



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL
ANÁLISIS DE FALLAS DURANTE LA
CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE
TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
ENERGÍA–SISTEMAS ENERGÉTICOS**

PRESENTA:

MIGUEL ARMANDO QUIJANO CHIPIO

TUTORA:

M. C. PAMELA FRAN NELSON EDELSTEIN



Ciudad Universitaria, México, D.F., 2011

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DRA. CECILIA MARTÍN DEL CAMPO M.
Secretario: M.C. PAMELA FRAN NELSON EDELSTEIN
Vocal: DR. MANUEL GONZÁLEZ CUESTA
1er Suplente: M.I. MIGUEL MEDINA VAILLARD
2o Suplente: M.F. OBDULIO ADRIÁN ESCALANTE

Lugares donde se realizó la tesis:

- **DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM**
- **COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN, COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN, RESIDENCIA REGIONAL DE CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN PENINSULAR**

TUTORA DE TESIS

M.C. PAMELA FRAN NELSON EDELSTEIN

Agradecimientos:

- A dios por hacer coincidir en mi vida las circunstancias que propiciaron que hoy concluya una etapa más de mi formación profesional.
- A mi familia por ser soporte emocional para lograr las metas importantes en la vida y sin la cual, los objetivos y logros alcanzados no saben igual.
- A la Comisión Federal de Electricidad y a la Universidad Nacional Autónoma de México, dos organizaciones que han sido piedra angular en mi desarrollo laboral y profesional, y con eso me han demostrado porque son consideradas entre las instituciones más prestigiadas, en su ramo a nivel mundial.
- A la maestra Pamela Fran Nelson, que con su apoyo a lo largo del camino para el desarrollo de este trabajo, me ha recordado que la perseverancia y tenacidad son dos de los ingredientes más importantes del éxito.
- A mis superiores jerárquicos y compañeros cercanos de trabajo en la Comisión Federal de Electricidad, sin cuyo apoyo no podría haber concebido culminar esta etapa de formación.

RESUMEN

El Análisis de fallas durante la construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica surge de la idea innovadora de utilizar las herramientas principales, tanto lógicas como de sistemas informáticos, empleadas en el Análisis Probabilístico de Seguridad, método que está implementado institucionalmente en la Comisión Federal de Electricidad en la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde.

En ese contexto y con el previo conocimiento integral del proceso estudiado, mismo que se lleva a cabo en el ámbito de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación de la Comisión Federal de Electricidad, se desarrolló en primera instancia la metodología del Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA por sus siglas en inglés), tomando como referencia la experiencia y observación de la manera en que se han venido desarrollando los proyectos de este tipo.

Continuando con el análisis, con ayuda de la herramienta informática denominada Saphire for Windows, se realizó una analogía de los elementos que integran un árbol de eventos, al considerar como evento iniciador la incorporación al POISE del proyecto de que se trate, esto da pie al inicio del proceso, a lo largo del cual se van presentando Sistemas de Mitigación, que para el caso que nos ocupa equivalen a cada una de las etapas principales del proyecto: Actividades Previas, Ingeniería, Contratación, Construcción y Puesta en Servicio, a los cuales se agregaron dos Sistemas de Mitigación adicionales, derivado de que la experiencia ha demostrado, que es posible recuperar durante la fase de construcción, los atrasos originados en la etapas de Actividades Previas e Ingeniería, determinándose finalmente 10 Secuencias.

Seguidamente se procedió a desarrollar los árboles de fallas para cada uno de los Sistemas de Mitigación, con base en la misma experiencia y conocimiento de los involucrados, desde los eventos tope hasta los eventos básicos que integran los Conjuntos Mínimos de Corte.

Una vez integrados los modelos lógicos, se determinaron las probabilidades de los eventos básicos de los mismos, obtenidas de datos estadísticos históricos provenientes de tres fuentes principales de información: Convenios modificatorios, Observaciones de Órganos Fiscalizadores y encuestas al personal involucrado, y una vez incorporadas al Sistema Saphire for Windows, fueron resueltas las secuencias de éxito, arrojando los resultados que finalmente son analizados e interpretados, proponiendo acciones para la mejora del proceso y sugerencias para lograr que el presente análisis redunde en un beneficio para mejorar la efectividad y eficiencia del proceso de construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad.

ABSTRACT

Analysis of failures during the construction of transmission and transformation projects of electric power arises from the innovative idea of using the main tools, both logical and computer systems, used in the Probabilistic Safety Analysis, a method that is implemented institutionally in Mexico in the Federal Electricity Commission in the Laguna Verde Nuclear Power Plant.

In this context and with full foreknowledge of the process studied, which is responsibility the Project Coordination of Transmission and Transformation of the Federal Electricity Commission, first developed in the methodology of analysis modes and Failure Effects (FMEA), based on the experience and observation of the way they have been developing projects of this type.

Continuing with the analysis, using the software tool for Windows called Sapphire, there was an analogy of the elements of an event tree, the initiating event considered the incorporation of the project at the POISE, this gives rise to beginning of the process, during which they are presented Mitigation Systems, which for the present case are equivalent to each stage of the project: Preliminary Activities, Engineering, Procurement, Construction and Commissioning, to which added two additional mitigation systems, derived from that experience has shown that it is possible to recover during the construction phase, caused delays in the stages of pre and Engineering, 10 sequences finally determined.

Then, we proceeded to develop the fault trees for each of the mitigation systems, based on the same experience and knowledge of those involved, from top to events that comprise the basic events Minimum Cut Sets.

Once integrated logic models were determined probabilities of the same basic events, historical statistical data obtained from three main sources: Amendment, observations and surveys regulatory agency staff involved, and once incorporated into the Sapphire System for Windows, were successfully resolved sequences, yielding the results are finally analyzed and interpreted, proposing actions to improve the process and tips to make this analysis result in a benefit to improve the effectiveness and efficiency of the construction of transmission and transformation projects of electric power in the Federal Electricity Commission.

ÍNDICE

	<u>PAG.</u>
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES	
1.1.-Entorno del proceso a analizar	3
1.2.-Descripción detallada del proceso a analizar.....	4
CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍA A APLICAR EN EL ANÁLISIS	
2.1.- Método de Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA).....	10
2.2.- Modelos lógicos	13
2.2.1.-Árboles de eventos	13
2.2.2.- Árboles de fallas.....	13
2.2.3.- Integración del modelo.....	14
2.3.- Desarrollo de datos probabilísticos	15
2.3.1.- Frecuencia de eventos iniciadores	15
2.3.2.- Confiabilidad de componentes	15
2.3.3.- Fallas de causa común.....	16
2.3.4.- Confiabilidad humana	16
2.4- Cuantificación de secuencias.....	16
2.4.1.- Reducción booleana.....	16
2.4.2.- Cuantificación probabilística	16
CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE FALLAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
3.1.- Recopilación de datos estadísticos históricos relativos al proceso de construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica	18

3.1.1.- Causas que originaron los convenios modificatorios a los contratos de obra pública.	19
3.1.2.- Observaciones determinadas por los Órganos Fiscalizadores	22
3.1.3.- Encuestas para determinar las fallas más comunes con base en la experiencia	24
3.2.- Desarrollo de la Tabla de Análisis de Modos y Efectos de Falla	29
3.3.- Análisis a través de árbol de eventos y árboles de falla	37
3.3.1.- Determinación de los eventos que componen el desarrollo de los proyectos	37
3.3.2.- Desarrollo del árbol de eventos para el proceso en estudio	37
3.3.3.- Desarrollo de árboles de falla.....	38
 CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	
4.1.- Resultados de la tabla FMEA	56
4.2.- Resultados del análisis a través de árbol de eventos y árboles de fallas.....	56
4.2.1.- Secuencias	56
4.2.2.- Probabilidad de ocurrencia	57
4.2.3.- Conjuntos Mínimos de Corte (CMC's)	58
4.2.4.- Razón de reducción de riesgo (RRR).....	60
4.2.5.- Razón de incremento de riesgo (RIR)	62
4.2.6.- Fussel Vesely (FV)	63
4.3.- Análisis de Sensibilidad	65
4.4.- Conclusiones	69
Trabajo a futuro	70
Acrónimos	71
Referencias	72

Lista de Figuras

	<u>PAG.</u>
Figura 1.1.- Proceso de Construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica	9
Figura 2.1.- Integración básica de árbol de eventos y árboles de fallas en un Análisis Probabilidad	14
Figura 3.1.- Cuestionario aplicado en la encuesta al personal involucrado	25
Figura 3.2.- Árbol de eventos	39
Figura 3.3.- Árbol de fallas de Actividades Previas	40
Figura 3.4.- Árbol de fallas de Ingeniería	41
Figura 3.5.- Árbol de fallas en la etapa de contratación	42
Figura 3.6.- Árbol de fallas en la etapa de construcción	43
Figura 3.7.- Árbol de fallas de la recuperación de deficiencias en Act. Previas	44
Figura 3.8.- Árbol de fallas de la recuperación de deficiencias en Ingeniería	44
Figura 3.9.- Árbol de fallas de la etapa de puesta en servicio	45
Figura 4.1.- Variación de la RRR con el análisis de sensibilidad	66
Figura 4.2.- Variación de la RIR con el análisis de sensibilidad	66

Lista de Tablas

	PAG.
Tabla 2.1.- Formato de tabla para análisis FMEA	12
Tabla 3.1.- Causas que originaron la formalización de convenios	20
Tabla 3.2.- Relación de observaciones determinadas	23
Tabla 3.3.-Resultado de las encuestas	27
Tabla 3.4.- Resumen histórico de deficiencias	28
Tabla 3.5.- Deficiencias por etapa del proceso	32
Tabla 3.6. – Niveles de severidad	34
Tabla 3.7. – Niveles de ocurrencia	34
Tabla 3.8.- Niveles de detección	35
Tabla 3.9.- Tabla de Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)	36
Tabla 3.10.- Determinación de las probabilidades	50
Tabla 3.11.- Contratos que presentaron fallas en Actividades Previas y que presentaron desfasamiento en su fecha de terminación	52
Tabla 3.12.- Contratos con fallas en Ingeniería que presentaron desfasamiento en su Fecha de terminación.	53
Tabla 4.1.- Potenciales causas con mayor nivel de riesgo de la tabla FMEA	56
Tabla 4.2.- Conjuntos Mínimos de Corte CMC's	58
Tabla 4.3.-Conjuntos Mínimos de Corte CMC's con mayor aportación a la frecuencia total.	59
Tabla 4.4.- Eventos Básicos ordenados por su valor de RRR	61
Tabla 4.5.- Eventos Básicos con mayor Razón de Reducción de Riesgo	60
Tabla 4.6.- Eventos Básicos ordenados por su valor de RIR	62
Tabla 4.7.- Eventos Básicos con mayor Razón de Incremento de Riesgo	63
Tabla 4.8.- Eventos Básicos ordenados por su valor de F-V-	64
Tabla 4.9.- Eventos Básicos con mayor valor de Fussel-Vesel	64
Tabla 4.10.- Variaciones en la probabilidad de eventos estratégicos para el análisis de sensibilidad.	65
Tabla 4.11.- Resultados del análisis de sensibilidad	67

INTRODUCCIÓN

En México los procesos de generación, transmisión, transformación y distribución de la Energía Eléctrica necesaria para el desarrollo del país están regulados por el estado mexicano de conformidad con lo que establece la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, no obstante que en los últimos años se han establecido a nivel gubernamental algunas estrategias para permitir la inversión privada, específicamente en el proceso de generación, la rectoría sigue a cargo del Estado mexicano.

Para tal efecto la Comisión Federal de Electricidad (CFE) entidad paraestatal, creada para tal fin desde 1937, se encuentra estructurada en cinco Direcciones dependientes de la Dirección General, mismas que son la Dirección de Administración, la Dirección de Finanzas, la Dirección de Modernización, la Dirección de Operación y la Dirección de Proyectos de Inversión Financiada, a ésta última pertenece la Subdirección de Construcción encargada del desarrollo de los proyectos de infraestructura de energía eléctrica necesarios para atender satisfactoriamente la creciente demanda del país.

El presente estudio se caracteriza por su peculiaridad y por la forma innovadora en que se analiza el desarrollo de los proyectos de infraestructura para la transmisión y transformación de energía eléctrica utilizando metodologías aplicables en el Análisis Probabilístico de Seguridad (APS), mismo que se lleva a cabo en procesos productivos e industriales y que consiste en una aproximación exhaustiva y estructurada para representar escenarios de accidente o falla, constituyendo una herramienta conceptual y matemática para derivar en estimaciones numéricas del riesgo, determinando las respuestas a tres preguntas básicas a saber: ¿Qué puede estar mal?, ¿Qué tan probable es que esto pase? ¿Cuáles son las consecuencias?.

Para responder a la primera pregunta, se deben identificar los escenarios de accidente que exceden el umbral de consecuencias que nos interesan; estos escenarios se plantean como una desviación inicial del proceso, seguida de una serie de fallas de equipo o humanas, de tal manera que no es posible regresar el proceso a la normalidad. El APS atiende esta pregunta por medio de un modelo lógico llamado Árbol de Eventos.

Para responder a la segunda pregunta, los escenarios de accidente tienen que representarse en términos de combinaciones de eventos o fallas para los cuales sea posible obtener su probabilidad de ocurrencia. El APS atiende esta pregunta por medio de otro modelo lógico llamado Árbol de Fallas.

Finalmente en la respuesta a la tercera pregunta, se debe reconocer que los escenarios y combinaciones de fallas obtenidos de las dos respuestas anteriores pueden llevar a una amplia variedad de consecuencias del accidente.

Para poder resolver los árboles de eventos y fallas, es necesario contar con alguna referencia que nos permita determinar la probabilidad de ocurrencia de cada falla presentada. Para este estudio dicha referencia son los datos estadísticos históricos correspondientes a proyectos de transmisión y transformación desarrollados por la Comisión Federal de Electricidad del año 2000 al 2009, específicamente las fallas durante el proceso que hayan sido documentadas y hayan redundado en retraso en la terminación de las obras, en los que se incluyeron la experiencia del personal directamente encargado de la construcción en campo.

Otra metodología aplicable es el Análisis de Modo y Efectos de Falla (FMEA por sus siglas en inglés), cuyo propósito es identificar los modos de falla de componentes individuales del equipo para determinar sus efectos en el sistema.

Cabe señalar que las metodologías antes señaladas se aplican en el ámbito de la Comisión Federal de Electricidad, pero por lo general a los procesos de generación de energía eléctrica y con mayor puntualidad en la planta de energía nuclear de Laguna Verde.

Una vez obtenidos los resultados sobre las probabilidades de ocurrencia de falla en cada una de las etapas del proceso, se hizo una recopilación de los mismos los cuales se interpretan y se determinan las fortalezas y debilidades encontradas, a partir de las cuales como una de las aportaciones de este análisis al proceso en estudio, se plantearán acciones de mejora, con la finalidad disminuir el índice de ocurrencia de fallas.

El trabajo antes descrito se ha dividido en cuatro capítulos, en el primero se hace una descripción completa del ámbito en el que se desarrolló el análisis, seguidamente en el capítulo 2 se abordan los fundamentos teóricos básicos que sirvieron para determinar la metodología a utilizar en el análisis, posteriormente en el capítulo 3 se hace una descripción paso a paso del análisis realizado en todas sus etapas hasta la obtención de los resultados, mismos que son analizados e interpretados en el capítulo 4.

CAPÍTULO 1.- ANTECEDENTES

1.1.- Entorno del proceso a analizar

Como se ha mencionado, la Dirección de Proyectos de Inversión Financiada es la encargada de desarrollar los proyectos de infraestructura relevantes dentro de la CFE a través de la Subdirección de Construcción. Para tal efecto, la citada Subdirección está organizada en Coordinaciones dependiendo del proceso de que se trate (Generación o bien Transmisión y Transformación), las cuales dependiendo de la fuente de recursos pueden desarrollar proyectos presupuestales o financiados. El presente trabajo se circunscribe al ámbito de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación.

Dicha Coordinación es la encargada de desarrollar los proyectos de mayor impacto como son las Subestaciones y Líneas de Transmisión con voltajes de 115 Kv, 230 Kv y hasta 400 Kv, en el ámbito de la CFE, entidad que por decreto presidencial ya abarca todos los estados de la República Mexicana, incluyendo el Distrito Federal.

Para cumplir con tales funciones, la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación tiene a su cargo seis Residencias Regionales distribuidas a lo largo del país:

- Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Noroeste, con sede en Hermosillo, Sonora.
- Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Noreste, con sede en Monterrey, Nuevo León.
- Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Occidente, con sede en Guadalajara, Jalisco.
- Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Centro, con sede en Irapuato, Guanajuato.
- Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Sureste con sede en Veracruz, Veracruz.
- Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular con sede en Mérida, Yucatán.

El presente estudio se realizó en el ámbito de esta última Residencia Regional Peninsular, la cual es la encargada directa de desarrollar los proyectos de transmisión y transformación ubicados geográficamente en los estados de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Chiapas.

Es pertinente señalar también que en los últimos años debido a las características de las finanzas públicas en México, se han venido desarrollando en el ámbito de la CFE proyectos de inversión financiada, los cuales tienen esquemas de supervisión, conclusión, entrega y puesta en servicio diferentes a los que se presentan en las obras con recursos propios de la Federación, llamadas Obras Públicas Financiadas (OPF). Sin embargo, el análisis realizado se enfoca específicamente a las obras presupuestales toda vez que para este tipo de obras la gran mayoría del desarrollo del proyecto se lleva a cabo en las Residencias Regionales y por ende se cuenta con registros históricos más completos y confiables.

De manera más específica, la Residencia Regional Peninsular está encabezada por un Residente Regional quien se apoya en sus auxiliarías de gestión y jurídica. Asimismo, para cumplir con las funciones que se le tienen encomendadas la estructura orgánica está dividida en cuatro áreas denominadas Residencias de Especialidad, dependiendo de la etapa del proceso que le toque atender de conformidad con lo establecido en el Manual de Organización Funcional [1]:

- Residencia de Actividades Previas
- Residencia Técnica
- Residencia de Contratación
- Residencia Administrativa

Asimismo la supervisión directa de la construcción de los proyectos corre a cargo de las Residencias de Obra de Zona las cuales son:

- Residencia de Obra de Zona Yucatán-Campeche-Quintana Roo
- Residencia de Obra de Zona Tabasco-Chiapas

La intervención de cada una de las áreas antes señaladas se describe en la siguiente sección, en la cual se detalla el proceso a través del cual se construyen los proyectos de transmisión y transformación estudiados.

1.2- Descripción detallada del proceso a analizar

El proceso a través del cual se desarrollan los proyectos en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular puede organizarse en cinco grandes etapas:

- Las Actividades Previas
- El Desarrollo de la Ingeniería
- Contratación
- Construcción
- Puesta en servicio

Todas estas etapas van soportadas por el apoyo administrativo, jurídico y de los sistemas de gestión.

A continuación se describen de manera concisa cada una de las citadas etapas:

Actividades Previas

El evento que da origen al desarrollo de un proyecto de transmisión y transformación en el ámbito de la CFE, es que el mismo se incluya en el POISE. [2]

A partir de ahí se inicia con una planeación más a detalle del proyecto, iniciando con un diagnóstico social, ambiental y arqueológico que nos da una primera idea del entorno en el que se desarrollará la obra.

Con base en dichos estudios se procede a la selección del sitio, es decir, el terreno para la construcción en el caso de una subestación o la definición de la trayectoria, en el caso de una línea de transmisión. Para dicha selección es necesario tomar en cuenta todos los factores legales, políticos y sociales que aseguren la conclusión satisfactoria de la obra sin ningún tipo de problema que pudiera incluso representar un sobre costo para el presupuesto previo que se tiene hasta ese momento.

Hasta esta etapa las acciones corren a cargo de la Residencia de Actividades Previas, sin embargo a partir de que se selecciona el sitio, la información es proporcionada a la Residencia Técnica, área a la cual le servirá para iniciar con la ingeniería básica, con el objeto de tener los primeros bosquejos del diseño correspondiente.

En forma paralela la Residencia de Actividades Previas continúa con los estudios complementarios como son los estudios arqueológicos, mismos que son de gran importancia en el ámbito de la Residencia Regional Peninsular, debido a que ésta se encuentra en una zona vasta en ese tipo de hallazgos y sobre todo en los proyectos de líneas de transmisión es muy importante determinar estos sitios, para evitar en lo posible los cruces de las mismas con vestigios arqueológicos.

De igual forma se realizan estudios ambientales, con la finalidad de garantizar que la construcción de la obra de infraestructura provoque el menor impacto ambiental, y que en el diseño se incluya la realización de acciones de rescate o reforestación que contribuyan a dicho objetivo.

De igual importancia son los estudios topográficos y geotécnicos que se realizan como parte de las actividades previas, para complementar el diseño civil de las cimentaciones y cuyos resultados son determinantes para seleccionar el tipo de estructura soporte de los equipos en subestaciones y las estructuras (postes o torres autosoportadas), para el caso de líneas de transmisión. En muchas ocasiones para realizar dichos estudios se contratan a terceros especializados en la materia.

Otra parte primordial en la etapa de las actividades previas es la adquisición de los derechos inmobiliarios, es decir; la adquisición de los terrenos para el caso de subestaciones y la obtención de las servidumbres de paso a los propietarios de los terrenos por los que atraviesa la trayectoria de la línea de transmisión, lo cual evita cualquier tipo de contratiempo una vez iniciada la ejecución de la obra.

Finalmente dentro de las actividades previas se comenta la gestión de permisos y autorizaciones de tipo gubernamental como podrían ser las licencias de construcción, permisos de uso del suelo, manifestaciones de impacto ambiental, etc., de igual manera necesarios para el desarrollo de los trabajos, ya que el no tenerlos podría redundar en suspensiones o clausuras con los consecuentes perjuicios.

El Desarrollo de la Ingeniería

Teniendo como antecedentes los resultados obtenidos del desarrollo de las actividades previas, la Residencia Técnica se avoca a desarrollar el diseño de la ingeniería para cada proyecto.

En virtud de que una vez materializados los proyectos (líneas y subestaciones) que se desarrollan en la Residencia Regional Peninsular son entregados al Área correspondiente de la Dirección de Operación, quienes se encargan de supervisar su funcionamiento, se hace necesario formalizar a través de la Residencia Técnica y previo a cada proyecto, un contrato con dicha área operativa a la que se le llama cliente.

Una vez obtenidos los estudios previos complementados con los acuerdos establecidos en el contrato con el cliente, el área técnica comienza a desarrollar la ingeniería básica, la cual consiste en definir las características generales del proyecto incluyendo la selección de equipo mayor de acuerdo a los requerimientos técnicos sin perder de vista la normatividad interna de CFE como pueden ser Especificaciones Técnicas Generales, Procedimientos del Sistema de Gestión, Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria y su Reglamento, Lineamientos Específicos para la Aplicación y Seguimiento de las Medidas de Austeridad y Disciplina del Gasto de la Administración Pública Federal, entre otros [3].

La siguiente etapa consiste en realizar la ingeniería de detalle, la cual, como su nombre lo dice, complementa la ingeniería básica con el diseño de la obra civil así como el diseño electromecánico y del equipo periférico y accesorio que permita concluir con la puesta en servicio del proyecto con las características requeridas, para que se incorpore con su funcionamiento al Sistema Eléctrico Nacional.

El producto final de esta etapa del proceso es el conjunto de estudios, especificaciones, referencias, planos, etc., en fin toda la documentación que al ser entregada a los interesados mediante un procedimiento licitatorio realizado de acuerdo a la normatividad, sea la suficiente y necesaria para que los licitantes puedan ofertar una propuesta que sea conveniente y razonable para la CFE y así estar en posibilidad de materializar los proyectos.

Contratación

Esta etapa corresponde al desarrollo de la licitación que culminará con la firma de un contrato de obra pública que regirá la relación entre la CFE y una empresa contratista quien ejecutará los trabajos.

Una vez con el producto final de la etapa de desarrollo de la ingeniería, la Residencia de Contratación es la encargada de integrar la convocatoria en la que se establecen los lineamientos de la licitación como son eventos, fechas, visitas al sitio de los trabajos, juntas de aclaraciones, documentación a entregar, etc.

Cabe mencionar que la referencia principal para llevar a cabo los procedimientos de adjudicación de los contratos por tratarse de una entidad paraestatal es la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las mismas y su Reglamento, los cuales establecen por regla general que los contratos deben adjudicarse por Licitación Pública, proceso que se divide de manera general en las siguientes etapas:

- Publicación de la Convocatoria
- Visita al Sitio
- Juntas de Aclaraciones
- Acto de Presentación y Apertura de Proposiciones
- Evaluación de las propuestas
- Emitir el Fallo para la adjudicación del contrato

Sin embargo la normatividad aludida deja abierta algunas excepciones a la licitación pública como son los procedimientos de Invitación a cuando menos tres personas y de Adjudicación Directa, que presentan variantes en su desarrollo.

En el ámbito de la Residencia Regional Peninsular los tiempos estimados en promedio por cada uno de los procedimientos de adjudicación antes señalados desde la convocatoria o invitación hasta el fallo son los siguientes:

- Licitación Pública: 60 días aprox.
- Invitación a cuando menos tres personas: 45 días aprox.
- Adjudicación Directa: 30 días aprox.

Una vez concluido el proceso licitatorio con el fallo correspondiente, la Residencia de Contratación se encarga de elaborar el contrato e integrar sus anexos, verificando la entrega de las garantías que la ley marca, tanto de cumplimiento como de anticipo (en caso de haberlo) y gestiona el pago del anticipo correspondiente.

Es importante mencionar que aparte de organizar la reunión de protocolo de inicio de los trabajos y la formalización del contrato de obra pública, la Residencia de Contratación administra desde el punto de vista normativo la construcción de la obra, para lo cual da seguimiento a los siguientes aspectos:

- Bitácora de obra
- Trabajos no contemplados en el contrato original
- Ajustes de Costos
- Convenios modificatorios a las condiciones originales

El seguimiento normativo de los contratos por parte de dicha Residencia de Contratación termina cuando, una vez concluidos físicamente los trabajos, se elabora y formaliza el finiquito y cierre administrativo del contrato.

