

**PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS PARA LA
IDENTIFICACIÓN, VALORIZACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS Y DE
PELIGROS EN LA INDUSTRIA DE OIL & GAS**

ÁLVARO FELIPE CONDE TOCANCIPÁ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2014

**PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS PARA LA
IDENTIFICACIÓN, VALORIZACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS Y DE
PELIGROS EN LA INDUSTRIA DE OIL & GAS**

ALVARO FELIPE CONDE TOCANCIPÁ

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de
especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

Director

JORGE ENRIQUE FLOREZ

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2014

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1 DEFINICIÓN Y DIFERENCIACIÓN DE PROYECTOS Y PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE OIL & GAS.....	15
1.1 DEFINICIONES.....	15
1.1.1 Definición Proyecto.....	15
1.1.1.1 Temporal.....	15
1.1.1.2 Productos, Servicios o resultados únicos.....	16
1.1.1.3 Elaboración Gradual.	16
1.1.2 Definición Proceso.....	16
1.1.3 Definición de Peligro.....	17
1.1.4 Definición de Riesgo.....	18
1.2 DIFERENCIA ENTRE PROCESO Y PROYECTO	18
2 CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RIESGOS DE PROYECTOS Y PROCESOS	21
2.1 RIESGOS DE PROYECTOS.....	21
2.2 RIESGOS DE PROCESO	23
3 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS COMERCIALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y VALORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS Y PROCESOS.....	26
3.1 RIESGOS DE PROYECTOS.....	26
3.1.1 Herramientas utilizadas para la identificación de riesgos en proyectos.....	26
3.1.1.1 Análisis DOFA.....	27
3.1.1.2 Análisis Espina De Pescado o Causa – Efecto.....	28
3.1.1.3 Lluvia de ideas o tormenta de ideas	29
3.1.1.4 Método DELPHY.....	30
3.1.2 Técnicas Para el Análisis de Riesgo Cualitativas.....	33
3.1.2.1 Matriz de Probabilidad e Impacto.....	33
3.1.2.2 Seguimiento de los Diez Factores más Importantes (Top Ten RiskItem Tracking).....	35
3.1.2.3 Juicio de Expertos.....	36

3.1.3 Técnicas Para el Análisis de Riesgo Cuantitativas.....	36
3.1.3.1 Análisis de Árbol de Decisión.....	36
3.1.3.2 Valor Monetario Esperado (EMV – Expected Monetary Valued)	38
3.1.3.3 Análisis de Sensibilidad	38
3.1.3.4 Monte Carlo.	39
3.2 RIESGOS EN PROCESOS.....	39
3.2.1 Técnicas Cualitativas.....	40
3.2.1.1 APR (Análisis Preliminar de Riesgo).....	40
3.2.1.2 Lista de Verificación o Checklist Tradicional	40
3.2.1.3 ¿Qué pasa si? (“Whatif?”) Análisis.	41
3.2.1.4 ¿Qué pasa si? Con Listas de Verificación.	41
3.2.1.5 Análisis de Guía de 2 palabras.	41
3.2.1.6 Análisis de Peligro y Operabilidad, HAZOP (Hazard and Operability).....	41
3.2.1.7 Modos de Falla y Análisis de Efectos, FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)..	42
3.2.2 Técnicas Cuantitativas.	43
3.2.2.1 Análisis de Capas de Protección, LOPA (Layer of Protection Analysis).	43
3.2.2.2 Índice Dow de Fuego y Explosión, F&EI, (Dow Fire&Explosion Index).	43
3.2.2.3 Índice Dow de Exposiciones Químicas, CEI (Dow Chemical Exposure Index).	44
3.2.2.4 Análisis de Árbol de Falla, FTA (Fault Tree Analysis)	44
3.2.2.5 Análisis de Árbol de Eventos, ETA (Event Tree Analysis).	44
3.2.2.6 Análisis de Confiabilidad Humana, Árbol de Eventos, HRA (Human Reliability Analysis).	44
3.2.2.7 Análisis de Consecuencias.	44
4 ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIAL DEL OIL & GAS DONDE SE APLICAN ANÁLISIS DE RIESGOS DE PROCESOS	47
4.1 EXPLORACIÓN.....	48
4.2 PRODUCCIÓN	49
4.3 TRANSPORTE	51
4.4 REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA	53

5 PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS MÁS ADECUADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, VALORACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CONTROLES DE RIESGOS EN PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE OIL & GAS.....	55
5.1 INGENIERÍA CONCEPTUAL	55
5.2 INGENIERÍA BÁSICA.....	57
5.3 INGENIERÍA DETALLE	61
5.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	62
5.5 DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO.....	63
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFIA	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	65
---------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo de la Triple Restricción	19
Figura 2. Descripción General de la Gestión de los Riesgos del Proyecto	21
Figura 3. Risk Break Down Structure	23
Figura 4. Distribución de Accidentes en el Tiempo	24
Figura 5. Análisis DOFA	28
Figura 6. Espina de Pescado	29
Figura 7. Análisis Tormenta de Ideas	30
Figura 8. Método DELPHI	32
Figura 9. Matriz Probabilidad e Impacto Riesgo Negativo	34
Figura 10 Matriz Probabilidad e Impacto Riesgo Positivo	34
Figura 11. Ejemplo de Matriz de Seguimiento de los Diez Factores de Riesgo Más Importantes	35
Figura 12. Árbol de Decisión	37
Figura 13. Árbol de eventos con EMV	38
Figura 14. Técnicas Cualitativas y Cuantitativas - Riesgos Procesos	46

RESUMEN

TITULO: PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE TÉCNICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN, VALORIZACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS Y DE PELIGROS EN LA INDUSTRIA DE OIL & GAS

AUTOR: ÁLVARO FELIPE CONDE TOCANCIPÁ

PALABRAS CLAVES: PELIGRO, RIESGO, PROCESO INDUSTRIAL, INDUSTRIA PETROLERA

DESCRIPCION:

Durante el desarrollo de la monografía se hará una descripción de las diferentes definiciones de riesgo y peligro según interpretaciones con las que se quiera analizar. Con la diferenciación de estas definiciones se podrá entender el contexto en que se pueden evaluar estos aspectos y nos pueda dar una idea sobre el destino al que se quiere llegar.

El concepto de Peligro y Riesgo es importante tenerlo claro, no solo la definición desde su punto de vista, sino lo que internamente representa. En la actualidad tendemos a creer que el riesgo es lo mismo que el peligro y este concepto nos hace cometer varios errores en nuestros análisis. Una vez aclarado este concepto, se hace un comparativo de los riesgos que se manejan dentro del desarrollo de proyectos y los riesgos a los que nos referimos en procesos Industriales, principalmente en la Industria Petrolera.

Una vez identificados los riesgos que se pueden presentar en Proyectos, contra los que se Pueden Presentar en un Proceso Industrial, se centrará en el procedimiento para la selección de una técnica adecuada para este análisis y poder desarrollarla en pro de la identificación peligros y valorización de riesgos, permitiendo asegurar que la actividad a desarrollar (diseño, modificación, adecuación, etc.) tendrá contemplado los riesgos inherentes de su actividad por medio de metodologías reconocidas y aprobadas internacionalmente, que den certeza de que se protegió adecuadamente el proceso.

* Monografía

** Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander.

Director: Ing. Jorge Enrique Meneses

SUMMARY

TITLE: PROCEDURE FOR SELECTION OF TECHNIQUES FOR THE IDENTIFICATION, RECOVERY, CONTROL OF RISKS AND THE HAZARDS OF INDUSTRY OIL & GAS

AUTHOR: ÁLVARO FELIPE CONDE TOCANCIPÁ

KEYWORDS: Danger, Risk, Industrial Process, Oil Industry

DESCRIPTION

During the development of the monograph will describe the different definitions of risk and hazard as interpretations with which it want to analyze. With definitions differentiation can be define the context in which to assess these issues and can give us an idea about the destination to go.

Is important to have clear the concept of Hazard and Risk, not only the meaning from their point of view, but which internally represents. Today we tend to believe that the risk is the same as the danger and this concept makes us making some errors in our analysis. Having clarified this concept, a comparison of the risks that are handled within the project development and the risks to which we refer in industrial processes, particularly in the oil industry.

Having identified the risks that may arise in projects against which may occur in an industrial process, will focus on the process for the selection of a suitable technique for this analysis and to develop it towards the hazard identification and valuation of risks, allowing the activity to ensure that the development (design, modification, adaptation, etc.) have referred to the risks inherent in its business through recognized internationally approved methodologies and to provide certainty that the process is properly protected.

* Monograph

** Petroleum Engineering School. Industrial University of Santander.
Thesis Director: Ing. Jorge Enrique Meneses

INTRODUCCIÓN

Para determinar el procedimiento planteado como Monografía, es importante hacer la definición y diferenciación entre los Riesgos que se analizan en los Proyectos y los Riesgos analizados en los Procesos industriales, como la Industria Petrolera; para entender así por qué existen diferentes técnicas para la identificación de Peligros, valorización y control de riesgos, ya que la intención de los análisis para cada temática depende de la intención u objetivo de identificación y correspondiente mitigación.

Una vez hecha la claridad entre los intereses de los Riesgos en Proyectos y en Procesos, se determinarán y describirán las diferentes técnicas comercialmente reconocidas para la realización de estos análisis de riesgos en procesos, entendiendo así cual fue la intención de diseño y los pros y contras de su utilización en las diferentes etapas de desarrollo y justificando su utilización en la diferentes etapas del desarrollo del proyecto de un proceso, para concluir de esta forma con el procedimiento para la selección de técnicas de análisis de riesgos.

Con el desarrollo de la industria y la tecnología, la ejecución de proyectos se ha vuelto cada vez más exigente con el control de aspectos adversos inesperados durante su ejecución, con esto y a raíz de estos eventos inesperados, se han desarrollado una serie de técnicas para identificar oportunamente los peligros y valorización de riesgos a los que se puede exponer la ejecución de un Proyecto.

Dentro de las actividades de la Industria, sea para la evaluación de proyectos y sea para la identificación de peligros de los procesos, se han desarrollado diferentes metodologías para esta identificación y evaluación, las cuales involucran análisis de riesgos y es necesario diferenciarlos dependiendo del riesgo y peligros inherentes a la actividad a desarrollar. Por lo que la monografía realizará la definición y diferenciación entre los riesgos en Proyectos y en Procesos.

Por otra parte, con las presiones que se presentan para el desarrollo de estos proyectos, por la confianza del personal “experto” en su ejecución y en algunas oportunidades por su completa ignorancia o poco conocimientos de estos mecanismos, metodologías o técnicas para la oportuna identificación de peligros y

valoración de riesgos, con cierta frecuencia, no se utilizan las metodologías adecuadas para el análisis de estos aspectos o simplemente se hacen por cumplir un requisito, lo que implica la ejecución de cualquier actividad en total desconocimiento y preparación previa para poder prevenir, abordar, controlar o mitigar un evento potencialmente presente durante la ejecución de una actividad, generando pérdidas y daños que pueden llegar a ser catastróficos, llevando a la quiebra de una entidad, pérdidas humanas e incurrir en responsabilidades legales.

Al considerar, diseñar y desarrollar proyectos, sea para la evaluación de estos o sea para evaluarle procesos, dejar a un lado este tipo de ejercicios nos exponemos a incertidumbres frente a los peligros y riesgos, vacíos en la información para prevenir incidentes, carencia de herramientas para proteger los procedimientos, fallas en los sustentos teóricos para las diferentes etapas del proyecto, lo que implicará inicialmente pérdidas en las horas hombre asociadas al proyecto y finalmente tener la posibilidad de daños catastróficos a personas, materiales, medio ambiente acompañados innegablemente de pérdidas económicas.

El Objetivo General del documento es diseñar un procedimiento con los sustentos necesarios para justificar la adecuada selección de una técnica para la identificación de peligros, valoración y control de riesgos en los procesos, orientada a obtener el mayor beneficio de la aplicación de técnicas en determinadas actividades y etapas de la industria de Oil & Gas diferenciando la gestión de riesgos en proyectos.

Para el desarrollo de este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Definir y diferenciar entre Proyectos y Procesos en la industria de Oil & Gas.
- Contextualizar y definir los riesgos propios de la gestión de Proyectos y de Procesos en la industria de Oil & Gas.
- Identificar y describir las Técnicas comerciales para la identificación de peligros, valoración y determinación de controles de riesgos en Proyectos y Procesos.

- Caracterizar las actividades representativas de la industria de Oil & Gas a las que se le aplicarían estas Técnicas en Procesos y determinar las técnicas apropiadas para la utilización.
- Definir el procedimiento para la selección de las técnicas más adecuadas para la identificación de peligros, valoración y determinación de controles de riesgos en procesos en la industria de Oil & Gas.

1 DEFINICIÓN Y DIFERENCIACIÓN DE PROYECTOS Y PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE OIL & GAS

Para las personas que están trabajando dentro de la industria Petrolera, es muy familiar encontrarse constantemente con palabras como proyectos y como procesos, constantemente estos proyectos normalmente son para la construcción de procesos físico-químicos, que permitan la extracción de petróleo y posteriormente su transporte y comercialización. Sin embargo para efectos de evaluación de proyectos es muy importante tener en cuenta que si queremos evaluar un proyecto o si nuestra intención es otra, como la de evaluar un proceso.

