

OPTIMIZACION DE PROYECTOS DE INVERSION

(aplicando Metodología FCMC)

Paúl R. Rodríguez Jordán
PETROBRAS Energía SA
Maipú 1 Piso 19
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
e-mail: paul.jordan@petrobrasenergia.com

ABSTRACT

El trabajo propuesto es una metodología basada en normas internacionales de proyectos y construcción para aseguramiento de la Calidad en Proyectos optimizando las 4 habilidades indispensables para un proyecto: **Funcionabilidad + Constructibilidad + Mantenibilidad + Confiabilidad.**

Explicaremos durante el desarrollo del mismo las metodologías que se utilizan para cada habilidad mencionada y su implementación práctica en proyectos de desarrollo mostrando las mejoras obtenidas de costo, minimización de riesgos operativos, simplificación de mantenimientos, accesibilidad para inspección y otras.

Particularmente algunas de las metodologías descriptas están consideradas por institutos de renombre internacional como el Project Management Institute, el Construction Industry Institute y el Japan Institute of Plant Maintenance.

Como Análisis de Caso presentaremos uno de "Proyecto Bloque 31" en Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La Gestión Temprana de proyectos según la terminología de sistemas TPM ó la intervención en proyectos de operaciones (producción y mantenimiento) tiene como objetivos básicos:

- Incorporar el punto de vista de Operaciones en los proyectos
- Lograr un compromiso temprano de Operaciones con el funcionamiento posterior de las instalaciones
- Asegurar una puesta en marcha corta y efectiva (arranque vertical)
- Minimizar el costo total (inversiones más gastos operativos) de las instalaciones en el ciclo de vida.
- Minimizar riesgos operativos.

Los mismos pueden lograrse de varias maneras, desde metodologías muy simples hasta otras muy complicadas, como generar análisis cuantitativos de confiabilidad, empleando herramientas matemáticas muy complejas.

La propuesta desarrollada en este trabajo y ya experimentada en proyectos de mediana a gran envergadura particulariza esto en un método básico denominado por el autor como "metodología FCMC" con énfasis en lograr las cuatro habilidades principales de un proyecto de acuerdo con las normas del CII (Construction Industry Institute):

- **Funciona-bilidad:** Lograr que funcione según lo previsto.
- **Constructi-bilidad:** Que pueda ser construido en tiempo y forma con la tecnología disponible

- **Manteni-bilidad:** Lograr las habilidades para ejecutar tareas de mantenimiento, minimizando costos y tiempos medios para reparaciones.
- **Confia-bilidad:** Confiabilidad es la probabilidad que un sistema ó producto, funcione de modo satisfactorio durante un determinado período de tiempo si se utiliza bajo las condiciones de operación especificadas.

Esto se complementa con la aplicación posterior de metodologías de Ingeniería de Valor y medición del Índice de Madurez de proyectos denominado por el CII como PDRI (project definition rate index).

La aplicación posible de la metodología ha sido probada en los siguientes casos:

- Auto-revisión de un proyecto por el mismo ingeniero proyectista.
- Revisión de proyectos ejecutados por terceros (empresas de ingeniería).
- Auditorías de proyectos llave en mano.
- Participación de operaciones en proyectos gestionados por la misma empresa.

Aunque la metodología es genérica y aplica a cualquier situación en la que existe un proyecto que deba ser operado, asimismo no es privativa de la industria petrolera en particular sino que aplica a cualquier tipo de proyecto industrial.

Normas aplicables

Existen numerosas normas aplicables es muy largo especialmente en confiabilidad, de este universo seleccionamos las principales que afectan a la gestión del proceso en sí mismo y son:

- CII 142-2 Diseño para mantenibilidad
- CII 34-1 Implementación de constructibilidad
- ISO 14.224 Manejo de datos de confiabilidad en empresas petroleras

Metodologías aplicables

Existen además metodologías de uso común en la industria que todavía no tienen desarrollada una “norma” ó “estándar” de uso internacional pero

que también aplican en este caso, para este método utilizamos:

- Ingeniería de Valor (ver recomendaciones de SAVE International y otros)
- Diagramas FAST de funcionamiento.