Construcción de la obra

Se considera esta etapa como la primordial en el desarrollo de un proyecto de infraestructura de transmisión y transformación de energía eléctrica, toda vez que en ésta se materializa el proyecto de acuerdo a las características requeridas.

Esta parte del proceso corre a cargo de la Residencia de Obra de Zona correspondiente dependiendo de la ubicación geográfica de la obra, quien se encarga de la supervisión de los trabajos.

Una vez establecida la Residencia de Supervisión integrada por un Residente de la obra apoyado por uno o varios supervisores, se procede a la entrega del sitio de los trabajos al contratista quien iniciará la ejecución física de los mismos.

Entre las principales actividades de esta etapa del proceso se encuentran:

- Supervisar la construcción de la obra civil y electromecánica con la finalidad de que la misma se lleve a cabo en apego a lo establecido en el contrato, en las especificaciones, planos y referencias.
- Verificar que la obra se lleve a cabo con los estándares de calidad requeridos y establecidos contractualmente con evidencia de las pruebas aplicadas durante el desarrollo de los trabajos.
- Llevar la rectoría del llenado de la bitácora de obra que será el documento legal que soporte los hechos ocurridos durante la construcción, en caso de cualquier controversia y en el que se asentarán los aspectos más relevantes.
- Verificar que los suministros de equipos sean los requeridos de conformidad con el diseño, alcances contractuales y proposición presentada durante la licitación por el contratista.
- Verificar que se cumpla dentro de la obra con los requerimientos de protección ambientales establecidos desde el contrato y en los sistemas de gestión.
- Verificar que se cumpla dentro de la obra con los requisitos de Seguridad y Salud en el trabajo establecidos contractualmente y de acuerdo a lo requerido por los sistemas de gestión.
- Verificar que se cumpla dentro de la obra con los demás requisitos del Sistema de Gestión de la calidad.
- Elaborar los reportes de avance de la obra de conformidad con lo realmente ejecutado.
- Autorizar las cantidades y conceptos adicionales no contemplados en el contrato original, que van surgiendo por circunstancias que se presentan durante la ejecución de los trabajos.
- Autorizar las estimaciones de trabajos ejecutados para su posterior pago al contratista de acuerdo a lo pactado.
- Resolver cualquier controversia, imprevisto o caso fortuito que se presente durante la ejecución de la obra.
- Recepcionar los trabajos a entera satisfacción de la CFE.
- En coordinación con la Residencia de Contratación llevar a cabo el finiquito y cierre administrativo de los contratos.
- Entregar la obra de infraestructura al Área Usuaria que se encargará de operarla.

Dentro de las actividades correspondientes a la construcción se encuentra la puesta en servicio, ya que ésta debe realizarse antes de entregar la obra al área que la va a operar; sin embargo, por la importancia de esta etapa de puesta en servicio se considerará para el presente estudio como una etapa aparte, misma que se describe a continuación.

Puesta en servicio

Esta etapa del proceso es el conjunto de actividades necesarias para poner en funcionamiento la infraestructura de transmisión y transformación, especialmente en lo que se refiere al equipo

eléctrico, de protección y de comunicaciones, con el fin que, una vez operando, se integre a la red eléctrica nacional.

Esta etapa del proceso en la Residencia Regional Peninsular es responsabilidad de la Residencia Técnica y se describe en las siguientes actividades:

- Elaborar y coordinar los programas de puesta en servicio con los responsables en las correspondientes áreas operativas.
- Integrar y proporcionar al área operativa los resultados de las pruebas preoperativas, la información técnica de los aspectos de ingeniería, así como manuales de equipos, diagramas y cédulas de materiales para la realización de la puesta en servicio.
- Supervisar los avances de los programas de puesta en servicio de la obra por el área operativa y tomar las acciones correspondientes para su cumplimiento.
- Registrar en la bitácora los avances y aspectos relevantes de la puesta en servicio y controlar su resguardo.
- Elaborar constancia de energización del proyecto.
- Formalizar constancia de energización del proyecto.

Los procesos que se acaban de describir se integran en la **figura 1.1**, la que representa el esquema completo del Proceso en análisis y que se incluye en el Manual de Procesos de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación [4].

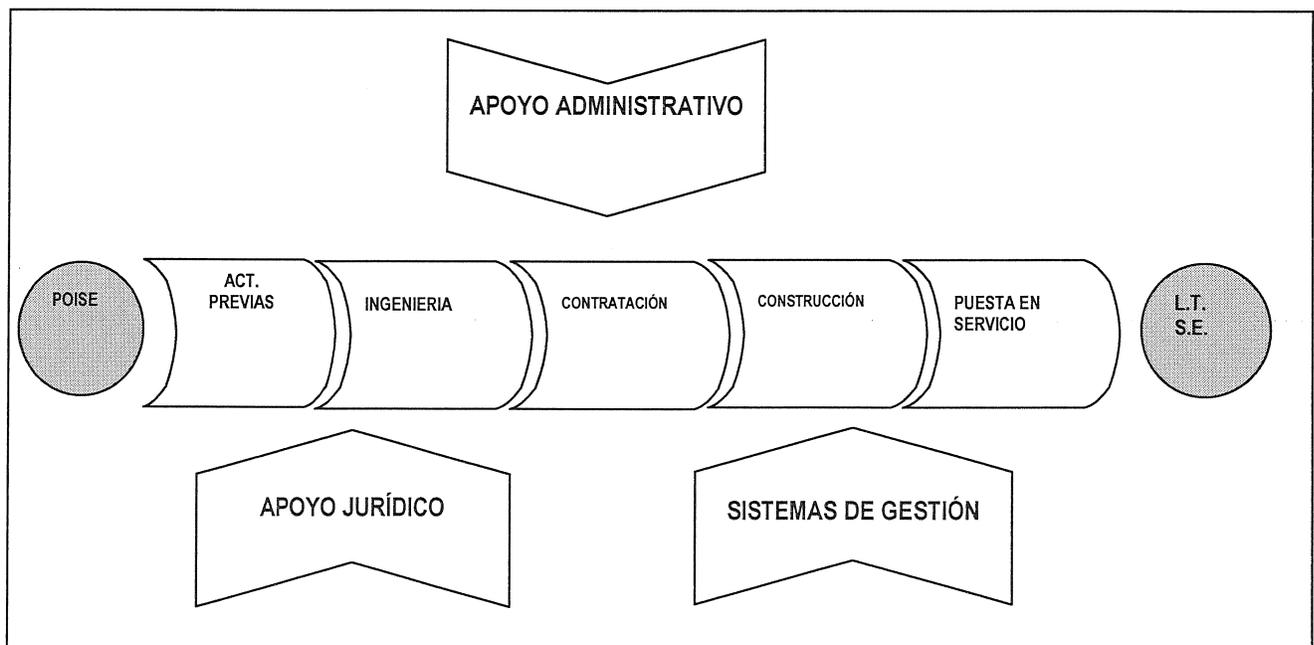


Figura 1.1.- Proceso de construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica.

CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍA A APLICAR EN EL ANÁLISIS

En el presente capítulo se describen de manera resumida los métodos que se aplicarán en el análisis a realizar señalando su origen, su objetivo, cómo se desarrollan y los posibles resultados que se obtendrían de su aplicación.

2.1.- Método de Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)

El método de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (FMEA por sus siglas en inglés) es un método sistemático de identificación y prevención de fallas y problemas en procesos y productos antes de que éstos sucedan.

Los primeros análisis de este tipo se realizaron en la industria aeroespacial a mediados de los años sesentas del siglo pasado, enfocándose específicamente a cuestiones de seguridad. Sin embargo, desde hace mucho tiempo el FMEA se ha convertido en una valiosa herramienta para mejorar la seguridad, sobre todo en procesos industriales y químicos.

Como se ha mencionado, el principal objetivo de un Análisis de Modos y Efectos de Falla es prevenir problemas, fallas y errores en los procesos y productos antes de que éstos sucedan y al aplicarlo tanto en la etapa de diseño como en la producción hace que se reduzcan sustancialmente los costos mediante la identificación de las potenciales fallas y sus efectos para proponer mejoras al proceso de manera oportuna, lo que permite que los cambios a realizar sean más viables y no representen un impacto económico para el proceso en estudio.

Aplicar el FMEA se ha vuelto una actividad casi obligada para garantizar que los productos sean confiables, en el sentido que logren funcionar bien el tiempo que se ha establecido como su período de vida útil, pero también cada día se hace más común su aplicación en muchos otros campos con el objetivo de detectar fallas potenciales y prevenirlas, y de esa forma reducir los tiempos de ciclo, mejorar la eficiencia de procesos, etc. Si un producto o un proceso se analizara como un edificio, aplicarles un FMEA consistiría en revisar sus cimientos y estructura, para asegurar que ambos sean confiables y seguros, disminuyendo de este modo la probabilidad de que fallen. En éste sentido, un proceso no está realmente caracterizado, sino hasta que se le ha aplicado el FMEA, y a partir de éste se fundamentan acciones para su mejora integral.

La frecuencia con que ocurren las fallas junto con su severidad son una medida del riesgo de un sistema. Mientras mayor sea dicha frecuencia, menor será tal confiabilidad y viceversa. De esta forma una tarea fundamental cuando se busca caracterizar y mejorar un proceso es aplicar la metodología del FMEA, con la idea de conocer mejor las debilidades (modos de falla potenciales) del producto o proceso y a partir de ahí generar soluciones a nivel proceso o rediseño de producto. Como se comentará adelante, las herramientas estadísticas serán de utilidad para establecer la frecuencia de fallas, los efectos y las causas más importantes y también de utilidad para decidir acciones que atiendan las mayores debilidades del producto o el proceso.

La metodología del Análisis de Modo y Efecto de Fallas proporciona la orientación y los pasos que un grupo de personas debe seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o un proceso, junto con el efecto que provocan éstas. A partir de lo anterior, el grupo establece prioridades y decide acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran las fallas potenciales que más vulneran la confiabilidad del producto o el proceso.

Descripción del Método y cada una de sus etapas

A continuación se señalan de manera concisa cada una de las etapas del FMEA que, como se verá más adelante, sirvieron de referencia para desarrollar una metodología para el análisis de fallas durante la construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica:

a) Revisar el proceso y/o producto

Esta primera etapa consiste en realizar un análisis detallado del proceso o producto a revisar en todas sus partes desde el origen hasta su conclusión, recabando información con el personal encargado de los tiempos y movimientos así como de las principales actividades.

b) Determinar potenciales modos de falla a través de una tormenta de ideas

Una vez que se conoce bien el proceso, se procede a determinar los posibles modos de falla apoyándose en la experiencia de los que tienen a su cargo cada una de las actividades, se trata de ir expresando ideas de los posibles modos de falla desde los que se consideren más factibles hasta los menos esperados, ya que luego serán filtrados, una vez que se han recopilado en su totalidad, éstos deben clasificarse de manera conveniente, por ejemplo para una planta generadora de energía eléctrica podrían agruparse por la naturaleza del modo de falla (eléctrico, químico, mecánico, etc.).

c) Determinar los efectos para cada potencial modo de falla

Una vez establecidos los potenciales modos de falla se procede a determinar el efecto que podrían tener dentro del proceso, haciéndonos la siguiente pregunta si la falla llegase a ocurrir que consecuencias tendría. Es pertinente señalar que dependiendo de la naturaleza y complejidad del proceso a estudiar, es factible que una falla potencial tenga varios efectos o por el contrario dos o más fallas potenciales tengan el mismo efecto.

d) Asignar un nivel de severidad a cada efecto

En esta etapa se trata de definir que tanto impacto tendría la consecuencia en caso de ocurrir una falla, dependiendo de la naturaleza del proceso en estudio en algunos casos podría ser fácil este parámetro, en otros casos será necesario estimar la severidad con base en la experiencia y el conocimiento de la gente encargada del proceso.

e) Asignar un nivel de ocurrencia a cada modo de falla

Para asignar el nivel de ocurrencia lo más adecuado son utilizar datos estadísticos del proceso y de la frecuencia con que ha ocurrido la falla de referencia, sin embargo cuando no es posible obtener dichos datos es necesario acudir a las estimaciones de los expertos encargados del proceso para determinar cómo podría ocurrir dicha falla y con qué frecuencia podría presentarse.

f) Asignar un nivel de detección para cada modo de falla

Este parámetro se refiere a la facilidad para detectar ya sea la falla o el efecto de la falla una vez que es ésta ha ocurrido. La principal referencia para estandarizar esta medida es el número de controles que se tienen establecidos en esta etapa del proceso de que se trate y que tan capaces son de detectarla.

g) Calcular el riesgo de que suceda cada modo de falla

Este parámetro se calcula con base en los anteriores aludidos en los incisos d, e y f y es de trascendencia para priorizar los modos de falla con la finalidad de emprender acciones. La fórmula más común consiste en multiplicar la severidad, por la ocurrencia y por el nivel de detección.

$$\text{Riesgo} = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

2.2.- Modelos Lógicos

La metodología del Análisis Probabilístico de Seguridad de nivel 1 se basa en dos tipos de diagramas lógicos, que son:

- Árboles de eventos: para determinar las posibles secuencias de falla.
- Árboles de fallas: para determinar la probabilidad de fallas de sistemas.

2.2.1.- Árboles de eventos

El árbol de eventos (parte superior de la **figura 2.1**) se desarrolla a partir de un evento iniciador, que se define como cualquier suceso que perturba el desarrollo normal del proceso y que lo puede afectar con severidad si se presenta el mal funcionamiento de los sistemas de seguridad encargados de regresar el proceso a su desarrollo normal, los cuales mitigan las consecuencias de la perturbación inicial. Para el caso de centrales generadoras de energía eléctrica, algunos ejemplos pueden ser los transitorios operacionales esperados, tales como la falla en un equipo, la indisponibilidad del mismo por mantenimiento o bien los errores humanos. En los encabezados del árbol de eventos se presentan los distintos sistemas que son capaces de mitigar los efectos del evento iniciador. Así para cada sistema de mitigación, se pregunta si éste tiene éxito o no a cumplir con su función; el éxito se representa en la rama superior y la falla en la inferior. Haciendo esta pregunta para cada encabezado se hacen fallar tantos sistemas como sean necesarios para llegar a una condición de falla del proceso en general. De esta forma se define cada secuencia de falla en el extremo derecho del árbol de eventos como la sucesión de éxitos y fallas de sistemas de mitigación que se presentan después del evento iniciador.

2.2.2.- Árboles de fallas

Para calcular la probabilidad de ocurrencia de las secuencias de falla es necesario obtener un árbol de fallas para cada sistema modelado en los encabezados. Los árboles de fallas se construyen por medio de compuertas lógicas **AND** y **OR**; en las compuertas **AND** el evento desarrollado se presenta cuando ocurren todos los eventos modelados debajo de la compuerta y en las compuertas **OR** cuando alguno de ellos ocurre. Los árboles de fallas se desarrollan hasta desglosar las fallas en términos de eventos básicos, para los cuales pueden obtenerse datos de falla significativos. Los eventos básicos utilizados en un Análisis Probabilístico de Seguridad incluyen:

- Fallas de equipo, que consideran los diferentes modos de falla que puede tener un componente.
- Indisponibilidad, que considera la posibilidad de que el componente esté indisponible por mantenimiento.
- Factores humanos, que consideran acciones del personal que puedan intervenir de manera positiva o negativa en el funcionamiento del sistema durante las actividades de la planta.

En el desarrollo de estos modelos lógicos se toma en cuenta también el análisis de dependencias. Esto es, cuando un mismo componente es compartido por dos o más sistemas, o bien cuando un evento básico puede de alguna manera afectar el funcionamiento de otros sistemas, es necesario repetir los eventos involucrados como parte de cada árbol de fallas afectado. Existe también la posibilidad de que distintos componentes pueden llegar a estar fallados por la misma causa, ya sea

por compartir el mismo diseño o proceso de fabricación, o por estar sometidos a un mismo proceso de degradación, o debido a su proximidad física. Éstas últimas se denominan causas comunes de falla, y se modelan repitiendo el mismo evento en los lugares donde intervienen los componentes del grupo afectado.

A continuación se presenta como **Figura 2.1** un esquema que describe la integración básica de los árboles de eventos y árboles de fallas en un Análisis Probabilístico de Seguridad.

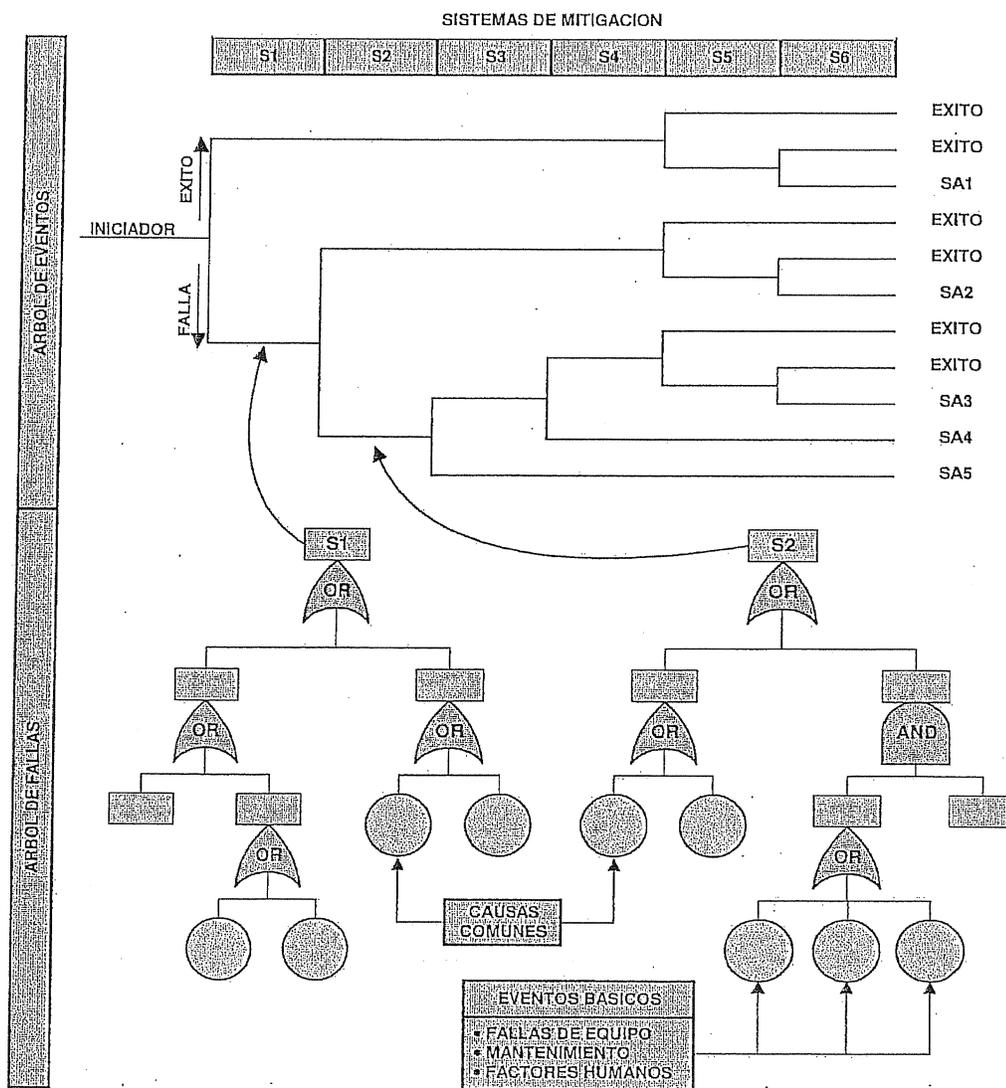


Figura 2.1.- Integración básica de árbol de eventos y árboles de fallas en un Análisis Probabilístico de Seguridad [6].

2.2.3.- Integración del modelo

El Análisis Probabilístico de Seguridad se integra juntando los modelos que representan cada elemento de la secuencia de accidente, esto es:

- El evento iniciador

- Los eventos tope de los árboles de fallas de los sistemas de mitigación
- Los factores humanos que intervienen en la secuencia
- Otras fallas de sistemas o dispositivos requeridas para completar la secuencia

Igualmente, existiendo una gran cantidad de secuencias de accidente cada una con su propia estructura, es necesario conjuntar todas éstas para su tratamiento integral. En el lenguaje de los modelos lógicos, esto se puede resumir diciendo que el modelo integrado es la compuerta OR de todas las secuencias de falla modeladas, y que cada secuencia de falla se representa como la compuerta AND de los elementos que la definen. Así el modelo del Análisis Probabilístico de Seguridad, cuyo evento tope se podría definir como "Ocurre alguna secuencia de falla".

2.3.-Desarrollo de datos probabilísticos

Una vez definidos los eventos que aparecen en los modelos lógicos del Análisis Probabilístico de Seguridad, es necesario obtener sus probabilidades de ocurrencia y existen métodos diferentes para cada tipo de evento, de acuerdo a sus características. En la medida de lo posible, estos datos deben reflejar la experiencia específica en el proceso, aunque ésta debe ser consensuada con datos provenientes de la experiencia operacional; en ambos aspectos los datos obtenidos deben actualizarse periódicamente para dar un seguimiento a la evolución de las probabilidades asociadas a fallas durante el proceso en estudio, ya que éstas pueden incrementarse con el tiempo o bien pueden disminuir si se van aplicando soluciones efectivas a los problemas de confiabilidad.

En el desarrollo de datos no sólo es importante obtener una estimación puntual del valor real de la tasa de ocurrencia, sino también contar con una representación de la incertidumbre alrededor de este valor; esto es, la distribución de probabilidad de la tasa de ocurrencia.

2.3.1.- Frecuencia de eventos iniciadores

Como se ha señalado anteriormente los eventos iniciadores son sucesos que perturban el desarrollo normal del proceso y que lo puede afectar con severidad si se presenta el mal funcionamiento de los sistemas de mitigación. Dentro de los eventos iniciadores se incluyen desde eventos hipotéticos que no han ocurrido hasta sucesos que se espera que ocurran repetidamente.

Para el caso de eventos iniciadores que se esperan con cierta recurrencia, es posible hacer estadísticas para obtener la distribución de la frecuencia de ocurrencia.

En el caso de eventos hipotéticos o de muy rara ocurrencia, las frecuencias se obtienen a partir del juicio de expertos, basado en la experiencia.

2.3.2.- Confiabilidad de componentes

La confiabilidad de componentes se calcula a partir de las tasas de ocurrencia de los modos de falla postulados para cada componente en los árboles de falla.

Para completar el análisis de confiabilidad de componentes es necesario combinar la tasa de ocurrencia con los tiempos de duración o de exposición a la falla, por medio de modelos de confiabilidad apropiados para obtener una indisponibilidad promedio del componente.

2.3.3.- Fallas de causa común

Las fallas de causa común se presentan cuando dos componentes que se encuentran separados físicamente en el proceso, fallan por la misma causa. Lo anterior puede derivar, entre otras cosas, en errores comunes en el diseño o fabricación, en las prácticas de mantenimiento, en las partes de repuesto, ambientes de funcionamiento, errores de procedimiento u operación, suministros degradados etc.

Las fallas de causa común se incluyen en los modelos lógicos simplemente repitiendo el evento básico que las representa debajo de la compuerta OR que modela cada componente afectado.

2.3.4.- Confiabilidad humana

Los modelos lógicos de un Análisis Probabilístico de Seguridad incluyen posibles errores del personal encargado de operar cada una de las etapas del proceso, que puedan impedir el funcionamiento de algún sistema. Estos errores se pueden dividir en dos grandes categorías:

Antes de evento iniciador: Son aquellas intervenciones humanas rutinarias que se tienen durante el ciclo de operación, las cuales al ejecutarse incorrectamente pueden deshabilitar algún componente requerido.

Después del evento iniciador: Son aquellas intervenciones humanas requeridas como respuesta para la mitigación de un evento iniciador.

2.4.- Cuantificación de secuencias

Una vez integrado el modelo completo del Análisis Probabilístico de Seguridad y obtenidos sus datos probabilísticos (eventos iniciadores, confiabilidad de componentes, fallas de causa común y factores humanos), se procede a la fase de cuantificación, la cual consta de dos etapas: Reducción booleana y Cuantificación Probabilística.

2.4.1.- Reducción Booleana

La reducción booleana es el proceso matemático por el cual un árbol de fallas se transforma en las combinaciones únicas de eventos básicos que pueden llevar al evento tope, llamadas conjuntos mínimos de corte (CMC). Estos conjuntos tienen las siguientes características:

- Cada evento básico en el conjunto es necesario para que se presente el evento tope (conjunto mínimo).
- No existen conjuntos de corte repetidos (conjunto único).

Por lo tanto, los CMC's son mutuamente exclusivos, y al aplicar las reglas básicas de probabilidad a estos conjuntos, es posible obtener la probabilidad del evento tope a partir de las probabilidades de los eventos básicos.

2.4.2.- Cuantificación probabilística

Una vez determinados los Conjuntos Mínimos de Corte y habiendo determinado probabilidades para los eventos básicos, la cuantificación probabilística consiste primeramente en calcular la probabilidad del evento tope, es decir, la probabilidad total de todas las secuencias de accidente.

Igualmente interesante es obtener un Análisis de Importancias, el cual nos refleje como resultado cuanto contribuye cada componente o sistema al riesgo total del proceso. Existen diversas formas de representar esta contribución pero las dos principales son:

- Reducción de riesgo.- Indica en cuanto disminuiría el riesgo si el componente fuera perfecto.
- Incremento de riesgo.- Indica en cuanto se incrementaría el riesgo si el componente fallara con probabilidad de 1.0.

Actualmente para realizar el Análisis Probabilístico de Seguridad, los especialistas pueden auxiliarse con herramientas informáticas de última generación y altamente confiables, entre las cuales destaca el software denominado "Saphire", (Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations), mismo que ha venido evolucionando desde su aparición en 1989 hasta la versión 8.x desarrollada en el año 2004. [7]

A través de dicho sistema informático es posible modelar el árbol de eventos correspondiente al proceso a estudiar, incorporando en primera instancia el evento iniciador y posteriormente los sistemas de mitigación hasta concluir, lo cual es graficado de manera automática por dicha herramienta.