Por esta razón a continuación se describirán las definiciones de cada Proyecto y Procesos.

1.1 DEFINICIONES

1.1.1 Definición Proyecto: Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único¹. Con esta definición se hace necesario aclarar específicamente tres puntos especialmente, temporal, productos, servicios o resultados únicos y elaboración gradual.

1.1.1.1 Temporal. Según PMI (Project Management Institute), identifica los proyectos como temporales, significando esto que tiene un principio y fin claramente definidos. Sin significar que sean cortos si debe ser posible determinar su duración, la cual puede ser el simple cumplimiento de los objetivos en un plazo determinado o la determinación de que ya no se cumplieron y no se va a continuar, igualmente en función del tiempo y el dinero.

¹ Project Management Institute Inc, Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK), Tercera Edición, 2004, 5p.

1.1.1.2 Productos, Servicios o resultados únicos: Los proyectos tienen como finalidad crear productos entregables únicos, estos productos entregables pueden también ser servicios o resultados. Los proyectos pueden crear un artículo cuantificable, una prestación de un servicio o una serie de documentos, donde cada proyecto se caracteriza por la singularidad de sus productos o entregables.

1.1.1.3 Elaboración Gradual: La elaboración gradual de los proyectos significa que estos se van desarrollando paso a paso, donde se van cumpliendo tareas, que al cumplirlas todas da la posibilidad de terminar un proyecto. Un ejemplo relevante con nuestros objetivos de este primer capítulo de la presente monografía, es utilizado por el PMBOK: “El desarrollo de una planta de procesamiento químico comienza con la ingeniería de proceso que define las características del proceso. Estas características se utilizan para diseñar las unidades de procesamiento principales. Esta información se convierte en la base para el diseño de ingeniería, que define tanto el plano detallado de la planta como las características mecánicas de las unidades de proceso y las instalaciones auxiliares.” Este ejemplo deja identificar claramente las etapas de un proyecto para la construcción de una planta de procesamiento industrial, lo que identifica claramente un proyecto.

1.1.2 Definición Proceso: Se entiende por proceso a todo desarrollo sistemático que conlleva una serie de pasos ordenados, los cuales se encuentran estrechamente relacionados entre sí y cuyo propósito es llegar a un resultado preciso, de forma general el desarrollo de un proceso conlleva una evolución en el estado del elemento sobre el que se está aplicando dicho tratamiento hasta que este desarrollo llega a su fin. En este sentido, la industria se encarga de definir y ejecutar el conjunto de operaciones materiales diseñadas para la obtención, transformación o transporte de uno o varios productos naturales².

Según la OSHA, por sus siglas en inglés *Occupational Safety and Health Administration*, de Estados Unidos, describe un proceso como cualquier actividad que implique cualquier uso, almacenamiento, fabricación, manipulación o movimiento o combinación de estas actividades, de un químico altamente peligroso. Para efectos de esta definición, cualquier grupo de recipientes (vasijas)

²(2010, 09). Definición De Proceso Industrial. BuenasTareas.com. Recuperado 09, 2010, de <http://www.buenastareas.com/ensayos/Definici%C3%B3n-De-Proceso-Industrial/806262.html>

que estén interconectadas y recipientes que no están conectados, con una ubicación tal que podrán ser afectados por un químico altamente peligroso con una eventual liberación, es considerado un único proceso.

Los procesos en la Industria de Petróleo y gas están presentes todo el tiempo, ya que cada vez que se extrae petróleo o gas, es necesario realizarle una transformación a la sustancia obtenida con el objetivo de dejarla con ciertas características para poder proceder con su transporte y comercialización.

De manera que el propósito de un proceso industrial está basado en el aprovechamiento eficaz de los recursos naturales de forma tal que éstos se conviertan en materiales, herramientas y sustancias capaces de satisfacer más fácilmente las necesidades de los seres humanos y por consecuencia mejorar su calidad de vida.

1.1.3 Definición de Peligro. Según la Real Academia Española de la Lengua, la definición de Peligro es: “Del Latín, periculum, 1. Riesgo o Contingencia inminente de que suceda algo mal. 2. Lugar, paso, obstáculo o situación en que aumenta la inminencia del daño”

Peligro es una situación que se caracteriza por la "viabilidad de ocurrencia de un incidente potencialmente dañino", es decir, un suceso apto para crear daño sobre bienes jurídicos protegidos. El peligro es "real" cuando existe aquí y ahora, y es "potencial" cuando el peligro ahora no existe, pero sabemos que puede existir a corto, medio, o largo plazo, dependiendo de la naturaleza de las causas que crean peligro.

Por otra parte la definición de peligro desde el punto de vista químico: Fuente potencial de crear daño, condición química o física de un sistema, planta o proceso, aislada o combinada que tiene el potencial para causar daño a las personas, la propiedad y/o el ambiente³.

³ ABS Consulting, Curso **ANÁLISIS DE PELIGROS EN LOS PROCESOS USANDO LASTÉCNICAS HAZOP Y ¿QUÉ PASA SI?/ LISTAS DE VERIFICACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PETRÓLEO Y GAS**, Bogotá, 2012.

1.1.4 Definición de Riesgo. Según la Real Academia Española de la Lengua la definición de Riesgo es: “Del italiano. *risico* o *rischio*, y este del ár. clás. *rizq*, lo que depara la providencia,1. m. Contingencia o proximidad de un daño.

Desde el Punto de vista de los Proyectos y más exactamente el PMI, riesgo significa un evento o condición incierta que si se produce, tiene un efecto positivo o negativo sobre los objetivos del proyecto.

Para la gestión de procesos, riesgo es la medida de pérdidas económicas, daño ambiental o lesiones humanas, en términos de probabilidad de ocurrencia de un accidente (frecuencia) y magnitud de las pérdidas, daño al ambiente o de las lesiones (consecuencias). Para la determinación del riesgo es necesario conocer o determinar la frecuencia de ocurrencia de un efecto por las consecuencias del mismo:

$$Riesgo = f \times C$$

Donde f es la frecuencia de Ocurrencia de un evento y C es la consecuencia del mismo. El riesgo es expresado en un porcentaje (%), una probabilidad de ocurrencia.

1.2 DIFERENCIA ENTRE PROCESO Y PROYECTO

Para entender las diferencias de conceptos y contextos para interpretación, normalmente son entendidas una vez se tienen claras las definiciones. En esta ocasión no es la excepción, entendiendo bien las definiciones expuestas en el anterior numeral es claro entender los diferentes enfoques que se tiene para hacer la identificación de peligros y evaluación de riesgos.

En los proyectos no se identifican los peligros, o por lo menos no se utiliza la terminología de peligro, para posteriormente realizar la evaluación de riesgos. Se parte de identificar riesgos, los cuales pueden ser positivos o negativos y el tratamiento de estos riesgos identificados es relativo a su impacto.

Los proyectos basan su principal atención en tres factores principalmente, los cuales son Tiempo, Costos y alcance:

Figura 1. Triángulo de la Triple Restricción



Sin embargo el PMI también hace énfasis en la evaluación de la calidad y con estos aspectos se identifican si los riesgos pueden ser positivos (oportunidad) o negativos (amenaza) y por medio de metodologías nos ayudan a determinar que tanto nos pueden llegar a afectar y como controlarlos.

Para el caso de los procesos, estos principalmente cuentan con diferentes etapas de desarrollo, las cuales normalmente están inmersas en un proyecto, pero el proyecto es para su construcción y las etapas de desarrollo del proceso son previas y ya se tiene definido como va a trabajar. Para la definición de un proceso es primordial pasar por las etapas de diseño o ingeniería (Conceptual, Básica y Detalle), donde a cada etapa practico una identificación de peligros y evaluación de Riesgos correspondiente al nivel de desarrollo de información disponible, donde el interés de esta identificación y evaluación se centra en el proceso y como este puede afectar a las personas, medio ambiente, materiales o activos y normalmente la imagen de la empresa.

Con estas aclaraciones vemos entonces que un proceso normalmente ha estado inmerso dentro de un proyecto, pero que los riesgos asociados a un proceso son en la dirección de la posibilidad de afectar personas, medio ambiente, materiales e imagen, por la sustancia que se esté procesando o transformando, la cual puede ser tóxica, caliente, explosiva o simplemente contaminante. Sin embargo en un proyecto, que puede ser para la construcción de un proceso o cualquier otro, los riesgos que se evalúan son principalmente en función de afectación al mismo proyecto, no necesariamente al entorno, aunque su impacto se dé negativa o

positivamente al entorno, se evalúa la afectación al mismo proyecto o a los interesados en este (stakeholders).

2 CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS RIESGOS DE PROYECTOS Y PROCESOS

2.1 RIESGOS DE PROYECTOS

Como ya se ha ido definiendo los riesgos en proyectos están principalmente evaluados con base a la posible afectación (positiva o negativamente) al proyecto en cuestión. Por lo tanto estos riesgos estarán midiendo la afectación del proyecto respecto los costos, el tiempo, alcance y calidad.

Para el desarrollo de esta actividad dentro de los proyectos PMI define un capítulo (capitulo 11) en su PMBOK llamado Gestión de los Riesgos del Proyecto, donde se estructura el esquema para ejecutar la identificación, el análisis, la respuesta y el control y seguimiento de los riesgos del proyecto.

Esta gerencia busca aumentar la probabilidad de Oportunidades y disminuir la probabilidad de Amenazas, a su vez, disminuir y el impacto de los eventos adversos para el proyecto y aumentar el impacto de eventos convenientes para el proyecto.

Figura 2. Descripción General de la Gestión de los Riesgos del Proyecto



Para un plan de Gestión de los Riesgos del Proyecto se requiere⁴:

- Metodología recomendada y plantillas, formatos.

⁴ ABS Consulting, Curso **GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS**, Bogotá, 2013.

- Responsables de cada uno de los procesos (partes del proyecto) con sus Roles y Responsabilidades asignados.
- Matriz de Impacto sobre los objetivos
- Periodicidad
- Matriz de Impacto-Probabilidad para fijar prioridades
- Categorías de riesgo.
- Tolerancias revisadas de los interesados
- Impacto sobre presupuesto y cronograma
- Formatos de informe.
- Seguimiento.

Para la efectiva Gestión de los Riesgos del Proyecto es importante categorizar los riesgos, los cuales se estructuran de la siguiente forma:

- **Estratégicos:** Pueden poner en serios problemas a la organización en el caso de materializarse, debido a que tienen la capacidad de golpear a los objetivos estratégicos de ésta y generar situaciones indeseables.
- **Operativos y de control:** Están vinculados a errores humanos, accidentes o fallas que por su naturaleza derivan en circunstancias de cuidado.
- **Financieros:** El comportamiento de la economía de los mercados, las incertidumbres derivadas por la imposición de políticas económicas o el tipo de cambio de divisas, entre otros muchos factores son de vital importancia que sean monitoreados para lograr una mejor planificación del riesgo.
- **Tecnológicos:** Las tecnologías que aún no han sido probadas o aquellas cuyo ciclo de vida está a punto de finalizar para dar paso a otras versiones, también pueden significar impactos severos a una organización.

Los Riesgos se pueden estructurar por tipos de negocios y productos que produce una compañía, los cuales se tipifican baso sus diferentes categorías, estas categorías presentan diferentes riesgos o inconvenientes presentados:

Figura 3. Risk Break Down Structure



2.2 RIESGOS DE PROCESO

El interés de la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en los procesos, de la industria petrolera o cualquier industria, prima en cuidar de las personas, los bienes, el medio ambiente y la imagen de la empresa principalmente, para poder tener de esta forma, una operación más segura, amigable con el medio ambiente, que le dé mayor valor al activo y no afecte negativamente la imagen de la organización.

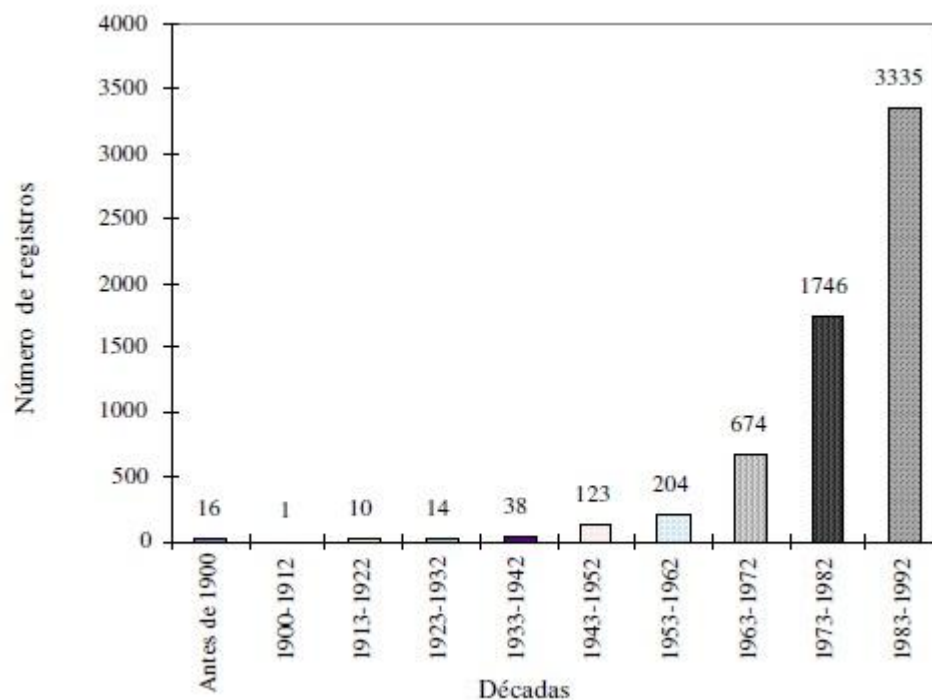
La rápida evolución tecnológica que ha experimentado la industria en general y la industria petrolera, química y Petroquímica en particular, su gran crecimiento y, consecuentemente, el incremento de inventarios de productos químicos en las instalaciones y en diversos medios de transporte, han provocado un aumento de la probabilidad de que ocurran grandes accidentes con un notable impacto sobre personas, medio ambiente, equipo y recientemente evaluada la imagen de la organización⁵.