Esto nos permite consolidar la metodología a utilizar a través de la fundamentación de normas ya reconocidas internacionalmente y probadas en miles de proyectos de forma individual, el valor agregado de FCMC es el sincronismo y la simultaneidad de aplicación sistemática en el marco de un sistema de gestión de proyectos. Se trató en cada caso de evitar el error común de “redescubrir la rueda” ó de trabajos asistemáticos aparentemente brillantes que solamente aplican a un caso particular.

Descripción de la metodología de Funcionabilidad

Definición: Identificar las funciones necesarias y requeridas para un proyecto y asegurar que se cumplen según las condiciones de diseño

El primer paso es asegurar que un proyecto determinado que implica un proceso de producción “funcione” según lo previsto. Esto puede ser tan elemental como la frase que utilizamos siempre: “un filtro tiene que filtrar” que es su función principal. En este caso tenemos dos metodologías aplicables en distintos niveles de profundidad según el caso específico:

F.1-Análisis de funciones principales y secundarias para cada equipo ó componente del sistema

Este tipo de análisis se utiliza básicamente en la aplicación temprana de RCM a proyectos. Normalmente es tan oneroso que en la industria petrolera no se aplica completamente, quedando limitado el método a la identificación de funciones y un estudio básico de cumplimiento de las mismas.

F.2-Diagramas FAST (se utilizan posteriormente en ingeniería de valor).

El diagrama FAST es más completo que el anterior y se utiliza cuando se justifica la ejecución posterior de análisis de ingeniería de

valor detallado. Básicamente tiene los siguientes componentes principales:

Diagrama de funciones siguiendo el proceso productivo (flujo de producto) indicando en una vertical la función principal y agregando a la derecha del mismo **Cómo lo hace** y a la izquierda **Por qué lo hace**, esto puede hacerse muy simple ó extremadamente complicado.

Para llegar a esto se pasa por las 5 fases: Listado de funciones – Organización – Caracterización – Ordenación jerárquica – Evaluación.

Límite del método: estos diagramas permiten en ambos casos llegar a la definición clara de la función esperada de cada elemento del proceso, se requiere entonces un análisis de ingeniería que garantice que el elemento proyectado cumpla con el requisito en cuestión.

Momento de aplicación: usualmente este análisis debe terminar en la ingeniería conceptual (si consideramos que en la misma se determina el proceso, si la empresa toma otra definición la etapa puede variar ligeramente).

Descripción de la metodología de Constructibilidad

Definición: Constructibilidad es el uso óptimo del conocimiento de construcción y experiencia en planificación, diseño, adquisición y operaciones de campo para lograr los objetivos del proyecto

La metodología propuesta implica 3 grandes pasos:

C.1-Identificación clara de objetivos, podemos tomar como referencia que los 5 principales objetivos son:

- Disminución de costos de construcción
- Mejoras en el cumplimiento de plazos del proyecto
- Mejoras en el acceso a la locación del proyecto
- Menores interferencias con la producción
- Mejoras en la seguridad durante el proyecto

C.2-Identificar y mitigar/eliminar las barreras que impiden la aplicación de principios de constructibilidad, como referencia las principales son:

- Complacencia con la situación actual
- Resistencia a inversiones durante la etapa de proyecto
- Limitaciones en contrataciones de precio fijo
- Falta de experiencia en construcción por los diseñadores
- Percepción de los diseñadores “nosotros ya lo hacemos”

C.3-Planificar la implementación de prácticas de constructibilidad:

- Lograr el compromiso gerencial para la implementación de constructibilidad
- Establecer un programa corporativo de constructibilidad
- Obtener competencias en constructibilidad
- Planificar la implementación
- Implementar el plan de constructibilidad
- Actualizar el programa corporativo

Descripción de la metodología de Mantenibilidad

Definición: Una característica inherente al diseño de un sistema ó producto pertinente a la facilidad, precisión, seguridad y economía en el rendimiento de la acción de mantenimiento, un parámetro de diseño relativo a la habilidad para mantener.