De igual manera a través del software es posible modelar, de manera lógica o incluso gráficamente los árboles de falla correspondientes al citado árbol de eventos, mediante la integración de compuertas OR o bien AND cuando sea el caso hasta llegar a los eventos básicos.

Una vez estructurados el árbol de eventos y sus correspondientes árboles de fallas el programa "Saphire" nos permite de manera automática ligarlos a través de la opción "link trees".

Con la finalidad de llevar a cabo la cuantificación de secuencias de manera automática, Saphire nos permite introducir la probabilidad y otros parámetros útiles para obtener como resultados las frecuencias y otras medidas como son las importancias.

La herramienta informática de referencia es de una gran utilidad, ya que con ella se simplifica de manera importante el trabajo para desarrollar un Análisis Probabilístico de Seguridad, al ahorrarse una buena cantidad de recursos, específicamente capital intelectual principalmente en la etapa de cuantificación de secuencias, proceso complejo de realizar manualmente.

CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE FALLAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Con el antecedente teórico descrito en el capítulo 2 del presente trabajo, el análisis de fallas de la construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica se realizó en dos etapas:

- Por una parte se aplicó la metodología del Análisis de Modos y Efectos de Falla.
- Seguidamente se realizó el análisis a través de un árbol de eventos y árboles de fallas con apoyo de la herramienta informática denominada Saphire, lo cual permitió determinar las probabilidades de las fallas consideradas en el modelo, así como otras medidas que denotan la relevancia de cada una de esas fallas.

Una vez obtenidos los resultados se realizó el análisis de los mismos para proponer acciones que eleven el nivel de confiabilidad del proceso y disminuyan la tasa de fallas.

En ambos casos fue necesario contar con referencias sobre el comportamiento del proceso, destacando la siguiente información:

- Fallas potenciales
- Causas potenciales
- Efectos Potenciales
- Nivel de severidad
- Nivel de ocurrencia
- Nivel de detección
- Probabilidades de ocurrencia

Para obtener la información antes señalada se acudió a datos estadísticos históricos documentados en los archivos de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular, así como la experiencia del personal involucrado directamente en el proceso, lo cual se detalla en el siguiente apartado.

3.1.- Recopilación de datos estadísticos históricos relativos al proceso de construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica.

De acuerdo a la naturaleza del proceso estudiado, los datos estadísticos necesarios para realizar el análisis no fueron fáciles de obtener ya que no se cuenta con una base de datos a partir un monitoreo puntual del proceso para el fin que nos ocupa, como suele ocurrir en una planta generadora de energía eléctrica o en la industria automotriz donde en años recientes se han implementado registros detallados de las fallas que les sirven de referencia para este tipo de análisis.

Sin embargo, haciendo analogías con el proceso en estudio acudimos a tres fuentes principales de datos estadísticos históricos:

- Las causas que originaron los convenios modificatorios a los contratos de obra pública, formalizados para la construcción de las obras de infraestructura de transmisión y transformación de energía eléctrica.
- Las observaciones determinadas por los órganos fiscalizadores.
- La experiencia del personal involucrado recopilada a través de encuestas.

En los siguientes apartados se describe la investigación realizada para obtener la información histórica antes señalada.

3.1.1.- Causas que originaron los convenios modificatorios a los contratos de obra pública.

Como se ha mencionado anteriormente, se estudiaron Obras Públicas Presupuestales, mismas que en el ámbito de la Comisión Federal de Electricidad son construidas por un tercero (persona física o moral), al que se denomina contratista siendo supervisado por personal adscrito a la CFE, en este caso a la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular. En ese contexto, la relación entre dicho contratista y la CFE se rige a través de un documento denominado Contrato de Obra Pública, el cual está estructurado de conformidad con la normatividad aplicable, sin embargo cuando durante el desarrollo de las obras se presentan modificaciones que alteran las condiciones originales, se hace necesaria la formalización de convenios modificatorios a dichos contratos, contemplados también por la ley en la materia.

Los convenios modificatorios describen las causas que dieron origen a los cambios, lo cual hace que se modifiquen las condiciones en las que se inició la construcción, y en muchas ocasiones que la obra no se concluya en la fecha originalmente establecida y su monto se modifique, lo que para nuestro estudio representa una falla en el proceso, al no concluirse la obra de acuerdo a lo planeado.

Por lo anterior se seleccionó una muestra de 53 contratos de obra pública celebrados del año 2001 al 2009 a partir de los cuales se formalizaron 66 convenios modificatorios. Al respecto en los archivos de la Residencia Regional Peninsular se verificaron para cada convenio las causas que le dieron origen, agrupándolas por tipo de deficiencia de acuerdo a lo señalado en el propio documento legal, así como el diferimiento en su fecha de terminación real con respecto de la programada.

El resultado de la investigación antes descrita se condensa en la **Tabla 3.1**.

TABLA 3.1.- CAUSAS QUE ORIGINARON LA FORMALIZACIÓN DE CONVENIOS EN CONTRATOS DE OBRA PÚBLICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONSEC.	NÚM. CONTRATO	ETAPA		NÚM. DE CONVENIO	DEFICIENCIAS	FECHA DE CONCLUSIÓN		
		AP	ING			CONTRACTUAL	REAL	DESVIACION (DÍAS DE ATRASO)
1	011081		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	30/01/2002	17/06/2002	138
					IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
				2	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	30/01/2002	17/06/2002	138
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
					DISEÑO FUERA DE TIEMPO			
				3	RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA	30/01/2002	17/06/2002	138
2	011082		1	2	IMPREVISTOS	13/08/2002	25/08/2002	12
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
				2	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	13/08/2002	25/08/2002	12
3	011098		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	23/08/2002	09/11/2002	78
					ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO			
					IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					DISEÑO FUERA DE TIEMPO			
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO								
4	0110107	1	1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	30/07/2002	31/08/2002	32
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE								
5	0110115		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	02/07/2002	09/11/2002	130
					ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
6	0110116		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	20/05/2002	20/05/2002	0
					IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
7	0110119		1	1	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	13/09/2002	10/08/2002	-34
					IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO			
8	021001		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	19/06/2002	03/08/2002	45
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
				2	IMPREVISTOS	19/06/2002	03/08/2002	45
					CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS			
9	022004	1	1	1	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	30/06/2003	18/07/2003	18
					CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS			
10	021013	1	1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	09/09/2002	11/09/2002	2
					IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS			
				1	FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	09/09/2002	11/09/2002	2
11	021058		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	31/12/2002	02/04/2003	92
					IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
					DISEÑO FUERA DE TIEMPO			
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA								
12	021050		1	1	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	28/12/2002	12/05/2003	135
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
					REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA			
13	021095	1	1	1	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	10/07/2003	13/07/2003	3
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
					CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS			
				1	FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	10/07/2003	13/07/2003	3
14	021097		1	1	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	21/07/2003	23/11/2003	125
					FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO			
					REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA			
					CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO			
				2	FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	21/07/2003	23/11/2003	125
					REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA			

TABLA 3.1.- CAUSAS QUE ORIGINARON LA FORMALIZACIÓN DE CONVENIOS EN CONTRATOS DE OBRA PÚBLICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONSEC	NÚM. CONTRATO	ETAPA		NÚM. DE CONVENIO	DEFICIENCIAS	FECHA DE CONCLUSIÓN		
		AP	ING			CONTRACTUAL	REAL	DESVIACIÓN (DÍAS DE ATRASO)
15	RGCP-CLO-001-02		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	06/07/2002	06/07/2002	0
16	RGCP-CLO-028-02	1	1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	31/12/2002	15/01/2003	15
17	031014		1	1 2	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	10/07/2003	18/09/2003	70
18	RGCP-CLO-005/03		1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	08/11/2003	26/12/2003	48
19	031032		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	28/12/2003	28/12/2003	0
20	RGPE-041001		1	1	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	25/10/2004	25/10/2004	0
21	RGPE-041003		1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	04/07/2005	04/07/2005	0
22	RGPE-041005		1	2	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	26/07/2005	16/09/2005	52
23	RGPE-CO-001-04		1	1	FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	20/11/2004	31/12/2004	41
24	RGPE-CO-002-04		1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	20/11/2004	10/12/2004	20
25	RGPE-CO-007-04		1	1 2	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	08/12/2004	09/02/2005	63
26	RGPE-CO-008-04		1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	26/12/2004	18/01/2005	23
27	RGPE-CO-004/05			1	PROBLEMAS PRESUPUESTALES	31/10/2005	24/12/2005	54
28	RGPE-CO-008/05	1	1	1	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS	12/09/2005	24/10/2005	42
29	RGPE-CO-010/05		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	17/09/2005	17/09/2005	0
30	RRPE-CO-016/05		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	26/12/2005	26/12/2005	0
31	RRPE-CO-020/05		1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	24/11/2005	24/11/2005	0
32	RRPE-CO-024/05		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	22/12/2005	26/12/2005	4
33	RRPE-CO-025/05		1	1 2	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	29/12/2005	24/02/2006	57
34	RGPE-AD-CO-003/05	1		1	FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	14/09/2005	09/10/2005	25
35	RRPE-AD-CO-033/05		1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	30/11/2005	30/11/2005	0
36	RRPE-AD-CO-035/05		1	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	15/12/2005	31/12/2005	16
37	RRPE-061006		1	2 3 4	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	23/12/2006	20/12/2007	362
38	RRPE-061008		1	2 3	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	28/12/2006	04/01/2008	372

TABLA 3.1.- CAUSAS QUE ORIGINARON LA FORMALIZACIÓN DE CONVENIOS EN CONTRATOS DE OBRA PÚBLICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONSEC.	NÚM. CONTRATO	ETAPA		NÚM. DE CONVENIO	DEFICIENCIAS	FECHA DE CONCLUSIÓN			
		AP	ING			CONTRACTUAL	REAL	DESVIACION (DIAS DE ATRASO)	
39	RRPE-061010		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA		28/09/2007	15/10/2007	17
40	RRPE-CO-005-06		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	27/12/2006	22/01/2008	391	
				2	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				
41	RRPE-CO-010-06		1	2	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREVISTOS	29/12/2006	08/05/2007	130	
42	RRPE-CO-011-06		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	01/04/2007	01/04/2007	0	
43	RRPE-071001		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREVISTOS	19/11/2007	31/12/2007	42	
44	RRPE-CO-001-07		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	15/03/2007	15/03/2007	0	
45	RRPE-CO-002-07		1	1	FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	01/11/2007	01/11/2007	0	
46	RRPE-CO-004-07		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	12/12/2007	31/12/2007	19	
47	RRPE-CO-005-07		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	06/12/2007	25/12/2007	19	
					REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA				
48	RRPE-CO-006-07		1	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	13/12/2007	24/12/2007	11	
49	RRPE-081001			1	IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	29/11/2008	29/11/2008	0	
50	RRPE-081006		1	1	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA ESCAZEZ DE MATERIALES	17/03/2009	31/03/2009	14	
				2	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				
51	RRPE-CO-002-08		1	1	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	10/10/2008	10/10/2008	0	
52	RRPE-CO-003-08		1	1	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	18/10/2008	20/11/2008	33	
53	RRPE-CO-004-08		1	1	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	28/12/2008	28/12/2008	0	
		7	50						

3.1.2.- Observaciones determinadas por los Órganos Fiscalizadores.

Al ser Comisión Federal de Electricidad una Entidad perteneciente a la Administración Pública Federal por disposición de Ley es fiscalizada por diferentes instancias de gobierno desde la Secretaría de la Función Pública a través del Órgano Interno de Control establecido en la CFE o despachos externos contratados para tal efecto, hasta el Poder Legislativo que fiscaliza el ejercicio del presupuesto de inversión a través de la Auditoría Superior de la Federación

Durante sus auditorías dichos Órganos Fiscalizadores al determinar alguna deficiencia que considere relevante emite una cédula de observación, a la cual posteriormente le da seguimiento para verificar que se hayan implementado acciones para evitar su reincidencia. Dichos documentos por su naturaleza pueden ser considerados como evidencia de una falla en el proceso de desarrollo y construcción del proyecto, por lo cual se decidió incorporar las observaciones de las que se tienen registros del año 2000 al año 2009, lapso en el cual se documentaron 30 observaciones mismas que fueron clasificadas por año y por tipo de deficiencia como se muestra a continuación en la **Tabla 3.2.**

TABLA 3.2.- RELACIÓN DE OBSERVACIONES DETERMINADAS EN LA RESIDENCIA REGIONAL DE CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN PENINSULAR

CONSEC.	NÚM DE OBSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DEFICIENCIA	AÑO DE EMISIÓN	OBSERVACIONES
1	1 N.P.R. 43/2000	En la Residencia General de Líneas de Transmisión y Subestaciones Peninsular se realizaron pagos por un importe de \$2,881.0 miles al margen de las condiciones pactadas en el contrato de obra pública número 991007	PAGOS SIN SOPORTE	2000	
2	1 N.P.R. 43/2000	Deficiencias de Control Interno en los expedientes de las eliminaciones, generadores y soportes documentales del contrato 991007	DEFICIENCIAS EN LA ADMINISTRACION DE CONTRATOS	2000	
3	1 N.P.R. 64/2001	Pagos en exceso por un importe de \$197 miles en el contrato de obra pública en el contrato 20001034, adjudicado en la Residencia General de Construcción de LT's y SE's Peninsular	PAGOS SIN SOPORTE	2001	
4	2 N.P.R. 64/2001	En la Residencia General de Construcción de LT's y SE's Peninsular se pagaron trabajos por un importe de \$1,557 miles al margen de lo pactado en el contrato de obra pública núm. 20001034	PAGOS SIN SOPORTE	2001	
5	3 N.P.R. 428/2001	Incumplimiento de los plazos de ejecución pactados en los contratos de obras públicas núms. 200010136, 200010132, 200010130 y 200010127 por un importe total de \$89,188.0 miles mas 3,286.0 miles de dólares americanos, \$30,790.0 miles al tipo de cambio de \$9.37 del 30 de noviembre de 2001, a cargo de la Residencia General de Construcción de LT's y SE's Peninsular	DEFICIENCIAS DE CONTROL	2001	
6	4 N.P.R. 428/2001	Saldos estáticos con antigüedades de hasta 7 meses en la cuenta 11D30.- Materiales para construcción, en poder de contratistas, por un importe de \$38,796.0 miles, sin que a la fecha se haya comprobado.	DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS (CIERRE ADMINISTRATIVO DE CONTRATOS)	2001	
7	1 N.P.R. 92/2002	Incumplimiento a los Sistemas de calidad establecidos en los contratos de obra pública números 011082 y 021001 y en el primero se pagaron indebidamente un anticipo de obra por \$6,705.7 miles y trabajos por un importe de \$11,578.0 miles ejecutados en desapego a las especificaciones de construcción y normas de calidad aplicables	MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	2002	
			PAGOS SIN SOPORTE		
8	1 N.P.R. 36/2003	Deficiencias de Control Interno que derivaron en pagos improcedentes y con desapego normativo por el orden de \$289.3 miles en contratos de obra pública ejecutados en el ejercicio 2002 en la Residencia General de Construcción de L.T. y S.E. Peninsular	DEFICIENCIAS DE CONTROL	2003	
			PAGOS SIN SOPORTE		
9	11 N.P.R. 1/2004	Deficiencias en el control interno que redundaron en pagos improcedentes y desapego normativo por un importe de \$961.3 miles, en la Residencia General de Construcción de L.T. y S.E. Peninsular	DEFICIENCIAS DE CONTROL	2004	
			PAGOS SIN SOPORTE		
10	11 N.P.R. 1/2004	La Residencia General de Construcción de L.T. y S.E. Peninsular adjudicó el contrato de obra pública número RGCP-CLO-06/2003 por el procedimiento de invitación a cuando menos tres personas, excediendo el monto máximo que para el efecto se estableció en el Presupuesto de Egresos de la Federación para 2003	DEFICIENCIAS EN LA ADJUDICACION DE CONTRATOS	2004	
11	7 N.P.R. 01/2006 (pen)	Deficiencias de Control interno e incumplimientos de la normatividad interna y externa aplicable en diversas fases de la ejecución de 82 contratos de adjudicación directa a cargo de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación	DEFICIENCIAS DE CONTROL	2006	
12	6 N.P.R. 01/2006	Deficiencias administrativas en la adjudicación, contratación y control de contratos de obra pública por un importe de \$155,539.0 miles en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	DEFICIENCIAS EN LA ADJUDICACION	2006	
			DEFICIENCIAS EN LA ADMINISTRACION DE CONTRATOS		
13	5 N.P.R. 01/2006	Se observan deficiencias en los trabajos realizados como asentamiento del revestimiento de concreto colocado en la torre No. 272 ejecutado al amparo del contrato RRPE-AD-CO-082/05, agrilamientos en las juntas de las losas con los muros perimetrales de las protecciones realizadas en las 4 patas de la torre núm. 412 así como colocado defectuoso de la malla y acero de refuerzo, quedando a la intemperie del contrato RRPE-AD-CO-065/05 adjudicados por la contingencia del huracán Stan en la Residencia de Obra de Zona Tabasco-Chiapas	MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	2006	
14	1 N.P.R. 01/2006	No se han cerrado administrativamente los contratos de obra pública núms. RGPE-041004, RGPE-051001, RGPE-051002, RRPE-CO-014/05, RRPE-CO-024/05 y RRPE-CO-025/05 con un valor de \$41,378 miles en la Residencia de Obra de Zona Tabasco-Chiapas	DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE CONTRATOS	2006	
15	1 N.P.R. 02/2006	Deficiencias de control en las diferentes etapas de la ejecución de las obras relativa a los contratos RGPE-041004, RGPE-051002, RRPE-CO-014/05, RRPE-CO-016/05, RRPE-CO-024/05 y RRPE-CO-025/05 que originaron errores, omisiones, deficiencias e incongruencias en la documentación	DEFICIENCIAS DE CONTROL	2006	
16	3 N.P.R. 01/2006	Conceptos de obra pagados con valor de \$82,564.89 que no cumplen con las condiciones contractuales en la ejecución de los contratos de obra pública Nos. RRPE-CO-014/05, RRPE-CO-024/05 y RRPE-CO-025/05 en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular (Residencia de Obra de Zona Tabasco-Chiapas)	PAGOS SIN SOPORTE	2006	
17	4 N.P.R. 01/2006	Pagos en exceso en diversos conceptos de obra por un importe total de \$375,699.84 efectuados en los contratos de obra pública núms. RRPE-CO-014/05, RRPE-CO-024/05 y RRPE-CO-025/05 en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular, específicamente en la Residencia de Obra de Zona Tabasco-Chiapas, recuperado durante el transcurso de la revisión	PAGOS SIN SOPORTE	2006	

TABLA 3.2.- RELACIÓN DE OBSERVACIONES DETERMINADAS EN LA RESIDENCIA REGIONAL DE CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN PENINSULAR

CONSEC.	NÚM. DE OBSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	TIPO DE DEFICIENCIA	AÑO DE EMISIÓN	OBSERVACIONES
18	7 N.P.R. 01/2006	Se observan agrietamientos en los muros interiores y exteriores y en la guarnición perimetral del local para cuadrillas denotando falta de supervisión a los procedimientos constructivos en la ejecución de los trabajos objeto del contrato de obra pública núm. RRPE-CO-024/05 en la Residencia de Obra de Zona Tabasco-Chiapas	MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	2006	
19	3 N.P.R. 26/2006	Pago impropio por la cantidad de \$4,041,154.01 en diversos conceptos en la ejecución de los trabajos de protección de cimentaciones de las L.T. Angostura-Tapaclula y L.T. Manuel Moreno Torres-Julio afectadas por el paso del huracán Stan, objeto de los contratos de obra pública núms. RRPE-AD-CO-036/05, RRPE-AD-CO-037/05, RRPE-AD-CO-038/05, RRPE-AD-CO-039/05, RRPE-AD-CO-040/05, RRPE-AD-CO-062/05, RRPE-AD-CO-063/05, RRPE-AD-CO-064/05, RRPE-AD-CO-065/05, RRPE-AD-CO-066/05, RRPE-AD-CO-081/05 y RRPE-AD-CO-082/05, en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	PAGOS SIN SOPORTE	2006	
20	4 N.P.R. 26/2006	Formulación impropia de Convenios modificatorios en monto y plazo, relativos a 12 contratos de obra pública celebrado a base de precio alzado que amparan pagos adicionales por \$29'911,414.81 en la Residencia de Obra de Zona Tabasco-Chiapas dependiente de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	DEFICIENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE CONVENIOS	2006	
21	1 N.P.R. 160/2007	En el contrato de obra pública número RRPE-051007 se pagaron volúmenes por \$1,592 miles, de los cuales dos conceptos de obra se realizaron sin apearse a las especificaciones de construcción, planos de diseño y alcances incluido en sus precios unitarios, y en otro concepto de obra aparecieron defectos de construcción en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	PAGOS SIN SOPORTE	2007	
22	2 N.P.R. 160/2007	Insuficiente planeación y programación para ejecutar el proyecto de la construcción del edificio para el cambio de las oficinas administrativas de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular, de la Comisión Federal de Electricidad, ya que se celebró el contrato de obra pública núm. RRPE-051007 por un importe de \$29,095 miles para ese fin, sin contar con la información suficiente y necesaria del diseño, ingeniería y planos, que derivó en la formalización de cuatro convenios modificatorios con los cuales se incrementó el importe del contrato en \$11,351 miles, de los cuales \$409 miles corresponden a trabajos que estaban incluidos en el alcance contractual.	DEFICIENCIAS DE PLANEACION	2007	
23	1 N.P.R. 161/2007	Irregularidades en el pago de bienes y servicios por el orden de \$2,272 miles durante el periodo comprendido de enero de 2006 a agosto de 2007, en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	PAGOS SIN SOPORTE	2007	
24	2 N.P.R. 161/2007	Pago de telefonía celular por un importe de \$256 miles, en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular, sin contar con la autorización de la Dirección de Administración de la Comisión Federal de Electricidad	PAGOS SIN SOPORTE	2007	
25	1 N.P.R. 47/2008	*En el contrato de obra pública número RRPE-071003, se pagaron 4 conceptos de obra por un importe de \$2,087 miles, correspondientes a 19 reportes mensuales de noviembre de 2007 a marzo de 2008, no obstante que no acreditaron totalmente con los documentos probatorios la aplicación y conocimiento de los requisitos mínimos establecidos en las especificaciones plañadas para los sistemas de calidad, de gestión ambiental, de seguridad y salud en el trabajo y el cumplimiento de disposiciones ambientales y arqueológicas en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	PAGOS SIN SOPORTE	2007	
26	2 N.P.R. 47/2008	Diferencias en las existencias del almacén de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular por \$835 miles por faltantes y \$6,692 miles por sobrantes	DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS (EN ALMACEN)	2008	
27	1 N.P.R. 61/2008	Irregularidades en el registro, control y resguardo de 48 bienes muebles de activos fijos por un importe de \$1,363 miles en el ámbito de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS (ACTIVO FIJO)	2008	
28	1 N.P.R. 81/2009	Bienes distintos a la Tierra pagados por \$5,135 miles en 25 predios sin tener constituidas las servidumbres de paso a favor de la CFE, así como \$86 miles pagados en exceso en 5 predios por considerar áreas mayores a las afectadas, en la L.T. Escárcega-Xpujil, a cargo de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular	DEFICIENCIAS EN EL CÁLCULO DE INDEMNIZACIONES	2008	
29	1 N.P.R. 83/2009	Deficiencias en la integración de las bases de la licitación pública número 18164099-002-08 y en la evaluación de las proposiciones con la que se adjudicó el contrato núm. RRPE-081006, que redundaron en dos precios unitarios extraordinarios, en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular.	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	2009	
			DEFICIENCIAS EN LA EVALUACIÓN		
30	7 N.P.R. 100/2009	Elaboración de dictamen para conciliar y convenir laboralmente sin que previamente se solicite documentación de un trabajador para la defensa de un juicio de reconocimiento de antigüedad	DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS (PERSONAL)	2009	

3.1.3.- Encuestas para determinar las deficiencias más comunes con base en la experiencia.

El personal que se encuentra directamente encargado de la supervisión y desarrollo de los trabajos realizados por las empresas contratistas (Construcción de la obra) son los Residentes de Obra y Supervisores adscritos a las Residencias de Obra de Zona, por lo cual se consideró adecuado aprovechar la experiencia de los mismos a efecto de que se incorporen como datos estadísticos las fallas más relevantes que se hayan presentado en los proyectos que estuvieron a cargo de cada uno de los entrevistados.

Para tal efecto se elaboró la encuesta que se anexa como **Figura 3.1** en la que se describen los aspectos abordados incluyendo los datos generales de los encuestados como son escolaridad y experiencia, dicha encuesta fue contestada por 6 elementos del personal encargado de la supervisión y la puesta en servicio. Una vez contestada dicha encuesta los resultados se clasificaron por tipo de deficiencia señalada en las respuestas, mismos que se describen en la **Tabla 3.3**.