⁵ Casal-Montiel, **Análisis de Riesgo en Instalaciones Industriales**, © Los autores, 2002; © Edicions UPC, 2002. Página 15.

Esta probabilidad de ocurrencia de grandes accidentes, ha estado presente en las últimas décadas, accidentes como el de Sao Paulo donde por una rotura de una línea de conducción de gasolina murieron 800 personas, en ciudad de México por la explosión e incendio de un parque de almacenamiento de GLP, murieron 510 personas y en Bhopal por el escape de gas con formación de nube tóxica murieron 4.000 personas, estos tres eventos ocurridos en 1984. En 1989 por una explosión de una nube de gas, procedente de un escape, provocó la muerte de 1.000 personas en Urales. En 1986 se registró un impacto ambiental muy grave por la contaminación del río Rhin por el incendio de una industria química.

Como los anteriores accidentes, hay registros de muchos más dentro del pasado centenario y las últimas dos décadas. A continuación en la figura 4 se presentan los registros obtenidos a hasta el año 1992.

Figura 4. Distribución de Accidentes en el Tiempo⁶



De este registro de accidentes, se han estudiado desde diferentes puntos de vista, tales como, tipo de accidentes y origen de los accidentes, de donde se tiene un 94% a 97% de los registros con suficiente información para estudiarlo.

⁶ Casal-Montiel, **Análisis de Riesgo en Instalaciones Industriales**, © Los autores, 2002; © Edicions UPC, 2002. Página 16.

Como hemos definido el Riesgo, el cual consiste en el producto de la frecuencia de un evento y la consecuencia del mismo, su caracterización debe estar asociada a la materialización de estos riesgos, los cuales conocemos como accidentes.

Con esta información se ha determinado los accidentes según su tipo como:

- Escape
- Incendio
- Explosión
- Nube de gas

Y la distribución según el origen:

- Transporte
- Planta de Proceso
- Plantas de Almacenamiento
- Carga/Descarga
- Doméstico/Comercial
- Almacenamiento de Sólidos
- Almacenamiento de Residuos

Según el Centro para la Seguridad Química de los Procesos (CCPS, por sus siglas en inglés) del American Institute of Chemical Engineers (AIChE) para los accidentes existen los peligros en los procesos químicos y para que se materialicen los riesgos se encuentra presente un evento iniciador, un medio de propagación o propagador y si los sistemas de respuesta o paliativos no trabaja o son adecuados, se presenta el accidente, o las consecuencias del accidente. Estas consecuencias las describe como:

- Fuego
- Explosión
- Impacto
- Dispersión de Materiales Tóxicos
- Dispersión de Material Altamente reactivos

3 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS COMERCIALES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y VALORIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS Y PROCESOS

3.1 RIESGOS DE PROYECTOS

En los anteriores capítulos hemos determinado que en los proyectos no se utiliza la expresión de peligro, ya que se interpreta el riesgo solo en el marco del triángulo de la triple restricción, Figura 1, donde se pueda presentar riesgos en función de estos tres parámetros que puedan afectar el proyecto de forma positiva o negativa.

Por lo anterior y siguiendo el modelo de Gestión de Riesgos en Proyectos definido por el PMI, debemos realizar una planeación para la gestión del riesgo, como se describió en el anterior capítulo, para proseguir con su respectiva identificación.

En esta primera fase de la metodología se identifican de forma sistemática las posibles causas concretas de los riesgos empresariales, así como los diversos y posibles efectos que debe afrontar el emprendedor.

Para una correcta identificación de riesgos requiere un conocimiento detallado de la empresa, del mercado en el que opera, del entorno legal, social, político y cultural que le rodea.

La identificación del riesgo debe ser sistemática y empezar por identificar los objetivos clave de éxito y amenazas que puedan perturbar el logro de dichos objetivos.

3.1.1 Herramientas utilizadas para la identificación de riesgos en proyectos

3.1.1.1 Análisis DOFA: También llamado análisis FODA o DAFO es la herramienta estratégica por excelencia más utilizada, aunque a veces de forma intuitiva y sin conocer su nombre técnico. El beneficio que se obtiene con su aplicación es conocer la situación real en que se encuentra la organización de transportes, así como el riesgo y oportunidades que le brinda el mercado. El objetivo del análisis DAFO es el de que todas las partes involucradas en la actividad identifiquen las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que puedan afectar en mayor o menor medida a la consecución de la DP7.

Este análisis en común permite identificar una cantidad de ideas tres veces superior a la que generarían los mismos individuos trabajando por separado. En un buen análisis en común, cada miembro del equipo estimula las ideas de los demás con las suyas propias y los resultados frecuentemente son híbridos de muchas contribuciones.

El nombre lo adquiere de sus iniciales DAFO:

- Debilidades, también llamadas puntos débiles: son aspectos que limitan o reducen la capacidad de desarrollo efectivo de la estrategia de la organización, constituyen una amenaza para la organización y deben, por tanto, ser controladas y superadas.
- Amenazas: se define como toda fuerza del entorno que puede impedir la implantación de una estrategia, o bien reducir su efectividad, o incrementar los riesgos de la misma, o los recursos que se requieren para su implantación, o bien reducir los ingresos esperados o su rentabilidad.
- Fortalezas, también llamadas puntos fuertes: son capacidades, recursos, posiciones alcanzadas y, consecuentemente, ventajas competitivas que deben y pueden servir para explotar oportunidades.
- Oportunidades: es todo aquello que pueda suponer una ventaja competitiva para la organización, o bien representar una posibilidad para mejorar la rentabilidad de la misma o aumentar la cifra de sus negocios.

⁷Elaboración de un análisis DAFO en organizaciones de transportes, Ministerio de Fomento de España, 2005.

Figura 5. Análisis DOFA

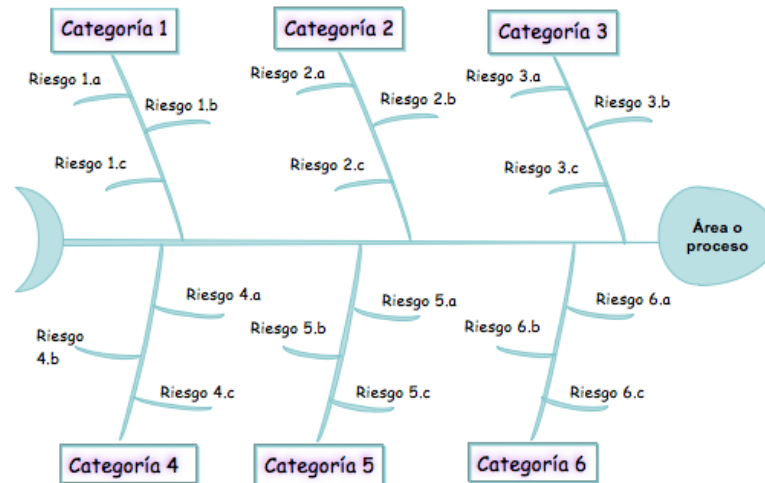


3.1.1.2 Análisis Espina De Pescado o Causa – Efecto: Inicialmente su nombre es diagrama de Ishikawa, se trata de un diagrama que por su estructura se le ha dado este nombre, diagrama de espina de pez, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha. Es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; calidad de los procesos, los productos y servicios. Fue concebido por el licenciado en química japonés Dr.Kaoru Ishikawa en el año 1943.

Este diagrama causal es la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa - efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso. En teoría general de sistemas, un diagrama causal es un tipo de diagrama que muestra gráficamente las entradas o inputs, el proceso, y las salidas o outputs de un sistema (causa-efecto), con su respectiva retroalimentación (feedback) para el subsistema de control⁸.

⁸http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa

Figura 6. Espina de Pescado



3.1.1.3 Lluvia de ideas o tormenta de ideas. La lluvia de ideas, también denominada tormenta de ideas, es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado.

Esta herramienta fue ideada en el año 1938 por Alex Faickney Osborn (fue denominada brainstorming), cuando su búsqueda de ideas creativas resultó en un proceso interactivo de grupo no estructurado que generaba más y mejores ideas que las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente; dando oportunidad de hacer sugerencias sobre un determinado asunto y aprovechando la capacidad creativa de los participantes⁹.

Es un proceso de captura de ideas acerca de riesgos, modos de falla, decisiones de tratamiento, no es simplemente una discusión, debe ser facilitado para estimular el flujo libre del pensamiento así como capturar las ideas relevantes. Se requiere participantes con conocimientos de la organización, sistemas, procesos, etc., donde las ventajas son que enriquece el proceso de identificación con nuevas propuestas y promueve la comunicación entre partes involucradas, sin embargo es un proceso poco estructurado y depende de la dinámica entre las personas.

⁹http://es.wikipedia.org/wiki/Tormenta_de_ideas

Figura 7. Análisis Tormenta de Ideas



3.1.1.4 Método DELPHY: El método Delphy se engloba dentro de los métodos de prospectiva, que estudian el futuro, en lo que se refiere a la evolución de los factores del entorno tecno-socio-económico y sus interacciones.

El primer estudio de Delphi fue realizado en 1950 por la Rand Corporation para la fuerza aérea de Estados Unidos, y se le dio el nombre de Proyecto Delphi. Su objetivo era la aplicación de la opinión de expertos a la selección de un sistema industrial norteamericano óptimo y la estimación del número de bombas requeridas para reducir la producción de municiones hasta un cierto monto.

Es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. (Linstone y Turoff, 1975)

La capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos.

El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es “disminuir el espacio intercuartil, esto es cuanto se desvía la opinión del experto de la opinión del conjunto, precisando la mediana”, de las respuestas obtenidas¹⁰.

¹⁰<http://www.eoi.es/blogs/nataliasuarez-bustamante/2012/02/11/%C2%BFque-es-el-metodo-delphi/>

Características:

- Anonimato: Durante el Delphi ningún experto conoce la identidad de los otros que componen el grupo de debate.
- Iteración y realimentación controlada: La iteración se consigue al presentar varias veces el mismo cuestionario, lo que permite disminuir el espacio intercuartil, ya que se consigue que los expertos vayan conociendo los diferentes puntos y puedan ir modificando su opinión.
- Respuesta del grupo en forma estadística: La información que se presenta a los expertos no es solo el punto de vista de la mayoría sino que se presentan todas las opiniones indicando el grado de acuerdo que se ha obtenido.
- Heterogeneidad: Pueden participar expertos de determinadas ramas de actividad sobre las mismas bases.

Las 4 Fases del Método

- Definición de objetivos: En esta primera fase se plantea la formulación del problema y un objetivo general que estaría compuesto por el objetivo del estudio, el marco espacial de referencia y el horizonte temporal para el estudio. Para nuestro caso estaría determinado como la identificación de los riesgos del proyecto.
- Selección de expertos: Esta fase presenta dos dimensiones:

Dimensión cualitativa: Se seleccionan en función del objetivo prefijado y atendiendo a criterios de experiencia posición responsabilidad acceso a la información y disponibilidad.

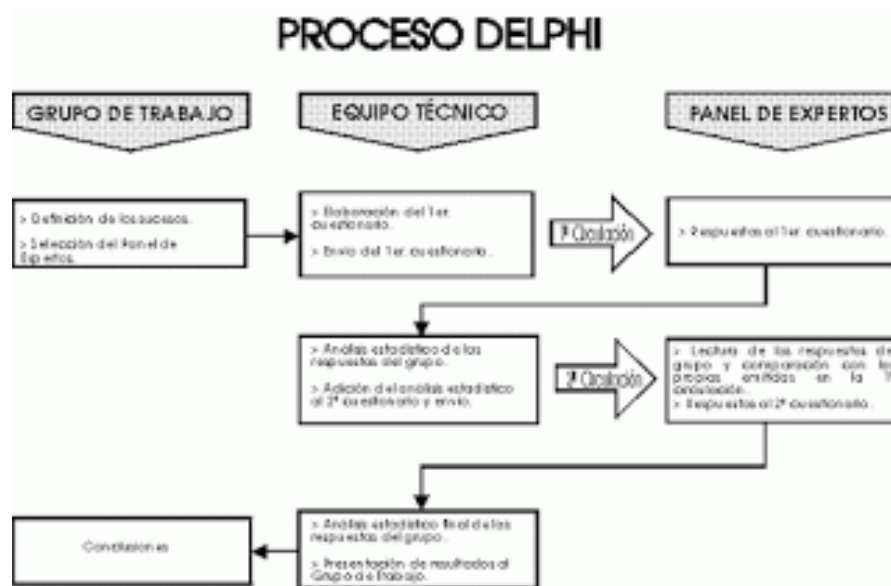
Dimensión Cuantitativa: Elección del tamaño de la muestra en función de los recursos medios y tiempo disponible.