La metodología propuesta implica 3 grandes pasos:

M.1-Identificación clara de objetivos, por ejemplo podemos definir a priori que la mantenibilidad debe facilitar la ejecución de las tareas mencionadas en la ISO 14.224:

- Reemplazar
- Reparar
- Modificar
- Ajustar
- Rellenar
- Verificar
- Ensayar
- Inspeccionar

M.2- Particularmente en este ítem se aplican cuestionarios de control como la herramienta principal de verificación, los mismos abarcan mínimamente los temas:

- Estandarización de componentes
- Lubricación
- Ensayos
- Identificación
- Conexiones
- Software
- Cañerías
- Calentadores
- Recipientes con y sin presión interna
- Drenajes
- Intercambiadores
- Bombas
- Compresores
- Controles
- Sistemas contra incendio
- Cajas y empalmes
- Motores
- Tableros de baja y media tensión
- Conectores
- Cableados
- Transformadores

Cada cuestionario es un documento “vivo” que permite continuas actualizaciones ya que la experiencia en cada proyecto es acumulada para el próximo y así sucesivamente.

Descripción de la metodología de Confiabilidad

Definición: Confiabilidad es la probabilidad que un sistema ó producto, funcione de modo satisfactorio durante un determinado período de

tiempo si se utiliza bajo las condiciones de operación especificadas.

Conf.1-Identificación clara de objetivos

Conf.2-Como en este ítem existen numerosas metodologías aplicables, seleccionamos solamente aquéllas que tienen mayor impacto y son factibles de ejecución en todos los proyectos (considerando que no estamos en ingeniería nuclear ni aeronáutica):

Análisis de riesgo tipo HAZOP ó WHAT IF:

(no profundizamos esto para este trabajo ya que el tema es muy conocido).

Análisis de modo de falla y efectos asociados (FMEA):

En esta aplicación de FMEA adoptamos la metodología de la ASQ (American Society for Quality) con las siguientes particularidades:

Adoptamos un FMEA para diseño donde se calcula el riesgo de cada falla con el coeficiente RPN (risk priority number) antes y después de la corrección de diseño si fuera el caso.

Tomamos un límite para el RPN de 100 como “aceptable” y 50 como “óptimo”, es decir que para valores mayores el rediseño es mandatorio, entre 50 y 100 optativo y para valores menores de 50 no se requiere.

Ejemplo de aplicación en proyecto de Bloque 31 Ecuador

Como ejemplo de aplicación de la metodología FCMC podemos tomar el proyecto “Bloque 31 - Ecuador” consistente en el desarrollo integral de un campo de producción de petróleo. Incluyendo la perforación de pozos, líneas de conducción, plantas de tratamiento y reinyección de agua, bombeo a oleoductos para transporte zona costera.

Primer paso: Concienciar a la gerencia local y capacitar a los participantes en las metodologías a aplicar (curso de 3 días).

Como resultado típico de esto podemos mencionar los siguientes logros:

1-Funcionabilidad de equipos aplicada básicamente a equipos de tratamiento de agua de gran porte en la zona de selva.

2-Evaluación de funcionabilidad de transporte por oleoductos de crudos pesados con problemas de solidificación.

3-Construcción de plantas en zonas extremas tanto por el clima como por situaciones sociales, medioambientales y de transporte limitado en tamaño y temporada.

4-Ejecución de mantenimientos en zonas totalmente desfavorables, con grandes problemas de logística de materiales. Aquí particularmente el estudio de criticidad de repuestos soluciona muchos problemas y está ligado al elevado costo de transporte.

