta fase, como lo son la lluvia o tormenta de ideas, búsqueda en la literatura, conducir investigaciones, comparaciones con problemas similares, entre otras.
- Elección. Supone la selección de una o varias alternativas. Es en esta fase donde se realiza la selección de la “mejor” opción que cumpla con los objetivos propuestos. Ya que a menudo, para tomar una decisión, intervienen distintos factores que nos interesa que contenga nuestra elección.

- Implementar. No basta con tomar la mejor decisión, hay que implementarla y asegurarnos que funcione.

A continuación, se indicará la clasificación de los métodos multicriterio de acuerdo a las familias a las que pertenecen.

- Procedimientos de agregación
 - Teoría de utilidad con múltiples atributos, mejor conocido por MAUT por sus siglas en inglés (Multiple Attribute Utility Theory)

Este método consiste en el desarrollo de una sola función a maximizar, la cual, toma en cuenta las preferencias del tomador de decisiones en una forma coherente.

Este método es de fácil entendimiento, sin embargo, la mayor desventaja que presenta es su alta incomparabilidad entre los criterios evaluados.

Cabe destacar que existen dos corrientes en la aplicación de la toma de decisiones multicriterio, una de ellas es la americana, la cual ha optado por la utilización del método MAUT y la segunda de ellas es la europea, la cual ha desarrollado los métodos de sobreclasificación¹⁰.

- AHP

Este método se tratará más a detalle a lo largo de este capítulo.

¹⁰ Ibídem p. 25.

- Método Rembrandt

A este método se le puede considerar como una mejora del AHP cuando es necesario obtener la mejor decisión de una agrupación. Su creación se debe a Leo Rog y a Freek A. Lootsma (Lootsma, 1999).

Este método se basa en mejoras que se refieren al uso de una escala logarítmica en lugar de la escala de los nueve puntos de Saaty así como el reemplazo del eigenvector por una media geométrica, la cual evita la clasificación reversa.

- Métodos de sobreclasificación

Estos métodos basan su llamada “sobreclasificación” en las preferencias del tomador de decisiones. Para lograr este objetivo, es necesario jerarquizar los criterios mediante las comparaciones par-a-par. Entre los métodos de sobreclasificación podemos mencionar

- Método ELECTRE (de sus siglas en francés **E**limination et **C**hoix **T**raduisant la **R**éalité)

Este método es ampliamente conocido en toda Europa y su creador, Bernard Roy (Roy y Bouyssou , 1999), ha mejorado el método en distintas versiones. El método ELECTRE construye una relación de sobreclasificación sobre el conjunto de decisiones donde toma en cuenta las preferencias del tomador de decisiones según cada criterio y la información disponible. Posteriormente toma esta relación para resolver el problema de toma de decisiones.

- Método PROMETHEE (de sus siglas en inglés **P**reference **r**anking **o**rganization **m**ethod for **e**nrichment **e**valuations)

El método PROMETHEE fue creado por el Dr. Jean-Pierre Brans (Brans y Mareschal, 2002) y a lo largo del tiempo desarrolló distintas versiones que mejoran las relaciones de dominancia entre los criterios. De este modo, las versiones van desde una relación parcial de las alternativas, hasta una completa relación de ellas, tomando en cuenta las preferencias del tomador de decisiones gracias a criterios generalizados. A su vez, es posible también elegir entre agrupaciones de las alternativas mediante restricciones en la elección.

PROMETHEE tiene sus fundamentos en el enriquecimiento de las preferencias de las alternativas, ya que para cada par de alternativas, es posible definir cual domina a la otra, ya que para cada criterio, es posible modelar la preferencia gracias a criterios generalizados.

Por último, como gran ventaja a su favor, tiene la bondad de mostrar la “dureza” del problema a resolver al plasmar las desviaciones tolerables que el tomador de decisiones está dispuesto a aceptar. Esto da flexibilidad al método ya que es posible analizar y verificar la mejor alternativa.

- Métodos interactivos

Estos métodos obtienen su nombre debido a que se requiere de una interacción con el tomador de decisiones en los procedimientos de objetivos múltiples. Se puede

considerar a estos métodos como un avance de los métodos de la teoría de utilidad, ya que se genera más información en la búsqueda de la solución preferida (Vincke, 1989).

Según Vincke, los métodos interactivos se caracterizan por la “alternancia de etapas de cálculo y diálogos con el tomador de decisiones”¹¹.

- Método STEM

Este método fue creado por Benayoun (Benayoun, 1971) a principios de la década de 1970 y sus fundamentos están basados en la programación lineal con múltiples criterios.

Según Vincke, STEM es el método interactivo más conocido debido a que fue el primero en ser propuesto en la literatura y abrió un área importante en la investigación (Vincke, 1989).

El principal inconveniente que se presenta en el STEM, es su carácter irrevocable, ya que si el analista o tomador de decisiones cambia de parecer en cuanto a los criterios, es necesario volver a empezar el procediendo.

- Método GAIA

Las siglas para este método interactivo son Geometrical Analysis for Interactive Assistance que en español significa Análisis Geométrico de Asistencia Interactiva. Sus creadores, Jean-Pierre Brans y Bertrand Mareschal (Brans y Mareschal, 2002), se

¹¹ VINCKE, Philippe. L’Aide multicritère à la décision. Ed. Ellipses. Edición de la Universidad de Bruselas. Bruselas. 1989, p. 109.

basaron en los métodos PROMETHEE para introducir este plano visual que proporciona información referente al carácter conflictivo de los criterios y al impacto de los pesos de los criterios en el resultado final de decisión.

3.2. Método jerárquico analítico (AHP)

3.2.1. Antecedentes

El AHP surge como una necesidad de contar con una herramienta para facilitar la elección adecuada entre una serie de alternativas cuando la selección se ve envuelta en un ambiente complejo o cuando únicamente la experiencia y conocimientos del tomador de decisión no son suficientes para llegar a la resolución del problema.

Entre las décadas de 1960 y 1970 se empezaron a desarrollar los métodos clásicos de decisión multicriterio y a su vez afloraron tal y como los conocemos en la actualidad (Pomerol y Barba-Romero, 2000). Fue a principios de ésta primera década cuando el Dr. Thomas L. Saaty, pionero de la Investigación de Operaciones, trabajaba para una agencia de gobierno de Estados Unidos encargada del control de armas y desarme; dirigiendo proyectos de investigación. En esta época, Saaty tenía a su cargo un privilegiado equipo de trabajo, ya que entre sus filas se encontraban tres ganadores del Premio Nóbel. A pesar de esto, los resultados de su equipo de trabajo no fueron lo satisfactorios que se esperaban.

Es entonces cuando él se da cuenta de que no existía una metodología común, fácil de implementar y de entender, además que fuera capaz de permitir tomar decisiones en

ambientes complejos. Por estas razones el AHP fue creado en la década de 1970 cuando Saaty era profesor de la Escuela de Negocios Wharton.

Desde sus inicios el desarrollo del método contó con gran aceptación dada su sencilla aplicación y solidez matemática. A pesar de haber transcurrido casi tres décadas desde su creación, éste método sigue gozando de una amplia validez. Aunado a esta validez, lleva consigo una serie de críticas que se han convertido en polémica (Belton y Goodwin, 1996; Forman y Gass, 2001; Kuenz, 1993, Pérez, 1995, Saaty, 1994, 1999). Tan es así, que incluso en las revistas especializadas donde tanto se han publicado las bondades y aplicaciones del método, también se han publicado comentarios y réplicas por parte de los autores involucrados en defenderlo y criticarlo.

3.2.2. Fundamentos del AHP

Para poder diseñar y estructurar la jerarquía que rige el método se debe contar con experiencia y conocimientos del área en la cual se desea aplicar. Vallín Manrique (2001) hace mención que dos tomadores de decisión por separado podrían llegar a dos cursos de acción distintos si se basan en sus propias preferencias, sin embargo si trabajan juntos, pueden llegar a un consenso en cuanto a la jerarquía, juicio y evaluación.

Kamal (2001) argumenta que éste método es útil en circunstancias en las cuales se necesita de la consideración de diferentes cursos de acción que no pueden ser evaluados por la medición de una simple y única dimensión.

El fijar los objetivos, atributos y definir quiénes son los participantes tiene dos propósitos según Saaty (Saaty, 1990). El primero es que proporciona una visión general de las complejas relaciones que son inherentes a la situación. En segunda instancia, ayuda al tomador de decisión a evaluar aspectos que tienen el mismo orden de magnitud, de manera que se pueden comparar homogéneamente dos elementos con precisión.

Los fundamentos que rigen el AHP son sus principios y axiomas, en los cuales se basó Saaty para crear los siete pasos que constituyen el método, ya que delimitan el alcance del entorno del problema.

Principios.

Los tres principios básicos que de acuerdo a Saaty rigen el método son: identidad y descomposición, discriminación o juicios comparativos y por último el de composición jerárquica o síntesis de prioridades.

El *principio de descomposición* establece que el método está regido por una estructura jerárquica, que en primera instancia es el primer paso que se debe seguir en el AHP. Esta descomposición está basada en niveles, siendo el primero de ellos el objetivo o meta, que es de carácter global. Seguido se tienen los niveles intermedios que son los criterios y sub-criterios, los cuales caracterizan específicamente el problema y se finaliza con las alternativas. Este desglose o descomposición obtiene la forma de un árbol invertido, teniendo la “raíz” en la parte superior y las “ramas y hojas” en la base de la estructura como se puede observar en la figura 2.

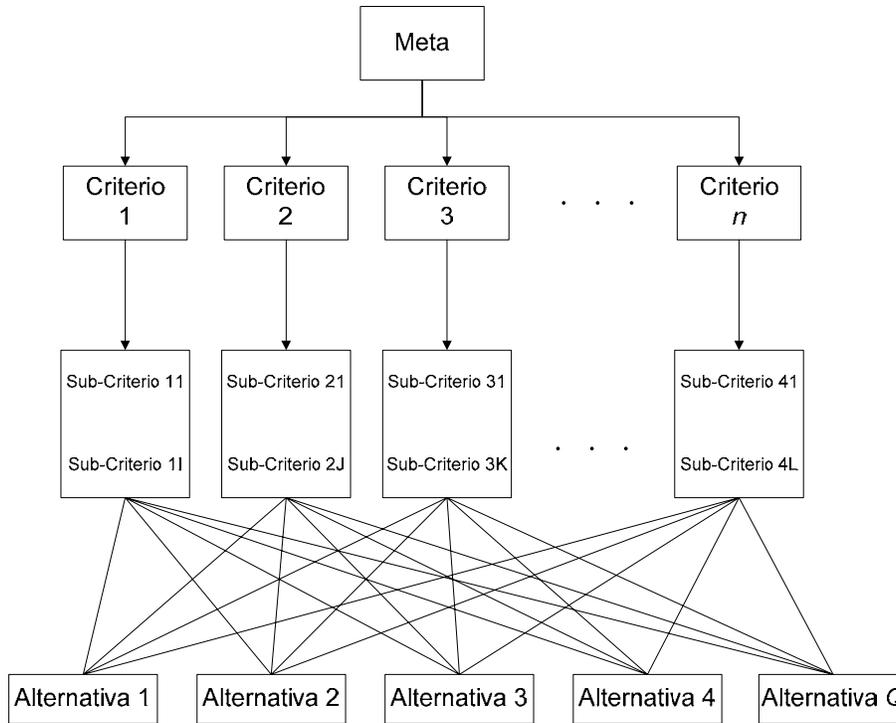


Figura 2. Estructura jerárquica genérica¹²

El principio de discriminación o juicios comparativos se efectúa una vez que la jerarquía ha sido formada. De este modo, se realiza mediante las comparaciones de los elementos en la forma par-a-par con respecto a las propiedades que tienen en común (Saaty, 1991).

Las comparaciones se realizan en una matriz cuadrada llamada matriz de comparaciones, cuya dimensión n corresponde al número de criterios que se van a comparar.

Por último, el principio de síntesis de prioridades ayuda a obtener las prioridades globales de los criterios que se obtienen a partir de las prioridades locales desarrolladas mediante el

¹² BHUSHAN, Navneet y Rai Kanwal. *Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process*. Ed. Springer. Londres, 2004, p.

principio de juicios comparativos. Asimismo, proporciona los elementos para determinar la consistencia de las prioridades.

Toda teoría está basada en axiomas y “mientras menos sean éstos y más simples, la teoría será más general y aplicable”¹³. A partir de estas ideas fundamentales, Saaty planteó tres axiomas para éste método, sin embargo, tiempo después, un cuarto axioma fue integrado a esta teoría. Los axiomas que integran el AHP son:

Axiomas

- i. *Comparación recíproca.* Se refiere a la comparación par-a-par que se hace entre los criterios que integran éste método para la toma de decisiones. A su vez, este axioma afirma que cuando se comparan dos criterios A y B, si el criterio A es “ x ” veces preferido respecto al criterio B, el criterio B será “ $1/x$ ” veces preferido respecto al criterio A. Es decir, serán recíprocos en su comparación.
- ii. *Homogeneidad.* Este axioma afirma que las comparaciones se llevan a cabo en escalas semejantes.
- iii. *Independencia.* Este axioma expresa que los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas.
- iv. *Expectativas.* Para poder tomar decisiones, es necesario que la estructura jerárquica esté completa. Es decir, que se hayan tomado en cuenta todos los niveles y subniveles que componen esta estructura.

¹³ FORMAN, Ernest.H. y Selly Mary Ann. *Decision By Objectives: How To Convince Others That You Are Right*. Ed. World Scientific. New Jersey, 2001, p. 51

Pasos

A continuación se describe la estructura que Saaty (Saaty y Kearns, 1991; Saaty 1990, 1994, 2003) propuso, descrita en siete pasos, basada en jerarquías que hace del AHP uno de los métodos más utilizados para la toma de decisiones.

1. Definir el problema e identificar la meta que se desea alcanzar.
2. Estructurar la jerarquía de arriba hacia abajo. En otras palabras, se sigue el esquema de la figura 2, donde se tiene en la parte más alta la meta deseada, ramificándose a su vez en los criterios y sub-criterios y finalmente terminando en las alternativas que se tienen para resolver el problema.
3. Construir las matrices cuadradas de dimensión “n” para efectuar las comparaciones par-a-par para cada uno de los niveles inferiores con una matriz para cada elemento en el nivel inmediato superior.

En la figura 3 se muestra la matriz de comparación por pares, con elementos a_{ij} que como se menciona en las líneas anteriores es de dimensión $(n \times n)$. Cada elemento a_{ij} indica el valor del objetivo i relativo al objetivo j .

$$\begin{array}{c}
 O_1 \quad \cdot \quad O_j \quad \cdot \quad O_n \\
 \\
 \begin{array}{c}
 O_1 \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 O_j \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 O_n
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 a_{11} & \cdot & a_{1j} & \cdot & a_{1n} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & a_{ii} & a_{ij} & a_{ik} & \cdot \\
 a_{j1} & a_{ji} & a_{jj} & a_{jk} & a_{jn} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 a_{n1} & \cdot & a_{nj} & \cdot & a_{nn}
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Figura 3. Matriz de comparación por pares

La escala originalmente propuesta por Saaty para medir las comparaciones se muestra en la Tabla 2, sin embargo, son distintas las escalas que se pueden utilizar en este método.

Tabla 2. Escala de los nueve puntos propuesta por Saaty¹⁴

Valor	Definición	Interpretación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada de una sobre otra	Experiencia y juicio ligeramente a favor de una actividad sobre otra
5	Importancia fuerte o fundamental	Experiencia y juicio fuertemente a favor de una actividad sobre otra
7	Importancia demostrada	Una actividad es fuertemente favorecida y su dominio es demostrado en práctica
9	Extrema importancia	La evidencia favoreciendo una actividad sobre otra es del mayor orden posible de afirmación
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Cuando se necesita llegar a un acuerdo
Recíprocos de números superiores a cero	Si una actividad tiene un número de los mencionados anteriormente, por ejemplo el 3, al compararse con una segunda actividad; entonces la segunda actividad tiene el valor recíproco (1/3) cuando se compara con la primera	

4. Siguiendo el axioma de comparación recíproca, se asigna automáticamente un recíproco a cada comparación par-a-par. De esta manera, se obtienen los siguientes valores para los componentes de la matriz a partir de la figura 2.

$$a_{ii} = 1; \quad ec. (1)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}; \quad ec. (2)$$

¹⁴ SAATY, Thomas L y Kearns Kevin P, *Analytical Planning, The organization of systems*. Ed. RWS Publications. Pittsburgh, 1991, Vol. IV, p. 27.

Para el elemento a_{ii} en la ecuación (1), el valor será de la unidad, dado que según la escala para medir las comparaciones muestra que es igualmente importante el objetivo i comparado con él mismo. Por otro lado, el elemento de la ecuación (2) nos muestra la ya comentada reciprocidad.

Una vez incluidas las ecuaciones (1) y (2) en la figura 3, obtenemos la figura 4.

$$\begin{bmatrix} 1 & \cdot & \frac{1}{a_{j1}} & \cdot & \frac{1}{a_{n1}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 1 & \frac{1}{a_{ji}} & \frac{1}{a_{ki}} & \cdot \\ a_{j1} & a_{ji} & 1 & \frac{1}{a_{kj}} & \frac{1}{a_{nj}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & \cdot & a_{nj} & \cdot & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 4. Matriz de comparación por pares con sus recíprocos

5. Se utiliza la síntesis jerárquica para calcular los eigenvectores mediante los pesos de los criterios. Como primer paso, para el cálculo de los eigenvectores, se hace la sumatoria de cada una de las columnas de la matriz de comparación por pares.

$$\begin{bmatrix} 1 & \cdot & \frac{1}{a_{j1}} & \cdot & \frac{1}{a_{n1}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 1 & \frac{1}{a_{ji}} & \frac{1}{a_{ki}} & \cdot \\ a_{j1} & a_{ji} & 1 & \frac{1}{a_{kj}} & \frac{1}{a_{nj}} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & \cdot & a_{nj} & \cdot & 1 \end{bmatrix}$$

$$[\sum c_1 \quad \sum c_2 \quad \cdot \quad \cdot \quad \sum c_n]$$

Figura 5. Sumatoria de las columnas de la matriz de comparación por pares

A continuación, se normaliza cada columna de la matriz de comparaciones al dividir cada elemento de la columna entre el valor de la sumatoria previamente calculado, según se muestra en la figura 6.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sum c_1} & \cdot & \frac{1}{a_{j1} \sum c_j} & \cdot & \frac{1}{a_{n1} \sum c_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \frac{1}{\sum c_2} & \frac{1}{a_{ji} \sum c_j} & \frac{1}{a_{ki} \sum c_k} & \cdot \\ \frac{a_{j1}}{\sum c_1} & \frac{a_{ji}}{\sum c_2} & \frac{1}{\sum c} & \frac{1}{a_{kj} \sum c_k} & \frac{1}{a_{nj} \sum c_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{a_{n1}}{\sum c_1} & \cdot & \frac{a_{nj}}{\sum c_j} & \cdot & \frac{1}{\sum c_n} \end{bmatrix}$$

Figura 6. Normalización de la matriz de comparaciones

Ahora se obtiene el vector de prioridades (mostrado en la parte derecha de la figura 7) al hacer la sumatoria de cada renglón, este vector de prioridades, según Saaty “es una jerarquía numérica de las alternativas que indica el orden de preferencia entre ellas”¹⁵.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sum c_1} & \cdot & \frac{1}{a_{j1} \sum c_j} & \cdot & \frac{1}{a_{n1} \sum c_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \frac{1}{\sum c_2} & \frac{1}{a_{ji} \sum c_j} & \frac{1}{a_{ki} \sum c_k} & \cdot \\ \frac{a_{j1}}{\sum c_1} & \frac{a_{ji}}{\sum c_2} & \frac{1}{\sum c} & \frac{1}{a_{kj} \sum c_k} & \frac{1}{a_{nj} \sum c_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{a_{n1}}{\sum c_1} & \cdot & \frac{a_{nj}}{\sum c_j} & \cdot & \frac{1}{\sum c_n} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \sum r_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum r_j \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum r_n \end{bmatrix}$$

Figura 7. Vector de prioridades

Posteriormente se multiplica la matriz de comparación por pares (sin normalizar) por el vector de prioridades para obtener una matriz C de n renglones por l columna, denominada “matriz de sumas ponderadas”.