Formación del panel. Se inicia la fase de captación que conducirá a la configuración de un panel estable. En el contacto con los expertos conviene informarles de:

- Objetivos del estudio
- Criterios de selección
- Calendario y tiempo máximo de duración

- Resultados esperados y usos potenciales
- Recompensa prevista (monetaria, informe final, otros)
- Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios: Los cuestionarios se elaboran de manera que faciliten la respuesta por parte de los encuestados. Las respuestas habrán de ser cuantificadas y ponderadas (año de realización de un evento, probabilidad de un acontecimiento...)
- Explotación de resultados: El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir la dispersión y precisar la opinión media consensuada. En el segundo envío del cuestionario, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta, debiendo dar una nueva respuesta. Se extraen las razones de las diferencias y se realiza una evaluación de ellas. Si fuera necesario se realizaría una tercera oleada.

Figura 8. Método DELPHI



3.1.1.5 Entrevistas: Entrevistar a participantes experimentados del proyecto, interesados y expertos en la materia puede servir para identificar riesgos. Las entrevistas son una de las principales fuentes de recopilación de datos para la identificación de riesgos donde se pueden listar estos riesgos según las experiencias propias de los entrevistados.

Es importante tener en cuenta que dependiendo del tipo de proyecto, la selección de técnicas estará sujeta al alcance esperado de las mismas, por lo que en la gestión inicial de riesgos que se le realice al proyecto se determinará la metodología o técnica más apropiada para atender adecuadamente los requerimientos del proyecto.

3.1.2 Técnicas para el análisis de riesgo cualitativas: Las técnicas más comúnmente utilizadas las listamos a continuación¹¹:

3.1.2.1 Matriz de probabilidad e impacto: Es una herramienta para analizar los eventos futuros, previamente identificados, utilizando las dos principales dimensiones del riesgo, basado en las combinaciones de escalas de la probabilidad y del impacto se construye una matriz para asignar calificaciones al riesgo:

Riesgo alto (condición roja)

Riesgo moderado (condición amarillo)

Riesgo bajo (condición verde)

Los riesgos pueden ser priorizados para un análisis cuantitativo posterior y para las respuestas posteriores, basándose en su calificación. Las calificaciones son asignadas a los riesgos basándose en la probabilidad y el impacto evaluados.

La evaluación de la importancia de cada riesgo y, por consiguiente, de su prioridad, generalmente se realiza usando una tabla de búsqueda o una matriz de probabilidad e impacto.

¹¹ **Análisis de Riesgo en la Administración de Proyectos de Tecnología de Información**, Javier del Carpio Gallegos, Junio 2006, Universidad Autónoma del Estado de México.

Figura 9. Matriz Probabilidad e Impacto Riesgo Negativo

DEFINICIÓN DE ESCALAS DE IMPACTO PARA CUADRO OBJETIVOS DEL PROYECTO					
	IMPACTO				
PROBABILIDAD	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
MUY ALTO	TRANSFERIR	TRANSFERIR	TRANSFERIR	EVITAR	EVITAR
ALTO	TRANSFERIR	TRANSFERIR	TRANSFERIR	EVITAR	EVITAR
MODERADO	MITIGAR	TRANSFERIR	TRANSFERIR	TRANSFERIR	EVITAR
BAJO	MITIGAR	MITIGAR	TRANSFERIR	TRANSFERIR	EVITAR
MUY BAJO	MITIGAR	MITIGAR	TRANSFERIR	TRANSFERIR	TRANSFERIR

Figura 10 Matriz Probabilidad e Impacto Riesgo Positivo

ESTRATEGIA PARA RIESGOS POSITIVOS U OPORTUNIDADES					
	IMPACTO				
PROBABILIDAD	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
MUY ALTO	COMPARTIR	COMPARTIR	COMPARTIR	EXPLOTAR	EXPLOTAR
ALTO	COMPARTIR	COMPARTIR	COMPARTIR	EXPLOTAR	EXPLOTAR
MODERADO	MEJORAR	TRANSFERIR	COMPARTIR	COMPARTIR	EXPLOTAR
BAJO	MEJORAR	MEJORAR	COMPARTIR	COMPARTIR	EXPLOTAR
MUY BAJO	MEJORAR	MEJORAR	COMPARTIR	COMPARTIR	COMPARTIR

La organización debe determinar cuáles combinaciones de probabilidad e impacto otorgan las diferentes calificaciones al riesgo. Estas reglas son parte de los activos de procesos de la organización.

Una vez que se haya realizado el proceso de evaluación, las amenazas y las oportunidades se ordenan por la calificación de su importancia y, por consiguiente, por su prioridad.

Al ordenar las prioridades sólo se tienen una aproximación, debido que los números utilizados para crear la lista son estimaciones (depende de la calidad de los datos).

En ocasiones los riesgos requieren ser evaluados también teniendo en cuenta otros factores, como por ejemplo el tiempo de exposición (normalmente se incluye en valoración de la probabilidad) y reversibilidad del impacto (normalmente se incluye en la estimación del impacto)¹².

3.1.2.2 Seguimiento de los Diez Factores más Importantes (Top Ten *Risk Item Tracking*): Es una herramienta de análisis de riesgo cualitativo que ayuda a identificar riesgos y mantener una conciencia de los riesgos a lo largo de la vida de un proyecto. Permite establecer una revisión periódica de los diez ítems de riesgo superior, listando los riesgos identificados, preparando el ranking inicial, indicando el número de veces que el riesgo aparece en la lista sobre el periodo de tiempo, presentando un sumario del progreso hecho para resolver el riesgo.

Figura 11. Ejemplo de Matriz de Seguimiento de los Diez Factores de Riesgo Más Importantes¹³

Risk Item	Monthly Ranking			Risk Resolution Progress
	This Month	Last Month	Number of Months	
Inadequate planning	1	2	4	Working on revising the entire project plan
Poor definition of scope	2	3	3	Holding meetings with project customer and sponsor to clarify scope
Absence of leadership	3	1	2	Just assigned a new project manager to lead the project after old one quit
Poor cost estimates	4	4	3	Revising cost estimates
Poor time estimates	5	5	3	Revising schedule estimates

¹² **Gestión de la Planificación de los Riesgos del Proyecto**, Fausto Fernando Martínez, Universidad para La Cooperación Internacional, 2011

¹³ **Dr. Lotfi Gaafar**, Risk Management – Project Management, 2007

3.1.2.3 Juicio de Expertos: El juicio de expertos es muy útil para poner en marcha este proceso de análisis de riesgos cualitativo. Es una colaboración que puede venir tanto de un especialista como de un grupo de personas con mucha experiencia o que ha asistido a alguna formación especializada y que puede aportar muchas informaciones. Entre ellos, se incluyen los consultores, los integrantes del equipo del proyecto, algún proveedor especializado, etc.

3.1.3 Técnicas Para el Análisis de Riesgo Cuantitativas: De forma general se considera que el Análisis de Riesgo Cuantitativo es posterior al Cualitativo, aunque ambos procesos pueden llevarse simultáneamente o de forma separada.

En algunos proyectos pueden realizarse solo análisis cualitativos, donde el tiempo y dinero con que se disponga para el desarrollo del proyecto determina este tipo de necesidades. Proyectos grandes y complejos son los que comúnmente requieren aplicar este tipo de metodologías cuantitativas, las cuales requieren tecnología para su desarrollo.

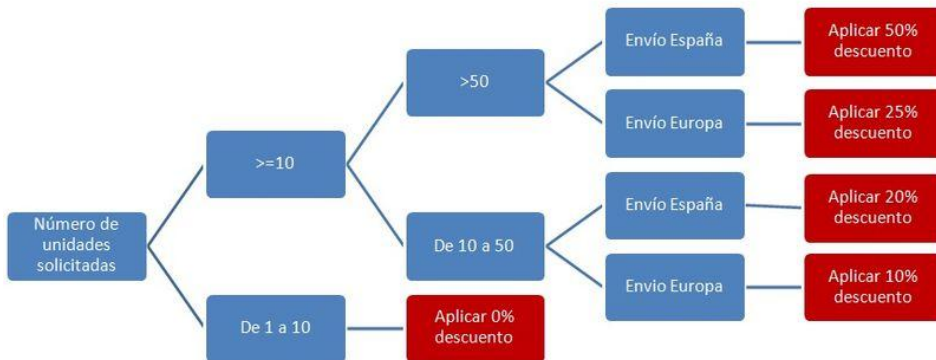
Cuando se utiliza este tipo de Analiza cuantitativos, se analiza la probabilidad y el efecto de cada riesgos, normalmente los calificados como alto en los análisis cualitativos y se les asigna una calificación numérica.

Estas técnicas se encargan de dar una apreciación numérica y cuantitativa (costo y tiempo) del impacto de los riesgos y de las alternativas presentadas como posibles respuestas.

Las principales técnicas de análisis de riesgo Cuantitativo requieren la recolección de datos, la aplicación correcta de técnicas cuantitativas y técnicas de modelamiento. Las técnicas más utilizadas son:

3.1.3.1 Análisis de Árbol de Decisión: Un árbol de decisión es un modelo de predicción, que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren de forma sucesiva, para la resolución de un problema. La técnica está diseñada para tomar decisiones secuenciales, basada en el uso de resultados y probabilidades asociadas.

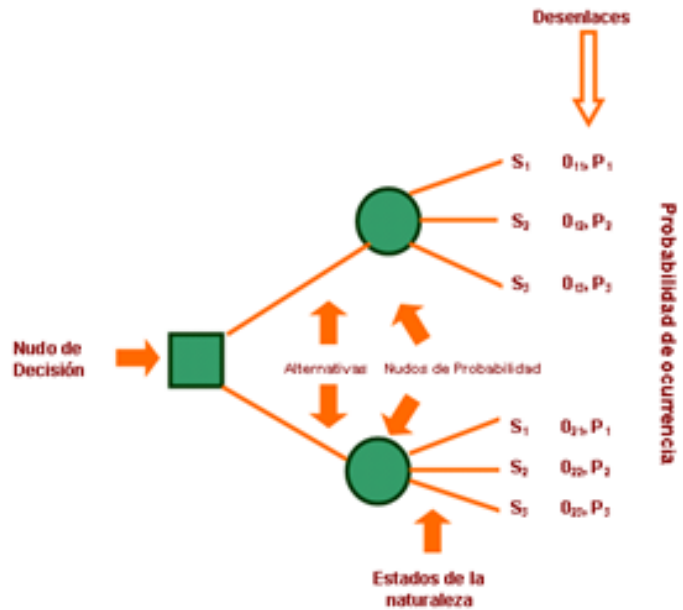
Figura 12. Árbol de Decisión



Los árboles de decisión permiten evaluar los resultados de una secuencia de decisiones que se refieren a un tema en particular, en este caso los riesgos, este enfoque implica ligar un número de sucesos “ramas”, los cuales cuando están completamente arreglados semejan un árbol. El proceso se inicia con una decisión primaria (a evaluar – riesgo), que tiene por lo menos dos alternativas para ser evaluadas, como la probabilidad de cada uno de los resultados y así sucesivamente,

Los árboles de eventos son comúnmente combinados con otra técnica cuantitativa llamada **Valor Monetario Esperado o EMV** por su sigla en inglés (Expected Monetary Value), la cual permite identificar escenarios que involucren costos o ganancias aplicándole la probabilidad de ocurrencia de estos eventos. Por medio de la aplicación de esta técnica se puede determinar el evento que agregue mayor valor al proyecto y facilite la toma de decisiones.

Figura 13. Árbol de eventos con EMV



3.1.3.2 Valor Monetario: Esperado (EMV – Expected Monetary Valued). Como se explicó en el anterior numeral, el EMV es una técnica cuantitativa que se puede aplicar independiente al árbol de decisión. Consiste en Asignar una probabilidad de ocurrencia del riesgo, asignar un valor monetario del impacto de los riesgos de que ocurra y multiplicar estas dos variables. El valor que se obtiene después es el valor monetario esperado. Este valor es positivo para las oportunidades de los riesgos (positivos) y negativo para las amenazas (riesgos negativos).

3.1.3.3 Análisis de Sensibilidad: Ayuda a determinar qué riesgos tienen un mayor impacto potencial en el proyecto. Este método evalúa el grado en que la incertidumbre de cada elemento del proyecto afecta el objetivo que está siendo examinado, cuando todos los demás elementos inciertos se mantienen en sus valores de línea base.

3.1.3.4 Monte Carlo: El método de Monte Carlo es una técnica numérica para calcular probabilidades y otras cantidades relacionadas, utilizando secuencias de números aleatorios.