**CUESTIONARIO A PERSONAL DE SUPERVISIÓN INVOLUCRADO DIRECTAMENTE EN LA
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSMISIÓN Y
TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

GENERALES:

- a) Nombre completo:
- b) R.P.E.
- c) Nombre del puesto que ocupa:
- d) Antigüedad en el puesto:
- e) Grado máximo de estudios:
- f) Número de cédula Profesional:

PREGUNTA	RESPUESTA
1.- Diga si durante la ejecución de las obras que ha supervisado dentro de CFE se han presentado situaciones o fallas que impidieron la terminación de los trabajos en la fecha programada.	
2.- De la siguiente lista de fallas marque, con una x en el cuadro de la izquierda aquellas que se han presentado a lo largo de su experiencia como residente o supervisor de obras de transmisión y transformación y que hayan sido de relevancia , afectando la fecha de terminación de los trabajos al no concluir de acuerdo a lo pactado contractualmente de origen. En caso de recordarlo, anotar el número de contrato en la casilla derecha correspondiente.	
DEFICIENCIA	CONTRATO
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLÚMENES DE DISEÑO	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	
DISEÑO FUERA DE TIEMPO	
RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA	
IMPREVISTOS	
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	
ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO	
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	

DEFICIENCIA	CONTRATO
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	
PROBLEMAS PRESUPUESTALES	
PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS	
ESCASEZ DE MATERIALES	
PAGOS SIN SOPORTE	
DEFICIENCIAS DE CONTROL	
MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	
DEFICIENCIAS EN LA CONTRATACIÓN	
FALTA DE CONCILIACIÓN	
FALTA DE PLANEACIÓN	
DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS	
PREGUNTA	RESPUESTA
3.- Mencione otro tipo de deficiencia que haya experimentado como residente o supervisor de obra y que haya afectado la terminación de los trabajos de acuerdo a lo pactado contractualmente.	
4.- Has pensado en alguna acción de mejora que pudiera redundar en lograr disminuir la cantidad de contratos que no terminan de acuerdo a la fecha pactada contractualmente. Si es afirmativo descríbela. (Opcional)	

Figura 3.1.- Encuesta aplicada al personal directamente encargado del proceso

TABLA 3.3.- RESULTADO DE LAS ENCUESTAS

DEFICIENCIAS SEÑALADAS	PERSONAL ENTREVISTADO							TOTAL
	ING. FAUSTINO JUAREZ	ING. JUAN DIEGO KU	ING. MANUEL ROMERO	ING. VICTOR CORDERO	ING. HILARIO DIEGO	ING. OMAR VARGAS		
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	1		1					2
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	1		1					2
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	1		1					2
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	1		1					2
IMPREVISTOS			1		1			2
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	1		1	1				3
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE				1				1
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS		1						1
PROBLEMAS PRESUPUESTALES			1					1
ESCASEZ DE MATERIALES		1		1	1			3
MALA CALIDAD DE LAS OBRAS			1					1
DEFICIENCIAS EN EL CÁLCULO DE INDEMNIZACIONES		1						1
DEFICIENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE PROPOSICIONES		1						1
IMPREVISTO EN PUESTA EN SERVICIO							1	1
REQUERIMIENTOS EN LA PUESTA EN SERVICIO							1	1

TABLA 3.4- RESUMEN HISTORICO DE DEFICIENCIAS

CONSEC.	DEFICIENCIAS	NUM.DE INCIDENCIAS DOCUMENTADAS COMO CAUSAS DE CONVENIOS	NUM.DE INCIDENCIAS DOCUMENTADAS COMO OBSERVACIONES DE LOS ORGANOS FISCALIZADORES	NUM.DE INCIDENCIAS DOCUMENTADAS MEDIANTE ENTREVISTAS AL PERSONAL	TOTAL
1	ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO	2			2
2	CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	3			3
3	CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	1		1	2
4	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	31		2	33
5	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	22		2	24
6	DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS		3		3
7	DEFICIENCIAS DE CONTROL		5		5
8	DEFICIENCIAS DE PLANEACIÓN		1		1
9	DEFICIENCIAS EN EL CÁLCULO DE INDEMNIZACIONES		1	1	2
10	DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE CONTRATOS		2		2
11	DEFICIENCIAS EN LA ADJUDICACIÓN DE CONTRATOS		1		1
12	DEFICIENCIAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS		3		3
13	DEFICIENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE CONVENIOS		1		1
14	DEFICIENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE PROPOSICIONES		1	1	2
15	DISEÑO FUERA DE TIEMPO	3			3
16	ESCASEZ DE MATERIALES	1		3	4
17	FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	5		1	6
18	FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	27		2	29
19	IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	31		2	33
20	IMPREVISTOS	4		2	6
21	MALA CALIDAD DE LAS OBRAS		3	1	4
22	PAGOS SIN SOPORTE		13		13
23	PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	1			1
24	PROBLEMAS PRESUPUESTALES	1		1	2
25	RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA	1			1
26	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	28		3	31
27	IMPREVISTO EN PUESTA EN SERVICIO			1	1
28	REQUERMIENTOS EN LA PUESTA EN SERVICIO			1	1
					219

Para concluir con la recopilación de datos estadísticos históricos en los archivos de la Residencia Regional Peninsular, la tabla anterior identificada como **Tabla 3.4** nos muestra un resumen de las deficiencias encontradas a partir de las tres fuentes de información (convenios, observaciones y encuestas), en donde se observa un total de 209 deficiencias clasificadas en 28 tipos, con lo cual se estuvo en posibilidad de continuar con el análisis.

3.2.- Desarrollo de la Tabla de Análisis de Modos y Efectos de Falla

Una vez realizada la recopilación de los datos estadísticos históricos se procedió a desarrollar la tabla FMEA de conformidad con la metodología referenciada en el capítulo 2. En primera instancia se definieron los componentes, que para el caso que nos ocupa los equiparamos a las etapas del proceso que como se ha señalado son las siguientes:

- Actividades Previas
- Ingeniería
- Contratación
- Construcción
- Puesta en Servicio

Como siguiente paso y de acuerdo a la metodología se procedió a determinar potenciales modos de falla con base en la experiencia propia y la del personal involucrado en el proceso, haciendo una primera exposición de las ideas, para posteriormente hacer una selección quedando las que se integraron en la segunda columna de la tabla y se enlistan a continuación:

- ❖ Asociadas a la etapa de Actividades Previas
 - Deficiencias en selección de sitios
 - Deficiencias en indemnizaciones
 - Deficiencias en permisos
- ❖ Asociadas a la etapa de Ingeniería
 - Deficiencias en el contrato con el cliente
 - Problemas de Planeación y Presupuesto
 - Deficiencias en el diseño del proyecto
- ❖ Asociadas a la etapa de contratación
 - Deficiencias en la contratación y administración de contratos
- ❖ Asociadas a la etapa de construcción
 - Problemas externos
 - Problemas durante el desarrollo de la obra
 - Reclamaciones por parte del contratista

❖ Asociadas a la etapa de puesta en servicio

-Problemas con el equipo

Seguidamente se determinaron los potenciales efectos (tercera columna de la tabla), en este rubro de acuerdo con la naturaleza del proceso estudiado, el principal efecto y que representa el mayor impacto es el retraso en la fecha de terminación originalmente pactada, en virtud de que esto repercute en que la obra de infraestructura no se ponga en operación y en consecuencia un incremento en su costo, así como la afectación financiera para la entidad (CFE) al no poder contabilizarse como un activo y no comenzar su etapa productiva.

Continuando con la integración de la tabla y a través de un análisis más a detalle se determinaron las causas que es probable den origen a los potenciales modos de falla, obteniéndose los resultados plasmados en la quinta columna de la tabla y que se detalla a continuación:

Modo de falla: Deficiencias en la selección de sitios

Potenciales causas: Disponibilidad del inmueble

Deficiencias administrativas

Modo de falla: Deficiencias en indemnizaciones

Potenciales causas: Deficiencias en el cálculo de indemnizaciones

Problemas indemnizatorios durante la construcción

Modo de falla: Deficiencias en permisos

Potenciales causas: Cambios por afectaciones a terceros

Deficiencias administrativas

Modo de falla: Deficiencias en el contrato con el cliente

Potenciales causas: Requerimientos del área usuaria

Imprevistos

Modo de falla: Problemas de Planeación y Presupuesto

Potenciales causas: Deficiencias en la planeación

Problemas presupuestales

Modo de falla: Deficiencias en el diseño del proyecto

Potenciales causas: Consideraciones inexactas en el diseño

Faltan conceptos en el diseño

Imprecisiones en la cuantificación de volúmenes de diseño

Diseño fuera de tiempo

Condiciones diferentes a las reales al diseñar

Modo de falla: Deficiencias en contratación y administración de contratos

Potenciales causas: Deficiencias en la evaluación de las proposiciones

Deficiencias en la adjudicación de los contratos

Deficiencias en la administración de los contratos

Deficiencias en la elaboración de convenios

Deficiencias en el cierre de contratos

Modo de falla: Problemas externos

Potenciales causas: Condiciones climatológicas

Imprevistos

Escasez de materiales

Modo de falla: Deficiencias durante el desarrollo de la obra

Potenciales causas: Adecuaciones técnicas al proyecto

Deficiencias de control

Mala calidad de las obras

Pagos sin soporte

Modo de falla: Reclamaciones por parte del contratista

Potencial causa: Solicitudes por parte del contratista

Modo de falla: Problemas con el equipo

Potencial causa: Requerimientos del área usuaria durante la puesta en servicio

Imprevistos en la puesta en servicio

Siguiendo con el análisis se procedió a determinar la severidad para cada uno de los efectos derivados de los potenciales modos de falla. En virtud de que para el proceso en estudio el efecto en todos los casos se reduce a un desfasamiento en la fecha de terminación, con la finalidad de matizar dicho efecto, se procedió a determinar la severidad para cada uno de ellos dependiendo del porcentaje en que se incrementó el monto del contrato con respecto al importe originalmente contratado, información contenida también en los convenios aludidos en la sección anterior.

Tomando como referencia la **Tabla 3.1.- Estadística de convenios**, relativa a las causas que dieron origen a los convenios, se agruparon las deficiencias o causas descritas por cada etapa del proceso, señalando para cada una de ellas el promedio aritmético del porcentaje de incremento en el monto de los contratos con respecto al importe original, integrando de esta manera la **Tabla 3.5** como se muestra a continuación.

TABLA 3.5.- DEFICIENCIAS POR ETAPA DEL PROCESO

DEFICIENCIAS	ETAPA DEL PROYECTO	NÚMERO DE TOTAL DE DEFICIENCIAS	NÚM. DE DEFICIENCIAS CON DESVIACION EN LA FECHA DE TERMINACIÓN	INCREMENTO EN EL MONTO DEL CONTRATO	%	PROMEDIO				
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	ACTIVIDADES PREVIAS	15	9	\$75,197.61	1.80%	1.14%				
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE				\$0.00	0.00%					
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE				\$0.00	0.00%					
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE				\$9,733.86	3.90%					
FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE				\$0.00	0.00%					
PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS	ACTIVIDADES PREVIAS	15	9	\$0.00	0.00%	0.00%				
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS				\$457,491.39	29.76%					
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS				\$0.00	0.00%					
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	ACTIVIDADES PREVIAS	15	9	\$0.00	0.00%	9.92%				
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS				\$405,238.30	14.55%					
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS				\$0.00	0.00%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	INGENIERÍA	158	97	\$75,197.61	1.80%	11.32%				
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$130,384.38	3.45%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$0.00	0.00%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$0.00	0.00%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$0.00	0.00%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$313,514.46	28.54%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$278,789.40	10.13%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$283,390.96	10.97%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$312,495.60	0.44%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$4,058,957.27	89.44%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$0.00	0.00%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$533,888.09	13.44%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$349,949.17	15.70%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$1,595,970.35	10.65%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$0.00	0.00%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$0.00	0.00%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$21,630.16	1.83%					
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR				\$4,647,021.98	25.43%					
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO				INGENIERÍA	158		97	\$405,238.30	14.55%	8.40%
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$1,402,888.00	2.05%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$0.00	0.00%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$0.00	0.00%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$75,197.61	1.80%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$130,384.38	3.45%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$0.00	0.00%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$457,491.39	29.76%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO								\$0.00	0.00%	
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	\$0.00	0.00%								
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	\$1,282,416.59	29.41%								
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	\$0.00	0.00%								
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	\$287,398.78	9.11%								
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	\$9,733.86	3.90%								
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	\$313,514.46	28.54%								
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	\$121,316.82	3.39%								
DISEÑO FUERA DE TIEMPO	INGENIERÍA	158	97			\$405,238.30		14.55%	4.85%	
DISEÑO FUERA DE TIEMPO						\$0.00		0.00%		
DISEÑO FUERA DE TIEMPO						\$0.00		0.00%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	INGENIERÍA	158	97			\$405,238.30		14.55%	11.13%	
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						\$1,402,888.00		2.05%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						\$0.00		0.00%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						\$75,197.61		1.80%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						\$130,384.38		3.45%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						\$0.00		0.00%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						\$0.00		0.00%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						\$1,282,416.59		29.41%		
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$0.00	0.00%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$287,398.78	9.11%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$9,733.86	3.90%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$313,514.46	28.54%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$51,117.65	6.30%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$56,384.09	2.59%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$278,789.40	10.13%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$596,195.35	20.87%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$0.00	0.00%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$312,495.60	0.44%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$4,058,957.27	89.44%					
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO				\$0.00	0.00%					

TABLA 3.5.- DEFICIENCIAS POR ETAPA DEL PROCESO

DEFICIENCIAS	ETAPA DEL PROYECTO	NÚMERO DE TOTAL DE DEFICIENCIAS	NÚM. DE DEFICIENCIAS CON DESVIACION EN LA FECHA DE TERMINACIÓN	INCREMENTO EN EL MONTO DEL CONTRATO	%	PROMEDIO			
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	INGENIERÍA	158	97	\$405,238.30	14.55%	11.52%			
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$75,197.61	1.80%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$1,282,416.59	29.41%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$9,733.86	3.90%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$313,514.46	28.54%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$51,117.65	6.30%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$278,789.40	10.13%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$596,195.35	20.87%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$312,495.60	0.44%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$4,058,957.27	89.44%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$0.00	0.00%				
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO				\$533,888.09	13.44%				
PROBLEMAS PRESUPUESTALES				INGENIERÍA	158	97	\$114,185.94	8.27%	8.27%
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$1,402,888.00	2.05%	10.53%						
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$1,282,416.59	29.41%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$287,398.78	9.11%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$51,117.65	6.30%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$121,316.82	3.39%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$56,384.09	2.59%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$283,390.96	10.97%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$596,195.35	20.87%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$312,495.60	0.44%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$4,058,957.27	89.44%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$4,647,021.98	25.43%							
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	\$0.00	0.00%							
DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE LOS CONTRATOS	CONTRATACIÓN	9	3	\$283,390.96	10.97%	15.92%			
DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE LOS CONTRATOS				\$596,195.35	20.87%				
DEFICIENCIAS EN LA EVALUACION				\$4,647,021.98	25.43%				
ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO	CONSTRUCCIÓN	32	10	\$0.00	0.00%	1.73%			
ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO				\$130,384.38	3.45%				
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS				\$0.00	0.00%	0.00%			
DEFICIENCIAS DE CONTROL				\$283,390.96	10.97%	15.92%			
DEFICIENCIAS DE CONTROL				\$596,195.35	20.87%				
MALA CALIDAD DE LAS OBRAS				\$283,390.96	10.97%	10.97%			
PAGOS SIN SOPORTE				\$283,390.96	10.97%	15.92%			
PAGOS SIN SOPORTE				\$596,195.35	20.87%				
ESCASEZ DE MATERIALES				\$4,647,021.98	25.43%	25.43%			
RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA							\$405,238.30	14.55%	14.55%
PUESTA EN SERVICIO				PUESTA EN SERVICIO	2	1	\$396,093.17	12.03%	12.03%
IMPREVISTOS	INGENIERIA	2	2	\$1,402,888.00	2.05%	9.47%			
IMPREVISTOS				\$349,949.17	15.70%				
IMPREVISTOS	CONSTRUCCIÓN	1	1	\$1,595,970.35	10.65%				

Con el porcentaje promedio del incremento en el monto del contrato para cada una de las deficiencias determinadas, se procedió a determinar el nivel de severidad considerando los siguientes niveles:

Tabla 3.6.- Niveles de severidad

INCREMENTO EN EL MONTO DEL CONTRATO	NIVEL DE SEVERIDAD
ENTRE 0 % Y 5%	1
ENTRE 5% Y 10%	2
ENTRE 10 % Y 15%	3
ENTRE 15% Y 20%	4
MAS DE 25%	5

En lo que respecta al nivel de ocurrencia, éste se determinó en un contexto similar a la severidad pero con base en el número de incidencias descrito como resultado en la **Tabla 3.4.- Resumen de deficiencias** y de acuerdo a la siguiente clasificación:

Tabla 3.7.- Niveles de ocurrencia

NUM. DE INCIDENCIAS	NIVEL DE OCURENCIA
ENTRE 1 Y 10	1
ENTRE 11 Y 20	2
ENTRE 21 Y 30	3
ENTRE 31 Y 40	4
ENTRE 41 Y 50	5

Continuando con la tabla FMEA y como uno de los últimos parámetros incluidos en la misma se procedió a determinar el nivel de detección para lo cual se acudió al Sistema de Gestión de la Calidad, Ambiental y de Seguridad y Salud en el trabajo [8] de la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular. El referente fue el número de Manuales, Procedimientos, Instrucciones de trabajo y registros que son aplicables en cada una de las etapas, enumerándolos del 1 al 5 en forma ascendente es decir, para la etapa con menos controles establecidos el nivel es 1, para la que le sigue es 2 y así sucesivamente hasta el nivel 5 que corresponde a la etapa del proceso que tiene el mayor número de controles establecidos, resultando lo a continuación se demuestra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8.- Niveles de detección

ETAPA DEL PROCESO	NÚM. DE CONTROLES	NIVEL DE DETECCIÓN
ACTIVIDADES PREVIAS	52	3
INGENIERIA	83	5
CONTRATACION	37	1
CONSTRUCCIÓN	71	4
PUESTA EN SERVICIO	41	2

Finalmente se estableció el nivel de riesgo, mismo que se determinó al multiplicar para cada una de las potenciales causas el nivel de severidad por el nivel de ocurrencia y por el nivel de detección de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Riesgo} = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

Los resultados del análisis descrito en el presente apartado se resumen de manera esquemática en la **Tabla 3.9.-Análisis de Modos y Efectos de Falla.**

Es importante apuntar que la metodología para el Análisis de Modos y Efectos de Falla complementa lo que hasta ahora hemos realizado, con acciones determinadas a partir de los resultados obtenidos y el monitoreo de su aplicación para determinar el grado de mejora en el proceso estudiado, sin embargo para este estudio se llegará hasta el cálculo del riesgo, mismo que será analizado en el siguiente capítulo, junto con los demás resultados obtenidos de la metodología desarrollada para culminar con las conclusiones del análisis.

Ahora bien hasta aquí el estudio se ha centrado en la aplicación de la Metodología de Análisis de Modo y Efecto de Falla al Proceso de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación de Energía Eléctrica. Con dicha premisa en el siguiente apartado se desarrollará el análisis al mismo proceso, pero a través de la aplicación de un árbol de eventos y los correspondientes árboles de fallas con ayuda de la herramienta informática Saphire.

TABLA 3.9.- TABLA DE ANÁLISIS Y MODOS DE EFECTOS DE FALLA PARA EL PROCESO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE TRANSMISIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ETAPA DEL PROCESO	POTENCIAL MODO DE FALLA	POTENCIAL EFECTO	POTENCIAL CAUSA DE FALLA	NIVEL DE SEVERIDAD	NIVEL DE OCURRENCIA	NIVEL DE DETECCIÓN	RIESGO
ACTIVIDADES PREVIAS	DEFICIENCIAS EN SELECCIÓN DE SITIOS	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DISPONIBILIDAD DEL INMUEBLE	1	1	3	3
	DEFICIENCIAS EN INDEMNIZACIONES	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS	1	1	3	3
	DEFICIENCIAS EN PERMISOS	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS EN EL CÁLCULO DE INDEMNIZACIONES	1	1	3	3
	DEFICIENCIAS EN EL CONTRATO CON EL CLIENTE	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	1	1	3	3
INGENIERIA	DEFICIENCIAS EN EL CONTRATO CON EL CLIENTE	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	2	1	3	6
	PROBLEMAS DE PLANEACION Y PRESUPUESTO	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS	1	1	3	3
	DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO DEL PROYECTO	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	3	3	5	45
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	IMPREVISTOS	2	1	5	10
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS EN LA PLANEACION	1	1	5	5
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	PROBLEMAS PRESUPUESTALES	2	1	5	10
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	2	3	5	30
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	3	3	5	45
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	3	4	5	60
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DISEÑO FUERA DE TIEMPO	1	1	5	5
CONTRATACION	FACTORES EXTERNOS	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	3	4	5	60
	DEFICIENCIAS EN CONTRATACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE PROPOSICIONES	5	1	1	5
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS EN LA ADJUDICACIÓN DE CONTRATOS	1	1	1	1
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS	1	1	1	1
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE CONVENIOS	1	1	1	1
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE CONTRATOS	4	1	1	4
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	1	1	4	4
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	IMPREVISTOS	2	1	4	8
CONSTRUCCION	DEFICIENCIAS DURANTE EL DESARROLLO DE LA OBRA	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	ESCASEZ DE MATERIALES	5	1	4	20
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	ADECUACIONES TECNICAS AL PROYECTO	1	1	4	4
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	DEFICIENCIAS DE CONTROL	4	1	4	16
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	3	1	4	12
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	PAGOS SIN SOPORTE	4	2	4	32
PUESTA EN SERVICIO	RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	SOLICITUDES POR PARTE DEL CONTRATISTA	3	1	4	12
	PROBLEMAS CON EL EQUIPO	RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA EN LA PUESTA EN SERVICIO	3	3	2	18
		RETRASO EN LA TERMINACIÓN DEL PROYECTO	IMPREVISTOS EN LA PUESTA EN SERVICIO	3	1	2	6

3.3.- Análisis a través de árbol de eventos y árboles de falla

En este apartado se describe la parte principal del análisis, la cual incluye el modelado del árbol de eventos y los árboles de fallas, así como la utilización de herramientas informáticas para realizar el cálculo de las probabilidades y otras medidas de importancia, que se vislumbran como los principales resultados de este estudio.

3.3.1.- Determinación de los eventos que componen el desarrollo de los proyectos

Como primer paso para integrar el modelo correspondiente al desarrollo de los proyectos de transmisión y transformación se determinaron los eventos que lo integran, por lo que, en concordancia con la descripción realizada en el capítulo 1, es posible definir como evento iniciador la inclusión del proyecto correspondiente en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), el cual es el documento que contiene el listado de los proyectos de infraestructura eléctrica proyectado para un período de 10 años, el cual se va actualizando periódicamente y es emitido por la Subdirección de Programación de la CFE. [1]. Es interesante destacar la analogía que se hace del evento iniciador ya que si no se trata de manera específica de un suceso que pueda interrumpir el desarrollo normal del proceso, si es el evento que da pie a la construcción del proyecto y a partir del cual se presentarán sistemas de mitigación, que para nuestro caso serán las diferentes etapas del desarrollo del proyecto como se verá más adelante.

A partir de la inclusión del proyecto en el POISE y de acuerdo a la descripción del proceso se pueden distinguir los siguientes eventos, que para el presente estudio fueron considerados como sistemas de mitigación en el orden descrito, hasta llegar a la conclusión con la puesta en marcha de la infraestructura construida como se muestra a continuación:



El detalle de cada uno de estas etapas ha sido descrito en el capítulo 1 de este mismo documento.

3.3.2.- Desarrollo del árbol de eventos para el proceso en estudio.

Una vez determinados los Sistemas de Mitigación, es posible desarrollar el árbol de eventos para nuestro modelo el cual parte del evento iniciador (POISE), el siguiente sistema son las **Actividades Previas**, si éstas logran ser un evento exitoso se procede al desarrollo de la Ingeniería, en caso de no lograr el éxito se proyecta directo hasta la etapa de **Recuperación de falla de actividades previas en la etapa de construcción**, que más adelante se establece como un sistema de mitigación.

Enseguida se presenta el sistema denominado **Desarrollo de la Ingeniería**, el cual en caso de resultar exitoso da paso al siguiente evento que es la etapa de contratación. En caso contrario, o sea de no lograr el éxito durante la etapa de la ingeniería, la rama del árbol se proyecta directamente a la etapa de **Recuperación de falla en ingeniería durante la etapa de construcción**,

que, derivado de la experiencia en los proyectos que se han desarrollado, se considera adecuado integrarla como un sistema de mitigación en este mismo árbol de eventos.

Siguiendo el orden de los sistemas de mitigación se presenta a continuación la etapa de la **Contratación**, la cual en caso de ser un evento exitoso da pie al evento de la construcción, en caso contrario el fracaso en esta etapa se proyecta como un estado final no exitoso por lo que el proyecto no se pone en servicio en la fecha programada.

El siguiente evento descrito en la parte superior del árbol de eventos corresponde a la etapa de la **Construcción** es decir, la materialización del proyecto y una de las más importantes, la cual de ser exitosa conduce el proceso a su última etapa que es la **Puesta en servicio**. Cuando no se logra el éxito el proceso fracasa al no lograr la conclusión en la fecha programada.

Como se mencionó en párrafos anteriores el fracaso en la etapa de actividades previas se proyecta hasta el sistema denominado **Recuperación de falla en actividades previas durante la etapa de construcción**, evento que en caso de ser exitoso propicia la siguiente etapa que es la puesta en servicio y por el contrario, si no logran el éxito se proyectan a un estado final de no-éxito al no concluir el proyecto en la fecha establecida.

De igual manera el fracaso en ingeniería se proyecta hasta el evento **Recuperación de falla en ingeniería durante la etapa de construcción**, el cual se señala en la parte superior del árbol de eventos como el siguiente sistema de mitigación.

Finalmente se colocó el sistema **Puesta en servicio**, que se refiere a la etapa final del proyecto antes de que entre en operación la infraestructura.

Con lo anterior y con el apoyo de la herramienta informática llamada Saphire se procedió a estructurar el árbol de eventos correspondiente a nuestro proyecto, mismo que se muestra en la **Figura 3.2** en el que se describen 10 estados finales de los cuales 3 son de éxito y 7 son estados de falla y que se analizan en el siguiente capítulo dentro de los resultados.

3.3.3.-Desarrollo de árboles de falla

Una vez integrado el árbol de eventos correspondiente al proceso en estudio, se procedió a elaborar los arboles de fallas para cada sistema de mitigación, teniendo como referencia la metodología correspondiente descrita en apartados anteriores, el árbol de eventos desarrollado anteriormente y los datos estadísticos históricos recopilados de acuerdo a lo señalado en este mismo capítulo. Lo anterior con el apoyo del sistema Saphire estructurándolos de la siguiente manera:

- **Árbol de fallas para el Sistema Actividades previas**

Considerando como evento tope la *falla en las actividades previas* se abre enseguida una compuerta *and* con dos ramificaciones, en una se coloca un evento que corresponde a *problemas durante la ejecución de las actividades previas del proyecto* y en la otra rama un evento básico que corresponde al hecho de que *repercute en un atraso*. Lo anterior representa que para que falle el desarrollo de las actividades previas, será necesario que se presenten problemas durante la ejecución de las actividades previas del proyecto y que también se presente un atraso en la fecha de terminación programada.