¹⁵ SAATY, Thomas L. “Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary” *European Journal of Operational Research*. No. 145. 2003. p 85–91

$$\begin{bmatrix}
 1 & \cdot & \frac{1}{a_{j1}} & \cdot & \frac{1}{a_{n1}} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & 1 & \frac{1}{a_{ji}} & \frac{1}{a_{ki}} & \cdot \\
 a_{j1} & a_{ji} & 1 & \frac{1}{a_{kj}} & \frac{1}{a_{nj}} \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
 a_{n1} & \cdot & a_{nj} & \cdot & 1
 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum r_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum r_j \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum r_n \end{bmatrix} = C$$

Figura 8. Matriz de sumas ponderadas

donde la matriz C tiene la siguiente forma,

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{j1} \\ \cdot \\ \cdot \\ C_{n1} \end{bmatrix}$$

Figura 9. Forma de la matriz de sumas ponderadas.

Finalmente, se dividen todos los elementos de la matriz de sumas ponderadas entre su respectivo elemento del vector de prioridades, obteniendo n valores, como se muestra en la ecuación (3).

$$\frac{C_{i1}}{\sum r_i} \quad ec.(3)$$

donde i toma valores desde 1 hasta n.

De esta manera, λ_{\max} se calcula mediante el promedio de los n valores obtenidos, mostrado en la ecuación 4..

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{i1}}{\sum_{i=1}^n r_i} \quad ec.(4)$$

Los pesos finales de los elementos en el último nivel de la jerarquía son obtenidos sumando todas las contribuciones de los elementos en un nivel con respecto a todos los elementos en el nivel superior.

6. Una vez realizadas las comparaciones par-a-par, se determina la consistencia utilizando el eigenvalor λ_{\max} , para calcular el índice de consistencia (IC) como se indica en la siguiente fórmula

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad ec.(5)$$

donde n es el tamaño de la matriz. El criterio de consistencia se puede corroborar al calcular la relación de consistencia (RC) a partir del IC con el valor apropiado de la Tabla 2 de acuerdo al tamaño de la matriz. El valor de la RC es aceptable si no excede el valor de 0.10. Si este valor es mayor a 0.10, entonces la matriz es inconsistente. Por lo tanto,

$$RC = \frac{IC}{\text{Consistencia aleatoria}} \quad ec.(6)$$

Para asegurar que la matriz sea consistente, es necesario que se revise la matriz y se mejore.

Tabla 3. Consistencia aleatoria promedio¹⁶

Tamaño de la matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia Aleatoria	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

7. Los pasos 3 a 6 se llevan a cabo para todos los niveles de la jerarquía.

3.2.3. Aplicaciones

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, las aplicaciones del AHP han sido tanto diversas como multidisciplinarias, como ejemplo, según Forman, para 1995 existían más de 1000 menciones en revistas especializadas y otras referencias acerca del AHP (Forman, 2001).

En las siguientes líneas se indicarán las aplicaciones más usuales y representativas en las que se han utilizado este método, éstas aplicaciones van desde problemas matemáticos o de ingeniería hasta resolución de conflictos e incluso selección de personal.

Para la administración de proyectos, se encuentran las siguientes aplicaciones:

- **Selección del mejor concursante o proveedor en un proceso de licitación.** En este punto se habla principalmente del objetivo original de éste método, es decir, la selección de la mejor alternativa de entre un conjunto de ellas. Probablemente ésta sea la aplicación más utilizada en la administración de proyectos. Aquí se trata de evaluar a los proveedores y seleccionar al que ofrezca las mejores características del producto o servicio solicitado. En esta selección, pueden estar en juego aspectos

¹⁶ KAMAL, Al-Subhi A. "Application of the AHP in project management". *International Journal of Project Management*. 2001. No. 19. p 21.

técnicos, ambientales, legales y financieros. Por esta razón, el AHP es una herramienta útil ya que incorpora aspectos tangibles e intangibles. Este ejemplo es de suma importancia, ya que a menudo, empresas tan sólidas como lo es PEMEX, basan su criterio final de selección de proveedores solamente en la propuesta más baja económicamente hablando; obviamente después de que los concursantes hayan aprobado los criterios técnicos de la propuesta.

- **Pronósticos.** Esta aplicación es la que más concierne a este trabajo de tesis, ya que en el caso particular de éste trabajo la aplicación está basada en el pronóstico de los riesgos de un proyecto. Más aún, el AHP se ha utilizado también para pronosticar tasas de cambio de divisas, entre otras tantas aplicaciones.

Según Wolfe (1988), éste método no sólo ayuda a ajustar pronósticos sino también a determinar qué factores influyen el pronóstico y por cuánto.

- **Negociación y resolución de conflictos.** En esta aplicación, se demuestra la capacidad de éste método para incorporar aspectos subjetivos en su estructura jerárquica. Hashem y Varghese (2004) afirman que el conflicto es inevitable en cualquier organización debido a las diferencias en la percepción de cada individuo, es decir, a su naturaleza perceptual. Los autores proponen el análisis y resolución de conflictos mediante la cuantificación de pérdidas y ganancias usando el AHP.
- **Selección de la mejor opción.** En este rubro, se puede mencionar la selección o promoción de personal, basado en su educación, experiencia, personalidad, entre otros aspectos.

- **Asignación de recursos.** Aspecto fundamental en la planeación de proyectos, ya que su disponibilidad está sujeta a la cartera de proyectos que una empresa tiene, y estos recursos, ya sean humanos o materiales en la realidad son escasos.

Otras aplicaciones independientes de la administración de proyectos,

- Programación lineal, programación entera, algoritmos genéticos, redes neuronales, QFD (por sus siglas en inglés Quality Function Deployment), entregas justo a tiempo (JIT por sus sigla en inglés Just in Time), clasificación de inventarios, administración total de la calidad (TQM por sus siglas en inglés), reingeniería de procesos, bechmarking, asistencia a la salud (sanitaria), planeación estratégica, por mencionar algunas de ellas.

3.2.4. Ventajas y desventajas

Finalmente se llega al momento de tener que contrastar las bondades contra las carencias del método. Según Pérez (1995), las críticas a éste método se reportan en la bibliografía desde 1982. No obstante, lo importante es tener en cuenta tanto las superioridades como las limitaciones de todo procedimiento para poder llegar a la conclusión de la aplicabilidad al problema que nos atañe y si no es el caso, optar por un procedimiento más apropiado.

A pesar de tener tanto seguidores como opositores, también se ha encontrado en la bibliografía autores como Pérez (1995), quien reconoce las limitaciones que tiene el método y sin embargo toma una postura neutral al afirmar que las limitaciones que pueda presentar éste método no lo invalidan, sino que hacen necesario el identificar el tipo de situaciones en el que la aplicación del método es conveniente.

Desventajas

- Una de las grandes críticas que atacan al método es la obtención del peso de los criterios en las comparaciones par-a-par. En las que se compara la importancia relativa en cuanto al objetivo (Kamal, 2001).
- Clasificación reversa. Tanto Belton y Gear (1983) como Dyer (1990) señalan que al excluir una alternativa (incluso no relevante) de la serie planteada en un principio cambia los resultados. En otras palabras, que la alternativa elegida como mejor opción no es la misma que cuando se retira una de las alternativas originales.
- Falta de bases teóricas firmes. Belton y Gear (1983) y Dyer (1990) son los principales autores que descalifican éste método. Sin embargo, Harker y Vargas (1987) y Pérez (1995) prueban en sus trabajos que esta afirmación no es válida.
- Escala de los nueve puntos. Kuenz (1993) indica que esta escala arroja resultados que rebasan la consistencia estándar aceptada, mostrándose mayor severidad cuando las matrices de comparación son más grandes.

Ventajas

- Carácter analítico. El razonamiento lógico y matemático para tomar decisiones se considera una fortaleza ya que ayuda a analizar el problema de mediante un equilibrio lógico que traduce la intuición a números que pueden ser discutidos y cuestionados por terceros.
- Estructura jerárquicamente el problema. Según Bushan y Rai (2004), la descomposición jerárquica es inherente al ser humano y esto hace que el AHP

sea de ayuda en el proceso natural de toma de decisiones. Al reducir un problema complejo en sub-problemas hace más fácil afrontarlo.

- Según Forman (2001), el proceso de comparación par-a-par generalmente implica redundancia, lo cual deriva en una reducción del error de medición así como producir una medida de consistencia en los juicios de comparación.
- Los pesos de los atributos no son arbitrariamente asignados. Las críticas al método atacan esta “arbitrariedad” de asignación, sin embargo, Forman (2001) indica que la asignación está basada en los juicios, experiencia y conocimientos del tomador de decisión.
- Sencillez de aplicación
- Programa computacional disponible
- Toma en cuenta aspectos tangibles e intangibles, como lo son aspectos objetivos y subjetivos.

Como se ha hecho notar en este capítulo, el aspecto crítico en la utilización de este método, independientemente de sus ventajas y desventajas, es comprender sus limitaciones para poder determinar si es posible aplicarlo en el área en la cual tengamos un problema de decisión o cualquiera que éste sea. Además, es necesario que posterior a su aplicación, se analicen los resultados para determinar si las preferencias establecidas en un principio en la jerarquía son congruentes con los resultados finales. Esto se logra con la retroalimentación en el proceso iterativo del juicio de expertos en la toma de decisiones.

Un aspecto adicional a tomar en cuenta al aplicar este método es el que en caso de que se presenten matrices de comparación de un orden mayor a 10, es recomendable que se reduzca dicha matriz mediante la creación de un subnivel en la jerarquía para evitar problemas con la relación de consistencia (RC) al comparar muchos elementos.

Es importante tomar en cuenta que el AHP proporciona resultados al tomador de decisiones que mejorarán su toma de decisiones y su posterior respuesta al riesgo.

4. Control de proyectos

4.1. Introducción

Dado que el enfoque presentado en este trabajo para la administración de riesgos de proyectos está orientado a la etapa de control, es necesario que se presenten los conceptos clave en este capítulo. Según Bender y Ayyub (2001), es necesario que el sistema que se incorpore en una organización para controlar los costos de un proyecto sea fácil aplicar y que a su vez pueda ser usado a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Es por esto que “muchos dueños y contratistas están tomando medidas adicionales para reducir los riesgos de exceder el presupuesto”¹⁷ mediante el control adecuado del proyecto utilizando las herramientas, técnicas y conceptos disponibles en la actualidad para dicho fin.

¹⁷ WARHOE, Stephen P. “The Basics of Earned Value Management” *AACE International Transactions*; 2004; p. CSC.07.1

Aunado a lo anterior, es necesario que los integrantes de la organización estén completamente comprometidos y convencidos de la utilidad de esta etapa.

4.2. Monitoreo y Control

El monitoreo de un proyecto es un proceso continuo que empieza a partir de que el proyecto mismo ha comenzado y continúa a lo largo de su ciclo de vida. Este monitoreo sólo se puede lograr a partir de comparaciones de lo planeado contra lo que realmente se ha completado hasta un momento dado. A su vez, esto servirá para implementar acciones correctivas y pronosticar, por ejemplo, una nueva fecha de término y/o la actualización del costo total del proyecto.

Los motivos por los cuáles se lleva a cabo este monitoreo son diversos, estos pueden ser deficiencias en los estimados iniciales (causados por falta de experiencia), presiones del mercado en las decisiones, fallas en el control de costo, una alta complejidad en el proyecto, entre otras causas. Pero quizá la razón de más peso sea para minimizar los costos y que de esta manera la organización siga compitiendo en el agresivo mercado actual, ya que a la postre, la finalidad de toda organización es generar ganancias.

Establecer una línea base.

Es el primer paso para poder llevar un control adecuado de cualquier proyecto, ya que el desempeño del proyecto se va a comparar con lo que originalmente se planeó; de esta manera se puede monitorear y por ende, controlar. La planeación de la línea base tiene sus fundamentos en el alcance, el programa de actividades y sus correspondientes costos asociados.

Según Stevenson (1989), una muy buena línea base (en el ramo de la construcción) es aquella que se estima conjuntamente entre el dueño/cliente, los ingenieros y los gerentes de construcción basada en propuestas actualizadas. Esta información está disponible gracias al WBS.

Aspectos a monitorear.

Es preciso que se lleve un seguimiento del desempeño actual comparado con la línea base. Los elementos que al ingeniero o ingeniera de proyectos les es necesario conocer para llevar a cabo esta labor son, principalmente, la duración de las actividades y sus costos asociados. Sin embargo, la calidad del producto o servicio a entregar debe asegurarse adecuadamente.

Reportar.

Para poder reaccionar oportunamente a cualquier eventualidad que se presente, es necesario reportar los resultados (positivos y/o negativos) de acuerdo al sistema de comunicación que la organización tenga implementada.

Los resultados positivos son de gran ayuda para crear una base histórica en futuros proyectos a la vez que sirven como motivación para los miembros de los equipos de trabajo. Los resultados negativos sirven como “alarma preventiva” para poner más atención en el desempeño del proyecto y poder reaccionar a tiempo para mantenerlo en buen “camino”.

De acuerdo al organigrama que tenga estructurado cada organización, se informará a los responsables correspondientes acerca de los resultados obtenidos. De esta manera, como

ejemplo, no es necesario que a la Alta Dirección se le comunique del estatus del proyecto con un informe detallado del último nivel del WBS; bastará con informar el estatus general del proyecto.

En la estructura organizacional de la empresa, dependiendo de a quién se informe, se tendrá el reporte más apropiado, como se mencionó anteriormente, dependerá de la estructura de comunicación que se tenga. Para este efecto, se cuenta principalmente con dos tipos de reportes, los formales y los informales, cuyas características y empleo se listan a continuación.

Los reportes formales, además de ser documentos escritos, se pueden presentar en la modalidad de reuniones. Generalmente los participantes son la Alta Dirección, el cliente y/o el gerente del proyecto. Este monitoreo asegura que el proyecto vaya por buen camino y asimismo ayuda a la administración de la calidad en asuntos tales como la satisfacción del cliente, el cumplimiento de especificaciones, la documentación que se está generando, el impacto en otras áreas, entre otros aspectos. Por otro lado, el monitoreo en los niveles más bajos de la organización se puede llevar a cabo mediante reportes informales, de medición de avance detallado, así como reuniones de equipo de trabajo y/o revisiones.

La periodicidad con la que los reportes se generarán y entregarán, serán definidos por la organización y estará reflejada puntualmente en el plan del proyecto. Se recomienda que las reuniones del avance del proyecto se realicen semanalmente o por lo menos una vez al mes, dependiendo de la duración del proyecto. Si se requiere, se pueden hacer monitoreos diarios.

Herramientas utilizadas para controlar

Existen diversas herramientas que auxilian en el control de proyectos. Si se emplean conjuntamente, aumentan la capacidad de identificar inconsistencias y actuar para mantener el programa a tiempo.

4.2.1. Valor ganado

Quizás sea la herramienta que goza de más popularidad en el medio. Su aplicación data desde la década de 1960 (Warhoe, 2004), cuando el Departamento de Defensa de los Estado Unidos lo empezó a utilizar, sin embargo, sus inicios se reportan desde el año 1800 cuando ingenieros industriales lo implementaron para medir rendimientos en un proyecto. A este método se le considera una medida del avance que refleja, como su nombre lo sugiere, un valor ganado a través de un esfuerzo determinado.

Según Warhoe, la definición de Valor Ganado es “un sistema que incorpora los componentes organizados del programa de actividades, los estimados de presupuesto y el alcance del trabajo de un proyecto, en un proceso en el cual los costos pronosticados para el final del proyecto pueden ser determinados en forma confiable.”¹⁸

La técnica del Valor Ganado permite “incorporar los costos, el tiempo y el alcance en un proceso en el cual hace posible el predecir tanto el costo como la duración final del proyecto de una manera confiable”¹⁹. Su utilidad radica en que no sólo toma en cuenta el

¹⁸WARHOE, Stephen P. “The Basics of Earned Value Management” *AACE International Transactions*; 2004; p. CSC.07.1.

¹⁹ *ibid.*

dinero gastado en un determinado tiempo, sino que lo compara con el avance que se debería tener en ese momento.

La ventaja más significativa es que si sólo se monitorean los costos/duraciones programados respecto a los actuales, los resultados podrían ser engañosos. Esto hace necesario el incluir una medida del avance efectivo del proyecto.

Existen tres conceptos fundamentales para desarrollar esta metodología, tales conceptos son los siguientes:

- **Costo Total** “Son los costos totales incurridos en completar el trabajo de una actividad en un periodo de tiempo determinado.”²⁰
- **Costo Programado.** Este valor corresponde a la línea base del proyecto, la cual fue planeada y aceptada previamente en un presupuesto.
- **Valor Ganado.** “Es el costo del trabajo físico terminado más el presupuesto autorizado para este trabajo (pronóstico)”²¹. El cual está en función de los porcentajes de avance que se tienen de las actividades.

Para poder aplicar esta metodología, es necesario graficar los tres conceptos antes mencionados en una gráfica de tiempo vs. costo de manera acumulativa (ver figura 10).

²⁰ *A guide to the project management body of knowledge.* Project Management Institute, Edición 2000, Pennsylvania, 2001, p. 197

²¹ *ibidem.* p. 201

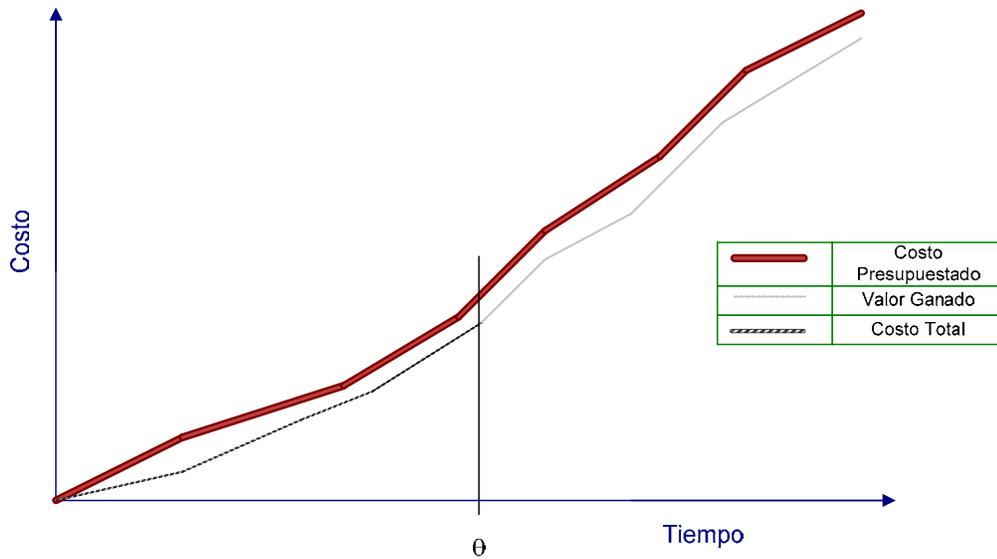


Figura 10. Costo Presupuestado, Valor Ganado y Costo Real de un proyecto.²²

Los valores se graficarán a medida que el proyecto se vaya desarrollando. El costo real representa los costos totales derivados de los trabajos ejecutados. El costo programado, como se mencionó anteriormente es el que corresponde a la línea base. Por último, el valor ganado se determina a partir del porcentaje físico completado en cada actividad o paquete de trabajo²³. Asimismo, es necesario que la organización determine la forma en que va a medir el porcentaje alcanzado, es decir, linealmente, de acuerdo a avances determinados o incluso en una base 0/50/100 (u otros porcentaje si así lo determina).

Idealmente, los tres valores graficados no deberían diferenciarse, dado que serían iguales. No obstante, dada la complejidad de los proyectos y los riesgos e incertidumbre que los rodean, es prácticamente imposible observar este comportamiento. Es por esto, que la labor

²² Figura elaborada por la sustentante.

²³ Un paquete de trabajo es un entregable en el nivel más bajo del WBS

del líder de proyecto será prestar atención en el desempeño del proyecto para terminar oportunamente y en costo el proyecto.