Es un método no determinista o estadístico numérico, usado para aproximar expresiones matemáticas complejas y costosas de evaluar con exactitud. El método se llamó así en referencia al Casino de Monte Carlo (Principado de Mónaco) por ser “la capital del juego de azar”, al ser la ruleta un generador simple de números aleatorios. El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Monte Carlo datan aproximadamente de 1944 y se mejoraron enormemente con el desarrollo de la computadora.

El uso de los métodos de Monte Carlo como herramienta de investigación, proviene del trabajo realizado en el desarrollo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial en el Laboratorio Nacional de Los Álamos en EE. UU. Este trabajo conllevaba la simulación de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones en el material de fisión. Esta difusión posee un comportamiento eminentemente aleatorio. En la actualidad es parte fundamental de los algoritmos de Raytracing para la generación de imágenes 3D.

El método de Monte Carlo proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos posibilitando la realización de experimentos con muestreos de números pseudo aleatorios en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinista. A diferencia de los métodos numéricos que se basan en evaluaciones en N puntos en un espacio M-dimensional para producir una solución aproximada, el método

de Monte Carlo tiene un error absoluto de la estimación que decrece como $\frac{1}{\sqrt{N}}$ en virtud del teorema del límite central.

3.2 RIESGOS EN PROCESOS

La capacidad de garantizar la seguridad del proceso en una facilidad, está influenciado por varios factores: por ejemplo, el empleo de la tecnología adecuada en el diseño y la construcción, la anticipación de los efectos de las circunstancias externas, la comprensión y el tratamiento de la conducta humana, alto nivel de reportes de casi accidentes para aprender de los incidentes y contar con sistemas de gestión eficaces.

Sin embargo, todos estos esfuerzos dependen de un programa de evaluación de riesgos exitoso; sin estas evaluaciones, la empresa no va a saber qué capas de protección son necesarias para asegurar sus procesos.

Un programa de evaluación de riesgos exitosa, requiere de un soporte de la gerencia tangible, gente suficiente, técnicamente competentes (algunos de los cuales deben estar capacitados para utilizar las técnicas de evaluación de riesgos); adecuada, información y dibujos actualizados, y una selección de las técnicas (adaptadas a la complejidad y al riesgo del proceso).

Afortunadamente, existe una variedad de técnicas de evaluación de riesgo flexibles. A continuación se muestra una lista sencilla de las técnicas generalmente aceptadas¹⁴:

3.2.1 Técnicas Cualitativas. Estos métodos ayudan a un equipo multidisciplinario a, (1) Identificar potencial de escenarios de accidentes y (2) Evaluar el escenario con suficiente detalle para hacer un juicio responsable del riesgo. Si el equipo está confundido con el riesgo, un escenario identificado en una revisión de riesgo cualitativo, puede ser analizado mediante uno o más técnicas cuantitativas.

3.2.1.1 APR (Análisis Preliminar de Riesgo). Técnica que se deriva de los requerimientos del Programa del Sistema de Seguridad Estándar de las Fuerzas Militares de Los Estados Unidos. El APR es comúnmente utilizado para evaluar peligros en etapas tempranas de Procesos. El APR es aplicado generalmente durante el diseño conceptual de facilidades de proceso y puede ser bastante útil para la toma de decisiones de la selección de sitios. También se utiliza comúnmente como una herramienta de revisión de diseño antes de que se desarrolle los P&ID (Diagramas de Proceso e Instrumentación).

3.2.1.2 Lista de Verificación o Checklist Tradicional. Es una lista detallada de los atributos del sistema a evaluar o pasos para un sistema u operación a realizar. Por lo general, escrita de la experiencia y se utiliza para evaluar la aceptabilidad o el estado de la instalación o la operación en comparación con las normas establecidas.

¹⁴**William Bridges**, Paper First Presented at ASSE Middle East Chapter Conference, Febrero, 2008, Bahrain, Process Improvement Institute, Inc (PII)

Técnica de preguntas estructuradas que puede utilizarse de forma individual o en grupo, para aplicarse en cualquier tipo de procedimiento o diseño, que permite la identificación de los peligros en un procedimiento o proceso.

3.2.1.3 ¿Qué pasa si? (“What if?”) Análisis. Técnica inductiva para identificarse peligros, utilizando acercamientos a los objetivos utilizando el método de “brainstorm”, tormenta de ideas, que plantea preguntas sobre posibles eventos indeseables o combinaciones de situaciones pasibles de que ocurran en una instalación o equipo. Normalmente ejecutado por un grupo de personas que esté familiarizado con el proceso objetivo, haciendo preguntas o expresando sus preocupaciones acerca de posibles acontecimientos no deseados. El método no utiliza palabras de guía para ayudar en la lluvia de ideas.

3.2.1.4 ¿Qué pasa si? Con Listas de Verificación. Técnica inductiva para identificar peligros, utilizando acercamientos a los objetivos utilizando el método de “brainstorm”, tormenta de ideas, que plantea preguntas o preocupaciones acerca de posibles acontecimientos no deseados, a un grupo de personas que estén familiarizadas con el proceso. El método es similar a lo que-si solo, con la diferencia de que amplias categorías de tipos de posibles desviaciones (Listas) se usan para estructurar el análisis.

3.2.1.5 Análisis de Guía de 2 palabras. Un método sistemático en el que los problemas potenciales de funcionamiento se identifican preguntando “qué sucedería” si en un paso de un procedimiento fueron (1) omitidos o (2) realizados incorrectamente. Este método es aplicable a cualquier procedimiento (arranque, parada, mantenimiento en línea, o de las operaciones normales de proceso por lotes), pero no se aplica al modo de funcionamiento continuo.

3.2.1.6 Análisis de Peligro y Operabilidad, HAZOP (Hazard and Operability). Método sistemático en la que los problemas operativos potenciales se identifican mediante una serie de palabras guía, por medio de preguntas de manera estructurada, para investigar desviaciones del proceso. Se puede aplicar a cualquier modo de operación de proceso de flujo y también se puede aplicar a cualquier procedimiento o diagrama de flujo.

La definición de HAZOP por la Chemical Industry Association (CIA85) en su guía es: La aplicación de un examen crítico, formal y sistemático a un proceso o proyecto de ingeniería de nueva instalación, para evaluar el riesgo potencial de la

operación o funcionamiento incorrecto de los componentes individuales de los equipos, y los consiguientes efectos sobre la instalación como conjunto.

La técnica se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema. La identificación de estas desviaciones se realiza mediante una metodología rigurosa y sistemática. El fallo del sistema puede provocar desde una parada sin importancia del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias.

3.2.1.7 Modos de Falla y Análisis de Efectos, FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*). Método sistemático de tabulaciones para evaluar y documentar los efectos de los tipos conocidos de falla de componentes. Se aplica a los sistemas eléctrico-mecánicos. También se puede aplicar a sistemas de flujo, donde se necesite factores de alta confiabilidad (por ejemplo, sistemas de suministro de agua para contra incendios).

El Análisis de Modo de Falla y Efecto, es una herramienta simple, versátil y poderosa que ayuda al equipo a identificar los defectos en el proceso que deberían ser eliminados o reducidos. La meta del FMEA es la de delinear los pasos del proceso que están en riesgo de contribuir a una falla.

Esta herramienta requiere de la participación y experiencia de un equipo multifuncional para su desarrollo, el FMEA es liderado por la persona que es responsable del sistema, el producto o el servicio que necesita mejorar. Para cada paso del proceso, el equipo debe de identificar:

1. **Modos de falla.** Las formas con las cuales el requerimiento o el proceso puede fallar para cumplir con lo especificado.
2. **Causas potenciales.** Son las deficiencias que pueden resultar en un modo de falla. Las causas potenciales son fuentes de variación y están normalmente asociadas a las entradas clave del proceso.
3. **Efectos potenciales.** Este es el impacto al cliente si el modo de falla no es prevenido o corregido.

Una vez que el equipo ha identificado el modo de falla, se calcula el RPN (Risk Priority Number) para cada modo de falla, esto se hace de la siguiente forma:

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

El máximo valor para RPN es 1000, ya que cada elemento se mide en una escala de 1 a 10.

3.2.2 Técnicas Cuantitativas: Estas Metodologías no identifican posibles escenarios de accidente, pero en cambio, ayuda en el juicio de riesgo suministrando más detalles y evaluaciones estadísticas de riesgos de escenarios específicos.

3.2.2.1 Análisis de Capas de Protección, LOPA (Layer of Protection Analysis). De todas las metodologías para calcular el índice SIL (Security Integrity Level – Nivel de Integridad de Seguridad), es la técnica más exhaustiva por tener un carácter cuantitativo. Este método fue desarrollado por el American Institute of Chemical Engineers (AIChE) en 1993. Cumple con la norma ANSI/ISA-S84 como por la IEC 61511 parte 3.

Esta metodología utiliza los valores pre-definidos para sucesos iniciadores, capas independientes de protección y las consecuencias para proporcionar una estimación de los riesgos en orden de magnitud con base en el índice SIL, el cual es determinado según las medidas de instrumentación y control.

El LOPA se aplica únicamente por escenarios (causa-consecuencia). Estos escenarios se identifican por otras metodologías (por lo general evaluaciones de riesgos cualitativa HAZOP, APR, etc).

3.2.2.2 Índice Dow de Fuego y Explosión, F&EI, (Dow Fire & Explosion Index). Método, desarrollado por Dow Chemical Company, para la clasificación del potencial relativo de los efectos del riesgo de incendio y explosión en un radio de y los impactos de daño a Propiedad e interrupción al negocio, asociados a un proceso.

Los analistas calculan varios índices de peligro y exposición utilizando características de los materiales y los datos del proceso.

3.2.2.3 Índice Dow de Exposiciones Químicas, CEI (Dow Chemical Exposure Index). Direcciona los cinco (5) tipos de factores que pueden influir en los efectos de la liberación del material: (1) la toxicidad aguda, (2) la porción volátil de material que podría ser liberado, (3) la distancia a las áreas de interés, (4) el peso molecular de la sustancia, y (5) varios parámetros de proceso, como la temperatura, la presión, la reactividad, y así sucesivamente. El CEI es el producto de los valores asignados para cada uno de los factores de interés utilizando escalas numéricas definidas arbitrariamente.

3.2.2.4 Análisis de Árbol de Falla, FTA (Fault Tree Analysis). Modelo lógico que describe gráficamente las combinaciones de fallas que pueden conducir a una falla específica principal o incidente de interés (Top Event).

Este método utiliza la lógica Booleana (And &Or puertas lógicas).Asigna valores estadísticos para cada punto final en una rama, permitiendo el cálculo del riesgo.

3.2.2.5 Análisis de Árbol de Eventos, ETA (Event Tree Analysis). Modelo lógico que describe gráficamente las combinaciones de eventos y circunstancias en una secuencia de incidentes. Asigna valores estadísticos para cada punto de ramificación (fallo o condición) permitiendo el cálculo de riesgo compuesto a partir de un suceso iniciador definido.

3.2.2.6 Análisis de Confiabilidad Humana, Árbol de Eventos, HRA (Human Reliability Analysis). Un modelo gráfico de eventos secuenciales en el que las ramas de los árboles designan acciones humanas y otros eventos, así como diferentes condiciones o influencias sobre estos eventos. Asigna valores estadísticos para cada punto de ramificación (rendimiento correcto o incorrecto de un paso) permitiendo el cálculo de riesgo compuesto a partir de un primer paso definido.

3.2.2.7 Análisis de Consecuencias. El análisis de consecuencias es el término aplicado al uso de modelos matemáticos para estimar el área afectada (consecuencia), por los peligros originados en diferentes escenarios de

accidentes. Típicamente los escenarios incluidos en el análisis de consecuencias de una instalación que procese hidrocarburos son:

- Fugas de fluido tóxico y/o inflamable de un equipo de proceso, tuberías y tanques de almacenamiento.
- Incendios que envuelven fugas de productos inflamables.
- Explosiones de nubes de vapor.
- Ocurrencia de bola de fuego (BLEVE) en recipientes de procesos presurizados conteniendo gases licuados inflamables.