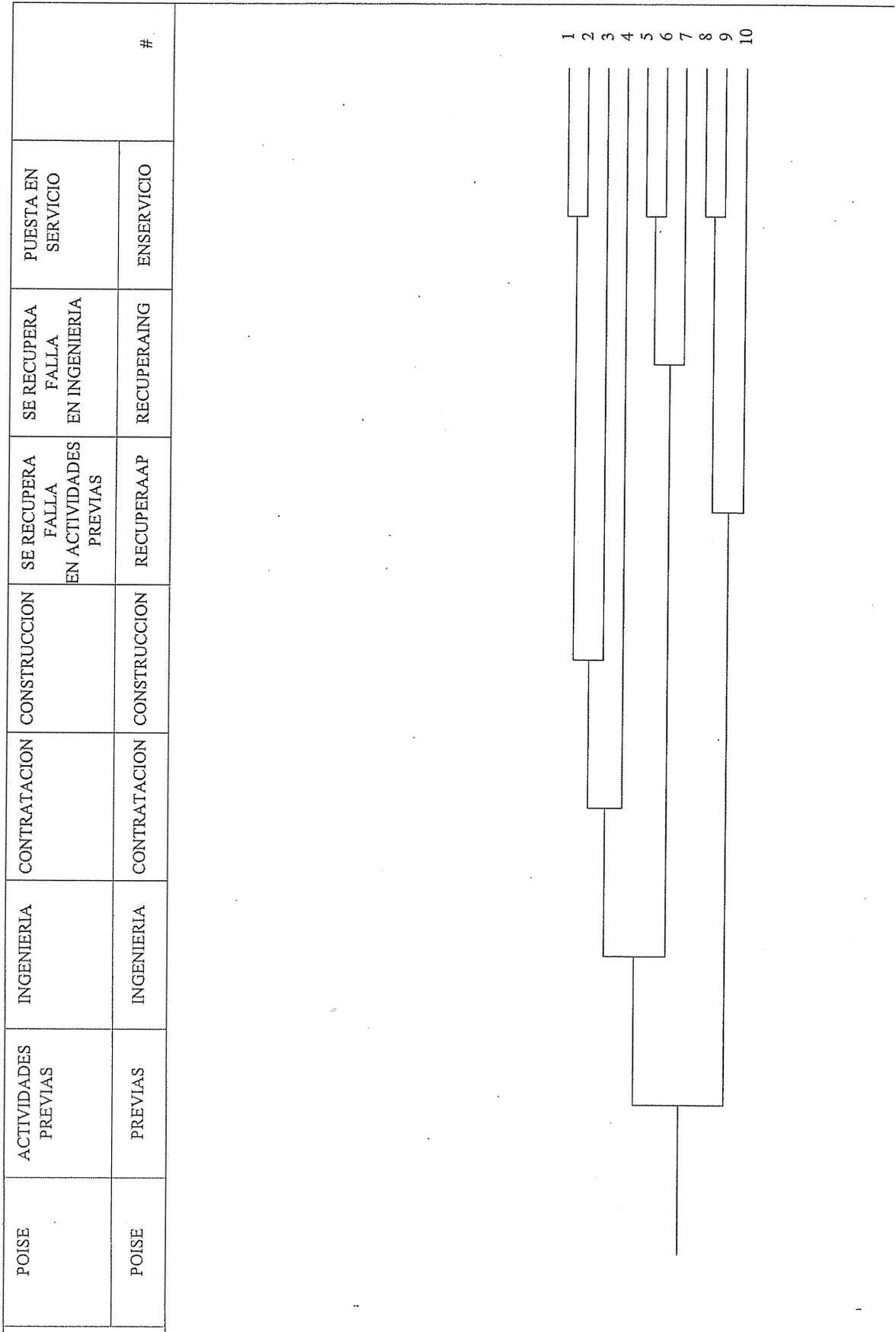


Figura 3.2.- Árbol de eventos

Del evento "Problemas en las actividades previas del proyecto" se cuelga una compuerta *or* de la cual desciende tres ramificaciones:

- Deficiencias en la selección de sitios
- Deficiencias en las indemnizaciones
- Deficiencias en permisos

Lo anterior representa que para que se presenten problemas en las actividades previas, basta con que se suceda alguno de los eventos señalados.

De la misma forma de cada uno de estos eventos se cuelgan compuertas *or* que nos llevan a los eventos básicos:

Para deficiencias en la selección de sitios los eventos básicos son: *falta de disponibilidad del inmueble* y *deficiencias administrativas*.

Para el caso de deficiencias en las indemnizaciones la correspondiente compuerta *or* nos lleva a dos eventos básicos: *deficiencias en el cálculo de la indemnización* y *problemas indemnizatorios durante la construcción*.

En el mismo contexto y para concluir con este diagrama del evento deficiencias en permisos se colgaron mediante otra compuerta *or* dos eventos básicos: *Cambios por afectaciones de terceros* y *deficiencias administrativas*.

En cada uno de los tres casos anteriores por tratarse de compuertas *or* con que suceda alguno de los eventos básicos el evento intermedio que les antecede también sucederá.

Una vez integrado el árbol de fallas con ayuda de la herramienta Sapphire éste queda de la forma descrita en la **Figura 3.3**

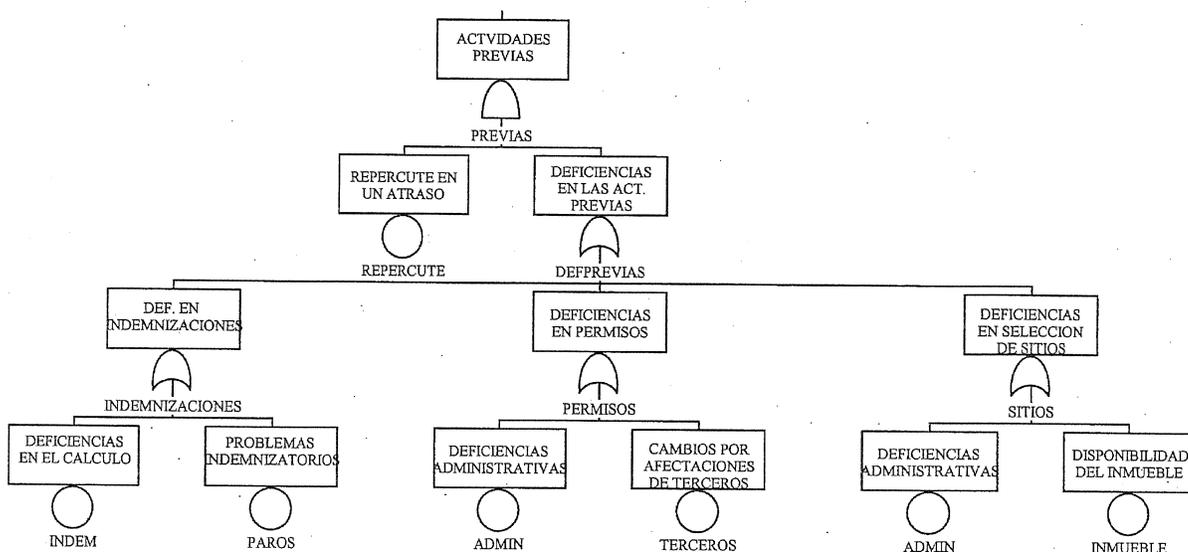


Figura 3.3.- Árbol de fallas de Actividades Previas

- **Árbol de fallas para el evento Ingeniería**

Se estableció en primera instancia el evento tope que se refiere a la elaboración de la ingeniería del proyecto, de ahí a través de una compuerta *and* se llega a dos ramificaciones, una es un evento básico que se refiere a que *Repercute en un atraso en la fecha de terminación de proyecto* y la otra ramificación nos lleva a un evento denominado *Deficiencias en diseño y planeación*, es decir para que el evento de falla en la ingeniería suceda, será necesario que se presenten fallas en diseño y presupuesto pero que también se presente un atraso en la fecha de terminación programada del proyecto.

A su vez el evento *Deficiencias en diseño y planeación* se ramifica a través de una compuerta *or* en tres eventos intermedios los cuales son:

- Deficiencias en el contrato con el cliente*
- Problemas de Planeación y Presupuesto*
- Deficiencias en el diseño del proyecto*

En cuanto a las deficiencias en el contrato con el cliente, dicho evento intermedio se ramifica a través de una compuerta *or* hacia dos eventos básicos: *Requerimientos del área usuaria e imprevistos*.

En la misma forma cuando se presentan Problemas en planeación y presupuesto, dicho evento se ramifica a través de una compuerta *or* que nos lleva a dos eventos básicos: *deficiencias en la planeación y problemas presupuestales*.

Finalmente para este diagrama se colgaron del evento deficiencias en el diseño del proyecto a través de una compuerta *or* cinco eventos básicos: *condiciones diferentes a las reales al diseñar, imprecisiones en la cuantificación de volúmenes, consideraciones inexactas en el diseño, faltan conceptos en el diseño y diseño fuera de tiempo*.

Para los tres eventos intermedios anteriores al tratarse de una compuerta *or* será necesario que suceda tan solo uno de los eventos básicos asociados para que la falla ocurra.

El árbol de fallas resultante elaborado en Saphire se muestra como **Figura 3.4**.

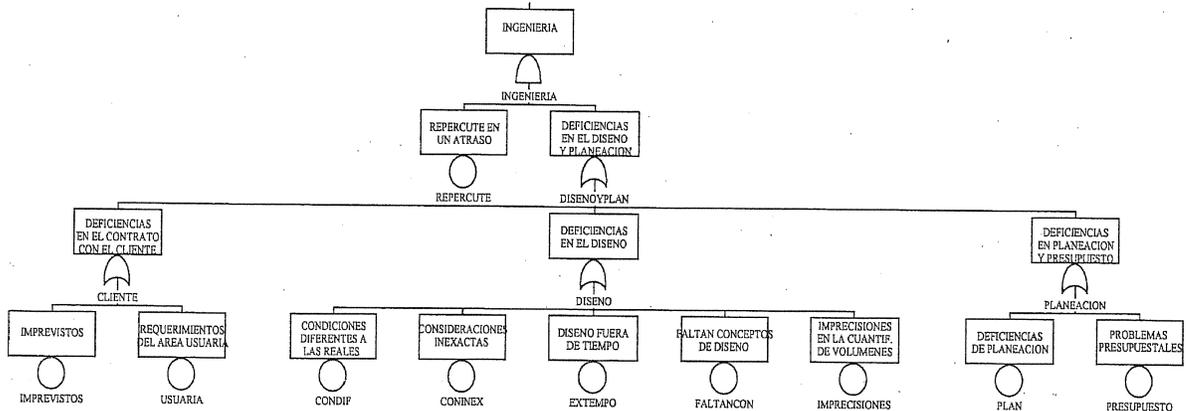


Figura 3.4.- Árbol de fallas de Ingeniería

- **Árbol de fallas para el sistema de Contratación**

En lo que concierne a la contratación del proyecto, el árbol de fallas se integró con un evento tope denominado contratación del cual se desprenden a través de una compuerta *and* dos eventos, uno básico que se refiere a la *repercute en un atraso en la fecha de terminación del proyecto* y otro evento intermedio denominado *deficiencias en la contratación y administración de contratos*, es decir para que se presente una falla en la etapa de contratación será necesario que existan deficiencias en la contratación, pero que también se presente un atraso en la fecha programada de terminación del proyecto.

Del evento deficiencias en la contratación se desprende una compuerta *or* que nos lleva a cinco eventos básicos los cuales son:

- *Deficiencias en la evaluación de proposiciones*
- *Deficiencias en la adjudicación*
- *Deficiencias en la administración de los contratos*
- *Deficiencias en la elaboración de convenios*
- *Deficiencias en el cierre de los contratos*

Es decir para que ocurran deficiencias en la contratación y administración bastará con que suceda al menos uno de estos 5 eventos básicos.

Como resultado de lo anterior se muestra la **Figura 3.5** que corresponde al árbol de fallas elaborado en el Sistema Sapphire.

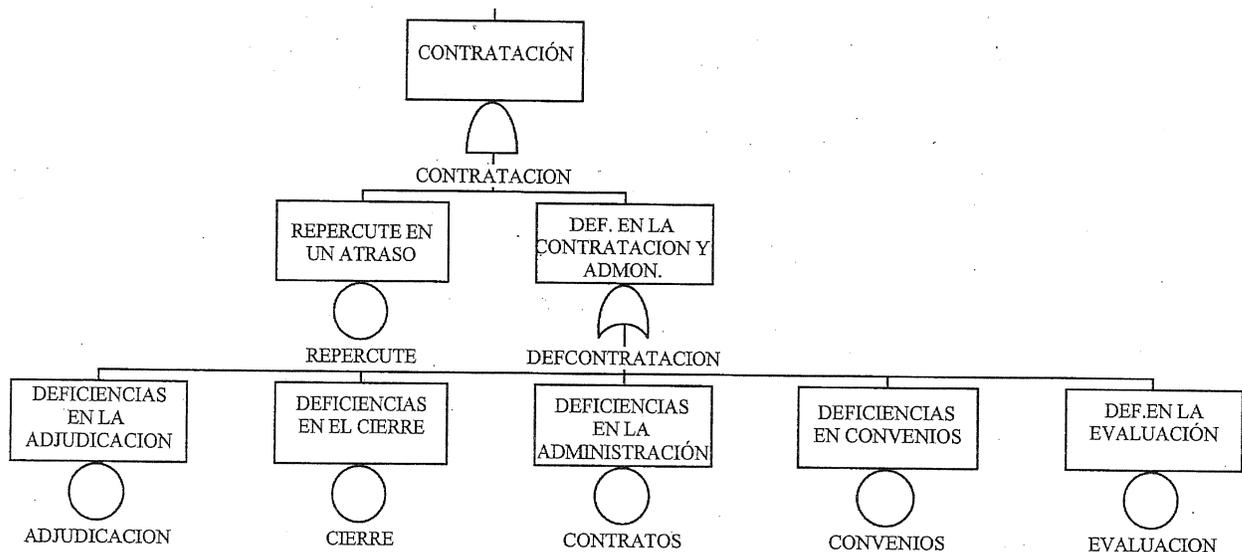


Figura 3.5.- Árbol de fallas de la etapa de contratación

- **Árbol de fallas para el evento de Construcción**

Este árbol de fallas se construyó comenzando por colocar en su parte superior como evento tope la construcción del proyecto a partir del cual mediante una compuerta *and* se ramifica en dos alternativas, por una parte un evento básico que ocurre cuando **repercute un atraso en la terminación del proyecto** y en la otra rama un evento intermedio relativo a las **deficiencias en la ejecución**, es decir para que se presente una falla durante la construcción será necesario que se presenten deficiencias, pero también que éstas representen un retraso en la fecha de terminación programada.

El evento **deficiencias en la ejecución de los trabajos** se ramifica a través de una compuerta *or* en tres eventos, uno primero que resulta ser básico y que se refiere a las **reclamaciones por parte del contratista**, un segundo evento intermedio denominado **deficiencias en la obra** y un tercero denominado **factores externos**, por lo que para que se presenten deficiencias en la construcción será necesario que ocurra al menos uno de estos tres eventos.

En ese contexto el evento denominado **deficiencias en la obra** se ramifica mediante una compuerta *or* en cuatro eventos básicos a saber:

- **Adecuaciones técnicas al proyecto**
- **Mala calidad de las obras**
- **Deficiencias de control**
- **Pagos sin soporte**

Lo anterior representa que para que se presenten deficiencias durante la ejecución basta con que se presente alguna de estos cuatro eventos.

Finalmente y para concluir con el diseño de este árbol de fallas el evento intermedio denominado **factores externos** se ramifica a través de una compuerta *or* en tres eventos básicos:

- **Condiciones climatológicas**
- **Escasez de materiales**
- **Imprevistos**

Lo que significa que para que la etapa de construcción falle por problemas externos bastará con que se presente alguno de estos eventos.

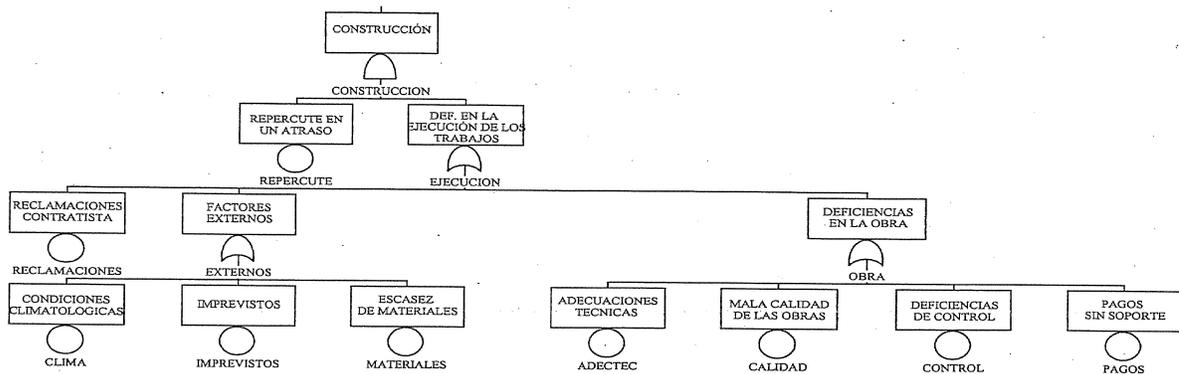


Figura 3.6.- Árbol de fallas de la etapa de construcción

- *Árbol de fallas correspondiente al evento Se recupera falla en actividades previas*

De acuerdo con la estructura del árbol de eventos el siguiente sistema es el que se refiere al evento denominado **se recupera falla en actividades previas** cuyo árbol de fallas consta de un solo evento básico como se muestra en la **Figura 3.7.**

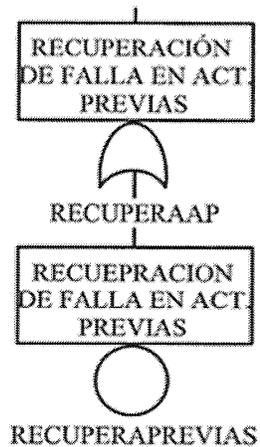


Figura 3.7.- Árbol de Falla de la recuperación de falla en actividades previas

- *Árbol de fallas correspondiente al evento Se recupera falla en Ingeniería*

De acuerdo con la estructura del árbol de eventos el siguiente sistema es el que se refiere al evento denominado **se recupera falla en ingeniería** cuyo árbol de fallas consta, al igual que el anterior, de un solo evento básico como se muestra en la **Figura 3.8.**

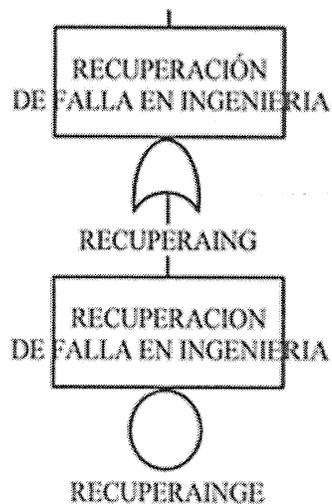


Figura 3.8.- Árbol de fallas de la recuperación de falla en ingeniería

- **Árbol de fallas para el evento de puesta en servicio**

Este árbol se inicia teniendo como evento tope el evento de puesta en servicio del cual se desprende una compuerta *and* con dos ramificaciones, por una parte el evento *problemas con el equipo* y por otra el evento básico *repercute en un atraso*, de tal forma que para que se presente una falla en la puesta en servicio deberán ocurrir los dos eventos.

Continuando con la construcción del árbol el evento intermedio *problemas con el equipo* se ramifica a través de una compuerta *or* en dos eventos básicos:

- Imprevistos en la puesta en servicio
- Requerimientos del área usuaria en la puesta en servicio

Lo que significa que para que se presenten problemas en el equipo será necesario que sucedan al menos uno de estos dos eventos básicos.

El árbol de fallas resultante desarrollado en Sistema Sapphire se muestra como **Figura 3.9**.

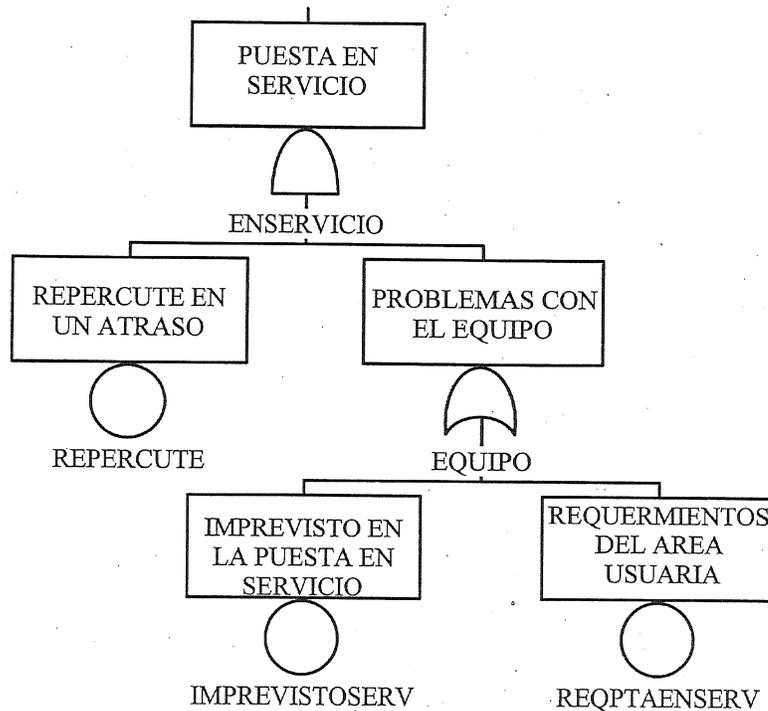


Figura 3.9.- Árbol de Fallas de la etapa de puesta en servicio

Como consecuencia de la estructuración de los árboles de fallas asociados al árbol de eventos del proceso de construcción de proyectos de transmisión y transformación, resultaron los eventos básicos que se describen brevemente a continuación:

- Adecuaciones técnicas al proyecto

Cuando una vez concluido el diseño y en cualquier etapa posterior se realizan modificaciones al mismo por causas netamente técnicas.

- Cambios por afectaciones de terceros

Cuando ocurren cambios durante el desarrollo de los proyectos que obedezcan a factores externos a la CFE.

- Condiciones climatológicas

Cuando el factor clima es determinante y genera cambios en el proyecto.

- Condiciones diferentes a las reales al diseñar

Cuando en la etapa del diseño se consideran condiciones diferentes a las reales del sitio de la obra, lo cual se manifiesta en la etapa de construcción.

- Consideraciones inexactas en el diseño

Ocurre cuando al realizar el diseño del proyecto se consideran parámetros o lineamientos que difieren de aquellos que permiten satisfacer los requerimientos de la infraestructura a construir.

- Deficiencias administrativas

Se refiere a las fallas de tipo administrativo asociadas a cualquier etapa del proyecto y que repercuten en el desarrollo programado de los mismos.

- Deficiencias de control

Fallas en los mecanismos establecidos para asegurar el desarrollo del proyecto de acuerdo a lo programado y que puede presentarse en cualquier etapa del proceso.

- Deficiencias de Planeación

Se presentan en la etapa de ingeniería del proyecto y aun que ocurre en las primeras etapas del proyecto pueden repercutir en que el proyecto no finalice en la fecha programada.

- Deficiencias en el cálculo de indemnizaciones

Falla que ocurre en la etapa de las actividades previas al proyecto, pero sin embargo puede manifestarse en las etapas subsecuentes hasta lograr un estado final de falla.

- Deficiencias en el cierre de los contratos

Aunque esta falla sucede posterior a la terminación de la obra, por la naturaleza de actividades que esto implica corresponde a los aspectos de contratación que al no dar por extinguidos los derechos y obligaciones establecidos mediante los contratos, puede provocar que estos no concluyan de acuerdo con lo programado.

- Deficiencias en la adjudicación de contratos

Éstas se presentan durante el procedimiento licitatorio previo a la contratación y específicamente en la selección de la empresa contratista que llevará a cabo la construcción del proyecto.

- Deficiencias en la administración de los contratos

Aunque éstas se presentan durante la construcción de los proyectos, corresponden al área de contratación y se refiere a deficiencias en la administración normativa de los contratos de obra pública, que pueden repercutir en que la obra no concluya de acuerdo a lo programado.

- Deficiencias en la elaboración de convenios

Al igual que el anterior esta falla puede presentarse durante la construcción o bien durante el cierre de los contratos y al presentarse puede redundar en un estado final de falla.

- Deficiencias en la evaluación de las proposiciones

Se pueden presentar en la etapa inmediata anterior a la adjudicación del contrato, es decir durante el análisis a las proposiciones presentadas por los participantes en la Licitaciones realizadas para seleccionar a la empresa encargada de la construcción de los proyectos.

- Diseño fuera de tiempo

Consiste en que se emite el diseño parcial para iniciar el proceso licitatorio, aunque este es complementado en etapas posteriores del proceso, lo que repercute en cambios al desarrollo programado de los proyectos.

- Escasez de materiales

Esta es una falla que se presenta durante la construcción debido a un factor externo como es la situación del mercado de los materiales necesarios para concluir con el proyecto de acuerdo a lo planeado.

- Disponibilidad del inmueble

Evento que se presenta al inicio de la etapa de construcción debido a que la empresa a la que le fue adjudicado el contrato de obra pública, no puede tomar plena posesión del sitio que ocupará la infraestructura a construir.

- Faltan conceptos en el diseño

Deficiencia que ocurre durante el diseño ya que al integrar el catálogo de conceptos de obra se omiten conceptos que son necesarios para concluir la obra de acuerdo a los requerimientos del área usuaria y que finalmente se realizan en la etapa de la construcción.

- Imprecisiones en la cuantificación de volúmenes de diseño

Este evento se presenta al igual que el anterior al integrar el paquete técnico de diseño derivado de que las cantidades de obra consideradas en el catálogo de conceptos difiere de las realmente necesarias para culminar en tiempo y forma con el proyecto.