5-Aseguramos **“confiabilidad”** mínima de equipos electrónicos y ductos ante excesos de humedad ambiente y derribo continuo de árboles por envejecimiento natural (afectando líneas de ductos y de fibra óptica).

Una evaluación cualitativa pero expresada en valores numéricos comparativos como es el caso del coeficiente de riesgo RPN mostró los siguientes valores:

a-Al iniciar el análisis FMEA del proyecto “tal cual” lo entregó la empresa proyectista, observamos valores totales como sumatoria de 8.800 con 40 fallas con valores individuales de RPN superiores a 100 que es el límite fijado como aceptable.

b-Una vez implementadas las acciones correctivas emergentes del primer análisis del FMEA, la sumatoria total de los RPN quedó en 2.640 logrando que 36 de las fallas estuvieran por debajo del valor 100 tomado como límite. En todos los casos se generó un plan de trabajos para las acciones correctivas y una fecha límite de ejecución.

Cuatro fallas no pudieron lograr mediante cambios en la ingeniería básica ó de detalle los valores requeridos (permanecieron en RPN de 500, 200, 250 y 350 respectivamente) y fue

necesario cambiar la ingeniería conceptual lo que implicó un retraso de tiempos de ejecución.

Esto se consideró un acierto de confiabilidad pero un error en la etapa de implementación del FMEA. Con esto se llegó a la conclusión que el primer FMEA debe aplicarse ya en la etapa de ingeniería conceptual para evitar estos inconvenientes.

Se disponía de un análisis de confiabilidad ejecutado por la empresa contratista de proyectos incluyendo un análisis RAM y una simulación por Montecarlo, pero al realizar los FMEA fue detectado un error de base en la generación de los mismos y finalmente todo el análisis fue descartado por irrelevante. Esto demuestra que primero se debe tener el panorama general del proyecto y posteriormente aplicar complejos cálculos matemáticos.

7-Como ejemplo de **“funcionalidad”** se pudo identificar la necesidad de mantener un oleoducto de crudos pesados (gravedad máxima de 12°API). Antes del análisis el proyecto no garantizaba el flujo continuo, posteriormente al análisis se modificó el sistema de bombeo y de contingencia operativa.

8-Como ejemplo de **“mantenibilidad”** se dispusieron válvulas de retención en oleoductos para cumplir con el marco legal y posteriormente al análisis se modificó el sistema de conexiones para permitir su reparación. Con la condición de origen de diseño se requería un paro completo del ducto.

9-En este proyecto en particular el análisis de **“constructibilidad”** se había efectuado correctamente por problemas de transporte en el río Napo y el análisis no aportó modificaciones.

CONCLUSIONES

La metodología FCMC es lo suficientemente poderosa para lograr importantes mejoras en cualquier proyecto, actualmente los cuestionarios de control y la metodología de riesgos la tenemos dirigida a la industria petrolera aunque podría generalizarse.

La complejidad de los métodos utilizados debe considerarse como media, ya que la aplicación de otros superiores no parece factible de aplicar en todo proyecto. Como ejemplo no estamos aplicando sistemáticamente análisis de Markov ó simulaciones de Montecarlo ó árboles de falla cuantitativos (FTA) que potencialmente podrían llegar a mejores soluciones. (podrían incorporarse en un futuro para casos particulares).

La metodología de trabajar con grupos multidisciplinarios con la intervención de “terceros” (otros ingenieros de la empresa, contratistas y eventualmente consultores y facilitadores) analizando proyectos ayuda a la incorporación de numerosos puntos de vista, minimizando errores y aportando una visión corporativa a cada proyecto.

Es notoria la disminución drástica de riesgos operativos y mejoras de confiabilidad. Los errores de mantenibilidad conocidos no se repiten en los nuevos proyectos.