Como regla heurística, se dice que las tendencias continúan, así es que si un proyecto comienza con malos resultados (atrasado en tiempo y/o con sobre costos), es de esperarse que el proyecto continúe de esa manera.

Una ventaja adicional de este método es la obtención de “estimados a la terminación del proyecto”, los cuales se calculan a partir de la extrapolación de las tendencias observadas. Así, podemos obtener pronósticos estimados de la fecha y el costo del proyecto como se puede observar en la figura 11.

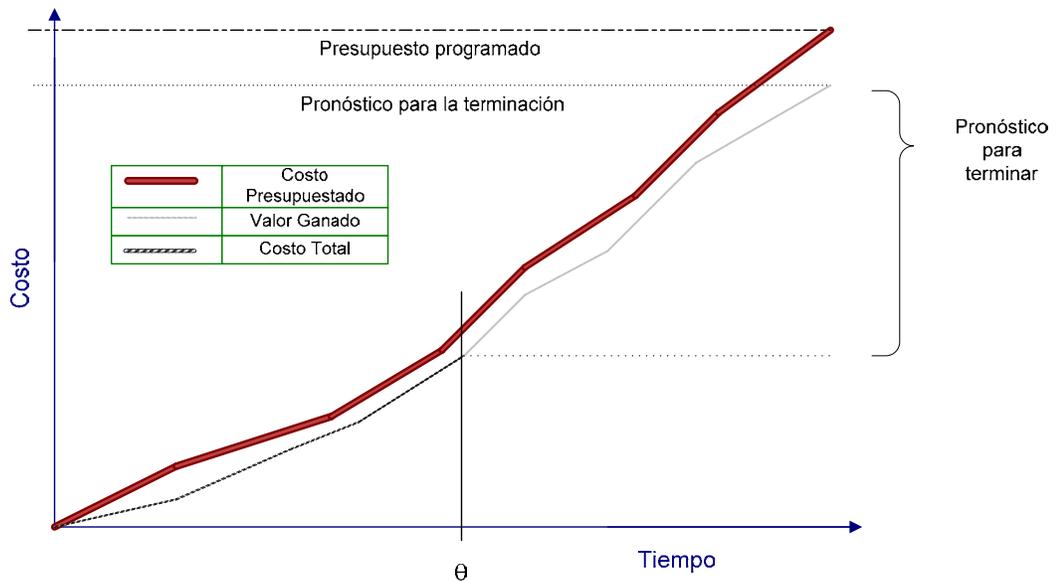


Figura 11. Estimados a la terminación.²⁴

²⁴ Figura elaborada por la sustentante.

Así, generamos tres nuevos estimados que son:

- ***Pronóstico del costo total en la terminación.*** El costo total esperado de una actividad de un grupo de actividades o del proyecto cuando el alcance definido haya sido terminado.
- ***Pronóstico faltante para terminar.*** El costo adicional esperado de una actividad, de un grupo de actividades o del proyecto.
- ***Costo real en la terminación.*** El costo total efectuado cuando se termine el proyecto.

Posteriormente, si se requiere, se pueden obtener “Avances Generales” los cuales consisten en porcentaje programado, completado y gastado. Todos estos parámetros calculados a partir de la técnica de valor ganado.

4.2.2. Índices y varianzas

Varianzas

Las varianzas son una herramienta utilizada para obtener un mejor entendimiento de las condiciones del proyecto. Por definición, corresponden a una diferencia entre dos valores dados para resaltar un comportamiento favorable o desfavorable. En estas diferencias, los valores positivos significan un comportamiento favorable.

Varianza del costo. Es la diferencia entre el valor ganado y Costo Real (VG – CR).
Identifica si el proyecto podrá ser completado dentro del presupuesto.

Varianza del programa. Corresponde a la diferencia entre el Valor Ganado y Costo Programado (VG – CP). Es importante notar que esta sustracción se realiza en el eje vertical del nuestra gráfica, que corresponde al eje de costos y no de duraciones (eje horizontal). Sin embargo, este valor se puede ver como el tiempo que toma ponerse al corriente del valor ganado al programado.

Índices

Los índices de desempeño son tasas de la administración del Valor Ganado que “proporcionan un entendimiento y ayuda a pronosticar el futuro del proyecto y al mismo tiempo determina áreas problemáticas.”²⁵

Idealmente, los índices deberían ser igual a la unidad, ya que el valor ganado y el costo real tendrían que ser iguales. Desafortunadamente, esta idealidad y la realidad no van de la mano y difícilmente se cumple. Por lo anterior, si los índices están debajo de 0.85 es un indicador de que existen problemas, debido a que las tasas no deben estar muy separadas una de otra (ver figura 12).

Índice de desempeño del costo. Es la razón obtenida de dividir el valor ganado entre el actual (VG/CR). Es utilizado para ayudar a determinar si el proyecto excederá el costo programado o por el contrario, necesitará de más recursos para terminar.

²⁵ STEPHENSON, Lance H. “Identifying risks and opportunities using EAC” *AACE International Transactions*. 2004. p CS6.2

Índice de desempeño de programa. Es la razón obtenida de dividir el valor ganado entre el programado. Ayuda a determinar si es necesario implementar una acción correctiva. Asimismo, indica si la terminación del proyecto estará retrasada, terminará antes de tiempo o en el tiempo programado.

Ambos índices pueden representarse en una sola gráfica y así compararse e identificar tendencias.

Otro índice que a menudo se utiliza es el Índice de costo y programa, el cual se obtiene de la multiplicación de los dos índices anteriores, es decir, $IDC \times IDP$. Ésta es solamente una ecuación matemática que muestra la correlación entre esos índices y es usada como indicador. Sin embargo, hay que ser sumamente cuidadosos al utilizar esta fórmula, ya que los resultados pueden ser engañosos si uno de los índices de la fórmula es superior a “1” y el otro es inferior a este número. Existen diversas fórmulas de éste índice que tratan de compensar esta desventaja.

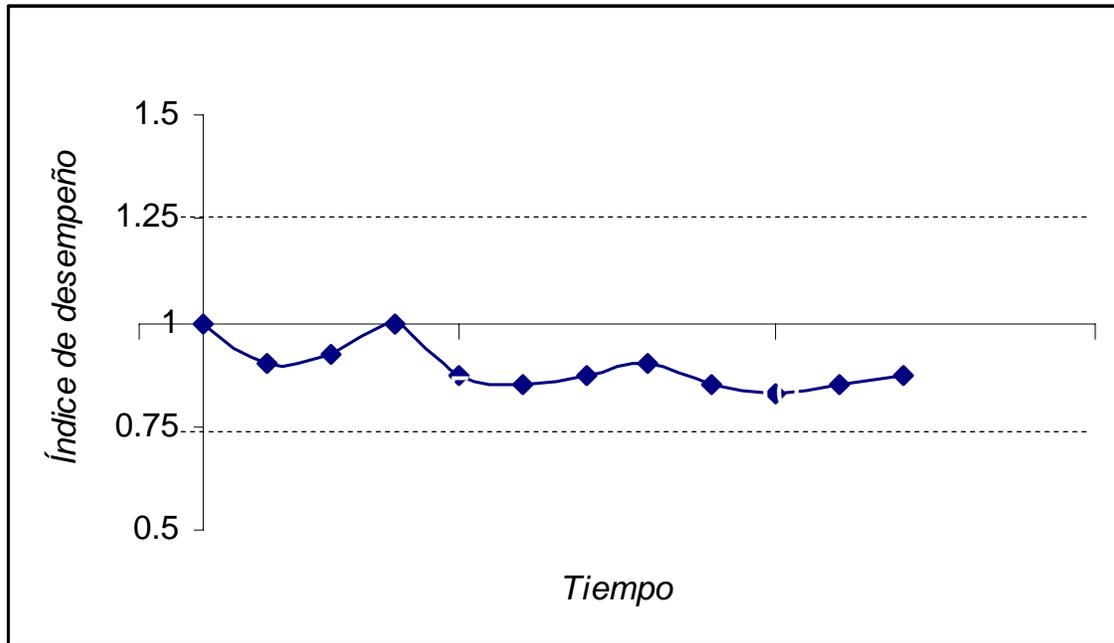


Figura 12. Índices de desempeño

4.2.3. Reportes de avances

Para poder monitorear y controlar el proyecto en una forma eficaz, además de realizar los análisis correspondientes en la etapa de control, deben comunicarse de acuerdo a la estructura de comunicación establecida por la organización. Estos análisis se deberán reportar (ya sea como reportes de trabajo o financieros) y posteriormente, comunicar al cliente y a la organización el avance del proyecto. Es importante que también se reporten las buenas noticias, ya que motiva al personal involucrado con los buenos resultados.

4.2.4. Control de cambios en un proyecto

A menudo, no está en manos de la organización que ocurran ciertos cambios, los cuales pueden ser benéficos o no para ella. Estos cambios pueden ser propuestos por el cliente, lo cual es benéfico si se traduce en una mayor paga; sin embargo, puede ser desfavorable si

hay un recorte del alcance del proyecto, y la organización debe evaluar hasta qué punto es conveniente este recorte. Además, la organización puede proponer adiciones o reducciones al proyecto. O simplemente, una desviación en el programa puede ocasionar que se tengan que hacer los cambios pertinentes para que el trabajo se adecue al programa. Todo esto debe seguir un procedimiento para evitar repetir un trabajo y así implementar las acciones pertinentes para que el trabajo que se deba llevar a cabo sea realizado.

Este control de cambios debe estar tipificado en el acuerdo contractual, donde se incluyan las provisiones necesarias para la revisión y aprobación (o desaprobación) de la propuesta.

Una vez hecho el cambio, de acuerdo al sistema propuesto por la organización, es necesario que se lleven a cabo las acciones pertinentes para este efecto y que se modifique la línea base según los cambios efectuados.

5. Metodología

5.1. Introducción

La investigación realizada para proponer esta metodología integra los temas expuestos en los capítulos 2, 3 y 4 de este trabajo. De esta forma, el análisis de riesgos de proyectos propuesto se realizará primeramente en la etapa de planeación de un proyecto para determinar si la organización está dispuesta a llevarlo a cabo de acuerdo a los umbrales de riesgo establecidos por ella. Para este trabajo, y en esta fase en particular, se identificarán y cuantificarán los riesgos para un proyecto IPC de una planta desmineralizadora de agua. La herramienta que se utilizará en este trabajo será la del AHP y a su vez, el programa computacional manejado será *Decision Plus*; todo esto presentado en el capítulo 6. Además, una vez identificados y cuantificados estos riesgos, se determinará una contingencia para poder afrontar los riesgos que se presenten en el proyecto.

El proceso de análisis de riesgos en la etapa de planeación ha sido ampliamente estudiado y aplicado en los últimos años, sin embargo, no basta con cuantificar y decidir si la organización emprenderá o no el proyecto. Es necesario que se controlen y monitoreen los riesgos a lo largo de su ciclo de vida, como lo señala el PMI en su guía: PMBoK. También es necesario que aunado a lo anterior, se integre el control del proyecto (en términos de tiempo, costo y calidad) con el de los riesgos.

Por las razones expuestas en el párrafo anterior, y en una segunda etapa, se propondrá un proceso que se llevará a cabo durante la ejecución del proyecto para llevar un adecuado control tanto de los riesgos como del proyecto mismo. Este proceso integrará los conceptos de riesgos y los parámetros de control. En los parámetros de control, se presentará específicamente el de Valor Ganado.

Por consiguiente, la metodología presentada en este trabajo para la administración de riesgos, comprende las fases de planeación y ejecución de un proyecto IPC.

5.2. Metodología utilizada en el ciclo de vida del proyecto

Como se mencionó en la primera parte de este capítulo, se dividirá en dos partes esta metodología, siendo la primera la referente al modelamiento de análisis de riesgos. Los diez pasos planteados son los propuestos por Dey, Tabucanon y Ogunlana (1994) y están enfocados a la etapa de planeación. De este modo, a continuación se planteará dicho procedimiento.

1. Dado que el WBS define el alcance del proyecto y al mismo tiempo da un mayor entendimiento del mismo, es necesario que se cuente con este documento para realizar este análisis. Este documento, que refleja los entregables del proyecto, ayudará a identificar más fácilmente los riesgos inherentes a cada proyecto. Es por esto, que cada vez más organizaciones incorporan esta práctica en la realización de sus proyectos, ya que permite descomponer todo el trabajo ejecutado durante el proyecto y así aumentan el control sobre los entregables. Sin embargo, cabe hacer notar que no todas las organizaciones ni todos los líderes de proyectos incorporan el WBS en su administración. Por tal motivo la aplicación de una metodología de administración de riesgos resultaría ineficaz, cuando una organización no cuenta con un adecuado control de proyectos.
2. Para poder aplicar la metodología del AHP, es necesario construir la jerarquía sobre la cual está basada. Por esta razón se tienen que identificar los factores y subfactores de riesgo que afectan al proyecto y de esta manera el analista de riesgos obtendrá como resultado una jerarquía que se podría considerar como el esqueleto del AHP. Como se señaló en el capítulo 2 de Administración de riesgos, existen distintas técnicas para identificar estos riesgos, las cuales son aplicables a este trabajo. La figura 13 muestra una clasificación “tipo” de los riesgos de un proyecto IPC. Estos riesgos son sólo enunciativos más no limitativos y pueden agregarse o retirarse de acuerdo a cada caso específico.

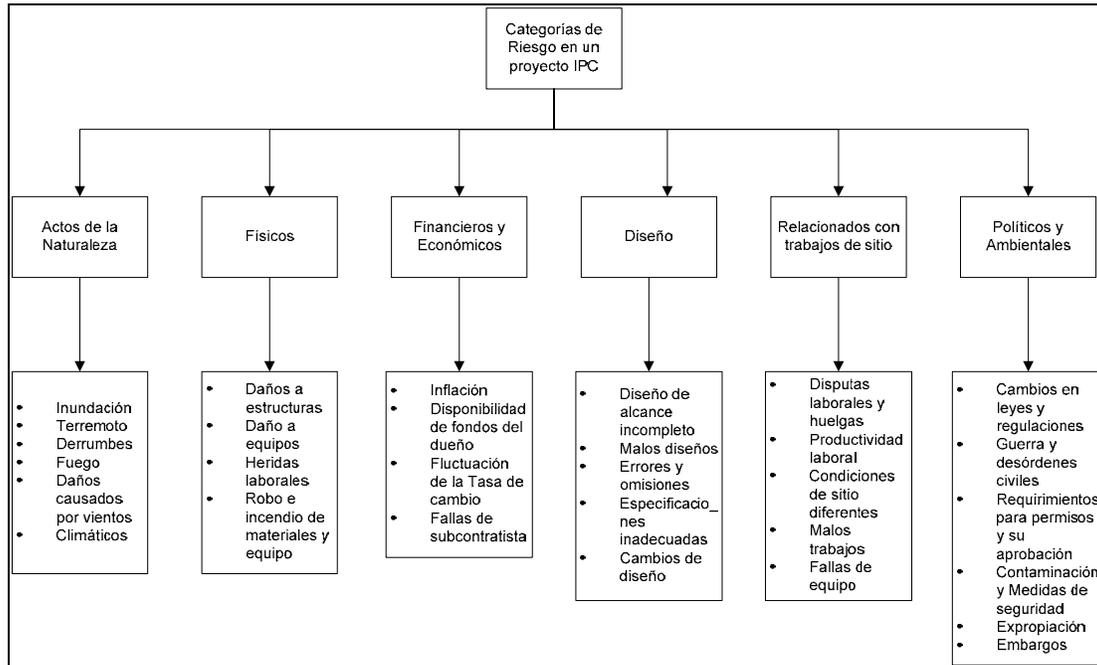


Figura 13. Jerarquía típica de un proyecto IPC²⁶

3. Aplicando los siete pasos propuestos por el AHP, se determinan los pesos relativos de los distintos factores y subfactores de riesgo conforme a las comparaciones par-a-par. Las comparaciones par-a-par están basadas en la escala de los nueve puntos de Saaty, en donde para este caso en particular, se comparan las veces que el experto entrevistado considera más probable que un factor o subfactor de riesgo ocurra en comparación con otro. Esto permite crear un análisis detallado de la clasificación de los factores y subfactores que se están analizando con respecto a su probabilidad.
4. El grado de probabilidad de cada subfactor se determina con respecto al nivel de riesgo bajo, medio o alto.

²⁶ MUSTAFA, Mohammad A. y Al-Bahar Jamal F. “Project risk assessment using the analytic hierarchy process” *IEEE Transactions on Engineering Management*. No. 1. Vol. 38; p. 48.

5. Las probabilidades de los niveles de riesgo se sintetizan y determinan. Es aquí donde las probabilidades totales de riesgo bajo, medio o alto se establecen al sumar los pesos relativos a través de la jerarquía.
6. Se efectúa un análisis de sensibilidad cuyo resultado es ampliamente dependiente de la jerarquía establecida por el analista (y la organización) y los juicios relativos hechos acerca de los distintos elementos del problema. Los cambios en la jerarquía o en los juicios ocasionarían que la obtención de resultados distintos debido a la *clasificación reversa*. Gracias a los paquetes computacionales con los que se cuenta hoy en día, es posible realizar distintos escenarios para determinar el efecto del cambio en lo previamente planeado, como lo es el programa *Decision Plus*.
7. Se determina el riesgo global del proyecto. Los niveles de probabilidad y los pesos de los diferentes niveles de riesgo se combinan para determinar los riesgos globales.
8. Los subfactores de riesgo son ponderados de acuerdo a su probabilidad. Se consideran aquellos que tengan mayor probabilidad de ocurrencia y un integrante experto del proyecto determina la severidad en tiempo y costo que esos riesgos pudieran tener en el proyecto.
9. Se obtiene la media y la desviación estándar de los riesgos en términos de tiempo. De esta forma se podrá calcular el tiempo y costo extra esperado en el proyecto mediante las siguientes expresiones

Sea μ la media, x la variable aleatoria y $p(x)$ la probabilidad de riesgo, entonces

$$\mu = \sum_x x \cdot p(x) \quad (7)$$

Por otro lado, sea σ la desviación estándar, se tiene que

$$\sigma = \sqrt{\sum_x (x - \mu)^2 p(x)} \quad (8)$$

10. Considerando un 90% de confianza en los resultados, se tiene la siguiente expresión para obtener el tiempo y el costo extra que tendrá el proyecto. Donde X_{tc} es el aumento en tiempo o costo que tendrá el proyecto, μ es la media, σ la desviación estándar y Z es el valor correspondiente de una distribución normal contra el valor de probabilidad (es decir 90% de confiabilidad).

$$Z = \frac{X_{tc} - \mu}{\sigma} \quad (9)$$

Como resultado de los diez pasos anteriores, tendremos la cuantificación de los riesgos y por consiguiente, la decisión por parte de la organización de emprender o no el proyecto.

A continuación, en la figura 14, se presenta un diagrama de flujo que esquematiza, de manera general, el procedimiento que involucra a la obtención de las probabilidades por medio del AHP para facilitar su comprensión.