- Imprevistos

Como en todos los procesos y mas para el proceso en estudio es factible que se presenten imprevistos debido a la interacción con factores externos.

- Mala calidad de las obras

Este evento se presenta durante la etapa de construcción de los proyectos y está relacionado con las deficiencias de control lo que puede llegar a modificar el proceso de desarrollo de los proyectos de transmisión y transformación y finalizar en un estado de falla.

- Pagos sin soporte

Este evento ocurre durante la etapa de la construcción de los proyectos y se refiere a deficiencias en el pago a los contratistas de los trabajos ejecutados, al no apegarse a lo estipulado contractualmente, lo que puede redundar en que la obra no se termine en tiempo y forma.

- Problemas indemnizatorios durante la construcción

Este evento ocurre cuando existen interferencias, suspensiones o bloqueos durante la construcción derivados de problemas con los propietarios de terrenos que se encuentran dentro o bien cerca del área de la construcción, aunque éstos deriven de las actividades previas al proyecto generalmente se manifiestan en la etapa de construcción.

- Problemas presupuestales

Este tipo de problemas se presentan en la etapa de ingeniería en la que también se integra el presupuesto correspondiente, y al no realizarse de manera adecuada puede representar que la obra no concluya en tiempo y forma.

- Reclamaciones por parte del contratista

Evento que ocurre durante la ejecución de los trabajos derivado de un caso fortuito y en apego a lo establecido por la normatividad en materia de obra pública.

- Requerimientos del área usuaria

Podría considerarse como un caso fortuito que sucede cuando una vez definidas las necesidades del área usuaria de la obra e incluso de haber elaborado el diseño, se presentan requerimientos del área usuaria que pueden llegar a modificar el desarrollo del proyecto.

- Imprevistos en la puesta en servicio

Caso fortuito que es de impacto ya que se presenta en la etapa de puesta en servicio y a punto de concluir el proyecto.

- Requerimientos del área usuaria en la puesta en servicio

Requerimiento del área encargada de la operación de la obra, que se presenta en la etapa final del proyecto.

- Repercute en un atraso en actividades previas

Representa el hecho de que derivado de una falla en la etapa de Actividades Previas, el proyecto no concluya su construcción en la fecha pactada originalmente en el contrato de obra pública formalizado con el contratista, de conformidad con la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las mismas.

- Repercute en un atraso en Ingeniería

Representa el hecho de que derivado de una falla en la etapa de Ingeniería, el proyecto no concluya su construcción en la fecha pactada originalmente en el contrato de obra pública formalizado con el contratista, de conformidad con la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las mismas.

- Repercute en un atraso en la Contratación

Representa el hecho de que derivado de una falla en la etapa de Contratación el proyecto no concluya su construcción en la fecha pactada originalmente en el contrato de obra pública formalizado con el contratista de conformidad con la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las mismas.

- Repercute en un atraso en la Construcción

Representa el hecho de que derivado de una falla en la etapa de Construcción, el proyecto no concluya su construcción en la fecha pactada originalmente en el contrato de obra pública formalizado con el contratista de conformidad con la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las mismas.

- Repercute en un atraso en la Puesta en servicio

Representa el hecho de que derivado de una falla en la etapa de Puesta en servicio, el proyecto no concluya su construcción en la fecha pactada originalmente en el contrato de obra pública formalizado con el contratista de conformidad con la Ley de Obras Públicas y Servicios relacionados con las mismas.

- Falla en la recuperación de deficiencias en Actividades Previas

Este evento básico se refiere a que, de acuerdo a la experiencia y la investigación realizada, aún cuando se presenten fallas durante la etapa de Actividades Previas, éstas pueden ser recuperables durante la etapa de la construcción, para que finalmente no se afecte la fecha de terminación de la obra de acuerdo a lo programado.

- Falla en la recuperación de deficiencias en Ingeniería

Este evento básico se refiere a que, de acuerdo a la experiencia y la investigación realizada, aún cuando se presenten fallas durante la etapa de Ingeniería, éstas pueden ser recuperables durante la etapa de la construcción, para que finalmente no se afecte la fecha de terminación de la obra de acuerdo a lo programado.

Una vez estructurados los arboles de fallas correspondientes al árbol de eventos del proceso en estudio, se procedió a resolverlos en el Sistema Saphire para lo cual fue necesario determinar la probabilidad de ocurrencia de los eventos básicos como se detalla a continuación.

Considerando los datos estadísticos resumidos en la **Tabla 3.4**, en la cual se determinó un total de **219 deficiencias**, se procedió a determinar la probabilidad para los primeros 28 eventos básicos dividiendo el número de incidencias correspondiente a cada uno entre el número total de deficiencias registradas.

En lo que respecta a los 5 eventos básicos denominados **Repercute en un atraso en cada una de las etapas del proceso (Actividades Previas, Ingeniería, Contratación, Construcción y Puesta en Servicio)**, las probabilidades fueron determinadas de manera diferente debido a la naturaleza de dichos eventos. Para tal efecto tomando como referencia aquellas deficiencias encontradas en los datos estadísticos de los convenios, se seleccionaron las que representaron en cada etapa un desfase en cuanto a la fecha de terminación programada (**Tabla 3.5**, cuarta columna), por lo

que para determinar las probabilidades se dividió éste número entre el total de deficiencias registradas en cada etapa (tercera columna de la citada **Tabla 3.5**).

Para determinar la probabilidad en el caso de la *recuperación de falla en actividades previas* se determinó, de acuerdo a los datos estadísticos de convenios, el núm. de contratos en los cuales se presentaron fallas en la etapa de actividades previas y que finalmente presentaron defasamiento en su fecha de terminación resultando 7 (**ver tabla 3.11**), cantidad que fue dividida entre 7 que es el número total de contratos que presentaron deficiencias en actividades previas, obtenido al final de la tercera columna de la **tabla 3.1**.

De manera similar se determinó para la probabilidad relativa a la *recuperación de falla en Ingeniería*, dividiendo los 35 contratos en los que se presentaron deficiencias en actividades previas y que finalmente repercutieron en un atraso (**ver tabla 3.12**) entre 50 que es el número total de contratos que presentaron deficiencias en la etapa de Ingeniería, resultado de la cuarta columna de la **tabla 3.1**.

Finalmente las probabilidades correspondientes a los 35 eventos básicos se compilaron en la siguiente **tabla 3.10**:

TABLA 3.10.- DETERMINACION DE LAS PROBABILIDADES

DEFICIENCIAS	CÓDIGO	FÓRMULA	PLANTEAMIENTO	PROBABILIDAD
ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO	ADECTEC	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	2/219	9.13E-03
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	TERCEROS	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	3/219	1.37E-02
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	CLIMA	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	2/219	9.13E-03
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	CONDIF	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	33/219	1.51E-01
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	CONINEX	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	24/219	1.10E-01
DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS	ADMIN	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	3/219	1.37E-02
DEFICIENCIAS DE CONTROL	CONTROL	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	5/219	2.28E-02
DEFICIENCIAS DE PLANEACIÓN	PLAN	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	1/219	4.57E-03
DEFICIENCIAS EN EL CÁLCULO DE INDEMNIZACIONES	INDEM	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	2/219	9.13E-03
DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE CONTRATOS	CIERRE	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	2/219	9.13E-03
DEFICIENCIAS EN LA ADJUDICACIÓN DE CONTRATOS	ADJUDICACION	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	1/219	4.57E-03
DEFICIENCIAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS	CONTRATOS	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	3/219	1.37E-02
DEFICIENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE CONVENIOS	CONVENIOS	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	1/219	4.57E-03
DEFICIENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE PROPOSICIONES	EVALUACION	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	2/219	9.13E-03
DISEÑO FUERA DE TIEMPO	EXTEMPO	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	3/219	1.37E-02
ESCAZOS DE MATERIALES	MATERIALES	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	4/219	1.83E-02
DISPONIBILIDAD DEL INMUEBLE	INMUEBLE	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	6/219	2.74E-02

TABLA 3.10.- DETERMINACION DE LAS PROBABILIDADES

DEFICIENCIAS	CODIGO	FÓRMULA	PLANTEAMIENTO	PROBABILIDAD
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	FALTANCON	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	29/219	1.32E-01
IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	IMPRECISIONES	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	33/219	1.51E-01
IMPREVISTOS	IMPREVISTOS	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	6/219	2.74E-02
MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	CALIDAD	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	4/219	1.83E-02
PAGOS SIN SOPORTE	PAGOS	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	13/219	5.94E-02
PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	PAROS	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	1/219	4.57E-03
PROBLEMAS PRESUPUESTALES	PRESUPUESTO	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	2/219	9.13E-03
RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA	RECLAMACIONES	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	1/219	4.57E-03
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	USUARIA	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	31/219	1.42E-01
IMPREVISTOS EN LA PUESTA EN SERVICIO	IMPREVISTOSERV	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	1/219	4.57E-03
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA EN LA PUESTA EN SERVICIO	REQPTAENSERV	NUM DE INCIDENCIAS NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS	1/219	4.57E-03
REPERCUTE EN UN ATRASO ACT PREVIAS	REPERCUTEAP	NUM DE FALLAS QUE SIGNIFICARON RETRASO NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS EN ACT PREVIAS	9/15	6.00E-01
REPERCUTE EN UN ATRASO INGENIERÍA	REPERCUTEING	NUM DE FALLAS QUE SIGNIFICARON RETRASO NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS EN INGENIERÍA	99/160	6.19E-01
REPERCUTE EN UN ATRASO CONTRATACIÓN	REPERCUTECONT	NUM DE FALLAS QUE SIGNIFICARON RETRASO NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS EN CONTRATACIÓN	3/9	3.33E-01
REPERCUTE EN UN ATRASO CONSTRUCCIÓN	REPERCUTECONST	NUM DE FALLAS QUE SIGNIFICARON RETRASO NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS EN CONSTRUCCIÓN	11/33	3.33E-01
REPERCUTE EN UN ATRASO PUESTA EN SERVICIO	REPERCUTEPS	NUM DE FALLAS QUE SIGNIFICARON RETRASO NUM. TOTAL DE FALLAS ENCONTRADAS EN PTA SERV	1/2	5.00E-01
FALLA RECUPERACION DE DEF EN ACT PREVIAS	RECUPERAPREVIAS	NUM DE CONTRATOS CON DEF EN ACT. PREVIAS QUE NO TERMINARON A TIEMPO NUM. TOTAL DE CONTRATOS CON DEFICIENCIAS EN ACT PREVIAS	7/7	1.00E+00
FALLA RECUPERACION DE DEF EN INGENIERIA	RECUPERAINGE	NUM DE CONTRATOS CON DEF EN INGENIERIA QUE NO TERMINARON A TIEMPO NUM. TOTAL CON DEFICIENCIAS EN INGENIERÍA	33/50	6.60E-01

Habiendo determinado el árbol de eventos, los arboles de falla y con las probabilidades para cada evento básico, se procedió a incorporarlos a través del sistema Saphire para posteriormente resolver el modelo elaborado, arrojando los resultados que serán motivo de exposición para el cuarto capítulo de este trabajo.

TABLA 3.11.- CONTRATOS CON FALLAS EN LA ETAPA DE ACTIVIDADES PREVIAS Y QUE PRESENTARON DEFASAMIENTO EN SU FECHA DE TERMINACIÓN

CONSEC.	NÚM. CONTRATO	NÚM. DE CONVENIO	DEFICIENCIAS	EJERCICIO	MONTO DEL CONTRATO		FECHA DE CONCLUSIÓN			
					CONTRACTUAL	REAL	DESVIACION	CONTRACTUAL	REAL	DESVIACION (DÍAS DE ATRASO)
1	0110107	1	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	2001	\$4,173,272.00	\$4,248,469.61	\$75,197.61	30/07/2002	31/08/2002	32
			CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO							
			IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO							
			FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO							
2	022004	1	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	2002	\$1,537,373.28	\$1,994,864.67	\$457,491.39	30/06/2003	18/07/2003	18
			CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS							
			CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR							
			IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO							
3	021013	1	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	2002	\$4,170,812.99	\$4,047,847.77	-\$122,965.22	09/09/2002	11/09/2002	2
			CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS							
			FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE							
			IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO							
4	021095	1	CONDICIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	2002	\$1,513,759.64	\$1,463,650.55	-\$50,109.09	10/07/2003	13/07/2003	3
			FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO							
			CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS							
			FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE							
5	RGCP-CLO-028-02	1	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2002	\$249,732.30	\$259,466.16	\$9,733.86	31/12/2002	15/01/2003	15
			CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO							
			FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO							
			FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE							
6	RGPE-CO-009/05	1	REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2005	\$1,546,707.47	\$1,133,530.53	-\$413,176.94	12/09/2005	24/10/2005	42
			PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS							
7	RGPE-AD-CO-003/05	1	FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	2005	\$370,514.45	\$370,514.45	\$0.00	14/09/2005	09/10/2005	25

TABLA 3.12.- CONTRATOS CON FALLAS EN INGENIERIA QUE PRESENTARON DEFASAMIENTO EN SU FECHA DE TERMINACION

CONSEC.	NUM. CONTRATO	DEFICIENCIAS	EJERCICIO	MONTO DEL CONTRATO		FECHA DE CONCLUSIÓN		DESVIACION (DIAS DE ATRASO)
				CONTRACTUAL	REAL	CONTRACTUAL	REAL	
1	011081	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO DISEÑO FUERA DE TIEMPO RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA IMPREVISTOS	2001	\$2,784,933.67	\$3,190,171.97	30/01/2002	17/06/2002	138
2	011082	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2001	\$88,425,069.52	\$69,828,957.52	13/08/2002	25/08/2002	12
3	011098	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO IMPRECISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO DISEÑO FUERA DE TIEMPO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	2001	\$14,890,958.42	\$13,908,501.82	23/08/2002	09/11/2002	78
4	0110107	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	2001	\$4,173,272.00	\$4,248,469.61	30/07/2002	31/08/2002	32
5	0110115	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	2001	\$3,774,445.24	\$3,904,829.62	02/07/2002	09/11/2002	130
6	021001	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO IMPREVISTOS	2002	\$5,768,272.62	\$5,273,874.12	19/06/2002	03/08/2002	45
7	022004	CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	2002	\$1,537,373.28	\$1,994,864.67	30/06/2003	18/07/2003	18
8	021013	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS FALTA DE DISPOSICIÓN DEL INMUEBLE	2002	\$4,170,812.99	\$4,047,847.77	09/09/2002	11/09/2002	2
9	021058	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO DISEÑO FUERA DE TIEMPO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2002	\$2,650,091.22	\$2,638,686.31	31/12/2002	02/04/2003	92

TABLA 3.12.- CONTRATOS CON FALLAS EN INGENIERIA QUE PRESENTARON DEFASAMIENTO EN SU FECHA DE TERMINACION

CONSEC.	NÚM. CONTRATO	DEFICIENCIAS	EJERCICIO	MONTO DEL CONTRATO		FECHA DE CONCLUSIÓN		DESVIACION (DIAS DE ATRASO)
				CONTRACTUAL	REAL	CONTRACTUAL	REAL	
10	021050	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2002	\$4,360,458.22	\$5,642,874.81	28/12/2002	12/05/2003	135
11	021095	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS FALTA DE DISPOSICION DEL INMUEBLE CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	2002	\$1,513,759.64	\$1,463,650.55	10/07/2003	13/07/2003	3
12	021097	FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2002	\$3,153,954.42	\$3,441,353.20	21/07/2003	23/11/2003	125
13	RGCP-CLO-028-02	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO FALTA DE DISPOSICION DEL INMUEBLE	2002	\$249,732.30	\$259,466.16	31/12/2002	15/01/2003	15
14	031014	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	2003	\$1,098,508.61	\$1,412,023.07	10/07/2003	18/09/2003	70
15	RGCP-CLO-005/03	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2003	\$811,649.18	\$862,766.83	08/11/2003	26/12/2003	48
16	RGPE-041005	CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2004	\$3,574,151.71	\$3,695,468.53	26/07/2005	16/09/2005	52
17	RGPE-CO-001-04	FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2004	\$2,174,771.20	\$2,231,155.29	20/11/2004	31/12/2004	41
18	RGPE-CO-002-04	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2004	\$1,558,372.00	\$1,404,909.23	20/11/2004	10/12/2004	20
19	RGPE-CO-007-04	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	2004	\$2,751,899.24	\$3,030,628.64	08/12/2004	09/02/2005	63
20	RGPE-CO-008-04	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2004	\$1,400,038.42	\$1,261,472.57	26/12/2004	18/01/2005	23
21	RRPE-CO-024/05	CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	2005	\$2,583,506.87	\$2,866,897.83	21/12/2005	26/12/2005	4
22	RRPE-CO-025/05	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	2005	\$2,857,199.08	\$3,453,394.43	29/12/2005	24/02/2006	57
23	RRPE-AD-CO-035/05	IMPREISIONES EN LA CUANTIFICACION DE VOLUMENES DE DISEÑO FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	2005	\$398,382.23	\$349,134.52	15/12/2005	31/12/2005	16

TABLA 3.12.- CONTRATOS CON FALLAS EN INGENIERIA QUE PRESENTARON DEFASAMIENTO EN SU FECHA DE TERMINACION

CONSEC	NÚM. CONTRATO	DEFICIENCIAS	EJERCICIO	MONTO DEL CONTRATO		FECHA DE CONCLUSIÓN		DESVIACION (DIAS DE ATRASO)
				CONTRACTUAL	REAL	CONTRACTUAL	REAL	
24	RRPE-061006	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2006	\$71,794,511.43	\$72,107,007.03	23/12/2006	20/12/2007	362
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
25	RRPE-061008	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2006	\$4,538,377.43	\$8,597,334.70	28/12/2006	04/01/2008	372
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
26	RRPE-061010	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2006	\$36,614,419.56	\$34,974,773.91	28/09/2007	15/10/2007	17
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
27	RRPE-CO-005-06	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2006	\$3,971,382.61	\$4,505,270.70	27/12/2006	22/01/2008	391
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
28	RRPE-CO-010-06	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2006	\$2,228,400.71	\$2,578,349.88	29/12/2006	08/05/2007	130
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
29	RRPE-071001	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2007	\$14,983,146.00	\$16,577,116.35	19/11/2007	31/12/2007	42
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
30	RRPE-CO-004-07	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2007	\$994,910.36	\$946,896.48	12/12/2007	31/12/2007	19
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
31	RRPE-CO-005-07	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2007	\$2,793,465.59	\$2,594,549.72	06/12/2007	25/12/2007	19
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
32	RRPE-CO-006-07	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2007	\$1,183,732.33	\$1,205,362.49	13/12/2007	24/12/2007	11
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
33	RRPE-081006	IMPRESIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	2008	\$18,270,948.41	\$22,917,970.39	17/03/2009	31/03/2009	14
		FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						
		CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR						

CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente capítulo se analizan los resultados más destacados que se obtuvieron al desarrollar el modelo descrito en el capítulo anterior, primero a través de la tabla del Método de Análisis de Modo y Efectos de Falla y después mediante el análisis de las secuencias de falla a través de los árboles de eventos y fallas y resolviéndolo con ayuda de la herramienta informática Saphire.

4.1.- Resultados de la tabla FMEA

De acuerdo a la tabla FMEA desarrollada en el capítulo anterior (**Tabla 3.9**) las 5 potenciales causas de falla con mayor riesgo resultaron las siguientes:

Tabla 4.1.- Potenciales causas con mayor nivel de riesgo de la tabla FMEA

Potencial causa de la falla	Nivel de riesgo
Imprecisiones en la cuantificación de volúmenes de diseño	60
Condiciones diferentes a las reales al diseñar	60
Faltan conceptos en el diseño	45
Requerimientos del área usuaria	45
Pagos sin soporte	32

Como un primer resultado lo que más sobresale es el hecho de que las causas que presentaron mayor riesgo de ocurrencia corresponden a la etapa de la ingeniería, por lo que a continuación se analizan los resultados obtenidos a través del desarrollo del árbol de eventos y árboles de fallas para confirmar o desvirtuar la primera tendencia obtenida a través de la tabla FMEA.

4.2.- Resultados del análisis a través de arboles de eventos y fallas

4.2.1.- Secuencias

Como resultado del desarrollo del árbol de eventos (**Figura 3.2**) se obtuvieron 10 secuencias que se detallan a continuación: Las secuencias 2, 3, 4, 6, 7, 9 y 10 son las de falla y son las que se cuantifican.

Secuencia 1

Después del evento iniciador se concluye con éxito la etapa de actividades previas, de igual manera se logra el éxito en la etapa de ingeniería, para continuar con la contratación exitosa, la construcción también tiene un resultado satisfactorio, concluyendo con la puesta en servicio con resultado exitoso, es decir se presentan solo éxitos a lo largo de la secuencia.

Secuencia 2

De inicio similar a la anterior presentando éxitos en la etapa de actividades previas, ingeniería, contratación y construcción, sin embargo presenta falla en la etapa de puesta en servicio lo que conduce a un estado final de falla.

Secuencia 3

Presenta resultados exitosos en la etapa de actividades previas, ingeniería y contratación, sin embargo al presentar un resultado no exitoso en la etapa de construcción, esto lo lleva a un estado de falla final.

Secuencia 4

Comienza con éxito la etapa de actividades previas y lo continua en la ingeniería, sin embargo un fracaso en la etapa de contratación lo lleva directamente a un estado de falla.

Secuencia 5

Después de lograr el éxito en el primer sistema de mitigación (actividades previas) presenta falla en ingeniería, lo que lo remite al sistema de recuperación en el cual se logra el éxito, para posteriormente se logra el éxito en la etapa de puesta en servicio lo que conlleva a un estado final exitoso.

Secuencia 6

De manera similar a la secuencia 5 después de lograr el éxito en la etapa de actividades previas, falla en la etapa de ingeniería logrando la recuperación pero no logra el éxito en la puesta en servicio lo que lleva a un estado de falla.

Secuencia 7

Se inicia con éxito la etapa de actividades previas para continuar con una falla en ingeniería lo que lleva al sistema de recuperación que falla de nuevo lo que lleva a un estado no exitoso.

Secuencia 8

Falla desde la etapa de actividades previas, sin embargo logra con éxito recuperarse concluyendo con un éxito en la etapa de puesta en servicio lo que lleva a un estado final exitoso.

Secuencia 9

Similar a la secuencia 8 pero con la diferencia de que no se logra el éxito en la puesta en servicio, lo que lleva a un estado final de falla.

Secuencia 10

Esta secuencia presenta una falla desde las actividades previas y al proyectarse al sistema de recuperación no logra el éxito lo que lleva a un estado final de falla.

Es importante destacar que por tratarse de un análisis de fallas, las secuencias de éxito no se calculan al resolver el modelo estructurado.

4.2.2.- Probabilidad de ocurrencia

De manera global el sistema arrojó una probabilidad de ocurrencia del orden de **3.43 E-001**, lo cual para nuestro modelo se interpreta como que existe aproximadamente un **34.3 %** de probabilidad de que suceda un atraso en la fecha de terminación de los proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica dado un proyecto al año.

Sin embargo de manera más específica al resolver el modelo propuesto se obtuvieron otros indicadores los cuales se comentan en los siguientes apartados, describiendo en primera instancia

el concepto y lo que significa cada resultado para posteriormente especificar los datos obtenidos para el modelo en particular, concluyendo con una recapitulación de las cifras obtenidas a partir de las cuales se puedan proponer acciones que permitan disminuir la ocurrencia de fallas en el proceso estudiado y cómo actualizar el análisis incorporando más datos estadísticos de entrada.

4.2.3.- Conjuntos mínimos de corte (CMC's)

Se describen como las combinaciones mutuamente exclusivas de eventos básicos que conducen a la falla del sistema; en base a éstos, pueden ser cuantificadas la probabilidad de falla del sistema y la contribución de cada componente a esta probabilidad.