Las consecuencias originadas por los peligros de los escenarios de accidentes anteriormente listados, incluyen:

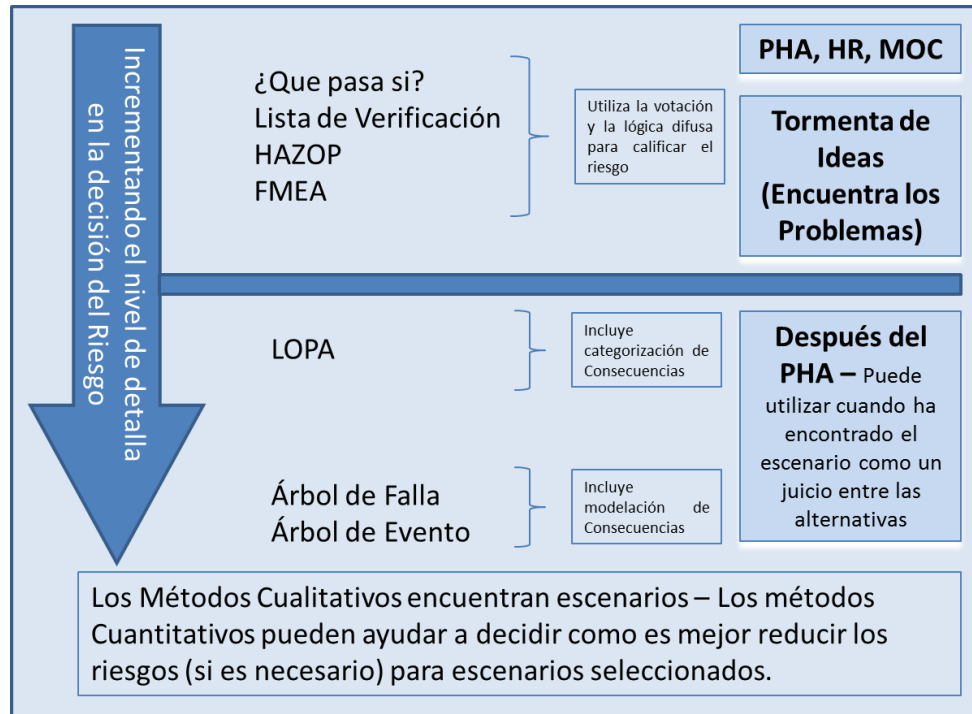
- Exposición de Personas a vapores tóxicos.
- Exposición de personas, equipos y propiedad a radiación térmica.
- Exposición de personas, equipos y propiedad a ondas de sobrepresión o proyección de fragmentos de material producto de la rotura de recipientes.

Dado que la estimación de consecuencias implica un alto nivel de complejidad y requiere una predicción lo más exacta posible del área afectada por cada peligro, es importante usar modelos apropiados para cada escenario específico y al mismo tiempo, aquellos que hayan demostrado proveer predicciones razonablemente precisas comparadas con los resultados obtenidos en pruebas de campo a gran escala o accidentes previos¹⁵.

Los análisis de consecuencia son el “input” para la ejecución de “QRA” o “ACR” Análisis Cuantitativo de Riesgo que son la determinación cuantitativa del Riesgo individual y social. Estos análisis implican la realización de gran cantidad de operaciones matemáticas para la estimación de consecuencias, por lo que es recomendable el uso de software especializado para este fin.

¹⁵CRITERIOS PARA EL ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS, MANUEL DE INGENIERÍA DE RIESGOS, PDVSA, PDVSA IR-S-02, Septiembre 1995.

Figura 14. Técnicas Cualitativas y Cuantitativas - Riesgos Procesos.



4 ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIAL DEL OIL & GAS DONDE SE APLICAN ANÁLISIS DE RIESGOS DE PROCESOS

El petróleo es el commodity de mayor comercio en los mercados del mundo. La utilización del gas natural como combustible está expandiéndose en forma acelerada desde que se ha resuelto el problema de su transporte. El hombre moderno acepta como natural la continua disponibilidad de petróleo y gas, y los beneficios que de ellos resultan, sin estar al tanto de la complejidad política, económica e histórica de una industria tan particular y diferente de las demás. Ella se caracteriza por ser la mayor industria extractiva, lo que implica la emoción de estos elementos no renovables en amplia escala. Por ser considerada una industria de capital intensivo y de alto riesgo, se requieren importantes y continuas inversiones.

El hombre se ha rodeado en su vida cotidiana de un sinnúmero de objetos: muebles, alfombras, cortinas, cuadros, enseres, artefactos, vestimenta, etc. Durante gran parte de la historia, desde los albores de la humanidad hasta las primeras décadas del siglo XX, estos objetos y prendas habrían sido de piedra, madera, hueso, fibras animales o vegetales (algodón, lino, lana), vidrio o algún metal. De todos ellos, sólo los metales y el vidrio han sido y son productos de la creatividad industrial del hombre, en tanto los demás son provistos por la naturaleza.

En la actualidad, gran parte de los objetos que nos rodean en general son artificiales, y además, tienen un origen común: derivan del gas y del petróleo como materias primas, es decir, son productos petroquímicos. La petroquímica trajo productos hasta ese momento inexistentes, tales como el polietileno, el polipropileno, fibras sintéticas como el nylon, poliéster; los acrílicos, colorantes, adhesivos, pinturas, fármacos, cosméticos, etc. La agricultura se beneficia con otros productos derivados del petróleo y del gas, principalmente fertilizantes nitrogenados (como la urea) y componentes de herbicidas e insecticidas.

Pero el mayor aprovechamiento de los hidrocarburos es el de ser quemados para generar energía. El uso como materias primas antes descrito posiblemente sólo requiera el 5% de la producción, mientras el restante 95% se destina a combustibles: moto naftas, gasoil, fuel oil, etc. Deben mencionarse otros dos importantes derivados del petróleo: los lubricantes líquidos y sólidos (grasas), y el asfalto, componente básico para la pavimentación de vías.

En el mundo, el petróleo, el gas natural y sus derivados, en estado gaseoso o líquido, contribuyen con el 55% de la energía utilizada en transporte, industrias, comercios y establecimientos residenciales. Las otras importantes fuentes de energía hoy en uso son la nuclear, el hidrocarburo sólido (carbón), y la energía

hidráulica, que suele clasificarse como “renovable”. Otras fuentes renovables de energía, como la biomasa, la eólica y la solar, aún son de aplicación comercial más o menos restringida. Sin embargo, con el tiempo las fuentes renovables deberán ir gradualmente reemplazando a los hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos como generadores de energía y éstos quedarán por un tiempo como irremplazables para su utilización como materias primas¹⁶.

Por lo motivos anteriormente expuestos, es donde la industria de Petróleo y Gas se convierte en un escenario bastante importante para el estudio de Peligros y análisis de Riesgos y tratar de mantener unas condiciones de operación seguras y adecuadas para las personas, inversiones, medio ambiente e imagen de los asociados.

La industria Petrolera y Gas se caracteriza por tener etapas de desarrollo, cadena de suministro, muy específicas y determinadas. Por lo que encontramos cinco (5) etapas dentro de la cadena, las cuales utilizaremos para la determinación de las actividades en las que se pueden aplicar las técnicas para el Análisis de Riesgos de Procesos. Estas etapas están determinadas por: Exploración, Producción, Transporte, Refinación – Petroquímica y Comercialización.

Para el específico de esta monografía se analizarán las primeras cuatro etapas, ya que la comercialización, en términos de riesgos, se comportará de la misma forma que el transporte.

4.1 EXPLORACIÓN

Exploración es el término usado en la industria petrolera para designar la búsqueda o prospección de petróleo y/o gas. Es una etapa que, de ser exitosa, concluye con el descubrimiento de un yacimiento de hidrocarburos.

Una de las herramientas más utilizadas por los exploradores son los mapas. Hay mapas geológicos o de afloramientos (que muestran las rocas que hay en la superficie), mapas topográficos (que indican las elevaciones y los bajos del terreno, con curvas que unen puntos de igual altitud) y los mapas del subsuelo. Estos últimos son quizás los más importantes porque permiten mostrar la distribución, propiedades y forma que toman las capas rocosas en el subsuelo.

¹⁶El ABC del Petróleo, Instituto Argentino del Petróleo y el Gas, Buenos Aires 2009.

Estos mapas de subsuelo se generan con la ayuda de información de pozos preexistentes y de sísmica de reflexión, una técnica básica en la exploración de hidrocarburos.

Como los análisis de riesgos objetivos son los de procesos, debemos identificar qué tipo de actividades de procesos se manejan en esta etapa. En etapa exploratoria, se presenta perforaciones exploratorias, las cuales pueden requerir de este tipo de análisis, ya que están procesando fluidos por medio de tuberías en condiciones de tuberías y presión y inminentemente se puede presentar el Petróleo y/o Gas. Por este motivo se puede realizar análisis de riesgo, principalmente cualitativos, ya que las condiciones de operación son variables y partir de estadísticas, con variables que cambian radicalmente, no permite un estudio muy aterrizado y los tiempos de exposición no son muy largos.

Por tal motivo en esta etapa se podrían realizar principalmente análisis como APR, ¿Qué pasa si?/Listas de Verificación o Análisis de Guía de 2 palabras.

Cuando en esta Perforaciones Exploraciones se encuentra el producto, se inicia con las pruebas a los pozos donde se puede determinar si es comercializable o no. En esta instancia, normalmente se instalan unas facilidades tempranas para la operación de las pruebas, por lo que nuevamente se maneja procesos para el tratamiento (Separación principalmente) y almacenamiento para posteriormente el traslado.

En estas facilidades tempranas se pueden aplicar igualmente diferentes metodologías para el análisis de riesgos de su operación, donde principalmente se puede aplicar los APR o HAZOP. Por otro lado se pueden implementar FMEA para el comportamiento de los equipos asociados al proceso y plantear algunas técnicas Cuantitativas, principalmente para la ubicación e instalación de las facilidades tempranas y las protecciones al sistema (LOPA y Árbol de Eventos).

4.2 PRODUCCIÓN

La producción es una de las etapas más representativas para la aplicación de técnicas de análisis de Riesgos en Procesos, puesto que con la producción del Hidrocarburo, es necesario extraerlo, tratarlo, almacenarlo, medirlo y entregarlo.

Finalizada la perforación y terminación (completamiento), el pozo se encuentra listo para empezar a producir, ya sea por flujo natural o en forma artificial. El hecho de que lo haga de una u otra forma depende de una variada gama de circunstancias: la profundidad del yacimiento, su presión, la permeabilidad de la

roca reservorio, las pérdidas de presión en las proximidades del pozo y en la tubería, etc.

Cuanto más dificultades encuentre el fluido en su camino a la superficie, mayores serán las posibilidades de que no fluya naturalmente, o de que lo haga en forma intermitente o a bajos caudales. En esos casos resulta necesario instalar equipos artificiales para posibilitar la producción.

El Flujo natural es el método de producción más barato, ya que la energía es aportada por el mismo yacimiento, aunque no siempre es el más adecuado desde el punto de vista de la productividad. El Flujo se regula en la cabeza (Cabezal) de pozo mediante un pequeño orificio cuyo diámetro dependerá del régimen de producción elegido. Los volúmenes de los distintos fluidos producidos varían a medida que transcurre el tiempo. Como regla general, al disminuir la presión del reservorio la producción de petróleo cae, debiéndose recurrir, en esas circunstancias, a equipos artificiales. Con la extracción artificial comienza la etapa más costosa de la explotación del yacimiento.

En los casos de flujo natural, como ya se dijo, el fluido asciende por la tubería sin ayuda externa, utilizando la presión del yacimiento. Cuando la presión del yacimiento no es suficiente se requiere instalar, en estas tuberías, equipos para la extracción artificial. Existen variados métodos de extracción artificial, algunos de los cuales se listan a continuación:

- Bombeo Mecánico
- Bombeo Hidráulico
- Extracción con Gas (Gas lift)
- Pistón Accionado con Gas
- Bomba Centrifuga y motor eléctrico
- Bomba de Cavidad progresiva

Los fluidos producidos por el pozo son enviados a las baterías o estaciones colectoras a través de tuberías, normalmente enterradas de 2" a 4" de diámetro, denominadas tuberías de conducción. En las baterías se recibe la producción de varios sondeos. Si bien el número de pozos que concurre a una batería es variado y depende de muchas circunstancias, a efectos de dar un orden de magnitud, podría hablarse de entre 10 a 30 pozos.

En la batería, se separan los tres fluidos y éstos se transfieren a las diferentes plantas de tratamiento, donde gas y petróleo son puestos en especificación para la

venta y el agua se acondiciona para su disposición o reinyección en el subsuelo, en pozos sumideros o en inyectores en operaciones de recuperación secundaria.

En la batería se miden todos los días los volúmenes producidos de cada fluido, y en forma alternada se va realizando la misma medición a cada uno de los pozos (controles) de forma de conocer la producción de cada uno de ellos en un determinado período.

Una vez se cuenta con el fluido en la superficie se comienza con el análisis de riesgos en los procesos a realizar. Ya que independiente de la forma en el que se haga fluir el producto, se presentan diferentes características que presentan peligros para la operación.

La materialización de estos peligros son las que se buscan prevenir, controlar o mitigar, para lo cual es vital conocer bien sus características y los diseños que se planteen para su tratamiento.

Por este motivo es importante combinar las etapas de diseño con técnicas de análisis de riesgos que permitan conocer los peligros presentes, los riesgos a los que se está expuesto y las posibilidades para tratarlo.

En la etapa de la producción se pueden utilizar todas las técnicas de procesos descritas en el capítulo anterior, Cualitativo y Cuantitativo, ya que nos permite ir implementando medidas para la operación segura y los tratamientos que se le dé al fluido. Permitiendo así una ubicación adecuada de los procesos, donde se pueda organizar las diferentes actividades conociendo el peligro asociado y poderlo controlar en caso de que se materialice.

4.3 TRANSPORTE

Los hidrocarburos comienzan a viajar: desde la superficie del pozo hasta su destino final de consumo, recorren un itinerario de rutas y redes que conforman su sistema de transporte y distribución. Depósitos o almacenamientos en los que se guardan o son procesados.