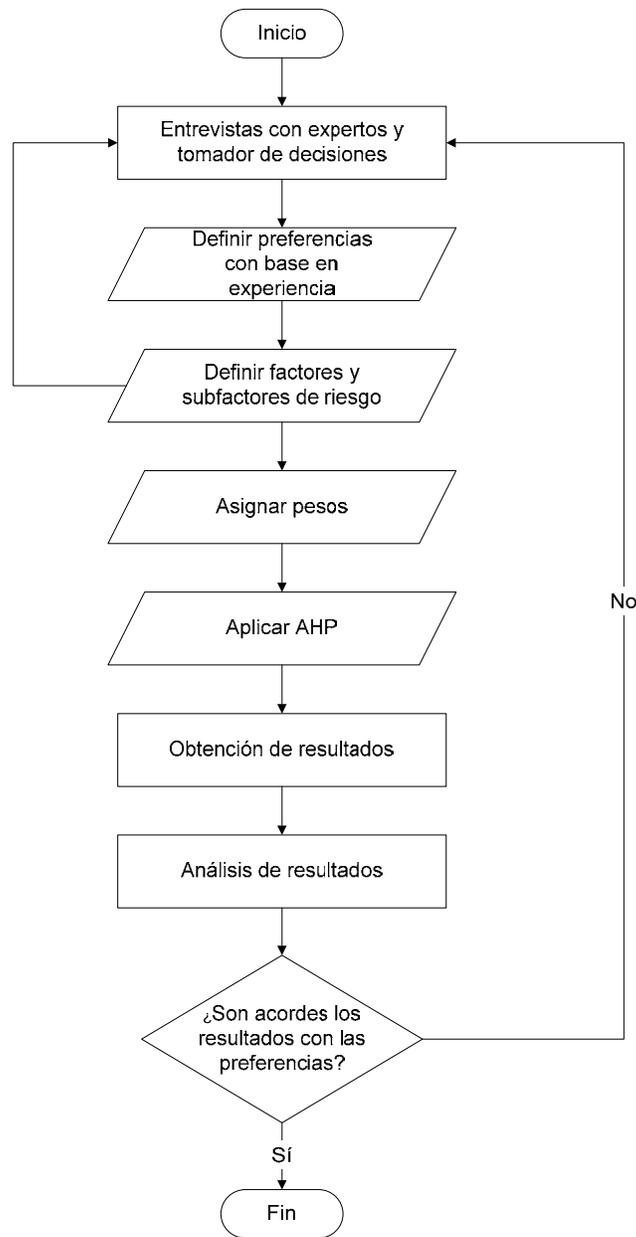


Figura 14. Diagrama de flujo AHP

La segunda parte de la metodología está enfocada a la ejecución del proyecto, es decir, que empieza desde el momento en que el proyecto es puesto en marcha. Su finalidad es ayudar a llevar un control adecuado de un proyecto complejo dado las incertidumbres y los riesgos

que lo rodean. Según Bender y Ayyub (2001) esto se alcanza gracias a que esta metodología busca aspectos potenciales que aporten alertas a los líderes de proyecto antes de la ocurrencia de los problemas.

Bender y Ayyub (2001) también argumentan que lo que se necesita [para llevar un adecuado control de proyectos] es una aplicación de un análisis de riesgos para ayudar a los líderes de proyecto a controlar los costos y que a su vez, sea relativamente simple de aplicar y pueda ser usado a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. Y no sólo esto, sino que también tome en cuenta la tendencia que tienen los profesionales y expertos para aplicar el riesgo en términos lingüísticos y aplicar así su experiencia. Apoyando esto, Blair (1999) afirma que la información requerida para llevar a cabo un análisis de riesgos a menudo se expresa en términos lingüísticos y por esta razón es difícil aplicar un clásico análisis cuantitativo.

En la segunda parte de esta metodología, se adaptará el proceso dinámico propuesto por Bender y Ayyub (2001) a proyectos IPC. Esta propuesta, plantea la combinación de los elementos de la Evaluación de los Riesgos con el análisis del Valor Ganado durante la ejecución de un proyecto y así fortalecer el control efectivo de los riesgos y del proyecto mismo.

Bender y Ayyub (2001), señalan que una de las dificultades para determinar los riesgos de costo y programa es establecer los factores, parámetros o rango de valores que deben aplicarse a las distribuciones de probabilidad usadas para representar la incertidumbre de los costos y del programa. En el caso de estudio y la metodología propuesta, la

determinación de los riesgos, es decir, su cuantificación, se realizará de acuerdo a la primera parte previamente tipificada. Así, el AHP será el encargado de cuantificar los riesgos de los proyectos IPC.

Es importante tener en cuenta que los riesgos que puedan causar un daño considerable al proyecto deben reducirse, eliminarse o controlarse de acuerdo a lo descrito en el capítulo 2 referente a administración de riesgos. Del mismo modo, la organización debe definir un umbral de aceptabilidad para los riesgos, y todos aquellos que sobrepasen este umbral deberán reducirse. Por otro lado, es recomendable que los riesgos que estén por debajo de este umbral se evalúen por la efectividad del costo con respecto a la reducción del riesgo.

Lo anteriormente descrito se puede visualizar en la parte superior de la figura 15, donde se tienen los eventos de riesgo definidos así como las probabilidades de ocurrencia gracias a los diez pasos de la primera etapa de esta metodología. Asimismo, en esta etapa ya se ha realizado la evaluación de los riesgos, donde la aceptabilidad de los riesgos es evaluada por la organización. Es entonces cuando se realiza un análisis de decisión para definir qué curso de acción tomará la organización ante los riesgos no aceptables y se realizará una retroalimentación para llegar a un consenso acerca del curso de acción. Los cursos de acción que se emprenderán una vez presentados los riesgos, se deben especificar en un formato especial para cada uno de ellos y a su vez, deben contener la siguiente información:

- Nombre del riesgo.
- Encargado del riesgo. Esta persona en la organización, que se encargará de aplicar las acciones necesarias para responder ante los riesgos o evitar que sucedan.

- Descripción del riesgo.
- La probabilidad y severidad del riesgo
- La estrategia de respuesta al riesgo, es decir, el curso de acción a seguir. Estas se obtendrán a partir de un consenso con expertos tanto del cliente como de la organización.
- Fecha y estatus del riesgo. El estatus puede corresponder a cuatro estados, los cuales son:
 - Abierto, para todos aquellos riesgos que se pueden presentar de acuerdo a la etapa del proyecto que esté en marcha en ese momento. Es decir, que si un riesgo es específico de la etapa de procura, su estatus será abierto simultáneamente en la fecha en que comience la procura.
 - Activo, si es que se presentó el riesgo.
 - Mitigado, si es que se ha reaccionado ante el riesgo.
 - Cerrado, si es que el riesgo no necesita ser monitoreado.

La ejecución del proyecto inicia desde el momento en que el cliente y el contratista firman el contrato para dar comienzo del proyecto y se ve reflejado debajo de la línea punteada de la figura 15, donde a medida que avanza el proyecto se actualizará la información requerida.

Posteriormente, las consecuencias y la evaluación de las probabilidades son revisadas y actualizadas conforme avanza el proyecto. Los formatos de respuesta al riesgo, en la parte correspondiente a la fecha y el estatus contemplan lo planteado en el enunciado anterior.

Como se observa en la figura 15, la combinación de la evaluación de los riesgos y el valor ganado se realiza al integrarlas y llevarlas a cabo conjuntamente. Para poder analizar adecuadamente el valor ganado, es necesario que se revisen las tendencias respecto al desempeño del proyecto, esto se puede observar al graficar y comparar el costo programado contra el costo real y el ganado. De esta manera se podrá analizar y organizar la información para responder ante cualquier contratiempo y eventualidad.

Aceptabilidad de los riesgos

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, es necesario que la organización defina los umbrales de aceptabilidad de los riesgos, es por esto que en la parte superior derecha de la figura 15 se señala que debe contemplarse un curso de acción para resolver cualquier problema o eventualidad ante la presencia de uno o más riesgos. Lo anterior se sigue a detalle en los formatos de respuesta al riesgo mostrados a detalle en el apéndice B. Esta estrategia de respuesta corresponderá a las definidas en el capítulo 2 donde las acciones para responder a un riesgo pueden ser la mitigación, transferencia, aceptación o el evitarlo. De esta manera, se asegura que se monitorearán y controlarán los riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Actualización de la evaluación del riesgo y del valor ganado

Dada la naturaleza dinámica de este proceso, no se debe invertir demasiado tiempo en este análisis y debe revisarse en intervalos de tiempo determinados. Este dinamismo incluirá la actualización de la ER y las gráficas de Valor Ganado.

Como se muestra en la parte inferior derecha de la figura, es recomendable que la información de ER y VG sea recolectada mensualmente. Adicionalmente, la revisión de la ER de los perfiles de riesgo se hace junto con el VG.

Cuando se actualizan los nuevos valores de ER y VG se determina si existe una varianza en el comportamiento o en las tendencias. Si se presentan varianzas, es necesario conocer las razones por las cuales se presentaron y esto permitirá actuar oportunamente. En caso de que no se presenten dichas varianzas, el monitoreo continua a través de las actualizaciones mensuales.

Análisis de Decisión en la etapa de ejecución

Es necesario tener un plan de acción como se muestra en la parte inferior izquierda de la figura 15. Este proceso de decisión definirá cómo un riesgo en particular será mitigado. Las técnicas recomendadas por Bender y Ayyub (2001) son las de árboles de decisión o árbol de metas para seleccionar la mejor estrategia. Sin embargo, los autores señalan que el árbol de metas es más conveniente debido al tiempo, la disponibilidad de información precisa y debido a que es rápido, sistemático y simple.

Los autores mencionan a su vez, que el tiempo en un proyecto es vital y las decisiones deben tomarse oportunamente para no afectar el resultado del proyecto.

Control en la etapa de ejecución

En esta etapa del ciclo de vida del proyecto, la gerencia debe emprender las acciones necesarias para corregir las varianzas observadas. Una vez que se actúe, los resultados

deben ser monitoreados para su máxima efectividad. Este proceso continúa hasta que el proyecto termine.

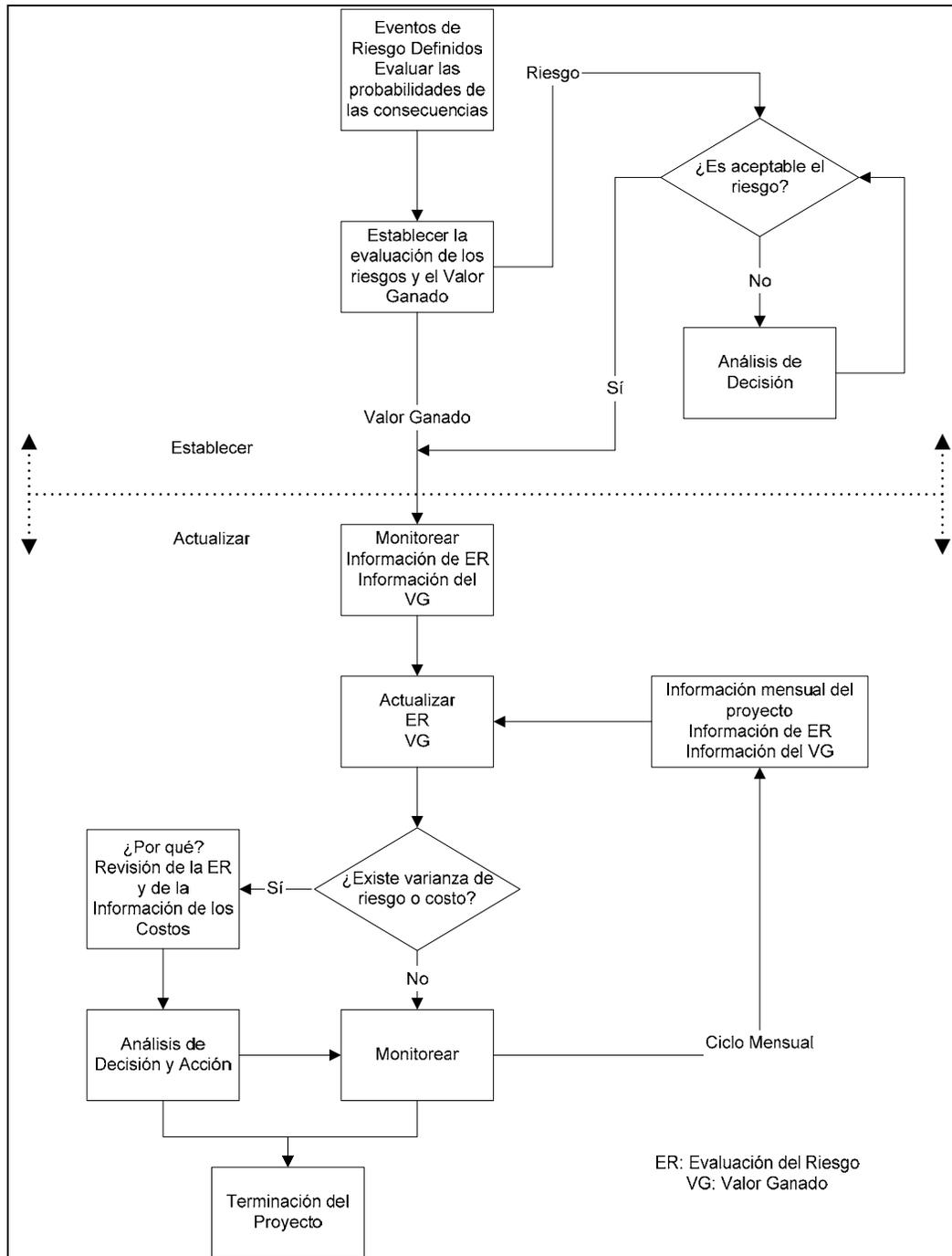


Figura 15. Análisis combinado de Evaluación de Riesgos y Valor Ganado.²⁷

²⁷ BENDER, William .J y Ayyub Bilal M. “Risk-based cost control for construction” *AACE International Transactions*; 2001; p. CSC.01.6

6. Caso de Estudio

6.1. Introducción

Con el propósito de ejemplificar la metodología propuesta, es necesario que se exponga mediante un caso de estudio su validez y desempeño. Sin embargo, no se debe olvidar que cada proyecto emprendido es, como lo sugiere su definición, único. Por esta razón, a pesar de que la metodología es la misma, los riesgos que en cada proyecto se presenten variarán de acuerdo a sus situaciones específicas. De este modo, al comenzar la identificación de los riesgos de un proyecto, podrán añadirse o eliminarse de la base de datos de riesgos aquellos que sean necesarios.

Asimismo, con el caso práctico se pretende mostrar la aplicación del AHP en la administración de proyectos de ingeniería, procura y construcción (IPC) específicamente enfocado a la etapa de control.

6.2. Presentación y descripción del caso de estudio

El caso de estudio analizado corresponde al proyecto IPC de una unidad desmineralizadora de agua (UDA), ubicada en la Refinería de Tula, Hidalgo, con un costo de 15,000,000 USD y una duración total de 15.7 meses (470 días). El WBS del proyecto, la relación del equipo, así como el diagrama de tubería e instrumentación se presentan en los apéndices C, D y E respectivamente. Asimismo, la metodología aplicada, como se mencionó en el capítulo 5, está dividida en dos etapas, siendo la primera de ellas la fase correspondiente a la identificación y cuantificación de los riesgos del proyecto, la cual, se lleva a cabo en la etapa de planeación. La segunda fase está orientada al control tanto del proyecto como de los riesgos y se lleva a cabo durante la ejecución del proyecto.

6.3. Metodología

La metodología es descrita a detalle en el capítulo 5 de este trabajo, de manera que en este capítulo, se aplicará ésta al caso de estudio.

6.4. Resultados

Como primer paso en la fase de cuantificación de los riesgos establecido en la metodología, se tiene la obtención del WBS del proyecto, que para este caso se muestra en el apéndice C. A partir de este documento, se identifican los riesgos y se estructuran en una jerarquía cuya meta es el analizar los riesgos para la ejecución exitosa del proyecto IPC de una UDA. En la figura 16 se muestra esta jerarquía, donde en la parte superior se muestra la meta, seguida del primer nivel que corresponde a los factores de riesgo, y posteriormente del segundo nivel, el cual es el de los subfactores de riesgo. En el último nivel se presentan las alternativas, que son los niveles de riesgo alto, medio y bajo.

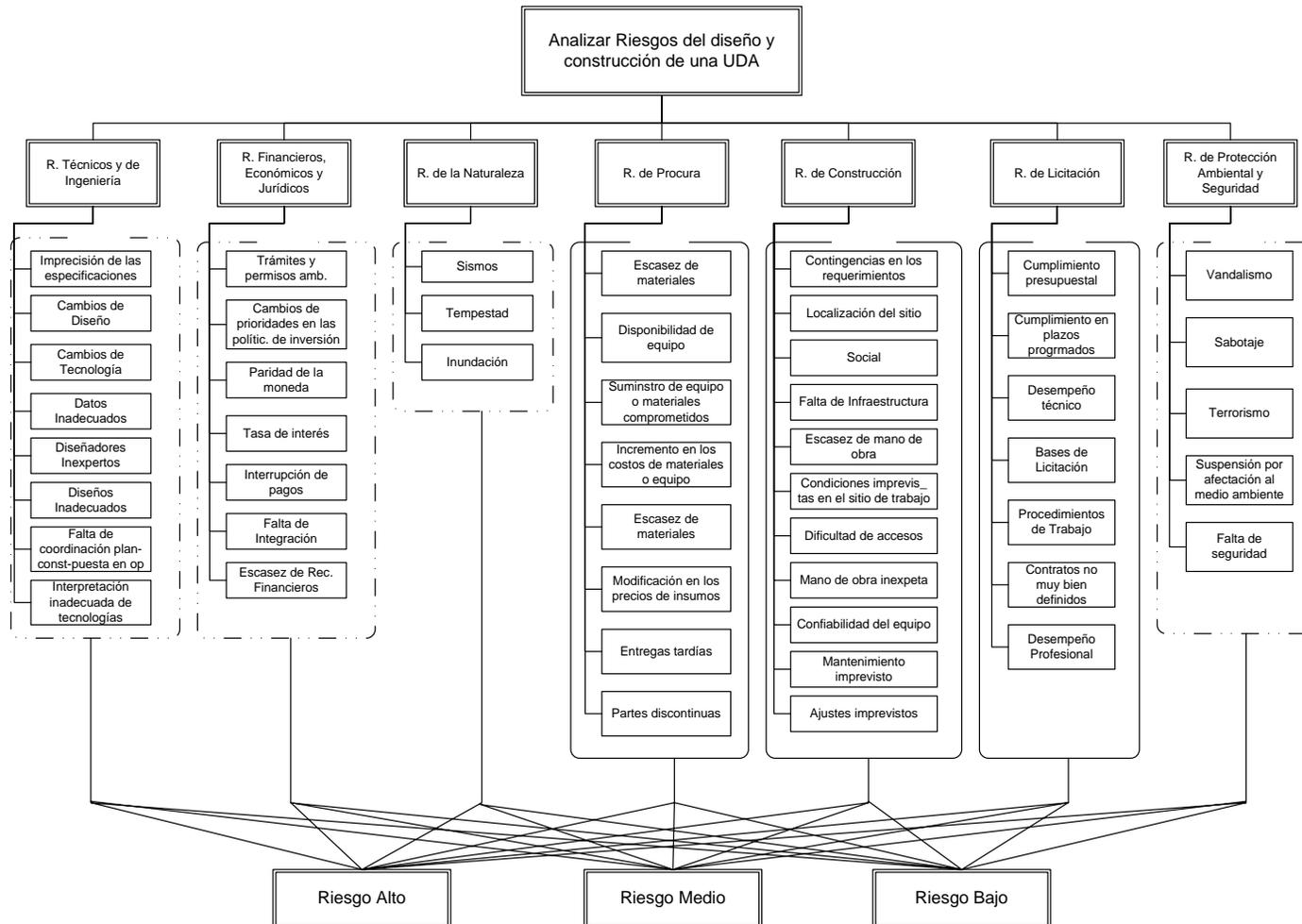


Figura 16. Estructura jerárquica de los riesgos de una UDA.²⁸

²⁸Figura elaborada por la sustentante

El programa computacional utilizado es *Decision Plus*, en donde se obtienen los pesos de los factores y subfactores de riesgo y por ende, de los niveles de riesgo establecidos. Esto se determina a través de las comparaciones par-a-par, que se presentan a detalle en el apéndice A de este trabajo. Asimismo, se presentan los “índices de consistencia” para cada matriz. Este índice, como se mencionó en el capítulo 3, asegura que no existan incongruencias en las comparaciones hechas en la matriz, además, este valor debe ser menor a 0.10.

En las tablas 4 y 5 se pueden observar los resultados obtenidos relativos a los factores y subfactores de riesgo.