La evaluación económica del resultado de la aplicación podemos resumirla como:

1-En muchos casos no es posible determinar un número ya que el resultado es una disminución de riesgos, aventurar un número serio no es posible.

2-El costo de la ejecución de estos trabajos no va más allá de la utilización de recursos de ingeniería propios del proyecto más la participación de externos. Podemos considerar que para proyectos “grandes” como el de Bloque 31 no excede las 1.000 horas de ingeniería.

3-Algunos resultados puntuales sí pueden estimarse a partir de los siguientes datos:

3.1-Un mal funcionamiento de una planta de tratamiento de crudo puede generar la pérdida de producción repetida a razón de 2 ó 3 días por año, este valor depende de la contribución del producto y el costo del mismo.

3.2-Un taponamiento de un oleoducto (falla visualizada) puede provocar un paro total de

producción desde 12 horas hasta 24 horas como mínimo con una repetición cada 3 años.

3.3-Una falla repetida de intercambiadores (riesgo minimizado) puede provocar un costo de mantenimiento adicional de 25.000 dólares por año.

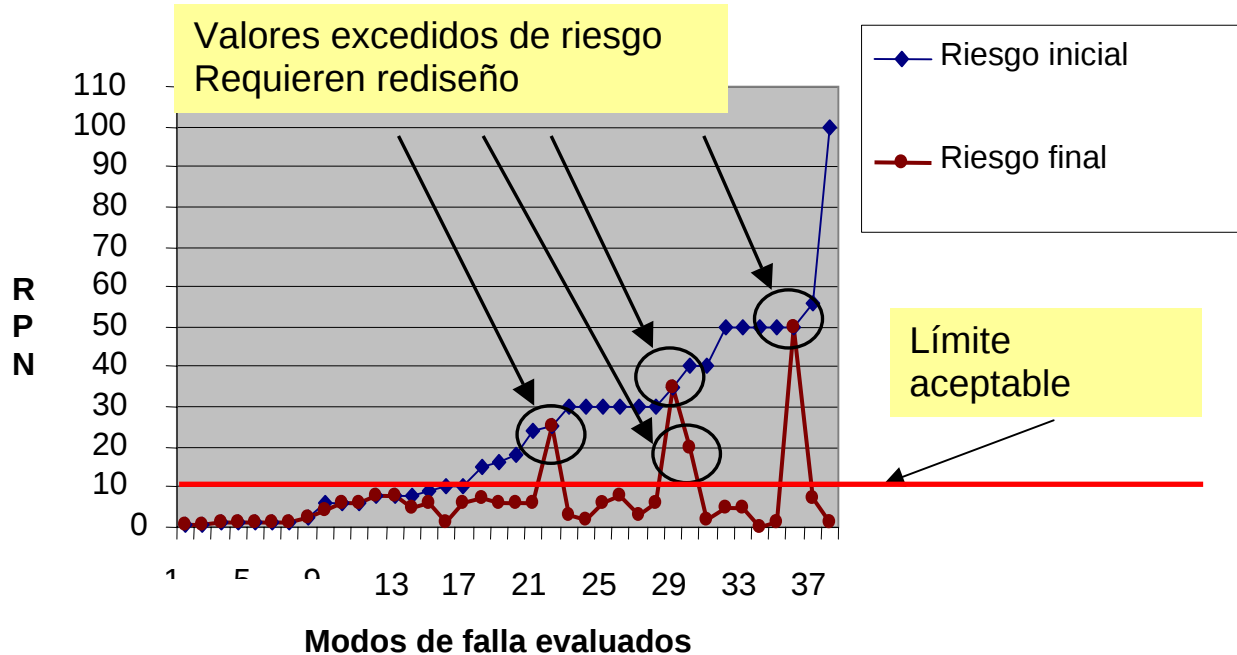
Cuantificación posible: 25.000 U\$S x 20 años de operación: 2.500.000 U\$S acumulados.