El transporte de petróleo tiene dos momentos netamente definidos: el primero es el traslado de la materia prima desde los yacimientos hasta la refinería donde finalmente será procesada para obtener los productos derivados; el siguiente momento es el de la distribución propiamente dicha, cuando los subproductos llegan hasta los centros de consumo (gas principalmente).

Los oleoductos troncales (o principales, por oposición a los más cortos o secundarios) son tuberías de acero cuyo diámetro puede medir hasta más de 40" y que se extienden a través de distancias, desde los yacimientos hasta las refinerías o los puertos de embarque. Están generalmente enterrados y protegidos contra la corrosión mediante revestimientos y pinturas especiales. El petróleo es impulsado a través de los oleoductos por estaciones de bombeo, las cuales son monitoreadas y operadas por medios electrónicos desde una estación central.

En Colombia es común encontrar aun Oleoductos que no cuentan con este tipo de controles electrónicos y es necesaria la supervisión continua de su comportamiento y en casos de emergencia la operación manual de válvulas.

Los gasoductos conducen el gas natural que puede producirse desde un yacimiento de gas libre o gas asociado y que previamente ha sido acondicionado en el mismo yacimiento para su adecuado transporte y utilización, hacia plantas separadoras y fraccionadoras, con el objetivo de extraer hidrocarburos contenidos en el gas natural tales como el etano, propano y butano (gas licuado) y los pentanos y superiores (gasolina natural) tan deseados por su valor económico.

Luego de dichos procesos de separación, el gas seco ya tratado ingresa a los sistemas de transmisión o gasoductos troncales, para ser despachado al consumidor industrial y doméstico.

Forman parte de estos sistemas las estaciones compresoras, que van restituyendo, a ciertos intervalos, la presión que va perdiendo el gas natural por rozamiento o fricción, durante su circulación por las tuberías y el centro de despacho y control de las operaciones.

Cuando el petróleo crudo ha sido transportado por un oleoducto a una terminal portuaria puede ser transferido a bordo de un buque tanque para ser llevado a las refinerías donde será procesado o bien exportado como tal.

Grandes progresos se han logrado en los últimos años en este medio de transporte en lo referente a la tecnología de carga y descarga, y al tonelaje y la capacidad de transporte. Comparados con los buques de pasajeros pueden parecer pequeños porque cuando navegan cargados sólo una mínima parte de ellos aparece por encima de la línea de flotación; pero los buques-tanques más grandes pueden movilizar más de medio millón de toneladas.

Algunos petroleros de gran porte encuentran dificultades para atracar en puertos comunes que carecen del calado adecuado o no disponen de muelles especiales. En esos casos se transfiere el petróleo a boyas fondeadas a distancia conveniente de la costa, donde la profundidad es la adecuada.

Los buques petroleros son los navíos con mayor capacidad de carga; llevan las máquinas propulsoras ubicadas en la popa, para evitar que el árbol de la hélice

atraviase los tanques de petróleo y, como medida de protección contra el riesgo de incendios, también hacia la popa se ubican el puente de mando y los alojamientos de la tripulación.

Todas estas consideraciones de estos equipos de transporte han sido detalladamente analizadas por situaciones presentadas anteriormente y por análisis realizados durante las etapas de diseño y construcción.

El gas natural es transformado criogénicamente (bajas temperaturas) a su estado líquido (GNL), pues así se reduce unas 600 veces su volumen, para ser transportado por los buques cargueros de gas desde los países productores a los grandes puntos de consumo.

Existe un centenar de estos barcos en navegación hoy en el mundo. Los buques propaneros y metaneros trasladan, como su nombre lo indica, propano líquido (gas licuado) y metano líquido (GNL) respectivamente.

Las características de los distintos sistemas de transporte y distribución varían según las circunstancias locales y/o la naturaleza del producto a trasladar y comercializar. Por ello, y para no olvidar los transportes más conocidos o visibles como el ferrocarril o los carros-tanques, son parte muy importante de la extensa redde transporte y distribución del petróleo o del gas y sus derivados.

Al haber sistemas completos de tratamiento y transferencia en esta etapa de la cadena, es común encontrar que se realicen todas las técnicas de análisis de riesgos de proceso, tanto las cualitativas, como las cuantitativas. Las más comúnmente utilizadas son APR, HAZOP y Cuantitativas como LOPA, Árbol de Eventos y simulaciones de consecuencias para la ubicación de los ductos.

4.4 REFINACIÓN Y PETROQUÍMICA

Los petróleos crudos, cualquiera sea su origen, no aportan en forma directa todos los productos terminados requeridos por el mercado consumidor. Tanto la calidad como la cantidad de combustibles, lubricantes y otras especialidades que la vida moderna necesita para su desarrollo, deben ser obtenidos aplicando complejas tecnologías en costosas instalaciones industriales llamadas refinerías.

La función principal de una refinería, por lo tanto, consiste en obtener con los petróleos las cantidades adecuadas de motonaftas, gases licuados, kerosene, aero combustibles, gas oil, lubricantes, fuel oil, parafinas, asfaltos y demás especialidades, en operaciones sustentables (seguras y amigables con el ambiente) y en la forma más económica posible. Para ello deben emplearse

además de los distintos tipos de petróleo, procesos e instalaciones industriales cuyo desarrollo es producto de una constante investigación.

Una moderna refinería está diseñada de tal manera que su flujo, desde el bombeo inicial del petróleo crudo hasta la salida final de los productos terminados, constituye un proceso continuo. Cualquier interrupción en dicho flujo significará una considerable pérdida de tiempo, dinero y mano de obra.

El manejo de una refinería construida de acuerdo con las técnicas actuales es casi enteramente automático. Existen sistemas electrónicos de control que regulan la temperatura, alimentación y muchas otras variables de los procesos, como así también dirigen la compleja integración de las distintas líneas de producción.

Como quedó claramente descrito es un proceso continuo, lo que describe claramente la característica esencial para la aplicación de todas las técnicas de procesos descritas en el capítulo anterior, Cualitativo y Cuantitativo, ya que nos permite ir implementando medidas para la operación segura y los tratamientos que se le dé al fluido. Permitiendo así una ubicación adecuada de los procesos, donde se pueda organizar las diferentes actividades conociendo el peligro asociado y poderlo controlar en caso de que se materialice.

5 PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS MÁS ADECUADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, VALORACIÓN Y DETERMINACIÓN DE CONTROLES DE RIESGOS EN PROCESOS EN LA INDUSTRIA DE OIL & GAS.

El objetivo final de esta monografía es poder suministrar al lector las herramientas necesarias para una adecuada selección de técnica o metodología para la identificación de Peligros y evaluación de riesgos de procesos en la industria de los hidrocarburos, acorde a las actividades que se vallan a realizar, dentro de los procesos industriales que se manejan en Petróleo y Gas.

Como se ha descrito anteriormente en el documento los procesos están presentes en toda la cadena de hidrocarburos, para lo cual según su etapa en la vida útil de las instalaciones petroleras, se puede determinar qué tipo de metodologías son aplicables y comercialmente utilizadas.

Las etapas de la vida útil de las instalaciones están determinadas desde su conceptualización hasta el desmantelamiento y abandono, por lo que determinaremos, según estas etapas, las técnicas a implementar:

5.1 INGENIERÍA CONCEPTUAL

La ingeniería conceptual sirve para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto y marcará la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. Se basa en un estudio previo (estudio de viabilidad) y en la definición de los requerimientos del proyecto.

Comprende el conjunto de documentos de ingeniería que delimita un alcance global y conceptual del proyecto incluido el tipo de tecnología y especificación de equipos a usar. La Documentación necesaria debería incluir:

- Definición de visión y alcance del proyecto.
- Definición de requerimientos funcionales generales del proyecto.
- Bases y criterios de diseño acordadas con el área usuaria (Definición de Normas y estándares aplicables, detallar requerimientos de diseño de cada funcionalidad, y sus especificaciones preliminares).
- Diagramas de flujo de procesos principal y auxiliares y/ó Arquitectura del Proyecto.

- Cálculos preliminares, cuantificación y dimensionamiento de los requerimientos del proyecto.
- Filosofía de Control y Operación.
- Requerimientos de Bienes y Servicios Complementarios para la ejecución del Proyecto
- **Análisis de Riesgos.**
- Cronograma referencial con actividades, recursos, tiempos e hitos.
- Factibilidad Técnica.
- Factibilidad Económica.
- Arquitectura de soluciones informáticas, definición de servicios, diagramas de interacción, diagramas de bases de datos, diagrama preliminar de red y distribución de equipos.

Este documento debe contener los estudios de factibilidad, ya que los mismos permiten definir la conveniencia o rentabilidad de diferentes alternativas de diseño de un determinado proyecto.

La Ingeniería Conceptual no suele realizarse de forma rigurosa dentro de las instituciones, esta es una falencia pues de su fortaleza dependerá la generación de unos buenos términos de referencia para la contratación de proveedores que realicen la construcción, de preferencia la ingeniería conceptual debe realizarse sin enfocarse a un proveedor específico sino a la solución que se busca dar con el proyecto, en la discusión de si debe realizarse este documento al interior de la entidad contratante o mediante una consultora, resulta incierta una afirmación categórica, si ocurre en ocasiones que unos deficientes términos de referencia desencadenan el fracaso o mediocre ejecución de proyectos.

Para el caso específico de Análisis de riesgos, enfocado al proceso, según nuestra definición, es determinante la correcta elección de las técnicas para el análisis de riesgos al igual que su efectiva ejecución.

Teniendo en cuenta que en esta fase, solo se cuenta con información preliminar, la cual no está lo suficientemente desarrollada para la aplicación de metodologías que requieran información con detalle, por lo que en las técnicas cualitativas se recomienda la utilización de las siguientes:

- ¿Qué pasa si? Se puede integrar a esta técnica la utilización de listas de verificación, sin embargo, se suele elaborar la lista para implementarlas en etapas posteriores a la vida útil de la instalación.
- APR, siempre y cuando se cuente con los diagramas de flujo (PFD) o instrumentación y tubería (P&ID), donde se puedan determinar posibles pérdidas de contención.

Para el caso de Técnicas cuantitativas, la información disponible es insuficiente, por lo que no se recomienda la implementación de ninguna de las técnicas descritas.

5.2 INGENIERÍA BÁSICA

De las revisiones, comentarios y recomendaciones que surgen de la ingeniería conceptual se pasa a desarrollar la Ingeniería básica. El conjunto de documentos de Ingeniería con definiciones y cálculos de los procesos principales, seguridad, medio ambiente, estudio de riegos, implantación y especificaciones definitivas para compra de equipos mayores, estos últimos son aquellos que por su especificidad, complejidad en la configuración, por ser hechos a medida o por su envergadura requieren un tiempo considerable para llegar al lugar de la instalación.

La Documentación que incluye es:

- Bases y Criterios de diseño (validación y verificación de la Ingeniería Conceptual).
- Definición de requerimientos funcionales definitivos.
- Diagramas de Flujo de Procesos Principales y Auxiliares (definición de Normas a usar).
- Diseños definitivos incluidos cálculos (de todas las especialidades que intervienen en el proyecto).
- Descripción del proceso y filosofía de Operación y Control definitivos.
- Requerimientos de Servicios y Bienes Complementarios definitivos.
- Especificaciones de equipos mayores definitivos (incluir Planos de ingeniería y de vendedor AS BUILT sistemas paquetizados en lo que aplique).
- Diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID) definitivos (Norma Internacional).
- Layout de Implantación general definitivo.
- Estudios apropiados al proyecto.
- Plan de Trabajo (Conformación del equipo de trabajo):
- Establece un cronograma, designa los responsables y marca metas. Las acciones que aparecen incluidas dentro del plan de trabajo pueden ser seguidas, controladas y evaluadas por el responsable.
- Clasificación de áreas peligrosas.
- Especificaciones de alcance de construcción por disciplina.
- Hojas de especificación de instrumentos, equipos e insumos bajo norma aplicable.
- Ruteo (Planimetría).

- Interconexiones.
- Matrices Causa y Efecto.
- Especificaciones del sistema de control.
- Arquitectura del sistema de control.
- Desglose estimado de costos.
- Arquitectura de Hardware y Software de los sistemas de información requeridos.
- Especificaciones de Hardware y Software.
- Especificaciones Funcionales de Software.
- Análisis de Impacto del Alcance del Proyecto dentro de la organización.

En la ingeniería básica quedarán reflejados definitivamente todos los requerimientos de usuario, las especificaciones básicas, el cronograma de realización y la valoración económica.

La ingeniería básica se desarrolla en dos etapas: la primera consiste en la toma de datos y elaboración de requerimientos de usuario y en la segunda se desarrolla el resto de trabajos descritos anteriormente.

La aprobación de esta ingeniería supone una sólida base para el desarrollo de la ingeniería de detalle

Al final de la primera etapa de la ingeniería de básica, se desarrollan los análisis de riesgos correspondientes los procesos involucrados en esta ingeniería, lo que nos permite un estudio más detallado de los riesgos provenientes de los peligros a los que se expondrán las personas y demás entorno con la implementación de la instalación o modificación.