Tabla 4. Pesos obtenidos de los factores y subfactores de riesgo.²⁹

Factores		Subfactores		Nivel de riesgo		
Factores de riesgo	p(x)	Subfactor	p'(x)	Alto	Medio	Bajo
Riesgos Técnicos y de Ingeniería	0.091	Cambios de diseño	0.022	0.0020	0.0048	0.0152
		Cambios de Tecnología	0.002	0.0001	0.0004	0.0018
		Datos inadecuados	0.020	0.0135	0.0047	0.0016
		Diseñadores inexpertos	0.005	0.0004	0.0018	0.0030
		Diseños inadecuados.	0.004	0.0003	0.0031	0.0008
		Imprecisión de las especificaciones	0.013	0.0088	0.0030	0.0011
		Falta de coordinación, planeación-construcción puesta en operación	0.009	0.0026	0.0057	0.0007
		Interpretación inadecuada de tecnologías	0.015	0.0043	0.0096	0.0014
Riesgos Financieros, Económicos y Jurídicos	0.392	Trámites y permisos ambientales	0.009	0.0010	0.0016	0.0068
		Cambios de prioridades en las políticas de inversión	0.027	0.0021	0.0077	0.0169
		Paridad de la moneda	0.047	0.0046	0.0250	0.0170
		Tasa de interés	0.044	0.0037	0.0283	0.0119
		Interrupción de pagos	0.073	0.0448	0.0195	0.0085
		Falta de integración	0.118	0.0096	0.0681	0.0404
		Escasez de recursos financieros	0.074	0.0466	0.0177	0.0102
Riesgos de la Naturaleza	0.025	Sismos	0.003	0.0002	0.0004	0.0024
		Tempestad	0.014	0.0010	0.0039	0.0091
		Inundación	0.008	0.0005	0.0023	0.0051

²⁹ Tabla elaborada por la sustentante

Tabla 5. Continuación de los pesos obtenidos de los factores y subfactores de riesgo.³⁰

Factores		Subfactores		Nivel de riesgo		
Factores de riesgo	p(x)	Subfactor	p'(x)	Alto	Medio	Bajo
Riesgos de Procura	0.229	Disponibilidad de equipo	0.063	0.0095	0.0138	0.0398
		Suministro de equipos o materiales comprometidos	0.023	0.0170	0.0040	0.0016
		Incremento en los costos de materiales o equipo	0.036	0.0056	0.0214	0.0090
		Escasez de materiales	0.019	0.0144	0.0034	0.0013
		Modificación en los precios de insumos	0.012	0.0014	0.0024	0.0081
		Entregas tardías	0.069	0.0253	0.0401	0.0035
		Partes discontinuas	0.007	0.0004	0.0012	0.0054
Riesgos de Construcción	0.181	Contingencias en los requerimientos	0.035	0.0047	0.0082	0.0216
		Localización del sitio	0.003	0.0002	0.0004	0.0026
		Social	0.004	0.0003	0.0006	0.0035
		Falta de infraestructura	0.007	0.0005	0.0011	0.0050
		Escasez de mano de obra	0.007	0.0006	0.0015	0.0049
		Condiciones imprevistas en el sitio de trabajo	0.010	0.0037	0.0055	0.0008
		Dificultad de accesos	0.005	0.0003	0.0006	0.0038
		Mano de obra inexperta	0.011	0.0030	0.0068	0.0013
		Confiabilidad del equipo	0.047	0.0249	0.0157	0.0066
		Mantenimiento imprevisto	0.033	0.0079	0.0227	0.0027
Ajustes imprevistos	0.019	0.0019	0.0064	0.0109		
Riesgos de Licitación	0.05	Cumplimiento presupuestal	0.008	0.0007	0.0042	0.0027
		Cumplimiento de plazos programados	0.005	0.0004	0.0028	0.0017
		Desempeño técnico	0.014	0.0034	0.0097	0.0008
		Bases de licitación	0.005	0.0003	0.0017	0.0026
		Procedimientos de trabajo	0.002	0.0001	0.0002	0.0011
		Contratos no muy bien definidos	0.015	0.0057	0.0086	0.0011
		Desempeño profesional	0.002	0.0002	0.0004	0.0014
Riesgos de Protección Ambiental y Seguridad	0.031	Vandalismo	0.002	0.0002	0.0003	0.0016
		Sabotaje	0.002	0.0002	0.0003	0.0016
		Terrorismo	0.001	0.0001	0.0001	0.0008
		Suspensión por afectación al medio ambiente	0.011	0.0011	0.0025	0.0074
		Falta de seguridad	0.015	0.0026	0.0104	0.0017

A continuación se muestra en las figuras 17 y 18 el análisis de sensibilidad realizado al factor Riesgos financieros, económicos y jurídicos y al subfactor: falta de integración. Este factor y subfactor fueron seleccionados para este análisis debido a su contribución en la probabilidad del proyecto.

³⁰ Tabla elaborada por la sustentante

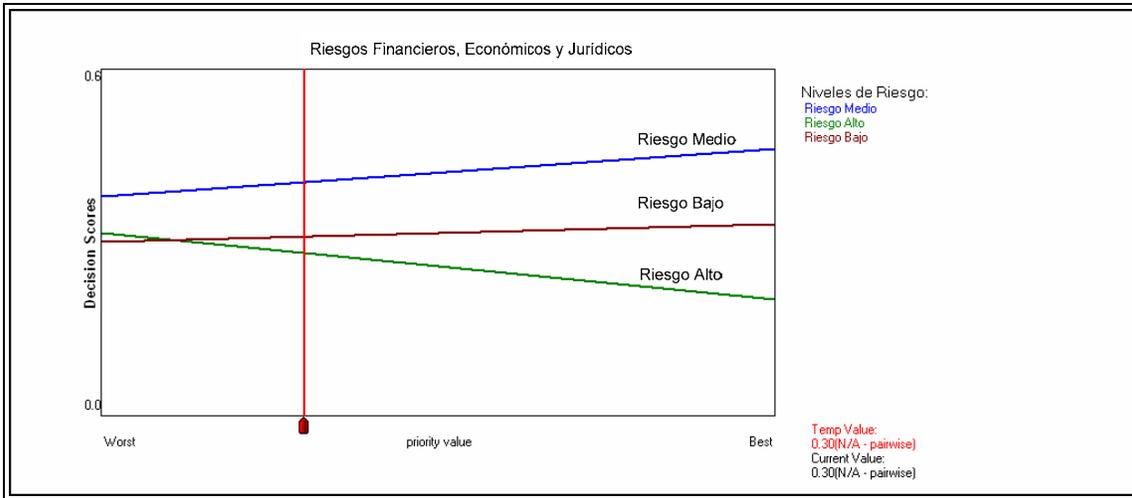


Figura 17. Análisis de sensibilidad del factor Riesgos financieros, económicos y jurídicos³¹

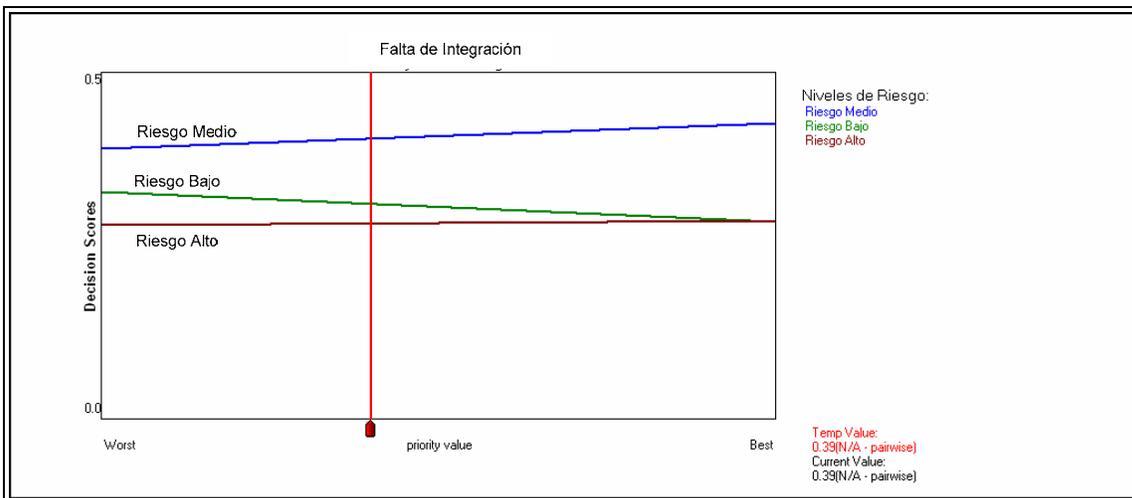


Figura 18. Análisis de sensibilidad del subfactor falta de integración.³²

Los subfactores de riesgo son ponderados de acuerdo a su probabilidad. Se consideran aquellos cuya probabilidad de ocurrencia es mayor al 1.5%, y se muestran en la tabla 6. Mediante esta priorización, para este caso de estudio, se tiene que el umbral que la

³¹ Figura generada mediante el programa *Decision Plus*

³² Figura generada mediante el programa *Decision Plus*

organización establecerá será aquel cuyos riesgos rebasen el 1.5% como peso global en el proyecto.

Tabla 6. Priorización de los riesgos según su probabilidad.³³

<i>Factores de Riesgo</i>	<i>Subtotal</i>	<i>Subfactores de riesgo</i>	<i>Probabilidad</i>
R. Técnicos y de Ingeniería	0.057	Cambios de diseño	0.022
		Datos inadecuados	0.020
		Interpretación inadecuada de tecnologías	0.015
R. Financieros, Económicos y Jurídicos	0.383	Cambios de prioridades en las políticas de inversión	0.027
		Paridad de la moneda	0.047
		Tasa de interés	0.044
		Interrupción de pagos	0.073
		Falta de integración	0.118
		Escasez de recursos financieros	0.074
R. de Procura	0.210	Disponibilidad de equipo	0.063
		Suministro de equipos o materiales comprometidos	0.023
		Incremento en los costos de materiales o equipo	0.036
		Escasez de materiales	0.019
		Entregas tardías	0.069
R. de Construcción	0.134	Contingencias en los requerimientos	0.035
		Confiabilidad del equipo	0.047
		Mantenimiento imprevisto	0.033
		Ajustes imprevistos	0.019
R. de Licitación	0.015	Contratos no muy bien definidos	0.015
R. de Protección Ambiental y Seguridad	0.015	Falta de seguridad	0.015
		Suma de probabilidades	0.814

Como se puede observar de la tabla anterior, la suma de las probabilidades es de 81.4%. Es decir, que la ponderación de los riesgos considerados abarca este porcentaje, y el 18.6% restante no se considera en la evaluación cuantitativa por no ser significativo, ya que su probabilidad de ocurrencia es muy baja.

³³ Tabla elaborada por la sustentante

Posteriormente, se determina la severidad en tiempo y costo que tiene cada subfactor de riesgo que fue ponderado de acuerdo a su probabilidad. Esta severidad se muestra en la tabla siguiente.

La severidad de los riesgos, se obtiene a partir de un estimado basado en la experiencia de los especialistas de cada área del proyecto. Sin embargo, si se tiene una base de datos de proyectos anteriores, se puede tener una relación de las actividades con más retrasos y/o los riesgos más concurrentes a lo largo de un determinado lapso de tiempo. Si se cuenta con esta base de datos, puede obtenerse la severidad mediante un estudio minucioso de ésta, como podría ser mediante un estimado estadístico.

Dado que para este caso de estudio no se cuenta con dicha base de datos, la opinión y experiencia de los especialistas aunado con el análisis que de cada impacto potencial se toma como criterio para definir el impacto en tiempo y costo para cada riesgo y subfactor de riesgo.

Tabla 7. Severidad de los subfactores de riesgo más importantes.³⁴

Subfactores de riesgo	Probabilidad			Severidad (retrasos y sobrecostos)	
	Alta	Media	Baja	Tiempo (días)	Costo (USD)
Cambios de diseño	0.002	0.005	0.015	30	500,000
Datos inadecuados	0.014	0.005	0.002	20	750,000
Interpretación inadecuada de tecnologías	0.004	0.010	0.001	20	250,000
Cambios de prioridades en las políticas de inversión	0.002	0.008	0.017	30	350,000
Paridad de la moneda	0.005	0.025	0.017	60	1,000,000
Tasa de interés	0.004	0.028	0.012	45	250,000
Interrupción de pagos	0.045	0.020	0.009	100	1,500,000
Falta de integración	0.010	0.068	0.040	30	450,000
Escasez de recursos financieros	0.047	0.018	0.010	50	745,000
Disponibilidad de equipo	0.010	0.014	0.040	25	130,000
Suministro de equipos o materiales comprometidos	0.017	0.004	0.002	40	175,000
Incremento en los costos de materiales o equipo	0.006	0.021	0.009	20	150,000
Escasez de materiales	0.014	0.003	0.001	25	115,000
Entregas tardías	0.025	0.040	0.004	60	200,000
Contingencias en los requerimientos	0.005	0.008	0.022	15	100,000
Confiabilidad del equipo	0.025	0.016	0.007	20	250,000
Mantenimiento imprevisto	0.008	0.023	0.003	15	100,000
Ajustes imprevistos	0.002	0.006	0.011	14	50,000
Contratos no muy bien definidos	0.006	0.009	0.001	40	300,000
Falta de seguridad	0.003	0.010	0.002	30	200,000

Mediante las ecuaciones (7) y (8), se obtiene la media μ y desviación estándar σ de los subfactores de riesgo para cada probabilidad de riesgo (alta, media y baja). En la tabla siguiente se presentan los datos obtenidos.

$$\mu = \sum_x x \cdot p(x) \tag{7}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_x (x - \mu)^2 p(x)} \tag{8}$$

³⁴ Tabla elaborada por la sustentante

Tabla 8. Media y desviación estándar de los escenarios del proyecto.³⁵

Probabilidad	Escenario	Tiempo (días)		Costo (USD)	
		Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.
Alta	Pesimista	12	25	146,241	35,156
Media	Más probable	13	22	142,380	43,541
Baja	Optimista	7	15	86,567	37,303

Por último, se calcula el tiempo y el costo extra que tendrá cada escenario mediante la ecuación (9),

$$Z = \frac{X_{tc} - \mu}{\sigma}$$

donde Z es igual a 1.29 de acuerdo al 90% de confiabilidad, y X_{tc} será la variable de tiempo o costo a calcular, por lo tanto,

$$X_{tc} = Z \cdot \sigma + \mu \quad ec.(10)$$

De acuerdo a lo anterior, se presentan los siguientes resultados en la tabla 9.

Tabla 9. Contingencias para los distintos escenarios del proyecto.³⁷

Escenario	Tiempo Extra (días)	Costo Extra (USD)
Pesimista	44	191,593
Más probable	42	198,547
Optimista	27	134,688

Por otro lado, como propone la metodología, se definen los cursos de acción que se tomarán en caso que se presenten los riesgos con un umbral superior al 1.5% de

³⁵ Tabla elaborada por la sustentante

³⁶ WALPOLE, Ronald E, Myers Raymond H. y Myers Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Sexta edición. Traducción, Ricardo Cruz. Ed. Pearson Educación. México, 1998, p. 243

³⁷ Tabla elaborada por la sustentante.

probabilidad de ocurrencia. Estos cursos de acción se presentan en la tabla 10, donde además de incluir este dato, se reportan también el las consecuencias y la evaluación de las probabilidades que son revisadas y actualizadas conforme avanza el proyecto (tipificadas en el estatus del riesgo). La tabla 10 sólo presenta uno de los riesgos, pero los formatos y las estrategias de respuesta al riesgo son presentados en el apéndice B.

Tabla 10. Formato del riesgo: Cambio de diseño para el proyecto IPC de una UDA.³⁸

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 1	Encargado del riesgo: Gerente de Ingeniería
Nombre del riesgo: Cambios de diseño	
Descripción: Cambios de diseño en el proyecto, lo que ocasiona un incremento en tiempo y costo para ejecutar el nuevo diseño	
Probabilidad del riesgo: 2.2%	
Severidad	
Tiempo (días): 30	
Costo (USD): 500,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigación:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Tener un sólido sistema de administración de cambios dentro de la organización. • Cláusulas para cambios de alcance en cuanto a tiempo y costo. 	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

6.5. Análisis de resultados

Como se puede observar de las tablas 4 y 5, los factores de riesgo con mayor probabilidad de ocurrencia son, en primer lugar los Riesgos Financieros, Económicos y Jurídicos con una probabilidad de 0.392; seguido de los Riesgos de Procura con un valor de 0.229 y posteriormente los Riesgos de Construcción con 0.181.

³⁸ RAKOS, John.J. *et. al. The practical guide to project management documentation* Editorial John Wiley and sons. New Jersey, 2004, p 160.

Como se expuso en la descripción del capítulo referente al AHP, esto se basa en la comparación par-a-par que tipifica las veces que es más probable que un evento se lleve a cabo con respecto a otro. De esta forma, siguiendo la experiencia de los participantes del proyecto y dada la magnitud del mismo, se identifica que los riesgos Financieros, Económicos y Jurídicos son los que tienen una mayor probabilidad de ocurrencia. Los riesgos de Procura también se encuentra con una probabilidad “alta” debido a que algunos de los equipos que se van a adquirir provendrán del extranjero, lo cual, aumenta esta probabilidad de riesgo.

Por otro lado, se tiene la obtención de una probabilidad relativamente baja (0.091) en los riesgos Técnicos y de Ingeniería, con respecto a los factores de riesgo mencionados en el párrafo anterior. Esto se debe a que la tecnología empleada para este proyecto es ampliamente conocida por la organización que lleva a cabo este proyecto y por lo tanto, no se considera como factor crítico.

Relativo a los subfactores de riesgo, en la tabla 6 se presentan aquellos cuya probabilidad global resultó ser superior a 1.5%, y sumando estos valores, se tiene una probabilidad de ocurrencia de 81.4%, lo cual nos da una muestra significativa para la posterior cuantificación de los riesgos.

A continuación se presenta en la tabla 7 la severidad en términos de tiempo y costo de los riesgos jerarquizados. Aquí se puede observar el impacto que tienen aquellos riesgos en el proyecto si llegan a ocurrir. Del mismo modo, se observa que los riesgos que tienen una

mayor severidad en el proyecto son la interrupción de pagos por parte del cliente, la paridad de la moneda debido a que el proyecto es en dólares americanos, la escasez de recursos financieros debido a la magnitud del proyecto y posteriormente los datos inadecuados.

Posteriormente, en la tabla 8 se muestra tanto la media como la desviación estándar en términos de tiempo y costo para los escenarios del proyecto, los cuales se denominan pesimista, más probable y optimista. Es importante hacer notar que las desviaciones estándar tan “altas”, obtenidas respecto a sus medias (μ), son debido a que las severidades de los riesgos con probabilidad más alta (ver tabla 7) varían de acuerdo al impacto que puede tener cada riesgo, y cabe hacer notar que esta variación es considerable.

En la tabla 9, finalmente se observan las contingencias en tiempo y costo para el proyecto obtenidas a partir de la ecuación (10) y los resultados de la tabla 8. Al analizar los resultados, se tiene que los escenarios “pesimista” y “más probable” son muy parecidos, esto se debe a que estos resultados siguen el comportamiento de una distribución beta³⁹ (Grey, 2000), como se puede observar de la siguiente figura.

³⁹ La distribución beta es una distribución de probabilidad sesgada caracterizada por una curva “suave” que es utilizada a menudo en los análisis de riesgos para describir la incertidumbre en la probabilidad de ocurrencia de un evento dado.

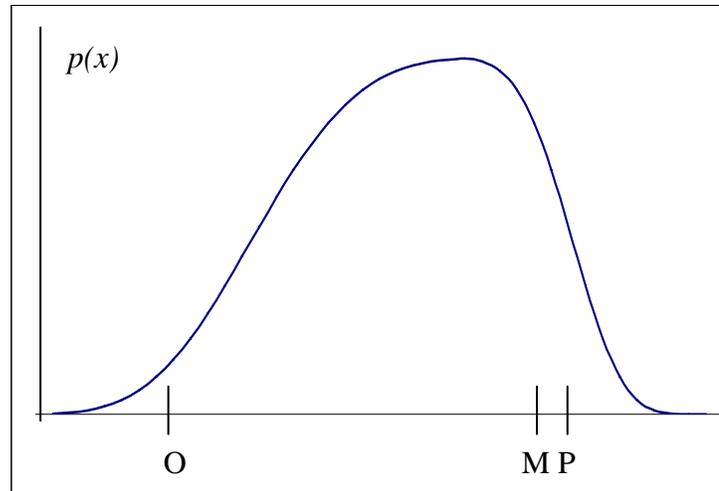


Figura 19. Distribución beta

La figura 19 muestra una distribución beta donde los puntos graficados corresponden a los puntos optimista (O), más probable (M) y pesimista (P). Aquí se muestra gráficamente de forma representativa cómo los puntos más probable y pesimista son muy cercanos debido a la forma sesgada que caracteriza a este tipo de curvas.