3.4-La falla de una válvula de retención mal ubicada puede también provocar una salida de servicio de oleoductos principales por un período de 24 hs una vez cada 3 años.

Cuantificación posible: $(18.000 \text{ barriles} \times 60 \text{ U$S/bbl})/3 = 240.000 \text{ dólares/año}$.

Por lo tanto, si bien no es posible obtener “un solo número” como resultado cuantitativo de la implementación de esta metodología, sí es posible cuantificar los resultados evaluando el costo de la ejecución y los logros individuales posibles de calcular. Normalmente la relación de costos es muy favorable a la aplicación de la metodología FCMC en sí misma, excepto para pequeños proyectos donde no es posible sostener el costo de la ingeniería

RIESGO DEL PROYECTO BLOQUE 31



Anexo 1

En el ejemplo de más arriba, se tomó una parte representativa del análisis FMEA, considerando para este caso 40 modos de falla analizados con sus respectivos RPN calculados ANTES y DESPUÉS de la mejora en el proyecto.

Situación de origen: Sobre 40 modos de falla analizados 23 fueron estimados como de riesgo “no tolerable”, de manera que si el proyecto continuaba en estas condiciones, la operación sería de alto riesgo de falla.

Situación final: Se adoptaron modificaciones en el proyecto que modificaron el valor de riesgo (RPN) desde los valores originales hasta los finales con el siguiente resultado:

17 modos de falla tenían valores originales de RPN iguales ó menores de 100 y por lo tanto no se generó ninguna acción correctiva.

19 modos de falla tenían valores originales de RPN mayores a 100 y se lograron soluciones de proyecto que permitieron obtener valores iguales ó menores a 100.

4 modos de falla tenían valores originales de RPN mayores a 100 y NO se identificaron soluciones

de proyecto que permitieran disminuir el riesgo. Estos modos de falla requirieron un **re-trabajo en la ingeniería conceptual** ya que en la etapa de ingeniería básica no pudieron ser solucionados. (esto se consideró una falla de calidad por detección tardía del problema).

Como valores totales obtuvimos:

RPN total para 40 modos de falla en situación de origen: 8.800 puntos

RPN total para 40 modos de falla en situación final: 2.640 puntos

Con esto podemos visualizar la efectividad del método: **disminución real del riesgo en un 70%.**

Anexo 2: Determinación del valor límite de RPN

El valor 100 adoptado como límite “no tolerable” de riesgo responde a los siguientes conceptos:

En la industria no se pudo localizar un límite numérico de riesgo normalizado, incluso en la API 581 no se define un límite en forma taxativa.

Analizamos bibliografía de referencia de FMEA con lo que pudimos observar valores tan bajos como 20 ó 16 para valores aceptables pero siempre sobre ejemplos de la industria metalmecánica.

En la industria petrolera, las consecuencias son muchísimo mayores, por lo que tomando los mismos ejemplos los valores oscilaban alrededor de 80 a 100 puntos para el RPN.

Asimismo, verificamos varios proyectos en marcha que no presentan problemas de riesgo y los valores de RPN calculados “con equipos en

marcha” también daban valores iguales ó menores a 100.

Con estos antecedentes asumimos que 100 es un valor razonable para nuestros proyectos.

Anexo 3: Datos de la instalación

La instalación detallada consiste básicamente en los siguientes equipos:

Capacidad de procesamiento de 40.000 barriles día de petróleo y 100.000 barriles día de agua de producción

2 bombas de inyección de 2.000 HP

2 bombas de oleoducto de 500 HP

4 tanques de almacenamiento con 80.000 barriles en total

Oleoductos de 40 km en selva

Planta de recepción en conexión a OCP

Usina generadora de 18.000 HP

Bibliografía de referencia

CII 142-2 Diseño para mantenibilidad

CII 34-1 Implementación de constructibilidad

ISO 142.224 Manejo de datos de confiabilidad para empresas petroleras

FMEA Publicación de ASQ por Stamatis