Para el análisis de fallas realizado se determinaron 57 conjuntos mínimos de corte para las secuencias de falla como se observa en la **Tabla 4.2** que es precisamente el reporte emitido por el Sistema Saphire

Tabla 4.2.- Conjuntos Mínimos de Corte (CMC's)

Project-> PROYECTO-LT-Y-SE-REV-6ee-> PROYECTO-LT-Y-SEeq-> MULTIPLE				This Partition -> 3.430E-001	
Mincut Upper Bound -> 3.430E-001					
Cut No.	% Total	% Cut Set	Frequency	Cut Sets	
1	18.0	18.0	6.169E-002	IE->POISE, CONDIF, RECUPERAINGE REPERCUTEING	
2	36.0	18.0	6.169E-002	IE->POISE, IMPRECISIONES, RECUPERAINGE REPERCUTEING	
3	52.9	16.9	5.801E-002	IE->POISE, RECUPERAINGE, REPERCUTEING USUARIA	
4	68.6	15.7	5.393E-002	IE->POISE, FALTANCON, RECUPERAINGE REPERCUTEING	
5	81.7	13.1	4.494E-002	IE->POISE, CONINEX, RECUPERAINGE REPERCUTEING	
6	87.5	5.8	1.978E-002	IE->POISE, PAGOS, REPERCUTECONST	
7	92.3	4.8	1.644E-002	IE->POISE, INMUEBLE, RECUPERAPREVIAS REPERCUTEAP	
8	95.6	3.3	1.119E-002	IE->POISE, IMPREVISTOS, RECUPERAINGE REPERCUTEING	
9	98.3	2.7	9.124E-003	IE->POISE, IMPREVISTOS, REPERCUTECONST	
10	100.0	2.4	8.220E-003	IE->POISE, ADMIN, RECUPERAPREVIAS REPERCUTEAP	
11	100.0	2.4	8.220E-003	IE->POISE, RECUPERAPREVIAS, REPERCUTEAP TERCEROS	
12	100.0	2.2	7.592E-003	IE->POISE, CONTROL, REPERCUTECONST	
13	100.0	1.8	6.094E-003	IE->POISE, CALIDAD, REPERCUTECONST	
14	100.0	1.8	6.094E-003	IE->POISE, MATERIALES, REPERCUTECONST	
15	100.0	1.6	5.597E-003	IE->POISE, EXTEMPO, RECUPERAINGE REPERCUTEING	
16	100.0	1.6	5.478E-003	IE->POISE, INDEM, RECUPERAPREVIAS REPERCUTEAP	
17	100.0	1.1	3.730E-003	IE->POISE, PRESUPUESTO, RECUPERAINGE REPERCUTEING	
18	100.0	0.9	3.040E-003	IE->POISE, ADECTEC, REPERCUTECONST	
19	100.0	0.9	3.040E-003	IE->POISE, CLIMA, REPERCUTECONST	
20	100.0	0.8	2.742E-003	IE->POISE, PAROS, RECUPERAPREVIAS REPERCUTEAP	
21	100.0	0.7	2.285E-003	IE->POISE, REPERCUTEPS, REQPTAENSERV	
22	100.0	0.7	2.285E-003	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, REPERCUTEPS	
23	100.0	0.6	1.867E-003	IE->POISE, PLAN, RECUPERAINGE, REPERCUTEING	
24	100.0	0.5	1.522E-003	IE->POISE, RECLAMACIONES, REPERCUTECONST	
25	100.0	0.4	1.411E-003	IE->POISE, CONTRATOS, REPERCUTECONT	
26	100.0	0.3	9.404E-004	IE->POISE, CIERRE, REPERCUTECONT	
27	100.0	0.3	9.404E-004	IE->POISE, EVALUACION, REPERCUTECONT	
28	100.0	0.1	4.707E-004	IE->POISE, ADJUDICACION, REPERCUTECONT	
29	100.0	0.1	4.707E-004	IE->POISE, CONVENIOS, REPERCUTECONT	
30	100.0	0.1	2.136E-004	IE->POISE, IMPRECISIONES, REPERCUTEING REPERCUTEPS, REQPTAENSERV	
31	100.0	0.1	2.136E-004	IE->POISE, CONDIF, REPERCUTEING REPERCUTEPS, REQPTAENSERV	
32	100.0	0.1	2.136E-004	IE->POISE, CONDIF, IMPREVISTOSERV REPERCUTEING, REPERCUTEPS	

Cut No.	% Total	% Cut Set	Frequency	Cut Sets
33	100.0	0.1	2.136E-004	IE->POISE, IMPRECISIONES, IMPREVISTOSERV REPERCUTEING, REPERCUTEPS
34	100.0	0.1	2.008E-004	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, REPERCUTEING REPERCUTEPS, USUARIA
35	100.0	0.1	2.008E-004	IE->POISE, REPERCUTEING, REPERCUTEPS REQPTAENSERV, USUARIA
36	100.0	0.1	1.867E-004	IE->POISE, FALTANCON, REPERCUTEING REPERCUTEPS, REQPTAENSERV
37	100.0	0.1	1.867E-004	IE->POISE, FALTANCON, IMPREVISTOSERV REPERCUTEING, REPERCUTEPS
38	100.0	0.1	1.556E-004	IE->POISE, CONINEX, REPERCUTEING REPERCUTEPS, REQPTAENSERV
39	100.0	0.1	1.556E-004	IE->POISE, CONINEX, IMPREVISTOSERV REPERCUTEING, REPERCUTEPS
40	100.0	0.0	3.875E-005	IE->POISE, IMPREVISTOS, REPERCUTEING REPERCUTEPS, REQPTAENSERV
41	100.0	0.0	3.875E-005	IE->POISE, IMPREVISTOS, IMPREVISTOSERV REPERCUTEING, REPERCUTEPS
42	100.0	0.0	3.757E-005	IE->POISE, INMUEBLE, REPERCUTEAP REPERCUTEPS, REQPTAENSERV
43	100.0	0.0	3.757E-005	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, INMUEBLE REPERCUTEAP, REPERCUTEPS
44	100.0	0.0	1.938E-005	IE->POISE, EXTEMPO, REPERCUTEING REPERCUTEPS, REQPTAENSERV
45	100.0	0.0	1.938E-005	IE->POISE, EXTEMPO, IMPREVISTOSERV REPERCUTEING, REPERCUTEPS
46	100.0	0.0	1.878E-005	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, REPERCUTEAP REPERCUTEPS, TERCEROS
47	100.0	0.0	1.878E-005	IE->POISE, ADMIN, REPERCUTEAP, REPERCUTEPS REQPTAENSERV
48	100.0	0.0	1.878E-005	IE->POISE, ADMIN, IMPREVISTOSERV REPERCUTEAP, REPERCUTEPS
49	100.0	0.0	1.878E-005	IE->POISE, REPERCUTEAP, REPERCUTEPS REQPTAENSERV, TERCEROS
50	100.0	0.0	1.291E-005	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, PRESUPUESTO REPERCUTEING, REPERCUTEPS
51	100.0	0.0	1.291E-005	IE->POISE, PRESUPUESTO, REPERCUTEING REPERCUTEPS, REQPTAENSERV
52	100.0	0.0	1.252E-005	IE->POISE, INDEM, REPERCUTEAP, REPERCUTEPS REQPTAENSERV
53	100.0	0.0	1.252E-005	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, INDEM REPERCUTEAP, REPERCUTEPS
54	100.0	0.0	6.464E-006	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, PLAN REPERCUTEING, REPERCUTEPS
55	100.0	0.0	6.464E-006	IE->POISE, PLAN, REPERCUTEING, REPERCUTEPS REQPTAENSERV
56	100.0	0.0	6.265E-006	IE->POISE, PAROS, REPERCUTEAP, REPERCUTEPS REQPTAENSERV
57	100.0	0.0	6.265E-006	IE->POISE, IMPREVISTOSERV, PAROS REPERCUTEAP, REPERCUTEPS

En el reporte anterior se observa que las frecuencias de los primeros 5 Conjuntos Mínimos de Corte contribuyen en un 81.7% a la frecuencia de falla como se muestra a continuación.

Tabla 4.3.- Conjuntos Mínimos de Corte con mayor aportación a la frecuencia total

CMC	FRECUENCIA	%	% Acumulado	EVENTOS BÁSICOS QUE LO INTEGRAN
1	6.169E-002	18	18	Condiciones diferentes a las reales al diseñar-Falla la recuperación de deficiencias en ingeniería-Repercute en un atraso en Ingeniería
2	6.169E-002	18	36	Imprecisiones en la cuantificación de volúmenes de diseño-Falla la recuperación de deficiencias en ingeniería-Repercute en un atraso en Ingeniería.
3	5.801E-002	16.9	52.9	Falla la recuperación de deficiencias en ingeniería-Repercute en un atraso en Ingeniería-Requerimientos del área usuaria

CMC	FRECUENCIA	%	% Acumulado	EVENTOS BÁSICOS QUE LO INTEGRAN
4	5.393E-002	15.7	68.6	Faltan conceptos en el diseño-Falla la recuperación de deficiencias en ingeniería- Repercute en un atraso en Ingeniería
5	4.071E-002	13.1	81.7	Consideraciones inexactas en el diseño- Falla la recuperación de deficiencias en ingeniería- Repercute en un atraso en Ingeniería.

De la tabla anterior se puede observar que los eventos básicos que aparecen en todos los Conjuntos Mínimos de Corte son *Falla la recuperación de deficiencias en ingeniería* y *Repercute en un atraso en Ingeniería*, en cuanto a este último era un resultado esperado en virtud de la estructura del modelo, sin embargo el que aparezca las fallas en la recuperación de deficiencias en ingeniería nos da un primer indicador de la etapa del proceso que requiere de mayor atención.

De igual manera es importante señalar que los 5 eventos básicos restantes incluidos en los CMC's anteriores, están incluidos como eventos básicos en el árbol de fallas correspondiente a la etapa de ingeniería del proceso.

4.2.4.- Razón de reducción de riesgo (RRR)

Este indicador se define como la proporción en la que se reduciría el evento tope si la probabilidad del evento x fuera cero. Se calcula como la tasa o la diferencia entre el riesgo nominal y el riesgo con la probabilidad de falla del evento igual a cero de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa: } RRR(x) = F(x)/F(o)$$

$$\text{Diferencia (o Intervalo): } RRI(x) = F(x) - F(o)$$

Donde:

$F(x)$ es el riesgo con el evento x con la probabilidad nominal, y

$F(o)$ es el riesgo cuando el evento x nunca falla (probabilidad de falla = 0)

Se podría utilizar como un parámetro para tomar decisiones sobre la conveniencia o no de implementar controles, que aseguren que el evento básico no sucederá. Para el modelo desarrollado los resultados que arrojó la herramienta Sapphire se despliegan en la **Tabla 4.4**.

De lo anterior destacan los siguientes como los de mayor razón de reducción de riesgo:

Tabla 4.5.- Eventos básicos con mayor Razón de Reducción de Riesgo

EVENTO BÁSICO	RAZÓN DE REDUCCIÓN DE RIESGO
Falla la recuperación de deficiencias en la ingeniería	3.508
Imprecisiones en la cuantificación de volúmenes de diseño	1.149
Condiciones diferentes a las reales al diseñar	1.149
Requerimientos del área usuaria	1.139
Faltan conceptos en el diseño	1.127

Tabla 4.4.- Eventos básicos ordenados por su valor de RRR

Event Name	Num. of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importance	Risk Reduction Ratio	Risk Increase Ratio
POISE	57	1.000E+000	1.000E+000	-----	1.000E+000
REPERCUTEING	27	6.190E-001	7.205E-001	3.578E+000	1.359E+000
RECUPERAINGE	9	6.600E-001	7.149E-001	3.508E+000	1.302E+000
REPERCUTECONST	8	3.330E-001	1.472E-001	1.173E+000	1.275E+000
IMPRECISIONES	3	1.510E-001	1.300E-001	1.149E+000	1.731E+000
CONDIF	3	1.510E-001	1.300E-001	1.149E+000	1.731E+000
USUARIA	3	1.420E-001	1.218E-001	1.139E+000	1.736E+000
FALTANCON	3	1.320E-001	1.127E-001	1.127E+000	1.741E+000
REPERCUTEAP	15	6.000E-001	1.088E-001	1.122E+000	1.071E+000
RECUPERAPREVIAS	5	1.000E+000	1.083E-001	1.121E+000	1.000E+000
CONINEX	3	1.100E-001	9.305E-002	1.103E+000	1.753E+000
PAGOS	1	5.940E-002	5.100E-002	1.054E+000	1.808E+000
IMPREVISTOS	4	2.740E-002	4.567E-002	1.048E+000	2.621E+000
INMUEBLE	3	2.740E-002	4.310E-002	1.045E+000	2.530E+000
ADMIN	3	1.370E-002	2.137E-002	1.022E+000	2.539E+000
TERCEROS	3	1.370E-002	2.137E-002	1.022E+000	2.539E+000
CONTROL	1	2.280E-002	1.934E-002	1.020E+000	1.829E+000
REPERCUTEPS	30	5.000E-001	1.831E-002	1.019E+000	1.018E+000
MATERIALES	1	1.830E-002	1.550E-002	1.016E+000	1.831E+000
CALIDAD	1	1.830E-002	1.550E-002	1.016E+000	1.831E+000
INDEM	3	9.130E-003	1.420E-002	1.014E+000	2.541E+000
REPERCUTECONT	5	1.030E-001	1.130E-002	1.011E+000	1.097E+000
EXTEMPO	3	1.370E-002	1.113E-002	1.011E+000	1.802E+000
REQPTAENSERV	15	4.570E-003	9.147E-003	1.009E+000	2.937E+000
IMPREVISTOSERV	15	4.570E-003	9.147E-003	1.009E+000	2.937E+000
ADECTEC	1	9.130E-003	7.708E-003	1.008E+000	1.837E+000
CLIMA	1	9.130E-003	7.708E-003	1.008E+000	1.837E+000
PRESUPUESTO	3	9.130E-003	7.406E-003	1.007E+000	1.804E+000
PAROS	3	4.570E-003	7.090E-003	1.007E+000	2.544E+000
RECLAMACIONES	1	4.570E-003	3.852E-003	1.004E+000	1.839E+000
CONTRATOS	1	1.370E-002	3.764E-003	1.004E+000	1.271E+000
PLAN	3	4.570E-003	3.700E-003	1.004E+000	1.806E+000
CIERRE	1	9.130E-003	2.507E-003	1.003E+000	1.272E+000
EVALUACION	1	9.130E-003	2.507E-003	1.003E+000	1.272E+000
CONVENIOS	1	4.570E-003	1.254E-003	1.001E+000	1.273E+000
ADJUDICACION	1	4.570E-003	1.254E-003	1.001E+000	1.273E+000

En situación similar a los resultados obtenidos al analizar los Conjuntos Mínimos de Corte, se observa que el evento básico con mayor Razón de Reducción de Riesgo es Falla en la recuperación de deficiencias en la ingeniería, a la cual le siguen en orden descendiente cuatro eventos básicos que se encuentran incluidos en el árbol mediante el cual se analizaron las fallas en la etapa de ingeniería.

Asimismo se observa un dato interesante, ya que el evento "Fallas en la recuperación de deficiencias en la ingeniería" arroja una RRR mayor a 3, lo que representa que la probabilidad de dicho evento se redujera a 0, el riesgo sería 3 veces menor, casi triplicando los resultados correspondientes a los otros 4 eventos básicos de la **Tabla 4.5**.

Hablando en términos prácticos, este resultado nos señala que los recursos tanto económicos como materiales y de trabajo que se pretendan invertir para disminuir la probabilidad de ocurrencia de los eventos básicos, serán más redituables cuando se inviertan encaminados a reducir la probabilidad de ocurrencia de aquellos eventos básicos que presentan una mayor Razón de Reducción de Riesgo, para este caso en específico la reducción en la probabilidad del ocurrencia del

evento básico "Falla en la recuperación de deficiencias en ingeniería" con un valor de RRR mayor a 3 , representa que el riesgo de falla disminuya aproximadamente tres veces más que si se disminuyera la probabilidad de cualquier otro evento básico.

4.2.5.- Razón de incremento de riesgo (RIR)

Se define como la proporción en la que se incrementaría la probabilidad del evento tope si la probabilidad del evento x fuera 1, por lo que establece una indicación inmediata del impacto del riesgo asociado a propiciar la falla correspondiente al evento básico y por ende cual resulta importante para priorización.

Su fórmula matemática es:

$$\text{Tasa: RAW}(x) \text{ o RIR}(x) = F(1)/F(x)$$

$$\text{Diferencia (o Intervalo): RII}(x) = F(1) - F(x)$$

donde,

F(x) es el riesgo con evento x a la prob. de falla nominal, y

F(1) es riesgo cuando el evento x siempre está fallado (prob. de falla = 1)

Los resultados obtenidos para el modelo desarrollado en el Sistema Sapphire se plasman en la **Tabla 4.6:**

Tabla 4.6.- Eventos básicos ordenados por su valor de RIR

Event Name	Num. of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importance	Risk Reduction Ratio	Risk Increase Ratio
IMPREVISTOSERV	15	4.570E-003	9.147E-003	1.009E+000	2.937E+000
REQPTAENSERV	15	4.570E-003	9.147E-003	1.009E+000	2.937E+000
IMPREVISTOS	4	2.740E-002	4.567E-002	1.048E+000	2.621E+000
PAROS	3	4.570E-003	7.090E-003	1.007E+000	2.544E+000
INDEM	3	9.130E-003	1.420E-002	1.014E+000	2.541E+000
TERCEROS	3	1.370E-002	2.137E-002	1.022E+000	2.539E+000
ADMIN	3	1.370E-002	2.137E-002	1.022E+000	2.539E+000
INMUEBLE	3	2.740E-002	4.310E-002	1.045E+000	2.530E+000
RECLAMACIONES	1	4.570E-003	3.852E-003	1.004E+000	1.839E+000
CLIMA	1	9.130E-003	7.708E-003	1.008E+000	1.837E+000
ADECTEC	1	9.130E-003	7.708E-003	1.008E+000	1.837E+000
MATERIALES	1	1.830E-002	1.550E-002	1.016E+000	1.831E+000
CALIDAD	1	1.830E-002	1.550E-002	1.016E+000	1.831E+000
CONTROL	1	2.280E-002	1.934E-002	1.020E+000	1.829E+000
PAGOS	1	5.940E-002	5.100E-002	1.054E+000	1.808E+000
PLAN	3	4.570E-003	3.700E-003	1.004E+000	1.806E+000
PRESUPUESTO	3	9.130E-003	7.406E-003	1.007E+000	1.804E+000
EXTEMPO	3	1.370E-002	1.113E-002	1.011E+000	1.802E+000
CONINEX	3	1.100E-001	9.305E-002	1.103E+000	1.753E+000
FALTANCON	3	1.320E-001	1.127E-001	1.127E+000	1.741E+000
USUARIA	3	1.420E-001	1.218E-001	1.139E+000	1.736E+000
CONDIF	3	1.510E-001	1.300E-001	1.149E+000	1.731E+000
IMPRECISIONES	3	1.510E-001	1.300E-001	1.149E+000	1.731E+000
REPERCUTEING	27	6.190E-001	7.205E-001	3.578E+000	1.359E+000
RECUPERAINGE	9	6.600E-001	7.149E-001	3.508E+000	1.302E+000
REPERCUTECONST	8	3.330E-001	1.472E-001	1.173E+000	1.275E+000
CONVENIOS	1	4.570E-003	1.254E-003	1.001E+000	1.273E+000
ADJUDICACION	1	4.570E-003	1.254E-003	1.001E+000	1.273E+000
EVALUACION	1	9.130E-003	2.507E-003	1.003E+000	1.272E+000
CIERRE	1	9.130E-003	2.507E-003	1.003E+000	1.272E+000
CONTRATOS	1	1.370E-002	3.764E-003	1.004E+000	1.271E+000
REPERCUTECONT	5	1.030E-001	1.130E-002	1.011E+000	1.097E+000
REPERCUTEAP	15	6.000E-001	1.088E-001	1.122E+000	1.071E+000
REPERCUTEPS	30	5.000E-001	1.831E-002	1.019E+000	1.018E+000
RECUPERAPREVIAS	5	1.000E+000	1.083E-001	1.121E+000	1.000E+000
POISE	57	1.000E+000	1.000E+000	-----	1.000E+000

De la tabla anterior destacan como los de mayor RIR los siguientes:

Tabla 4.7.- Eventos básicos con mayor Razón de Incremento de Riesgo

EVENTO BÁSICO	RAZÓN DE INCREMENTO DE RIESGO
Imprevistos en la puesta en servicio	2.937
Requerimientos de área usuaria en la puesta en servicio	2.937
Imprevistos	2.540
Problemas indemnizatorios durante la construcción	2.532
Deficiencias en el cálculo de las indemnizaciones	1.877

Analizando esta medida se observa la ocurrencia de los primeros dos eventos "Imprevistos en la puesta en Servicio" y "Requerimientos del área usuaria durante la puesta en servicio" que incrementan el riesgo de falla aproximadamente en 3 veces, por lo cual este dato es interesante y útil en la toma de decisiones durante el desarrollo del proceso ya que permite decidir sobre la conveniencia de que tal o cual evento suceda, incrementando lo menos posible el riesgo de falla total.

Para este caso en específico se observa que es conveniente evitar los requerimientos en la puesta en servicio así como los imprevistos en la etapa final del proceso como lo es la puesta en servicio, ya que de suceder incrementan el riesgo de manera importante hasta casi triplicarlos.

4.2.6.- Fussel Vesely (FV)

Este importante indicador se define como la contribución relativa de un evento a la probabilidad del evento tope, o bien, la fracción de la frecuencia de falla con la que participa el evento y se calcula como la suma de los conjuntos mínimos de corte donde interviene el evento, dividida entre la frecuencia del evento tope de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$FV_x = \sum \text{Conjunto de corte con el evento } x / F(x)$$

o

$$FV_x = [F(x) - F(o)] / F(x)$$

donde,

F(x) es el riesgo con evento x con probabilidad de falla nominal, y

F(o) es el riesgo cuando evento x nunca falla (prob. de falla = 0)

Es útil en la jerarquización de los eventos y nos da una referencia inmediata del riesgo asociado a la ocurrencia del evento básico.

Para el análisis de fallas desarrollado los resultados del saphire se despliegan en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8.- Eventos Básicos ordenados por su valor de F-V

Event Name	Num. of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importance	Risk Reduction Ratio	Risk Increase Ratio
POISE	57	1.000E+000	1.000E+000	-----	1.000E+000
REPERCUTEING	27	6.190E-001	7.205E-001	3.578E+000	1.359E+000
RECUPERAINGE	9	6.600E-001	7.149E-001	3.508E+000	1.302E+000
REPERCUTECONST	8	3.330E-001	1.472E-001	1.173E+000	1.275E+000
IMPRECISIONES	3	1.510E-001	1.300E-001	1.149E+000	1.731E+000
CONDIF	3	1.510E-001	1.300E-001	1.149E+000	1.731E+000
USUARIA	3	1.420E-001	1.218E-001	1.139E+000	1.736E+000
FALTANCON	3	1.320E-001	1.127E-001	1.127E+000	1.741E+000
REPERCUTEAP	15	6.000E-001	1.088E-001	1.122E+000	1.071E+000
RECUPERAPREVIAS	5	1.000E+000	1.083E-001	1.121E+000	1.000E+000
CONINEX	3	1.100E-001	9.305E-002	1.103E+000	1.753E+000
PAGOS	1	5.940E-002	5.100E-002	1.054E+000	1.808E+000
IMPREVISTOS	4	2.740E-002	4.567E-002	1.048E+000	2.621E+000
INMUEBLE	3	2.740E-002	4.310E-002	1.045E+000	2.530E+000
ADMIN	3	1.370E-002	2.137E-002	1.022E+000	2.539E+000
TERCEROS	3	1.370E-002	2.137E-002	1.022E+000	2.539E+000
CONTROL	1	2.280E-002	1.934E-002	1.020E+000	1.829E+000
REPERCUTEPS	30	5.000E-001	1.831E-002	1.019E+000	1.018E+000
CALIDAD	1	1.830E-002	1.550E-002	1.016E+000	1.831E+000
MATERIALES	1	1.830E-002	1.550E-002	1.016E+000	1.831E+000
INDEM	3	9.130E-003	1.420E-002	1.014E+000	2.541E+000
REPERCUTECONT	5	1.030E-001	1.130E-002	1.011E+000	1.097E+000
EXTEMPO	3	1.370E-002	1.113E-002	1.011E+000	1.802E+000
REQPTAENSERV	15	4.570E-003	9.147E-003	1.009E+000	2.937E+000
IMPREVISTOSERV	15	4.570E-003	9.147E-003	1.009E+000	2.937E+000
CLIMA	1	9.130E-003	7.708E-003	1.008E+000	1.837E+000
ADECTEC	1	9.130E-003	7.708E-003	1.008E+000	1.837E+000
PRESUPUESTO	3	9.130E-003	7.406E-003	1.007E+000	1.804E+000
PAROS	3	4.570E-003	7.090E-003	1.007E+000	2.544E+000
RECLAMACIONES	1	4.570E-003	3.852E-003	1.004E+000	1.839E+000
CONTRATOS	1	1.370E-002	3.764E-003	1.004E+000	1.271E+000
PLAN	3	4.570E-003	3.700E-003	1.004E+000	1.806E+000
CIERRE	1	9.130E-003	2.507E-003	1.003E+000	1.272E+000
EVALUACION	1	9.130E-003	2.507E-003	1.003E+000	1.272E+000
CONVENIOS	1	4.570E-003	1.254E-003	1.001E+000	1.273E+000
ADJUDICACION	1	4.570E-003	1.254E-003	1.001E+000	1.273E+000

De la anterior tabla destacan los eventos que se indican en la siguiente tabla como los de mayor valor de F-V:

Tabla 4.9.- Eventos Básicos con mayor valor de Fussel Vesel

EVENTO BÁSICO	FUSSEL VESELY (FV)
Falla la recuperación de deficiencias en Ingeniería	7.149 E-001
Imprecisiones en la cuantificación de volúmenes de diseño	1.300 E-001
Condiciones diferentes a las reales al diseñar	1.300 E-001
Requerimientos del área usuaria	1.218 E -001
Faltan conceptos en el diseño	1.127 E-001

En similitud con lo que sucedió con la Razón de Disminución de Riesgo, se observa que los eventos básicos con mayor contribución a la probabilidad de falla del evento tope son los relacionados con la etapa de ingeniería destacando de manera lógica en relación a lo anterior, el que se identifica como "Falla en la recuperación de deficiencias en la ingeniería", el cual presenta un F-V mayor a 7 a diferencia de los otros eventos básicos cuyo valor se encuentra alrededor de 1.

De igual manera este parámetro es útil para la implementación de acciones de mejora en el proceso, ya que al conocer la proporción en que contribuye cada evento básico a la falla del proceso, será más rentable implementar acciones tendientes a controlar los eventos con mayor contribución a la falla y así sucesivamente.

Es importante mencionar que para el análisis de las tres razones (RRR, RIR y F-V), se consideraron aquellos eventos que de manera específica son susceptibles de modificar a partir de la implementación de acciones de mejora.

4.3.- Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es el ejercicio mediante el cual se obtiene el comportamiento que tendría el proceso ante la variación sustancial de parámetros, que son de especial relevancia durante el desarrollo del mismo.

Para este estudio se realizó el análisis de sensibilidad modificando las frecuencias de algunos eventos básicos destacados en los árboles de fallas que llamaremos estratégicos y que, de acuerdo a la experiencia en la construcción de proyectos de transmisión y transformación son de especial importancia y estratégicos para cada etapa de proceso, como los que se mencionan a continuación:

Tabla 4.10.- Variaciones en la probabilidad de eventos estratégicos para el análisis de sensibilidad

ETAPA DEL PROCESO	EVENTO BASICO SELECCIONADO PARA EL ANALISIS DE SENSIBILIDAD	PROBABILIDAD	PROBABILIDAD SENSIBILIDAD INCREMENTO (100%)	PROBABILIDAD SENSIBILIDAD DISMINUCION (50%)
Act. Previas	Disponibilidad del inmueble	2.74 E-02	5.48 E-02	1.37 E-02
Ingeniería	Condiciones diferentes a las reales al diseñar	1.51 E-01	3.02 E-01	7.55 E-02
Contratación	Deficiencias en la adjudicación de contratos	4.57E-03	9.14E-03	2.285 E-03
Construcción	Imprevistos	2.74 E-02	5.48 E-02	1.37 E-02
Puesta en servicio	Requerimientos del área usuaria en la puesta en servicio	4.57E-03	9.14 E-03	2.28 E-03

Es importante señalar que los eventos básicos que fueron determinados como estratégicos no se encuentran entre los que más contribuyen al riesgo, ni tienen valores elevados de las importancias, lo cual obedece, entre otras cosas, a que dichos eventos dentro del proceso de construcción cuentan con varios controles establecidos que reducen su probabilidad de ocurrencia, sin embargo su impacto dentro del proceso es importante.