Con respecto al análisis de sensibilidad realizado al subfactor: falta de integración, el cual tiene una contribución global al proyecto de 0.118, se tiene que es el subfactor que aporta la mayor probabilidad al proyecto estudiado. Por tal razón, se puede observar en la figura 18 que los cambios en la importancia relativa con respecto a los demás subfactores de los riesgos financieros económicos y jurídicos, no cambian el hecho de que siga siendo un riesgo medio.

Algo similar ocurre con los riesgos financieros económicos y jurídicos, ya que como se puede observar en la figura 17, la importancia relativa con respecto a los riesgos de su nivel no afecta el hecho de que sea un riesgo medio.

6.6. Conclusiones del caso de estudio

Finalmente, como resumen ejecutivo se tiene que,

“Se determina que con una confiabilidad de 90%, el tiempo adicional al planeado, en el escenario más probable, si no se tiene un control adecuado de los riesgos y del proyecto, será de 42 días, y un costo extra de 198,547 USD, que es un monto considerable para la compañía ejecutora del proyecto, el cual representa un 1.32% de su costo total.

Lo anterior nos indica que se debe tener especial atención con los retrasos en tiempo, ya que 42 días representan casi un mes y medio más de los 16 meses con los que fue planeado el proyecto. Considerando que existen cláusulas de los contratos que tipifican multas por exceder el tiempo de entrega establecido, si se excede este tiempo se incurriría en una multa, que tendría que considerarse adicional al costo establecido para este proyecto e independiente de la valoración de los 198,547 USD; esto quiere decir que la desviación del presupuesto sería más grande de acuerdo a la cláusula de multa.

Del caso de estudio, se observa que se tiene una mejor calidad de la información sobre los posibles riesgos que afectan al proyecto, lo cual, mejorará las decisiones y por lo tanto, se esperaría que se mejore el desempeño organizacional y la probabilidad de éxito.

7. Conclusiones y Recomendaciones

La necesidad de contar con elementos realistas para la evaluación de riesgos de proyectos aumenta día con día, ya que toda empresa debe mantenerse competitiva en el mercado. Esto nos lleva a que todo administrador de proyectos requiere del conocimiento de la probabilidad que tiene cada proyecto que está emprendiendo para concluir exitosamente. Lo cual, le ayuda a llevar a cabo acciones que minimicen o eliminen el impacto de aquellos riesgos.

Mediante este trabajo de tesis se llega a las siguientes conclusiones y recomendaciones en la administración de riesgos de proyectos de ingeniería enfocados a la etapa de control.

7.1. Conclusiones

- Al aplicar el método del AHP en la administración de riesgos de proyectos, se puede contribuir a mejorar el desempeño de las organizaciones que llevan a cabo proyectos IPC ya que aumentará la probabilidad de terminar exitosamente cada proyecto emprendido.

- Existen distintas metodologías para la cuantificación de riesgos de proyectos, sin embargo, no se pueden generalizar; cada proyecto IPC requiere su propio estudio particular, de acuerdo lo defina previamente la organización.
- El análisis de riesgos de proyectos representa una herramienta poderosa para identificar, cualificar y cuantificar los riesgos que pueden amenazar a un proyecto.
- Mediante el método AHP, es posible cuantificar los riesgos de un proyecto IPC. Obteniendo como resultado los retrasos en tiempo y costo que en dicho proyecto se pueden presentar.
- Utilizando el método AHP en la administración de riesgos de proyectos, se genera una serie de probabilidades y rangos del proyecto para concluir en tiempo y costo, de acuerdo a los escenarios planteados.
- La determinación de la contingencia, permite planear y controlar las respuestas a los riesgos que se logren materializar. En especial cuando se tienen cláusulas de multa por terminación tardía del proyecto, sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que el proyecto debe ser competitivo para así, poder ganar la adjudicación del proyecto.
- El adecuado control de los riesgos permitirá mantener el costo total del proyecto dentro de los límites establecidos del presupuesto.
- Al aplicar la metodología propuesta en este trabajo, es una herramienta más que ayuda a controlar conjuntamente, tanto los riesgos del proyecto como el proyecto mismo.
- Mediante la integración de la administración de riesgos y el control de proyectos en la metodología propuesta, se proporciona un marco estructurado para tomar decisiones durante la etapa de planeación y ejecución de proyectos y así poder responder ante las desviaciones de programa y costo que ocurran.

7.2. Recomendaciones

- Es recomendable que las organizaciones que desarrollen proyectos IPC, implementen la administración de riesgos de proyectos a su cultura para aumentar la probabilidad de terminar con éxito los proyectos que emprendan, considerando en la

contingencia el costo adicional en que puedan incurrir, sin ser demasiado y que ponga en riesgo la competitividad del proyecto.

- Es necesario que se cuente con una base de datos de los riesgos que se han presentado en los proyectos, asimismo, una vez contando con ellos, se debe hacer un análisis de los riesgos que pueda presentarse en cada proyecto y añadirse o eliminarse los que sean necesarios de acuerdo a la naturaleza y características de los proyectos.
- Tener un completo entendimiento del AHP, lo cual, facilitará su aplicación. Esto permitirá conocer las limitaciones (como la clasificación reversa, la obtención del peso de los criterios, la supuesta falta de bases teóricas firmes y la escala de los nueve puntos) que presenta este método y de este modo, se podrá responder ante las “inconsistencias” inherentes a este proceso.
- Para futuros trabajos, se recomienda comparar el método Rembrandt con el AHP e inclusive con otros métodos multicriterio para comparar los distintos métodos de toma de decisiones multicriterio.

8. Bibliografía

1. *A guide to the project management body of knowledge*. Project Management Institute, Edición 2000, Pennsylvania, 2001, 216 p.
2. ANSELL, Jake y Wharton Frank. *Risk: analysis, assessment and management*. Editado por Ansell J. y Wharton F. Editorial John Wiley and sons. Chichester, 1992, 250 p.
3. BLAIR, Andrew Nyakaana. *Risk analysis of cost and schedule of complex engineering systems*. Universidad de Maryland. 1999.
4. BHUSHAN, Navneet y Rai Kanwal. *Strategic decision making: applying the analytic hierarchy process*. Ed. Springer. Londres, 2004, 172 p.
5. BRANS, Jean-Pierre y Mareschal Bertrand. PROMETHEE-GAIA. Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples. Ed. Ellipses, Francia, 2002

6. CHAPMAN, Chris y Ward Stephen. *Project Risk Management*. Ed. John Wiley and Sons. Chichester, 2001, 322 pp.
7. ELINEEMA, Roy Raphael. *Análisis del método AHP para la toma de decisiones multicriterio*. UNAM, 2002.
8. FORMAN, Ernest.H. y Selly Mary Ann. *Decision By Objectives: How To Convince Others That You Are Right*. Ed. World Scientific. New Jersey, 2001, 402 p
9. GREY, Stephen. *Practical risk assessment for project management*. John Wiley and sons. Chichester, 2000, 216 p.
10. LOOTSMA, Freek A. *Multi-Criteria Decision Analysis via Ratio and Difference Judgement*. Ed. Springer. 1999. 283 p.
11. MARTÍNEZ MARTÍNEZ, Guadalupe. *Las licitaciones competitivas en México en el área 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*. UNAM, 2002, 169 p.
12. POMEROL, Jean-Charles y Barba-Romero Sergio. *Multicriterion Decision in management: principles and practice*. Ed. Klower Academic Publishers. E.U. 2000, (International series in operations research and management science). 395 p.
13. PRITCHARD, Carl. *Risk Management*. Segunda Edición. Ed. ESI International. Virginia, 2001, 342 p.
14. *Project and Program Risk Management*, Project Management Institute. Editor Max Wideman, Pennsylvania, 1992, 125 p.
15. RAKOS, John.J. *et. al. The practical guide to project management documentation* Editorial John Wiley and sons. New Jersey, 2004, 312 p.

16. RODRÍGUEZ PULIDO, Julieta C. *Evaluación cuantitativa de los riesgos en administración de proyectos*. UNAM. 2003.
17. ROY, Bernard y Bouyssou D. *Aide multicritère à la décision. Méthodes et cas*. Economica, Paris. 1993
18. SAATY, Thomas L y Kearns Kevin P, *Analytical Planning, The organization of systems*. Ed. RWS Publications. Pittsburgh, 1991, Vol. IV, 208 p.
19. VALLÍN MANRIQUE, Eduardo. *Análisis de los métodos: proceso de análisis jerárquico y rembrandt en la toma de decisiones*. UNAM, 2001
20. VINCKE, Philippe. *L'Aide multicritère à la décision*. Ed. Ellipses. Edición de la Universidad de Bruselas. Bruselas. 1989, 179 p.
21. VOSE, David. *Risk analysis, A quantitative guide*. Segunda edición. John Wiley and sons. Chichester, 2001, 418 p.
22. WALPOLE, Ronald E, Myers Raymond H. y Myers Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Sexta edición. Traducción, Ricardo Cruz. Ed. Pearson Educación. México, 1998, 739 p.

Revistas

23. BASU, Abhi. "Practical risk analysis in scheduling" *AACE International Transactions*. E.U. 1998. p. RISK.01.1- RISK.01.4
24. BELTON Valerie y Gear T. "On a shortcoming of Saaty's method of analytic hierarchy". *Omega*. No. 11. Vol. 3. p. 228-257.

25. BELTON, Valerie y Goodwin Paul. “Remarks on the application of the analytic hierarchy process to judgmental forecasting” *International Journal of Forecasting*. No. 12. 1996. p. 155-161
26. BENAYOUN, R. et al. “Linear programming with multiple objective functions: STEP method STEM”. *Mathematical programming*, vol 1. 1971. p. 336-375.
27. BENDER, William .J y Ayyub Bilal M. “Risk-based cost control for construction” *AACE International Transactions*; 2001; p. CSC.01.1- CSC.01.9
28. CADDELL, Christopher P, Crepinsek Sherri R y Klanac Gerald. “Risk assessments: the value of he process” *AACE International Transactions*; 2004, p. R01.1-R01.6.
29. CARBONE, Thomas A y Tippett Donald D. “Project Risk Management using the Project Risk FMEA” *Engineering Management Journal*. Vol. 16. No. 4, 2004, p. 28-35.
30. CARLETON, Coulter. “Multiproject Management and Control” *Cost Engineering*; Oct 1990; No. 32, Vol. 10; p. 19-24
31. COHEN, Mark W y Palmer Glen R. “Project Risk Identification and Management” *AACE International Transactions*. 2004. p. INT.01.1- INT.01.5
32. DOUGLAS, Edward D. “Project trends and change control” *AACE International Transactions*. 2000. p. CSC.10.1- CSC.10.5
33. DEY, Pasanta Kumar y Soumitra Shankar G, “Decision-support system” *Oil & Gas Journal*; May 29, 2000; No. 98, Vol. 22; p. 68-72
34. DEY, Pasanta Kumar. “Decision support system for risk management: A case study” *Management Decision*. 2001. No. 39. Vol. 8. p. 634-649

-
35. DEY, Pasanta Kumar, Tabucanon Mario T. y Stephen Ogunlana O. "Planning for project control through risk analysis: a petroleum pipeline-laying project" *International Journal of Project Management*. Vol. 12. No. 1. 1994. p. 23-33.
36. DYER, James S. "Remarks on the analytic hierarchy process". *Management Science*. 1990. Vol. 3. p. 249-58.
37. FLORES, Benito E, Olson David L. y Wolfe Christopher. "Judgmental adjustment of forecasts: A comparison of methods" *International Journal of Forecasting*. No. 7. 1992. p. 421-433.
38. FORMAN, Ernest H y Gass Saul I. "The Analytic Hierarchy Process - An exposition" *Operations Research*; Jul/Aug 2001; No. 49, Vol. 4; p. 469-486
39. HARKER, Patrick T y Vargas Luis G. "The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process". *Management Science*. 1987. No. 33. Vol. 1. p. 1383-1403.
40. GUPTA, Jyoti P, Chevalier Alain y Dutta S. "Multicriteria model for risk evaluation for venture capital firms in an emerging market context" *European Journal of Operational Research*. No. 78 (2003) p. 262-266.
41. HASHEM, Al-Tabtabai M. y Varghese Thomas P. "Negotiation and resolution of conflict using AHP: an application to project management" *Engineering, Construction and Architectural Management*; 2004; No. 11, Vol. 2; p. 90-100
42. KAMAL, Al-Subhi A. "Application of the AHP in project management". *International Journal of Project Management*. 2001. No. 19. p. 19-27
43. KUENZ, Murphy C. "Limits on the analytic hierarchy process from its consistency index" *European Journal of Operational Research*. No. 65. 1993. p. 138-139.
-

-
44. LEOPOULUS, Vrassidas N y Kirytopoulos Konstantinos A. “Risk management: a competitive advantage in the purchasing function” *Production Planning & Control*. Vol. 15, No. 7, Octubre 2004. p. 678–687
 45. MALEYEFF, John y Webster Steven E. “Making the right choice” *Quality*; Feb 1994; No. 33, Vol. 2; pg. 65-67
 46. MILLER, Roger y Lessard Donald. “Understanding and managing risks in large engineering projects” *International Journal of Project Management*, No. 19. 2001. p. 437–443
 47. MILLET, Ido y Wedley William C. “Modelling risk and uncertainty with the analytic hierarchy process” *Journal of Multicriteria Decision Analysis*; Mar/Apr 2002; No. 11, Vol. 2; p. 97-107
 48. MUSTAFA, Mohammad A. y Al-Bahar Jamal F. “Project risk assessment using the analytic hierarchy process” *IEEE Transactions on Engineering Management*. No. 1. Vol. 38; p. 46-52.
 49. NWOGUGU, Michael. “Towards multi-factor models of decision making and risk: A critique of prospect theory and related approaches, part II” *The Journal of Risk Finance*; 2005; No. 6, Vol. 2; p. 163-173
 50. OLSON, David L, Flidner Gene y Currie Karen. “Comparison of the REMBRANDT system with analytic hierarchy process” *European Journal of Operational Research*. No. 82. 1995. p. 522-539
 51. PÉREZ, Joaquin. “Some comments on Saaty's AHP” *Management Science*, Jun 1995; No. 41, Vol. 6. pg. 1091-1095

-
52. SAI-ON, Cheung, et al. “An analytical hierarchy process based procurement selection method” *Construction Management and Economics*. (2001) No. 19, 427–437
53. SAATY, Thomas L. “Comment by Thomas L. Saaty” *Journal of Multicriteria Decision Analysis*; Jan 1999. No. 8, Vol. 1, p. 23-24.
54. _____. “Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary” *European Journal of Operational Research*. No. 145. 2003. p 85–91
55. _____. “Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process” *European Journal of Operational Research*. No. 74 (1994). p. 426-447
56. _____. “How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process” *European Journal of Operational Research*. No. 48. 1990. p. 9-26
57. STEPHENSON, Lance H. “Identifying risks and opportunities using EAC” *AACE International Transactions*. 2004. p. CS6.1-CS6.8.
58. STEVENSON, James J y Wilson Ted W. “Cost control program to meet your needs” *AACE International Transactions*. 1989. p. F.1.1 - F.1.10
59. TAYLOR Frank A, Ketcham Allen F y Hoffman Darwin. “Personnel evaluation with AHP” *Management Decision*. No.36. Vol. 10. 1998. p. 679–685
60. ÜLENGİN, B y ÜleğİN F. “Forecasting Foreign Exchange Rates: A Comparative Evaluation of AHP” *Omega, International. Journal Management Science*. Vol. 22, No. 5, 1994, p. 505-519,
61. VALADARES TAVARES, L. “A stochastic model to control project duration and expenditure” *European Journal of Operational Research*. No. 78 (1994) p. 262-266.
-

62. WARHOE, Stephen P. “The Basics of Earned Value Management” *AACE International Transactions*; 2004; p. CSC.07.1- CSC.07.10
63. WHITE, Diana. “Application of systems thinking to risk management” *Management Decision*; 1995; No. 33, Vol. 10; p. 35-45
64. WHITECOTTON, Danny J y McPherson Brett M. “Reducing Construction Risks Through Project Controls” *American Association of Cost Engineers. Transactions of the American Association*. 1992; No. 2, p. L.1.1-L.1.7
65. WOLFE, Christopher. “How To Adjust Forecast With The Analytic Hierarchy Process” *The Journal of Business Forecasting Methods & Systems*; 1988, No. 7, Vol. 1, pg. 13-17

Apéndice A. Matrices de comparación par-a-par⁴⁰

Objetivo

Tabla A 1. Matriz de comparación del objetivo: Análisis de riesgos de una UDA

	R. Técnicos y de Ingeniería	R. Financieros, Económicos y Políticos	R. de la Naturaleza	R. de Procura	R. de Construcción	R. de Calidad	R. de Protección Ambiental y de Seguridad
R. Técnicos y de Ingeniería	1	1/5	4	1/4	1/4	4	4
R. Financieros, Económicos y Políticos	5	1	8	4	3	4	9
R. de la Naturaleza	1/4	1/8	1	1/7	1/6	1/3	1/2
R. de Procura	4	1/4	7	1	2	6	7
R. de Construcción	4	1/3	6	1/2	1	5	6
R. de Calidad	1/4	1/4	3	1/6	1/5	1	2
R. de Protección Ambiental y de Seguridad	1/4	1/9	2	1/7	1/6	1/2	1

Relación de Consistencia: 0.079

$$\lambda_{\max} = 7.625$$

⁴⁰ Todas las tablas presentadas en este apéndice fueron elaboradas por la sustentante con base en la información proporcionada por especialistas para este caso de estudio.

Como ejemplo, se obtendrá el valor de λ_{\max} para la Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos técnicos y de ingeniería mostrado en la Tabla A2. Por lo tanto, a partir de la matriz de la tabla A2 se normaliza con respecto a sus columnas y se tiene la siguiente matriz normalizada.

0.253	0.171	0.223	0.241	0.188	0.271	0.252	0.323
0.042	0.029	0.032	0.012	0.016	0.027	0.021	0.032
0.253	0.200	0.223	0.193	0.188	0.271	0.252	0.161
0.051	0.114	0.056	0.048	0.094	0.045	0.028	0.040
0.063	0.086	0.056	0.024	0.047	0.045	0.028	0.040
0.127	0.143	0.112	0.145	0.141	0.136	0.168	0.161
0.084	0.114	0.074	0.145	0.141	0.068	0.084	0.081
0.127	0.143	0.223	0.193	0.188	0.136	0.168	0.161

De esta matriz se obtiene el vector de prioridades, el cual es la sumatoria de los renglones.

1.922
0.211
1.741
0.476
0.389
1.131
0.791
1.338

A continuación remultiplica la matriz sin normalizar por el vector de prioridades, de lo cual se obtiene la matriz de sumas ponderadas.