Todas las técnicas cualitativas son aplicables a esta fase:

- APR, se puede utilizar en esta fase, sin embargo su resultado es limitado a pérdidas de contención, por lo que su selección adecuada depende del objetivo planteado del estudio, como simplemente determinas las consecuencias cualitativamente de un derrame o dispersión de la sustancia del proceso.
- Lista de Verificación, esta será aplicable donde haya habido la posibilidad de identificar las posibles desviaciones del sistema y están alineadas con los ítems de la lista de verificación, ya que la omisión de algún elemento importante dentro de esta lista, dejará descubierta la presencia de peligros al sistema.
- ¿Qué pasa si?, su aplicación, al igual que la anterior, exige en este caso, un criterio bastante amplio sobre los peligros presentes en la instalación, por parte del equipo multidisciplinario a aplicar la metodología, puesto que al

ser una técnica no estructurada, permite enfocarse en ciertas partes del proceso, dando posibilidad a no atender ciertos peligros latentes. Si se tiene claridad del objetivo del ejercicio, se puede aplicar con muy buenos resultados.

- ¿Qué pasa si? Con Listas de Verificación, al incluir las listas de verificación al estudio “What if” se estructura más en el objetivo planteado orientando más el equipo multidisciplinario en su misión, sin embargo, tanto los participantes del equipo evaluados, como la lista a implementar, deben ser muy bien validados por la dirección del ejercicio y el personal especializado en el proceso.
- Análisis de Guía de 2 Palabras, la metodología es aplicable, sin embargo se centra en dos posibles desviaciones únicamente, lo que me direcciona el objetivo del estudio hacia estas palabras guía únicamente. Por lo que si el interés es una amplia visión de los peligros y los riesgos en el proceso, esta técnica no es la más adecuada.
- HAZOP, es la técnica más popular dentro de los análisis de riesgo en procesos químicos, fue diseñado en Inglaterra en la década de los sesenta por la Imperial Chemical Industries, para aplicarlo al diseño de plantas de fabricación de pesticidas. Está diseñado para estudiar las posibles desviaciones en los diseños de un proceso, por lo que solo es aplicable a procesos de transformación de sustancias confinadas en recipientes (vasijas) y tuberías, a diferencia de las demás técnicas (exceptuando el APR) descritas anteriormente que se pueden aplicar a otras actividades. Para la correcta implementación de la técnica se requiere contar con la ingeniería básica desarrollada, la cual debe contar con Diagramas de flujo del proceso (PFD), Diagramas de Instrumentación y tubería (P&ID), filosofía de operación del sistema y demás premisas para la operación de la instalación.
- FMEA, es una técnica que principalmente se utiliza para determinar los modos de falla de equipos, sin embargo se puede aplicar a los procesos, donde se puede determinar la variedad de fallas que se puedan presentar con los efectos resultantes de la misma. De igual forma requiere información de soporte para el análisis y un equipo multidisciplinario, para que este sea representativo como análisis de riesgos, es una técnica aplicable a proceso y a otro tipo de escenarios como herramienta para la identificación y evaluación de riesgo.

Una vez revisadas las técnicas Cualitativas vamos a definir las técnicas Cuantitativas aplicables a esta etapa:

- LOPA, es aplicable una vez se determinen los escenarios de riesgo más críticos, ya que es donde se determina la evaluación de las condiciones de instrumentación y control, para garantizar así capas de seguridad de los procesos. Las organizaciones determinan por iniciativa propia (Caso de Colombia) o por requerimientos normativos, los niveles mínimos de SIL (Nivel de Integridad de Seguridad) en sus instalaciones para operar con salvaguardas o capas de seguridad adecuados y que protejan a las personas, medio ambiente y materiales. En la Ingeniería básica, por medio de la implementación del LOPA, se identifican si los niveles SIL del SIS, están de acuerdo a los eventos identificados o por lo contrario es necesaria su modificación o mejora.
- DOW F&EI, es una herramienta que permite determinar las áreas con mayor potencial de pérdida en un proceso en particular, también permite predecir el daño que puede ocurrir en el evento de un incidente. Como es específico para una unidad de un proceso, se debe haber determinado claramente cuál es la unidad de proceso a evaluar y las características del material involucrado, con este índice se puede evaluar la ubicación de las instalaciones y verificar su potencial de pérdida.
- DOW CEI, permite realizar una clasificación de los peligros agudos a la salud de las personas que están en las instalaciones o cerca de ellas, debido a incidentes por emisiones químicas, por lo que en la etapa básica, aplicará para evaluar la distribución de zonas con presencia de estas sustancias y como puede estar impactando al personal de la instalación y alrededores.
- FTA, el árbol de falla aplica para analizar tipos de fallas principales o de interés, donde se grafican las combinaciones de fallas que llevan a esta principal. Su aplicación es muy específica, por lo que se debe tener claramente identificado el objetivo del estudio y principalmente indica modos de falla.
- ETA, el árbol de eventos describe gráficamente la combinación de eventos donde se asignan valores estadísticos para su ocurrencia, donde finalmente se pueden identificar los eventos más probables para futuras evaluaciones. Involucra los eventos de forma global sobre un punto de interés y permite dar información para simulación de consecuencias.
- HRA, como el árbol de eventos ramifica los eventos más probables asociados a acciones humanas. Uh ETA puede incluir el HRA.
- Análisis de Consecuencias, es alimentado por información cualitativa y cuantitativa, como resultados de ejercicios HAZOP, APR, ¿Qué pasa si? O

similares, al igual que suele ser filtrado por ETA (árbol de eventos) para aplicar los modelos matemáticos (simulaciones), a los eventos más probables, para facilitar su interpretación y replica en las instalaciones.

5.3 INGENIERÍA DETALLE

Una vez aprobada la Ingeniería Básica por parte del dueño del proyecto, se procede con la ingeniería de detalle.

El conjunto de Documentación generada a partir de la Ingeniería Básica que incluye todos los detalles constructivos, por disciplina (Civil, Mecánica, Procesos, Eléctrica, Telecomunicaciones, Instrumentación y Control, Sistemas Informáticos) se evalúan para ser aprobados para construcción.

Como herramienta de evaluación se pueden aplicar las técnicas de análisis de riesgos cualitativas y cuantitativas, sin embargo, si se parte de una completa y efectiva evaluación de riesgo en la ingeniería básica, la aplicación de estas técnicas en la ingeniería de detalle se aplicará para validación de la aplicación de las recomendaciones y correcciones sugeridas y validadas.

Si esta premisa se cumple, la validación que se realizaría estaría enfocada principalmente en técnicas cualitativas como:

- APR
- Listas de Verificación
- ¿Qué pasa si? – Con o sin Listas de Verificación
- Análisis de Guía de 2 Palabras
- FMEA

No se incluye el HAZOP, puesto que si se aplicó en Ingeniería básica no sería necesario aplicarlo. Sin embargo si no se aplicó en la básica, sería la mejor herramienta para verificar los riesgos en el proceso del proyecto.

Las técnicas cuantitativas para esta etapa son:

- LOPA, si se aplicó en la ingeniería básica, se puede aplicar en la de detalle si como resultado del anterior ejercicio las recomendaciones fueron relevantes a modificar el SIS. Con esta aplicación se podrá verificar nuevamente el SIL de la instalación.

La aplicación de las demás técnicas estará sujeta a la utilización de alguna de las mismas en las etapas previas. Para el desarrollo de un proyecto no se requiere la aplicación de todas las técnicas descritas, puede haberse escogido una sola cualitativa y una cuantitativa para el manejo del riesgo, por lo que se puede aplicar diferentes metodologías en la ingeniería de detalle con el objetivo de dar mayor soporte en la seguridad al proceso.

5.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación y mantenimiento de una instalación inicia desde el momento que finalizan las pruebas y se ponen en marcha los equipos. Para la industria petrolera operar y mantener su cadena de hidrocarburos implica conocer claramente a los peligros y riesgos que se está expuesto.

Debido a su complejidad y cambios constantes se presentan con frecuencia modificaciones sobre los diseños o ingenierías anteriormente planteados, por lo que comúnmente se aplica en esta etapa son análisis de riesgos para las modificaciones, ampliaciones o abandonos que se presenten durante la etapa productiva de una instalación.

Sin embargo, como buena práctica de rutina, organizaciones expertas en la aplicación de estudios de riesgos recomiendan realizar estudios cualitativos con frecuencias no mayores a cinco (5) años, donde se pueden aplicar las mismas técnicas de la ingeniería de detalle, si las condiciones de operación o mantenimiento no se han modificado.

Durante la etapa de operación y mantenimiento si algunas condiciones cambian, por la inclusión de nuevos sistemas, equipos, modificaciones en producción, entre otras, se pueden utilizar las siguientes técnicas cualitativas orientadas a evaluar las nuevas condiciones respecto a estos cambios:

- APR
- ¿Qué pasa si?
- HAZOP
- FMEA

Para estos casos puntuales también se deben verificar con técnicas cuantitativas como:

- LOPA
- DOW F&EI
- DOW CEI
- FTA
- ETA
- HRA
- Análisis de Consecuencias

5.5 DESMANTELAMIENTO Y ABANDONO

El desmantelamiento y abandono viene después de etapas largas de operación, por lo que es recomendable que antes de finalizar las operaciones y se comience con el desmantelamiento de las instalaciones se apliquen técnicas para poder identificar las posibles desviaciones durante su parada, desmantelamiento y abandono.

Principalmente serán aplicadas aquí técnicas cualitativas, por lo que se impacta principalmente en labores manuales. Las técnicas aplicables son:

- APR
- Listas de Verificación
- ¿Qué pasa si? – Con o sin Listas de Verificación

CONCLUSIONES

La intención principal de la monografía es ubicar al lector en el marco de los riesgos que se manejan comúnmente por nuestra industria y hacer claridad entre la diferencia de enfoque que se puede tener según el objeto del análisis que se quiera realizar.

Las técnicas para la identificación de peligros y riesgos fueron diseñadas para objetivos específicos y se deben aplicar principalmente para lo que fueron diseñadas. Estas técnicas se pueden aplicar en diferentes objetivos, siempre y cuando la homologación de la misma sea suficientemente bien sustentada y no deje vacíos en su implementación, ya que esto provocará un nuevo riesgo al proyecto o proceso.

Como resultado del trabajo de monografía se presentará la Tabla 1, la cual sintetiza las técnicas aplicables según las diferentes etapas de desarrollo de un proyecto de procesos en la industria de Petróleo y Gas.

Como recomendaciones a la monografía, surgiría la intención de profundizar más sobre las técnicas de análisis de riesgos en proyectos y dentro del entendimiento de PMI el análisis y desarrollo de los procesos descritos en PMBOK relacionados con riesgos.

Tabla 1. Resumen de las técnicas aplicables según las diferentes etapas de desarrollo de un proyecto de procesos en la industria de Petróleo y Gas.

		CADENA DE HIDROCARBUROS				
		Etapa Ciclo de Vida de la Instalación				
		Ingeniería Conceptual	Ingeniería Básica	Ingeniería Detalle	Operación y Mantenimiento	Desmantelación
TECNICAS CUALITATIVAS	APR					
	LISTA VERIFICACIÓN					
	QUE PASA SI?					
	QUE PASA SI CON LISTA DE VERIFICACIÓN					
	ANALISIS DE GUIA DE 2 PALABRAS					
	HAZOP					
	FMEA					
TECNICAS CUANTITATIVAS	LOPA					
	DOW F&EI					
	DOW CEI					
	FTA					
	ETA					
	HRA					
	ANALISIS DE CONSECUENCIAS					
	APLICA					
	APLICA SEGÚN CASOS ESPECÍFICOS					

BIBLIOGRAFIA

- **ABS Consulting**, Curso ANÁLISIS DE PELIGROS EN LOS PROCESOS USANDO LASTÉCNICAS HAZOP Y ¿QUÉ PASA SI?/ LISTAS DE VERIFICACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE PETRÓLEO Y GAS, Bogotá, 2012.
- **ABS Consulting**, Curso GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS, Bogotá, 2013.
- **Casal-Montiel**, Análisis de Riesgo en Instalaciones Industriales, © Los autores, 2002; © Edicions UPC, 2002. Página 16.
- **CRITERIOS PARA EL ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS**, MANUEL DE INGENIERÍA DE RIESGOS, PDVSA, PDVSA IR-S-02, Septiembre 1995.
- **DR. LOTFIGAAFAR**, Risk Management – Project Management, 2007
- **EL ABC DEL PETRÓLEO**, Instituto Argentino del Petróleo y el Gas, Buenos Aires 2009.
- **ELABORACIÓN DE UN ANÁLISIS DAFO EN ORGANIZACIONES DE TRANSPORTES**, Ministerio de Fomento de España, 2005.
- **FAUSTO FERNANDO MARTÍNEZ**. Gestión de la Planificación de los Riesgos del Proyecto, Universidad para La Cooperación Internacional, 2011
- **JAVIER DEL CARPIO GALLEGOS**. Análisis de Riesgo en la Administración de Proyectos de Tecnología de Información, Junio 2006, Universidad Autónoma del Estado de México.
- **WILLIAM BRIDGES**, Paper First Presented at ASSE Middle East Chapter Conference, Febrero, 2008, Bahrain, Process Improvement Institute, Inc (PII)