En tal contexto se procedió a modificar la probabilidad de los citados eventos y resolviendo cada vez la secuencias de éxito para verificar el comportamiento de las medidas de importancia (Razón de reducción de riesgo RRR y Razón de incremento de riesgo RIR), plasmando los resultados en la **tabla 4.11.**, en la cual se observa en la columna de la extrema derecha los eventos básicos, en las

siguientes columnas se indican los valores de RRR y RIR obtenidos originalmente y en las subsecuentes el comportamiento de esos parámetros para cada evento básico, los primeros cinco al disminuir la probabilidad de los eventos estratégicos y los siguientes cinco al incrementarse la probabilidad de los mismos.

Con la finalidad de exponer de manera más objetiva el análisis de sensibilidad se procedió a graficar los resultados a partir de la tabla 4.11 resultando los gráficos identificados como la **Figura 4.1** para el comportamiento de la Razón de Reducción de Riesgo (RRR) y la **Figura 4.2** que describe el comportamiento de la Razón de Incremento de Riesgo (RIR), en las cuales se observa que la Razón de Reducción de Riesgo no presenta mucha sensibilidad a los cambios para todos los eventos con excepción de los eventos "Condiciones diferentes a las reales al diseñar" y "Falla en la Recuperación de deficiencias en Ingeniería" que presentan ciertos picos.

En lo que respecta a la Razón de Incremento de Riesgo se observa que esta medida de importancia sí presenta sensibilidad a los cambios presentando cambios importantes específicamente en los eventos denominados "Imprevistos en la Puesta en Servicio" y "Requerimientos del área usuaria en la puesta en servicio".

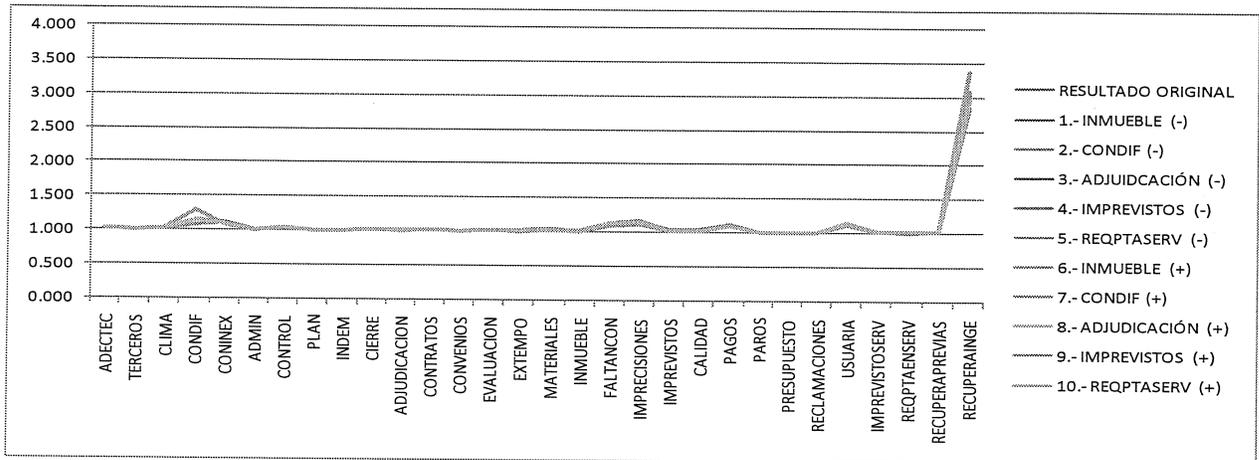


Figura 4.1.- Variación de la Razón de Reducción de Riesgo (RRR) con el análisis de sensibilidad

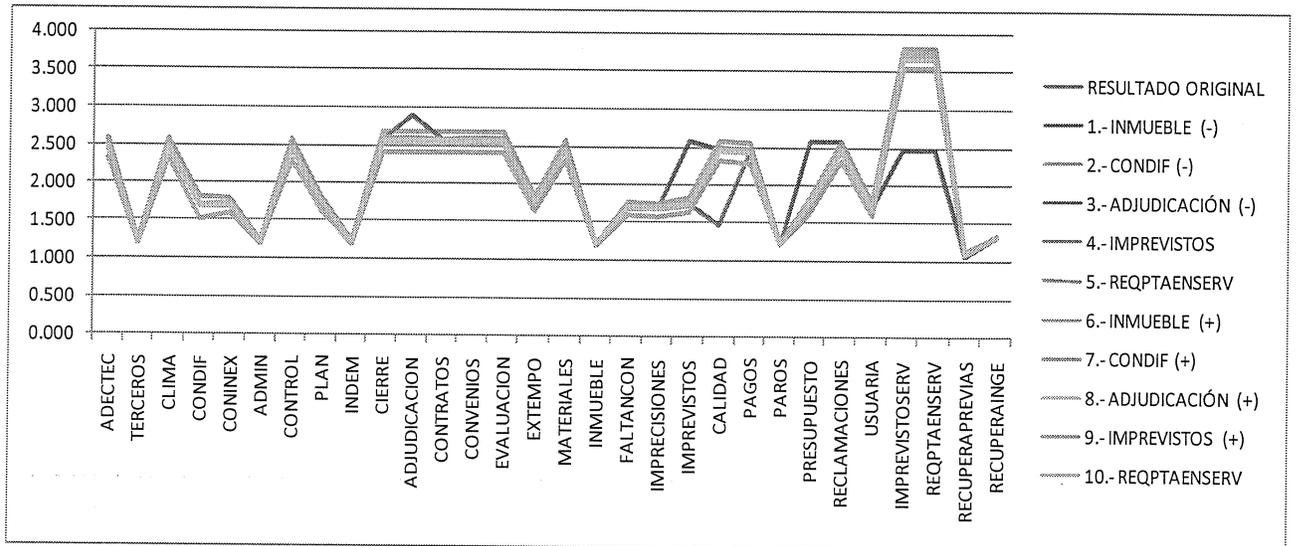


Figura 4.2.- Variación la Razón de Incremento de Riesgo (RIR) con el análisis de sensibilidad

Tabla 4.11.- Resultados del análisis de sensibilidad

EVENTO BÁSICO	CLAVE	RESULTADOS OBTENIDOS		1.- Disminuyendo la probabilidad del evento "Disponibilidad del inmueble" a 1.37 E-02		2.-Disminuyendo la probabilidad del evento "Condiciones diferentes a las reales al diseñar" a 7.55 E-02		3.- Disminuyendo la probabilidad del evento "Deficiencias en la adjudicación de contratos" a 2.78 E-03		4.-Disminuyendo la probabilidad del evento "Imprevistos" a 1.37 E-02		5.-Disminuyendo la probabilidad del evento "Requerimientos del área usuaria en la puesta en servicio" a 2.28 E-02	
		Frecuencia total: 3.429E-01		Frecuencia total: 3.374E-01		Frecuencia total: 3.210 E-01		Frecuencia total: 3.427E-01		Frecuencia total: 3.362E-01		Frecuencia total: 3.417E-01	
		RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR
ADECUACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO	ADECTEC	1.008	1.837	1.008	1.832	1.015	2.584	1.014	2.490	1.014	2.502	1.014	2.496
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	TERCEROS	1.022	2.539	1.023	2.588	1.003	1.240	1.003	1.226	1.003	1.228	1.003	1.223
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	CLIMA	1.008	1.814	1.008	1.832	1.015	2.584	1.014	2.490	1.014	2.502	1.014	2.496
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	CONDIF	1.150	1.731	1.154	1.751	1.071	1.812	1.143	1.701	1.145	1.711	1.142	1.701
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	CONINEX	1.103	1.753	1.106	1.773	1.109	1.792	1.098	1.724	1.100	1.733	1.098	1.723
DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS	ADMIN	1.022	2.539	1.023	2.588	1.003	1.240	1.003	1.226	1.003	1.228	1.003	1.223
DEFICIENCIAS DE CONTROL	CONTROL	1.019	1.829	1.020	1.824	1.038	2.575	1.036	2.482	1.036	2.494	1.036	2.487
DEFICIENCIAS DE PLANEACIÓN	PLAN	1.004	1.810	1.004	1.828	1.004	1.852	1.004	1.779	1.004	1.789	1.004	1.778
DEFICIENCIAS EN EL CÁLCULO DE INDEMNIZACIONES	INDEM	1.014	2.541	1.015	2.591	1.002	1.241	1.002	1.227	1.002	1.229	1.002	1.224
DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE CONTRATOS	CIERRE	1.003	1.272	1.003	1.278	1.016	2.683	1.015	2.585	1.015	2.596	1.015	2.589
DEFICIENCIAS EN LA ADJUDICACIÓN DE CONTRATOS	ADJUDICACION	1.000	1.273	1.001	1.280	1.008	2.686	1.004	2.890	1.007	2.599	1.007	2.592
DEFICIENCIAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS	CONTRATOS	1.004	1.271	1.004	1.277	1.024	2.680	1.022	2.582	1.023	2.593	1.022	2.586
DEFICIENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE CONVENIOS	CONVENIOS	1.001	1.273	1.001	1.280	1.008	2.686	1.007	2.588	1.007	2.599	1.007	2.592
DEFICIENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE PROPOSICIONES	EVALUACION	1.003	1.272	1.003	1.278	1.016	2.683	1.015	2.585	1.015	2.596	1.015	2.589
DISEÑO FUERA DE TIEMPO	EXTEMPO	1.011	1.802	1.012	1.823	1.012	1.847	1.011	1.774	1.011	1.784	1.011	1.773
ESCASEZ DE MATERIALES	MATERIALES	1.016	1.831	1.016	1.826	1.030	2.578	1.028	2.485	1.029	2.496	1.028	2.480
DISPONIBILIDAD DEL INMUEBLE	INMUEBLE	1.045	2.530	1.023	2.588	1.007	1.237	1.006	1.223	1.006	1.225	1.006	1.220
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	FALTANCON	1.127	1.741	1.131	1.761	1.134	1.779	1.121	1.712	1.123	1.721	1.121	1.711
IMPREVISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	IMPREVISIONES	1.149	1.831	1.154	1.751	1.158	1.767	1.143	1.701	1.145	1.711	1.142	1.701
IMPREVISTOS	IMPREVISTOS	1.047	2.602	1.048	2.637	1.024	1.839	1.022	1.767	1.011	1.784	1.022	1.766
MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	CALIDAD	1.016	1.831	1.016	1.826	1.030	2.578	1.028	2.485	1.029	2.496	1.029	2.490
PAGOS SIN SOPORTE	PAGOS	1.052	1.785	1.053	1.803	1.109	2.551	1.101	2.458	1.102	2.470	1.102	2.464
PROBLEMAS INDEMNIZATORIOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	PAROS	1.007	2.544	1.007	2.594	1.001	1.242	1.001	1.228	1.001	1.230	1.001	1.225
PROBLEMAS PRESUPUESTALES	PRESUPUESTO	1.007	1.804	1.008	1.825	1.008	1.849	1.007	1.776	1.007	1.786	1.007	1.776
RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA	RECLAMACIONES	1.004	1.839	1.004	1.834	1.007	2.587	1.007	2.493	1.007	2.505	1.007	2.499
REQUERIMIENTOS DEL ÁREA USUARIA	USUARIA	1.139	1.736	1.143	1.756	1.147	1.773	1.132	1.706	1.134	1.716	1.132	1.706
IMPREVISTOS EN LA PUESTA EN SERVICIO	IMPREVISTOSERV	1.009	2.937	1.009	2.974	1.014	3.809	1.014	3.726	1.014	3.733	1.014	3.740
REQUERIMIENTOS DEL ÁREA USUARIA EN LA PUESTA EN SERVICIO	REQPTAENSERV	1.009	2.937	1.009	2.974	1.014	3.809	1.014	3.726	1.014	3.733	1.014	3.743
FALLA RECUPERACION DE DEF EN ACT PREVIAS	RECUPERAPREV/AS	1.121	1.000	1.098	1.000	1.016	1.101	1.015	1.095	1.015	1.096	1.015	1.096
FALLA RECUPERACION DE DEF EN INGENIERIA	RECUPERAINGE	3.508	1.302	3.769	1.310	2.848	1.331	3.044	1.336	2.996	1.335	3.069	1.337

Tabla 4.11.- Resultados del análisis de sensibilidad

EVENTO BÁSICO	CLAVE	RESULTADOS OBTENIDOS		6.-Incrementando la probabilidad del evento "Disponibilidad del inmueble" a 5.48 E-02		7.-Incrementando la probabilidad del evento "Condiciones diferentes a las reales al diseñar" a 3.02 E-01		8.-Incrementando la probabilidad del evento "Deficiencias en la adjudicación de contratos" a 1.11 E-02		9.- Incrementando la probabilidad del evento "Imprevistos" a 5.48 E -02		10.- Incrementando la probabilidad del evento "Requerimientos del área usuaria en la puesta en servicio" a 9.14 E-03	
		RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR	RRR	RIR
		Frecuencia total: 3.429E-01		Frecuencia total:3.539E.01		Frecuencia total:3.866E-01		Frecuencia total:3.432E-001		Frecuencia total: 3.562E-01		Frecuencia total:3.451E-001	
ADecuACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO	ADECTEC	1.008	1.837	1.014	2.477	1.012	2.322	1.014	2.471	1.014	2.455	1.014	2.466
CAMBIOS POR AFECTACIONES DE TERCEROS	TERCEROS	1.022	2.539	1.003	1.223	1.003	1.200	1.003	1.223	1.003	1.220	1.003	1.229
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	CLIMA	1.008	1.814	1.014	2.477	1.012	2.322	1.014	2.471	1.014	2.455	1.014	2.466
CONDICIONES DIFERENTES A LAS REALES AL DISEÑAR	CONDIF	1.150	1.731	1.141	1.695	1.284	1.511	1.140	1.692	1.137	1.678	1.141	1.696
CONSIDERACIONES INEXACTAS EN EL DISEÑO	CONINEX	1.103	1.753	1.097	1.717	1.081	1.605	1.097	1.714	1.095	1.699	1.097	1.719
DEFICIENCIAS ADMINISTRATIVAS	ADMIN	1.022	2.539	1.003	1.223	1.003	1.200	1.003	1.223	1.003	1.220	1.003	1.229
DEFICIENCIAS DE CONTROL	CONTROL	1.019	1.829	1.035	2.468	1.032	2.314	1.035	2.462	1.035	2.446	1.035	2.458
DEFICIENCIAS DE PLANEACIÓN	PLAN	1.004	1.810	1.004	1.771	1.003	1.650	1.004	1.768	1.003	1.752	1.004	1.773
DEFICIENCIAS EN EL CÁLCULO DE INDEMINIZACIONES	INDEM	1.014	2.541	1.002	1.224	1.002	1.201	1.002	1.224	1.002	1.221	1.002	1.230
DEFICIENCIAS EN EL CIERRE DE CONTRATOS	CIERRE	1.003	1.272	1.015	2.569	1.013	2.404	1.015	2.556	1.014	2.545	1.015	2.558
DEFICIENCIAS EN LA ADJUDICACIÓN DE CONTRATOS	ADJUDICACION	1.000	1.273	1.007	2.572	1.006	2.407	1.018	2.555	1.007	2.548	1.007	2.561
DEFICIENCIAS EN LA ADMINISTRACIÓN DE CONTRATOS	CONTRATOS	1.004	1.271	1.022	2.566	1.020	2.401	1.022	2.553	1.022	2.542	1.022	2.555
DEFICIENCIAS EN LA ELABORACIÓN DE CONVENIOS	CONVENIOS	1.001	1.273	1.007	2.572	1.006	2.407	1.007	2.559	1.007	2.548	1.007	2.561
DEFICIENCIAS EN LA EVALUACIÓN DE PROPOSICIONES	EVALUACION	1.003	1.272	1.015	2.569	1.013	2.404	1.015	2.556	1.014	2.545	1.015	2.558
DISEÑO FUERA DE TIEMPO	EXTEMPO	1.011	1.802	1.011	1.767	1.009	1.647	1.011	1.764	1.010	1.748	1.011	1.769
ESCAZOS DE MATERIALES	MATERIALES	1.016	1.831	1.028	2.471	1.025	2.317*	1.028	2.465	1.028	2.449	1.028	2.461
DISPONIBILIDAD DEL INMUEBLE	INMUEBLE	1.045	2.530	1.013	1.215	1.006	1.198	1.006	1.220	1.006	1.218	1.006	1.226
FALTAN CONCEPTOS EN EL DISEÑO	FALTANCON	1.127	1.741	1.120	1.705	1.099	1.595	1.120	1.703	1.117	1.688	1.120	1.707
IMPREVISIONES EN LA CUANTIFICACIÓN DE VOLUMENES DE DISEÑO	IMPREVISIONES	1.149	1.831	1.141	1.695	1.116	1.586	1.140	1.692	1.137	1.688	1.141	1.696
IMPREVISTOS	IMPREVISTOS	1.047	2.602	1.022	1.760	1.018	1.641	1.022	1.757	1.044	1.728	1.022	1.762
MALA CALIDAD DE LAS OBRAS	CALIDAD	1.016	1.831	1.028	2.471	1.025	2.317	1.028	2.465	1.028	2.449	1.028	2.461
PAGOS SIN SOPORTE	PAGOS	1.052	1.785	1.100	2.445	1.089	2.293	1.100	2.439	1.099	2.424	1.100	2.435
PROBLEMAS INDEMINIZATORIOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	PAROS	1.007	2.544	1.002	1.224	1.001	1.202	1.001	1.225	1.002	1.221	1.001	1.231
PROBLEMAS PRESUPUESTALES	PRESUPUESTO	1.007	1.804	1.007	1.769	1.006	1.648	1.007	1.766	1.007	1.750	1.007	1.771
RECLAMACIONES POR PARTE DEL CONTRATISTA	RECLAMACIONES	1.004	1.839	1.007	2.479	1.006	2.324	1.007	2.473	1.007	2.457	1.007	2.469
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA	USUARIA	1.139	1.736	1.131	1.700	1.108	1.590	1.140	1.692	1.127	1.683	1.131	1.701
IMPREVISTOS EN LA PUESTA EN SERVICIO	IMPREVISTOSERV	1.009	2.937	1.014	3.744	1.013	3.567	1.013	3.690	1.013	3.688	1.013	3.676
REQUERIMIENTOS DEL AREA USUARIA EN LA PUESTA EN SERVICIO	REQPTAENSERV	1.009	2.937	1.014	3.744	1.013	3.567	1.013	3.690	1.013	3.688	1.027	3.669
FALLA RECUPERACION DE DEF EN ACT PREVIAS	RECUPERAPREVIAS	1.121	1.000	1.021	1.132	1.013	1.084	1.015	1.094	1.015	1.093	1.015	1.094
FALLA RECUPERACION DE DEF EN INGENIERIA	RECUPERAINGE	3.508	1.302	2.989	1.333	3.381	1.341	2.965	1.331	3.088	1.335	2.948	1.331

4.4.- Conclusiones

En principio es importante mencionar que el análisis realizado arroja como primer resultado un conocimiento más a detalle y una mejor comprensión del proceso estudiado en todos los niveles de la organización desde los que se encargan directamente de las actividades del proceso hasta la alta dirección, siendo útil a todos los involucrados para comprometerse más con los objetivos de la organización o bien para tomar decisiones que coadyuven con la mejora continua.

En lo que concierne a los resultados específicos, obtenidos a partir de los datos estadísticos que fue posible documentar, tanto en el Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA), como en el modelo lógico desarrollado a través de árboles de eventos y fallas, se observa que la mayor contribución a la falla del proceso actualmente recae en la etapa de ingeniería, sin embargo, de acuerdo al modelo desarrollado si ésta llegara a ocurrir, es factible considerar un sistema de mitigación durante la etapa de la construcción que permita disuadir la falla en la etapa de ingeniería, logrando de este modo concluir en tiempo y forma la construcción del proyecto, disminuyendo también el riesgo de que las obras no terminen en el tiempo programado.

En ese sentido, atendiendo a los resultados obtenidos se recomienda lo siguiente:

- Realizar un análisis de las actividades correspondientes a la etapa denominada Ingeniería, así como los controles establecidos verificando su eficacia y realizar las adecuaciones que procedan para asegurar que los proyectos se realicen con certeza sobre las características reales del sitio donde se realizarán los trabajos, lo cual deberá traer como consecuencia que los diseños incluyan los conceptos y volúmenes de obra más afines a los que realmente se ejecutarán.
- En el mismo contexto y considerando que la mayor aportación a la frecuencia total de falla proviene el evento "Falla la Recuperación de deficiencias en la ingeniería", es conveniente incrementar la participación directa del personal involucrado en el diseño durante la etapa de la construcción, de tal forma que de detectarse la deficiencia derivada de la etapa de ingeniería, se tomen acciones inmediatas para ser subsanadas. De igual manera concientizar a la gente involucrada en la supervisión de la construcción de los proyectos para que apenas detecte alguna deficiencia originada por el diseño se solicite el apoyo del personal de ingeniería.
- Por otra parte los resultados obtenidos en cuanto a la Razón de Incremento de Riesgo conllevan a recomendar evitar en lo posible la ocurrencia de los 5 eventos que tienen el mayor valor de dicho parámetro, en virtud de que en caso de ocurrir disparan en una elevada proporción el riesgo de la ocurrencia de la falla, específicamente los primeros dos que se refieren a la etapa de la puesta en servicio, eventos que de suceder incrementan de manera importante el riesgo de falla.

El desarrollo del presente trabajo y sus resultados nos permite reflexionar en varios aspectos con la intención de aportar ideas que coadyuven con la mejora en el proceso de la construcción de los proyectos de transmisión y transformación de la Comisión Federal de Electricidad, evitando en lo posible que los proyectos concluyan después de la fecha programada.

Asimismo a través del presente trabajo se deja abierta la posibilidad de implementar un mecanismo de control en el ámbito de la Construcción, con esta opción innovadora que representa hacer analogías con herramientas del Análisis Probabilístico de Seguridad comúnmente utilizadas en otros ámbitos industriales como puede ser la producción de energía (nuclear, específicamente), la industria automotriz, manufacturera, etc.

Finalmente se pudo constatar que aunque en el ámbito de la Subdirección de Construcción, Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación, Residencia Regional Peninsular, se encuentra establecido un Sistema de Gestión que atiende los aspectos más importantes del proceso, incluyendo la medición de resultados a través de los indicadores del proceso, para aplicar la metodología propuesta será necesario establecer bases de datos direccionadas a registrar las fallas más comunes durante el proceso, toda vez que para el presente trabajo fue necesario hacer analogías y manejo de los datos con los que se contaba para adecuarlos al propósito del estudio.

Trabajo a futuro

Como se ha mencionado la metodología desarrollada establece una forma innovadora de analizar las fallas durante la construcción de proyectos de transmisión y transformación de energía eléctrica con la finalidad de evitar retrasos en la terminación de las obras, sin embargo es claro que queda bastante trabajo por realizar para que este método cumpla su cometido, destacando entre otras las siguientes acciones pendientes:

- Reorganizar las bases de datos con las que se cuenta en la Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación Peninsular para lograr que se cuente con información estadística de primera mano que permitan determinar la probabilidad de ocurrencia de los eventos básicos, lo que incluye una revisión a los indicadores de los Sistemas de Gestión a fin de incorporar parámetros que son de importancia para el análisis realizado.
- Promover la difusión de la metodología a las otras Residencias Regionales del ámbito de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación, lo que incrementaría la base de datos estadísticos, lo que permitiría disminuir el grado de incertidumbre de las probabilidades de los eventos básicos al poder determinarlas a través de una distribución normal.
- La metodología desarrollada es susceptible de ser adecuada o complementada dependiendo de las variaciones que pudiera presentar el proceso en estudio.
- Utilizar otros resultados que pudieran obtenerse de la metodología utilizada a través del Sistema Saphire y que en el presente trabajo no fueron comentados por obiedad de tiempos, tales como las diferencias y el análisis de incertidumbre.

Finalmente es preciso señalar que con el presente trabajo queda un precedente de cómo es posible utilizar de manera innovadora las herramientas del Análisis Probabilístico de Seguridad en otros ámbitos diferentes a aquellos en los que tradicionalmente se utiliza, abriendo de este modo nuevas expectativas para este tipo de herramientas y para los métodos de control existentes.

ACRÓNIMOS

CFE.- Comisión Federal de Electricidad

APS.- Análisis Probabilístico de Seguridad

FMEA.- Failure Mode and Effect Analysis

OPF.- Obras Públicas Financiadas

POISE.- Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico

CPTT.- Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación

CMC.- Conjunto Mínimo de Corte

RRR.- Razón de Reducción de Riesgo

RIR.- Razón de Incremento de Riesgo

F-V.- Fussel Vesely

REFERENCIAS

- 1.- Manual de Organización Funcional de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación (CFE), <http://159.16.42.6:81/calidad/>.
- 2.- Comisión Federal de Electricidad, Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, última actualización junio de 2011.
- 3.- Marco legal y normativo de la Comisión Federal de Electricidad <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/MarcoLegalNormativo/Paginas/cpeum.aspx>
- 4.- Manual de Procesos de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación. <http://159.16.42.6:81/calidad/>
- 5.- Robin E. Mc Dermott, Raymond J. Mikulak, Michael R. Beauregard. "The Basics of FMEA", CRC Press, Taylor & Francis Group
- 6.- "Aprovechamiento del Análisis Probabilístico de Seguridad en Centrales Nucleares", Dr. Manuel González Cuesta, Mayo de 2010.
- 7.- Saphire Home Guide. Saphire for Windows
- 8.- Sistema de gestión de la Calidad, Ambiental y Seguridad y Salud en el Trabajo de la Coordinación de Proyectos de Transmisión y Transformación, <http://159.16.42.6:8080/infocptt/>