16.18
1.72
14.57
3.89
3.15
9.53
6.69
11.27

Siguiendo la ecuación 4 se puede calcular el valor de λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum C_{il} r_i}{n}$$

y por lo tanto, para λ_{\max} se tiene la siguiente ecuación para la matriz cuadrada de (7x7)

$$\lambda_{\max} = \frac{8.42 + 8.16 + 8.37 + 8.17 + 8.09 + 8.43 + 8.46 + 8.42}{8}$$

Finalmente, se tiene que $\lambda_{\max} = 8.315$

Nivel 1

Tabla A 2. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos técnicos y de ingeniería

	Cambios de diseño	Cambios de tecnología	Datos inadecuados	Diseñadores inexpertos	Diseños inadecuados	Precisión de las especificaciones	Coordinación plan-construcción en op	Interpretación de tecnologías
Cambios de diseño	1	6	1	5	4	2	3	2
Cambios de tecnología	1/6	1	1/7	1/4	1/3	1/5	1/4	1/5
Datos inadecuados	1/1	7	1	4	4	2	3	1
Diseñadores inexpertos	1/5	4	1/4	1	2	1/3	1/3	1/4
Diseños inadecuados	1/4	3	1/4	1/2	1	1/3	1/3	1/4
Precisión de las especificaciones	1/2	5	1/2	3	3	1	2	1
Coordinación plan-construcción en op	1/3	4	1/3	3	3	1/2	1	1/2
Interpretación de tecnologías	1/2	5	1/1	4	4	1/1	2	1

Relación de Consistencia: 0.031

$\lambda_{\max} = 8.306$

Tabla A 3. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos Financieros, Económicos y Jurídicos

	Trámites y permisos ambientales	Cambios de políticas de inversión	Paridad de la moneda	Tasa de interés	Interrupción de pagos	Falta de integración	Escasez de recursos financieros
Trámites y permisos ambientales	1	1/5	1/6	1/6	1/6	1/8	1/7
Cambios de políticas de inversión	5	1	1/2	1/2	1/3	1/5	1/3
Paridad de la moneda	6	2	1	1	1/2	1/2	1/2
Tasa de interés	6	2	1/1	1	1/2	1/3	1/2
Interrupción de pagos	6	3	2	2	1	1/2	1
Falta de integración	8	5	2	3	2	1	2
Escasez de recursos financieros	7	3	2	2	1/1	1/2	1

Relación de Consistencia: 0.021

$$\lambda_{\max} = 7.166$$

Tabla A 4. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de la naturaleza

	Sismos	Tempestad	Inundación
Sismos	1	1/4	1/3
Tempestad	4	1	2
Inundación	3	1/2	1

Relación de Consistencia: 0.016

$$\lambda_{\max} = 3.002$$

Tabla A 5. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de procura

	Disponibilidad de equipo	Suministro de eq. y mats. comprometidos	Incremento en los costos de mats. Y eq	Escasez de materiales	Modificación en los mats. de insumo	Entregas tardías	Partes discontinuas
Disponibilidad de equipo	1	3	2	3	6	1	7
Suministro de eq. y mats. comprometidos	1/3	1	1/2	1	3	1/4	4
Incremento en los costos de mats. y eq	1/2	2	1	2	3	1/2	5
Escasez de materiales	1/3	1/1	1/2	1	1	1/3	3
Modificación en los precios de insumo	1/6	1/3	1/3	1/1	1	1/7	2
Entregas tardías	1/1	4	2	3	7	1	8
Partes discontinuas	1/7	1/4	1/5	1/3	1/2	1/8	1

Relación de Consistencia: 0.017

$\lambda_{\max} = 7.135$

Tabla A 6. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de construcción

	Localiza_ ción del sitio	Contingen_ cias en los re_ querimientos	Social	Falta de infraes_ tructura	Escasez de mano de obra	Condicio_ nes impre_ vistas en el sitio de trabajo	Dificultad de accesos	Mano de obra inexperta	Interpre_ tación de tecnolo_ gías	Manten_ miento imprevis_ to	Ajustes imprevis_ tos	Confabili_ dad del equipo
Localización del sitio	1	1/9	1/1	1/1	1/2	1/4	1/3	1/4	1/7	1/9	1/6	1/9
Contingencias en los requerimientos	9	1	8	5	6	4	8	4	2	1/1	4	1/2
Social	1	1/8	1	1/2	1/3	1/4	1/3	1/4	1/7	1/9	1/6	1/9
Falta de infraestructura	1	1/5	2	1	1/2	1/2	1	1/3	1/6	1/5	1/5	1/8
Escasez de mano de obra	2	1/6	3	2	1	1/2	3	1/2	1/6	1/6	1/4	1/7
Condiciones imprevistas en el sitio de trabajo	4	1/4	4	2	2	1	4	1/2	1/5	1/4	1/3	1/6
Dificultad de accesos	3	1/8	3	1/1	1/3	1/4	1	1/5	1/7	1/8	1/6	1/9
Mano de obra inexperta	4	1/4	4	3	2	2	5	1	1/4	1/4	1/2	1/5
Interpretación de tecnologías	7	1/2	7	6	6	5	7	4	1	1/2	3	1/3
Mantenimiento imprevisto	9	1	9	5	6	4	8	4	2	1	3	1/2
Ajustes imprevistos	6	1/4	6	5	4	3	6	2	1/3	1/3	1	1/4
Confiability del equipo	9	2	9	8	7	6	9	5	3	2	4	1

Relación de Consistencia: 0.091

$\lambda_{max} = 12.764$

Tabla A 7. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de Licitación

	Cumplimiento presupuestal	Cumplimiento de plazos programados	Desempeño técnico	Bases de licitación	Procedimientos de trabajo	Contratos no muy bien definidos	Desempeño profesional
Cumplimiento presupuestal	1	3	1/2	2	4	1/3	3
Cumplimiento de plazos programados	1/3	1	1/2	1	4	1/3	3
Desempeño técnico	2	2	1	5	8	1/1	6
Bases de licitación	1/2	1/1	1/5	1	3	1/5	5
Procedimientos de trabajo	1/4	1/4	1/8	1/3	1	1/7	1/2
Contratos no muy bien definidos	3	3	1	5	7	1	6
Desempeño profesional	1/3	1/3	1/6	1/5	2	1/6	1

Relación de Consistencia: 0.044

$$\lambda_{\max} = 7.348$$

Tabla A 8. Matriz de comparación del nivel 1: Riesgos de Protección Ambiental y Seguridad

	Vandalismo	Sabotaje	Terrorismo	Suspensión por afectación al medio ambiente	Falta de seguridad
Vandalismo	1	1	3	1/7	1/7
Sabotaje	1/1	1	3	1/7	1/7
Terrorismo	1/3	1/3	1	1/8	1/9
Suspensión por afectación al medio ambiente	7	7	8	1	1/2
Falta de seguridad	7	7	9	2	1

Relación de Consistencia: 0.042

$$\lambda_{\max} = 5.197$$

Nivel 2

Tabla A 9. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos técnicos y de ingeniería

Cambios de diseño	Cambios de tecnología	Datos inadecuados	Diseñadores inexpertos																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>1/4</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 λ_{\max}= 3.053</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	1/6	Medio	3	1	1/4	Bajo	6	4	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/4</td><td>1/9</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>4</td><td>1</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>9</td><td>6</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.093 λ_{\max}= 3.10788</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/4	1/9	Medio	4	1	1/6	Bajo	9	6	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>1/4</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/6</td><td>1/4</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.093 λ_{\max}= 3.10788</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	4	6	Medio	1/4	1	4	Bajo	1/6	1/4	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/5</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>5</td><td>1</td><td>1/2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>6</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.025 λ_{\max}= 3.029</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/5	1/6	Medio	5	1	1/2	Bajo	6	2	1
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	1/6																																																																
Medio	3	1	1/4																																																																
Bajo	6	4	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/4	1/9																																																																
Medio	4	1	1/6																																																																
Bajo	9	6	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	4	6																																																																
Medio	1/4	1	4																																																																
Bajo	1/6	1/4	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/5	1/6																																																																
Medio	5	1	1/2																																																																
Bajo	6	2	1																																																																
Diseños inadecuados	Precisión de las especificaciones	Coordinación plan-constr-puesta en op	Interpretación de tecnologías																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/7</td><td>1/3</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>7</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>3</td><td>1/5</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.056 λ_{\max}= 3.065</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/7	1/3	Medio	7	1	5	Bajo	3	1/5	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>1/4</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/6</td><td>1/4</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.093 λ_{\max}= 3.10788</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	4	6	Medio	1/4	1	4	Bajo	1/6	1/4	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>5</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>6</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/5</td><td>1/6</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.081 λ_{\max}= 3.09396</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	5	Medio	3	1	6	Bajo	1/5	1/6	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>4</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/4</td><td>1/5</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.074 λ_{\max}= 3.08584</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	4	Medio	3	1	5	Bajo	1/4	1/5	1
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/7	1/3																																																																
Medio	7	1	5																																																																
Bajo	3	1/5	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	4	6																																																																
Medio	1/4	1	4																																																																
Bajo	1/6	1/4	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	5																																																																
Medio	3	1	6																																																																
Bajo	1/5	1/6	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	4																																																																
Medio	3	1	5																																																																
Bajo	1/4	1/5	1																																																																

Tabla A 10. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos financieros, económicos y jurídicos

Trámites y permisos ambientales	Cambios de políticas de inversión	Paridad de la moneda	Tasa de interés																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/1</td><td>1/5</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>2</td><td>1</td><td>1/5</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>6</td><td>5</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.25 λ_{\max}= 3.029</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/1	1/5	Medio	2	1	1/5	Bajo	6	5	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/5</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>5</td><td>1</td><td>1/3</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>6</td><td>3</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.081 λ_{\max}= 3.09396</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/5	1/6	Medio	5	1	1/3	Bajo	6	3	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/4</td><td>1/5</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>5</td><td>1/2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.081 λ_{\max}= 3.09396</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/4	1/5	Medio	4	1	2	Bajo	5	1/2	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/6</td><td>1/4</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>6</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>4</td><td>1/3</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 λ_{\max}= 3.05336</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/6	1/4	Medio	6	1	3	Bajo	4	1/3	1
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/1	1/5																																																																
Medio	2	1	1/5																																																																
Bajo	6	5	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/5	1/6																																																																
Medio	5	1	1/3																																																																
Bajo	6	3	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/4	1/5																																																																
Medio	4	1	2																																																																
Bajo	5	1/2	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/6	1/4																																																																
Medio	6	1	3																																																																
Bajo	4	1/3	1																																																																
Interrupción de pagos	Falta de integración	Escasez de recursos financieros																																																																	
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>1/3</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/4</td><td>1/3</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.063 λ_{\max}= 3.073</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	3	4	Medio	1/3	1	3	Bajo	1/4	1/3	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/6</td><td>1/5</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>6</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>5</td><td>1/2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.025 λ_{\max}= 3.029</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/6	1/5	Medio	6	1	2	Bajo	5	1/2	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>1/3</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/4</td><td>1/2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.016 λ_{\max}= 3.01856</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	3	4	Medio	1/3	1	2	Bajo	1/4	1/2	1																	
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	3	4																																																																
Medio	1/3	1	3																																																																
Bajo	1/4	1/3	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/6	1/5																																																																
Medio	6	1	2																																																																
Bajo	5	1/2	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	3	4																																																																
Medio	1/3	1	2																																																																
Bajo	1/4	1/2	1																																																																

Tabla A 11. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de la naturaleza

	Sismos			Tempestad			Inundación				
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo		
Alto	1	1/3	1/9	Alto	1	1/5	1/7	Alto	1	1/6	1/7
Medio	3	1	1/8	Medio	5	1	1/3	Medio	6	1	1/3
Bajo	9	8	1	Bajo	7	3	1	Bajo	7	3	1
RC: 0.093	$\lambda_{\max} = 3.108$			RC: 0.56	$\lambda_{\max} = 3.06496$			RC: 0.086	$\lambda_{\max} = 3.100$		

Tabla A 12. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de procura

Disponibilidad de equipo	Suministro de equipos comprometidos	Incremento en los costos de mats. y equipo	Escasez de materiales
Alto	Alto	Alto	Alto
Medio	Medio	Medio	Medio
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Alto	Alto	Alto	Alto
Medio	Medio	Medio	Medio
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
RC: 0.093	RC: 0.025	RC: 0.046	RC: 0.025
$\lambda_{\max} = 3.108$	$\lambda_{\max} = 3.029$	$\lambda_{\max} = 3.053$	$\lambda_{\max} = 3.029$
Modificación en los precios de insumos	Entregas tardías	Partes discontinuas	
Alto	Alto	Alto	
Medio	Medio	Medio	
Bajo	Bajo	Bajo	
Alto	Alto	Alto	
Medio	Medio	Medio	
Bajo	Bajo	Bajo	
RC: 0.021	RC: 0.046	RC: 0.093	
$\lambda_{\max} = 3.024$	$\lambda_{\max} = 3.053$	$\lambda_{\max} = 3.108$	

Tabla A 13. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de construcción

Localización del sitio	Contingencias de los requerimientos	Social	Falta de infraestructura																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/2</td><td>1/9</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>2</td><td>1</td><td>1/8</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>9</td><td>8</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.032 $\lambda_{max}= 3.037$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/2	1/9	Medio	2	1	1/8	Bajo	9	8	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/2</td><td>1/4</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>2</td><td>1</td><td>1/3</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>4</td><td>3</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.016 $\lambda_{max}= 3.019$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/2	1/4	Medio	2	1	1/3	Bajo	4	3	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>1/9</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>1/8</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>9</td><td>8</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.093 $\lambda_{max}= 3.108$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	1/9	Medio	3	1	1/8	Bajo	9	8	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>1/8</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>8</td><td>6</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.063 $\lambda_{max}= 3.073$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	1/8	Medio	3	1	1/6	Bajo	8	6	1
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/2	1/9																																																																
Medio	2	1	1/8																																																																
Bajo	9	8	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/2	1/4																																																																
Medio	2	1	1/3																																																																
Bajo	4	3	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	1/9																																																																
Medio	3	1	1/8																																																																
Bajo	9	8	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	1/8																																																																
Medio	3	1	1/6																																																																
Bajo	8	6	1																																																																
Escasez de mano de obra	Condiciones imprevistas en el sitio de trabajo	Dificultad de accesos	Mano de obra inexperta																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>1/4</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 $\lambda_{max}= 3.053$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	1/6	Medio	3	1	1/4	Bajo	6	4	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/2</td><td>6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>2</td><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/6</td><td>1/5</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.074 $\lambda_{max}= 3.086$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/2	6	Medio	2	1	5	Bajo	1/6	1/5	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>1/9</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>1/8</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>9</td><td>8</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.093 $\lambda_{max}= 3.108$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	1/9	Medio	3	1	1/8	Bajo	9	8	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>3</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/3</td><td>1/4</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.063 $\lambda_{max}= 3.073$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	3	Medio	3	1	4	Bajo	1/3	1/4	1
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	1/6																																																																
Medio	3	1	1/4																																																																
Bajo	6	4	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/2	6																																																																
Medio	2	1	5																																																																
Bajo	1/6	1/5	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	1/9																																																																
Medio	3	1	1/8																																																																
Bajo	9	8	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	3																																																																
Medio	3	1	4																																																																
Bajo	1/3	1/4	1																																																																
Mantenimiento imprevisto	Ajustes imprevistos	Confiability del equipo																																																																	
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/4</td><td>4</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>4</td><td>1</td><td>6</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/4</td><td>1/6</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.093 $\lambda_{max}= 3.108$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/4	4	Medio	4	1	6	Bajo	1/4	1/6	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/4</td><td>1/5</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>4</td><td>1</td><td>1/2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>5</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.021 $\lambda_{max}= 3.024$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/4	1/5	Medio	4	1	1/2	Bajo	5	2	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>1/2</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/3</td><td>1/3</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 $\lambda_{max}= 3.053$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	2	3	Medio	1/2	1	3	Bajo	1/3	1/3	1																	
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/4	4																																																																
Medio	4	1	6																																																																
Bajo	1/4	1/6	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/4	1/5																																																																
Medio	4	1	1/2																																																																
Bajo	5	2	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	2	3																																																																
Medio	1/2	1	3																																																																
Bajo	1/3	1/3	1																																																																

Tabla A 14. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de licitación

Cumplimiento presupuestal	Cumplimiento de plazos programados	Desempeño técnico	Bases de licitación																																																																
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/5</td><td>1/5</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>5</td><td>1/2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 $\lambda_{max}= 3.053$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/5	1/5	Medio	5	1	2	Bajo	5	1/2	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/5</td><td>1/5</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>5</td><td>1/2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 $\lambda_{max}= 3.053$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/5	1/5	Medio	5	1	2	Bajo	5	1/2	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/4</td><td>6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>4</td><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/6</td><td>1/9</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.093 $\lambda_{max}= 3.108$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/4	6	Medio	4	1	9	Bajo	1/6	1/9	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/6</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>6</td><td>1</td><td>1/2</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>6</td><td>2</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 $\lambda_{max}= 3.053$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/6	1/6	Medio	6	1	1/2	Bajo	6	2	1
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/5	1/5																																																																
Medio	5	1	2																																																																
Bajo	5	1/2	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/5	1/5																																																																
Medio	5	1	2																																																																
Bajo	5	1/2	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/4	6																																																																
Medio	4	1	9																																																																
Bajo	1/6	1/9	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/6	1/6																																																																
Medio	6	1	1/2																																																																
Bajo	6	2	1																																																																
Procedimientos de trabajo	Contratos no muy bien definidos	Desempeño profesional																																																																	
<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>1/8</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>8</td><td>6</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.063 $\lambda_{max}= 3.073$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	1/8	Medio	3	1	1/6	Bajo	8	6	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/2</td><td>7</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>2</td><td>1</td><td>6</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>1/7</td><td>1/6</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.069 $\lambda_{max}= 3.080$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/2	7	Medio	2	1	6	Bajo	1/7	1/6	1	<table border="1"> <tr><td></td><td>Alto</td><td>Medio</td><td>Bajo</td></tr> <tr><td>Alto</td><td>1</td><td>1/3</td><td>1/6</td></tr> <tr><td>Medio</td><td>3</td><td>1</td><td>1/4</td></tr> <tr><td>Bajo</td><td>6</td><td>4</td><td>1</td></tr> </table> <p>RC: 0.046 $\lambda_{max}= 3.053$</p>		Alto	Medio	Bajo	Alto	1	1/3	1/6	Medio	3	1	1/4	Bajo	6	4	1																	
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	1/8																																																																
Medio	3	1	1/6																																																																
Bajo	8	6	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/2	7																																																																
Medio	2	1	6																																																																
Bajo	1/7	1/6	1																																																																
	Alto	Medio	Bajo																																																																
Alto	1	1/3	1/6																																																																
Medio	3	1	1/4																																																																
Bajo	6	4	1																																																																

Tabla A 15. Matriz de comparación del nivel 2: Riesgos de protección ambiental y seguridad

Vandalismo			Sabotaje			Terrorismo			Suspensión por afectación al medio ambiente		
	Alto	Medio		Alto	Medio		Alto	Medio		Alto	Medio
		Bajo			Bajo			Bajo			Bajo
Alto	1	1/2	1/7	Alto	1	1/2	1/7	Alto	1	1/2	1/9
Medio	2	1	1/6	Medio	2	1	1/6	Medio	2	1	1/8
Bajo	7	6	1	Bajo	7	6	1	Bajo	9	8	1
RC: 0.028	$\lambda_{\max} = 3.032$		RC: 0.028	$\lambda_{\max} = 3.032$		RC: 0.032	$\lambda_{\max} = 3.037$		RC: 0.074	$\lambda_{\max} = 3.086$	
Falta de seguridad											
	Alto	Medio									
		Bajo									
Alto	1	1/5	2								
Medio	5	1	5								
Bajo	1/2	1/5	1								
RC: 0.046	$\lambda_{\max} = 3.053$										

Apéndice B. Formatos de estrategia de respuesta a riesgos.

Formato del riesgo: Datos inadecuados para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 3	Encargado del riesgo: Gerente de Ingeniería y Procura
Nombre del riesgo: Datos inadecuados	
Descripción: Riesgos por no considerar datos adecuados para el diseño del proyecto.	
Probabilidad del riesgo: 2.0%	
Severidad	
Tiempo (días): 20	
Costo (USD): 750,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Evitar:</i> Revisiones y aceptación por parte del cliente y el contratista para asegurar que los datos proporcionados y utilizados sean los correctos.	
Monitoreo del riesgo: Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Interpretación de tecnologías para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 8	Encargado del riesgo:
Nombre del riesgo: Interpretación inadecuada de tecnologías	
Descripción: Riesgos de mala interpretación de tecnologías adquiridas o seleccionadas en el proyecto	
Probabilidad del riesgo: 1.5%	
Severidad	
Tiempo (días): 20	
Costo (USD): 250,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Evitar:</i> Contar con personal altamente capacitado y con experiencia. <i>Transferencia:</i> Responsabilidad compartida con los tecnólogos (proveedores) para asegurar un completo entendimiento de la tecnología.	
Monitoreo del riesgo: Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Cambios de políticas de inversión para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 10	Encargado del riesgo:
Nombre del riesgo: Cambios de prioridades en las políticas de inversión	
Descripción: Terminación anticipada por cambio de prioridades de inversión del gobierno federal	
Probabilidad del riesgo: 2.7%	
Severidad	
Tiempo (días): 30	
Costo (USD): 350,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigar:</i> Cláusulas de penalización si el cliente no cumple una vez firmado el contrato.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Paridad de la moneda para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 11	Encargado del riesgo:
Nombre del riesgo: Paridad de la moneda	
Descripción: Cambios en el valor de la moneda que no están considerados en el contrato	
Probabilidad del riesgo: 4.7%	
Severidad	
Tiempo (días): 60	
Costo (USD): 1,000,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigar:</i> Cláusulas de escalación en el contrato.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Tasa de interés para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 12	Encargado del riesgo:
Nombre del riesgo: Tasa de interés	
Descripción: Aumento de inflación que no permitiría cumplir en tiempo y costo lo establecido en el contrato	
Probabilidad del riesgo: 4.4%	
Severidad	
Tiempo (días): 45	
Costo (USD): 250,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigar:</i> Cláusulas de escalación en el contrato.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Interrupción de pagos para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 13	Encargado del riesgo: Gerente de Procura
Nombre del riesgo: Interrupción de pagos	
Descripción: Interrupción de pagos a contratistas y/o proveedores	
Probabilidad del riesgo: 7.3%	
Severidad	
Tiempo (días): 100	
Costo (USD): 1,500,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Evitar:</i> Seleccionar adecuadamente a los contratistas y/o proveedores así como sus planes de financiamiento, para que sean acordes con el calendario de pagos por parte del cliente.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Falta de integración para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 14	Encargado del riesgo: Gerentes de todos los departamentos
Nombre del riesgo: Falta de integración	
Descripción: Falta de integración en el equipo administrativo (Cliente-Contratista), repercutiendo en la ejecución del proyecto	
Probabilidad del riesgo: 11.8%	
Severidad	
Tiempo (días): 30	
Costo (USD): 450,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigación:</i> Llevar a cabo juntas con cierta periodicidad para mejorar la coordinación y comunicación entre el cliente y el contratista.	
Monitoreo del riesgo: Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Escasez de recursos financieros para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 15	Encargado del riesgo: Gerente de Finanzas
Nombre del riesgo: Escasez de recursos financieros	
Descripción: Falta de recursos financieros para la realización del proyecto	
Probabilidad del riesgo: 7.4%	
Severidad	
Tiempo (días): 50	
Costo (USD): 745,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigación:</i> Tener buen historial crediticio poder solicitar un crédito a instituciones bancarias en caso de presentar escasez de recursos financieros.	
Monitoreo del riesgo: Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Disponibilidad de equipo para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 19	Encargado del riesgo: Gerente de Procura
Nombre del riesgo: Disponibilidad de equipo	
Descripción: Falta de equipo en el mercado, lo que provoca un retraso en la compra (o arrendamiento) y por consecuencia un retraso en la ejecución del proyecto	
Probabilidad del riesgo: 6.3%	
Severidad	
Tiempo (días): 25	
Costo (USD): 130,000	
Estrategia de respuesta al riesgo:	
<i>Mitigación:</i> Tener una base de datos actualizada de proveedores. Identificar los equipos críticos para evaluar su oferta y demanda en el mercado. Hacer una oportuna solicitud de los equipos considerados como críticos y llevar un seguimiento a lo largo de la procura.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Suministro de equipos o materiales comprometidos para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 20	Encargado del riesgo: Gerente de Procura
Nombre del riesgo: Suministro de equipos o materiales comprometidos	
Descripción: Equipos o materiales que serán necesarios para el desarrollo del Proyecto, y que por regulaciones nacionales o internacionales, presenten el riesgo de no ser adquiridos por las vías especificadas en el contrato y esto tenga como consecuencia un impacto en el costo y tiempo programado del proyecto.	
Probabilidad del riesgo: 2.3%	
Severidad	
Tiempo (días): 40	
Costo (USD): 175,000	
Estrategia de respuesta al riesgo:	
<i>Mitigación:</i> Tener una base de datos actualizada de proveedores. Identificar los equipos críticos para evaluar su oferta y demanda en el mercado. Hacer una oportuna solicitud de los equipos considerados como críticos y llevar un seguimiento a lo largo de la procura. Tener personal capacitado en procura nacional e internacional.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Incremento en los costos de materiales o equipo para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 21	Encargado del riesgo: Gerente de Procura y Departamento Jurídico
Nombre del riesgo: Incremento en los costos de materiales o equipo	
Descripción: Aumento en el costo de los materiales y equipos, lo que provoca problemas con el contrato y a su vez provoca un retraso en la ejecución del proyecto.	
Probabilidad del riesgo: 3.6%	
Severidad	
Tiempo (días): 20	
Costo (USD): 150,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigación:</i> Cláusulas de escalación en el contrato. Tener en cuenta los materiales y equipo susceptibles a cambios de precios.	
Monitoreo del riesgo: Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Escasez de materiales para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 22	Encargado del riesgo: Gerencia de Procura
Nombre del riesgo: Escasez de materiales	
Descripción: Falta de materiales en el mercado, lo que ocasiona un retraso en la compra y por consecuencia un retraso en la ejecución del proyecto	
Probabilidad del riesgo: 1.9%	
Severidad	
Tiempo (días): 25	
Costo (USD): 115,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigación:</i> Tener una base de datos actualizada de proveedores. Identificar los materiales críticos para evaluar su oferta y demanda en el mercado y en la zona aledaña a la sitio de localización del proyecto.	
Monitoreo del riesgo: Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Entregas tardías para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 24	Encargado del riesgo: Gerente de Procura
Nombre del riesgo: Entregas tardías	
Descripción: Entregas tardías de materiales y equipos provocando retraso en tiempo y costo	
Probabilidad del riesgo: 6.9%	
Severidad	
Tiempo (días): 60	
Costo (USD): 200,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigación:</i> Tener un sólido sistema de procura. Dar seguimiento a toda solicitud elaborada por la gerencia de procura. Hacer visitas regulares a los proveedores para monitorear la procura.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Contingencias en los requerimientos para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 26	Encargado del riesgo: Gerentes de todos los departamentos
Nombre del riesgo: Contingencias en los requerimientos	
Descripción: Insumos no considerados en el contrato y que son necesarios para la realización del proyecto	
Probabilidad del riesgo: 3.5%	
Severidad	
Tiempo (días): 15	
Costo (USD): 100,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Evitar:</i> Evaluación de los insumos necesarios para llevar a cabo el proyecto.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Confiabilidad del equipo para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una planta desmineralizadora de agua	
Número de riesgo: 34	Encargado del riesgo: Gerente de Procura y de Ingeniería
Nombre del riesgo: Confiabilidad del equipo	
Descripción: Riesgos asociados con el funcionamiento de equipos del proyecto.	
Probabilidad del riesgo: 4.7%	
Severidad	
Tiempo (días): 20	
Costo (USD): 250,000	
Estrategia de respuesta al riesgo:	
<i>Mitigación:</i> Tener una base de datos actualizada de proveedores. Dar seguimiento a toda solicitud elaborada por la gerencia de procura. Hacer visitas regulares a los proveedores para monitorear la procura. Añadir cláusulas de penalización por mal funcionamiento de los equipos. Asegurar que los proveedores incluyan garantías y respaldo técnico para los equipos.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Mantenimiento imprevisto para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 35	Encargado del riesgo: Gerente de Procura y de Construcción
Nombre del riesgo: Mantenimiento imprevisto	
Descripción: Mantenimiento adicional, que no se tenía previsto, y que por el proyecto es necesario realizarlo.	
Probabilidad del riesgo: 3.3%	
Severidad	
Tiempo (días): 15	
Costo (USD): 100,000	
Estrategia de respuesta al riesgo:	
<i>Mitigación:</i> Al evaluar cotizaciones de equipo, solicitar a los proveedores que incluyan en dicha cotización el mantenimiento que se debe dar a los equipos antes y después de su puesta en marcha.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Ajustes imprevistos para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 36	Encargado del riesgo: Gerencia de Construcción
Nombre del riesgo: Ajustes imprevistos	
Descripción: Realización de ajustes operacionales en equipos, lo que ocasiona un retraso en el programa del proyecto.	
Probabilidad del riesgo: 1.9%	
Severidad	
Tiempo (días): 14	
Costo (USD): 50,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Mitigación:</i> Al evaluar cotizaciones de equipo, solicitar a los proveedores que incluyan en dicha cotización cualquier ajuste que se deba dar a los equipos antes y después de su puesta en marcha.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

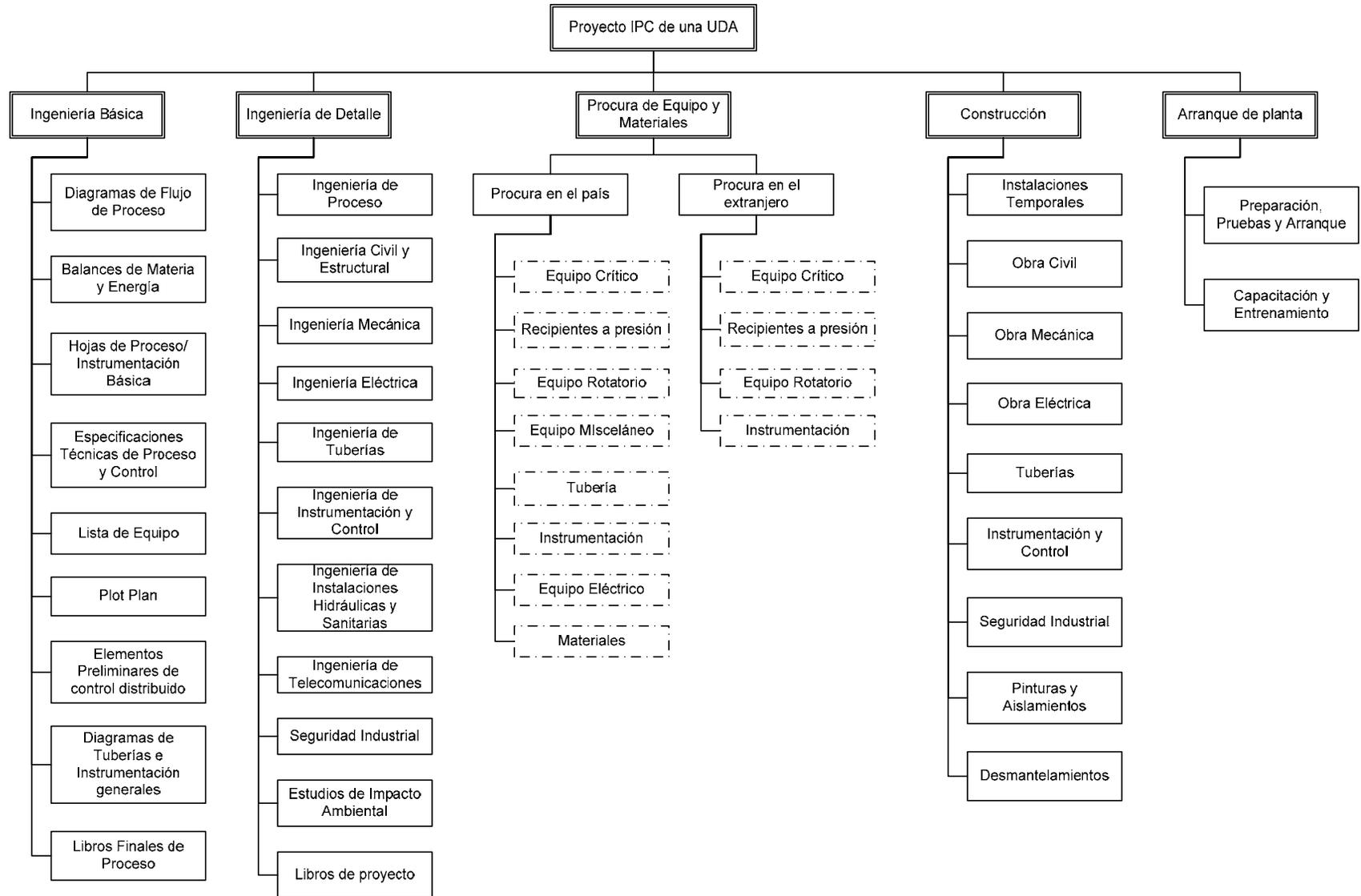
Formato del riesgo: Contratos no muy bien definidos para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 42	Encargado del riesgo: Departamento Jurídico
Nombre del riesgo: Contratos no muy bien definidos.	
Descripción: Riesgos por incumplimiento de requisitos especificados en el contrato.	
Probabilidad del riesgo: 1.5%	
Severidad	
Tiempo (días): 40	
Costo (USD): 300,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Evitar:</i> Tener un departamento legal en la organización que evalúe los contratos.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

Formato del riesgo: Falta de seguridad para el proyecto IPC de una UDA

Formato de riesgos para una Unidad Desmineralizadora de Agua	
Número de riesgo: 48	Encargado del riesgo: Gerencia de construcción
Nombre del riesgo: Falta de seguridad	
Descripción: Seguridad inapropiada para la realización del proyecto, lo que provoca retrasos en la ejecución del mismo	
Probabilidad del riesgo: 1.5%	
Severidad	
Tiempo (días): 30	
Costo (USD): 200,000	
Estrategia de respuesta al riesgo: <i>Evitar:</i> Seguir normas y estándares de seguridad. Comprometer a los empleados y participantes del proyecto con la seguridad. Hacer programas y poner énfasis relativo a la seguridad.	
Monitoreo del riesgo:	
Fecha/Estatus	

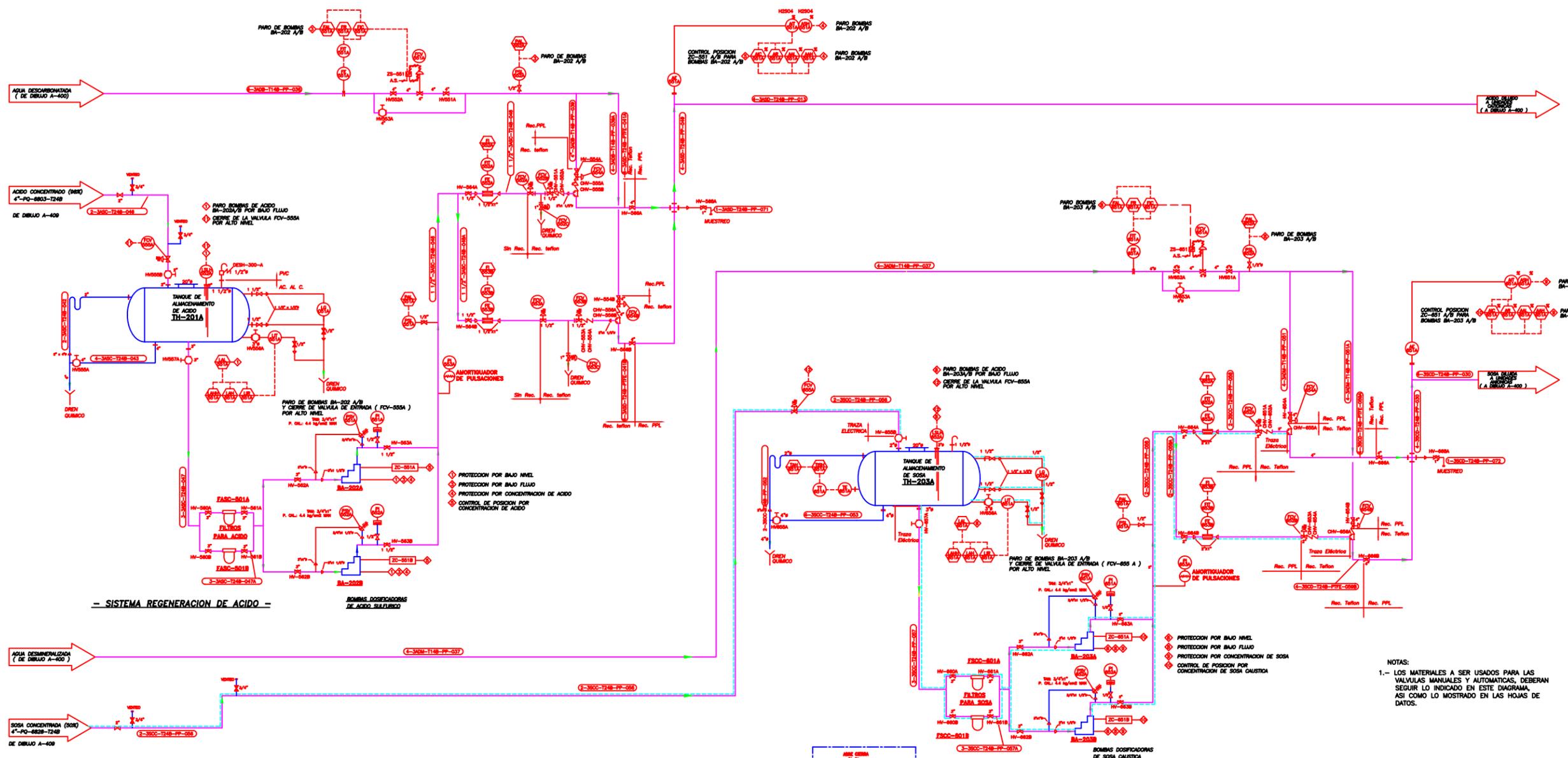
**Apéndice C. WBS del proyecto IPC de una
Unidad Desmineralizadora de Agua**



Apéndice D. Lista de Equipo

1. Unidades aniónicas
2. Unidades catiónicas
3. Internos de las unidades de intercambio con lavado resina
4. Torres descarbonatadoras
5. Tanques de ácido
6. Tanques de sosa
7. Tanque lavado de resina
8. Adecuación de filtros de antracita
9. Ahulado de recipientes
10. Ahulado de recipientes
11. Adecuación de bombas ácido
12. Adecuación de bombas sosa
13. Bombas lavado de resina
14. Bombas de recirculación
15. Ventiladores
16. Equipo de aire acondicionado
17. Circuito cerrado de televisión
18. Sistema de comunicación y voceo
19. Fabricación de filtro canasta
20. Tubería y conexiones de AC
21. Tubería y conexiones recubiertas de PPL (importación) polipropileno
22. Válvulas Manuales
23. Sistema de control distribuido
24. Secador de aire de instrumentos
25. Transmisores de Flujo
26. Transmisores de Nivel
27. Instrumentación analítica
28. Válvulas automáticas
29. Válvulas de control
30. Válvulas solenoides
31. Instrumentación menor
32. Centro de control de motores
33. UPS para fuerza para equipo eléctrico
34. Tablero de control
35. Empaque del desgasificador
36. Toveras para unidades aniónicas
37. Materiales para instrumentación
38. Materiales eléctricos
39. Resinas catiónicas
40. Resinas aniónicas
41. Antracita

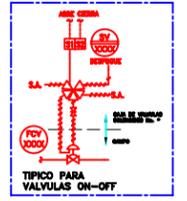
Apéndice E. Diagramas de Tubería e Instrumentación



- SISTEMA REGENERACION DE ACIDO -

- SISTEMA REGENERACION DE SOSA -

NOTAS:
 1.- LOS MATERIALES A SER USADOS PARA LAS VALVULAS MANUALES Y AUTOMATICAS, DEBERAN SEGUIR LO INDICADO EN ESTE DIAGRAMA, ASI COMO LO MOSTRADO EN LAS HOJAS DE DATOS.



UDA2/A-401				REVISIONES			NUM.	DIBUJOS DE REFERENCIA	APROBADO POR:	DIB.			PROYECTO No.		PLANO No.	REV.
C.P.	FECHA	MCA.	DESCRIPCION	FECHA	POR	Vo.Bo.				DIB.	PROY.	REV.	COORD.	LUGAR:	A-401	2
														TULA, HGO		

DIBUJO ELABORADO EN: MEXICO, D.F.