

COMO OBTENER UNA MEJORA EN LA PERFORMANCE DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD (RAM)

Juan Ignacio Igartúa, GIE S.A., igartua@giegroup.net

Gerardo Soula, GIE S.A., soula@giegroup.net

Luciano Carlini, GIE S.A., carlini@giegroup.net

Sinopsis

Un análisis RAM (Reliability, Availability and Maintainability – Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) se utiliza para predecir la performance de procesos o sistemas, y provee una base para la optimización de los mismos. El indicador de performance principal es la Disponibilidad, el cual representa la fracción de tiempo que el sistema es completamente funcional.

El análisis RAM desarrollado se llevó a cabo sobre un sistema de transporte de Gas de 30" (0,762 m) y más de 500 Km (500.000 m) de longitud que posee 4 estaciones de compresión a lo largo de la traza. La capacidad de transporte de diseño es de 32,5 MMm³/día (376,2 m³/s) operando al 80% de la tensión mínima de fluencia especificada. La condición contractual de la operación exige un cumplimiento de entrega en firme que exige una disponibilidad del activo del 95%.

El estudio permitió:

- Detectar oportunidades de mejora que permitieron optimizar la disponibilidad y confiabilidad.
- Proveer alternativas para lograr mayor flexibilidad en la operación reduciendo la probabilidad de incumplimiento del contrato de transporte de gas.
- Optimizar el sistema bajo la premisa maximizar el beneficio del negocio.

Se modeló el sistema de transporte, incluyendo el gasoducto y sus instalaciones de superficie asociadas, así como las instalaciones de compresión y auxiliares. Se modeló mediante un diagrama de bloques utilizando un software (BlockSim 9 – Reliasoft) de modo de simular la situación actual y las potencialidades de mejora. Para el análisis estadístico computacional, se estableció un ciclo de vida de 10 años y escenarios de condiciones de transporte y volúmenes contractuales máximos.

El modelado arrojó 12 escenarios de mejora, los cuales permitían un incremento de la disponibilidad del sistema hasta un 98%. Esto representa un incremento en la disponibilidad del orden del 3%, aumentando el volumen anual entregado, y, por consiguiente, la facturación y la rentabilidad de la compañía.

Introducción

En la industria petroquímica, de petróleo y de gas natural, se destina gran atención a la seguridad, confiabilidad y mantenibilidad del equipamiento. En equipos con falta de confiabilidad, los costos anuales son muy elevados. Por lo tanto, recientemente, se ha destinado un mayor énfasis al diseño y mantenimiento rentable de las nuevas instalaciones. En este sentido, los datos sobre las fallas, los mecanismos de falla y el mantenimiento relacionado con estas instalaciones industriales y sus operaciones han obtenido mayor importancia. Es necesario que esta información sea utilizada por, y comunicada entre, las diversas partes y sus disciplinas, dentro de la misma empresa o entre compañías. Varias metodologías de análisis son usadas para estimar el riesgo de peligros para las personas y el ambiente, o para analizar el rendimiento de plantas o sistemas. Para que este tipo de análisis sea efectivo y decisivo, la confiabilidad y el mantenimiento del equipamiento son vitales.

Un análisis RAM (Reliability, Availability and Maintainability – Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) es típicamente utilizado para predecir la performance de procesos o sistemas de transporte y proveer una base para la optimización de tales sistemas. El indicador de performance principal es la Disponibilidad, el cual representa la fracción de tiempo que el sistema es completamente funcional. Generalmente, una instalación o proceso complejo es dividido en un número de subsistemas. Las

instalaciones identificadas con una influencia más grande en disponibilidad pueden ser investigadas en más detalle y se pueden realizar, en consecuencia, cambios de diseño para optimizar el rendimiento.

El análisis RAM permite estimar, para un período de tiempo determinado, la disponibilidad de un sistema basado en su configuración, en la confiabilidad de sus componentes y en la filosofía de operación y mantenimiento. La base fundamental de este análisis es la determinación por medios probabilísticos o analíticos de los MTTF, MTBF y MTTR de los equipos que conforman los sistemas, con la finalidad de determinar las debilidades de los mismos y poder tomar decisiones sobre las políticas de mantenimiento y confiabilidad, manejos de inventarios, utilización de nuevas tecnologías y filosofías operacionales, tanto en las etapas de diseño como en la operación normal de las instalaciones.

La primera actividad de un análisis RAM consiste en la asignación de las tasas de falla y reparación de los componentes o equipos que conforman el sistema, así como la revisión de los planes de mantenimiento programado y no programado. Con este objetivo se deben realizar las siguientes tareas:

- Recopilación de información histórica propia de la empresa: recolección de información de campo sobre los datos de falla (tipo y frecuencia) y datos de mantenimiento (tipo y frecuencia) y reparación de sus equipos. La cantidad y calidad de este tipo de información son de gran importancia para este estudio ya que reducen los valores de incertidumbre en el análisis.
- Recopilación de opinión de expertos: existen casos donde no se cuenta con información suficiente de campo, y en ausencia de ella existen metodologías que permiten la recolección de información a partir de la opinión de expertos.
- Búsqueda y adecuación de información: con la finalidad de obtener resultados confiables, es extremadamente importante complementar la información de fallas propias del sistema, con datos de confiabilidad genéricos provenientes de bases de datos internacionales, como OREDA.
- Se deben llevar a cabo entrevistas formales con personal asociado al proceso productivo (operadores, analistas, ingenieros de procesos), con el objetivo de revisar y definir la filosofía de operaciones del proceso productivo bajo estudio. Esto incluye la revisión de los PI&D, diagramas funcionales, diagramas de proceso, registros de operación y fallas, programas de mantenimiento y otras fuentes de información para complementar el análisis.
- La información resultante de las tareas anteriores se utiliza para obtener una estimación representativa de las tasas de falla y reparación característica del sistema en estudio.

Estos análisis requieren una clara comprensión de las características técnicas de los equipos, sus condiciones operativas o ambientales, sus fallas potenciales y sus actividades de mantenimiento. Puede ser necesario contar con datos que cubran varios años de operación para obtener resultados de análisis confiables. Es necesario, por lo tanto, ver a la actividad de colección de datos como una actividad a largo plazo, planeada y ejecutada con metas u objetivos apropiadas. Al mismo tiempo, la claridad en cuanto a las causas de los fracasos es clave para el establecimiento de prioridades y para la implementación de acciones correctivas que resulten en mejoras sostenibles de la confiabilidad, lo que lleva a una mejora de la rentabilidad y la seguridad.

Luego, se realiza la construcción del Diagrama de Bloques de Confiabilidad (RBD), donde se representa la configuración del sistema en modelos de bloque lo que implica la revisión detallada de los PI&D, diagramas funcionales y diagramas de proceso. Es necesario verificar la representatividad que el modelo diseñado tiene del sistema bajo estudio.

La siguiente actividad consiste en la combinación de la información de tasas de falla y reparación con el modelo RBD diseñado. El modelado finaliza con la generación de un número pre-establecido de escenarios y la realización de un análisis de sensibilidad, para establecer el impacto de cada componente del sistema en la disponibilidad.

De un análisis RAM se puede obtener, entre otras cosas:

- **Disponibilidad total:** número de horas durante las que se espera que el proceso o sistema funcionará correctamente.
- **Jerarquización de los equipos o sistemas críticos:** permite conocer la proporción con la cual los equipos o subsistemas estudiados afectan la disponibilidad del sistema. De esta manera, se puede saber qué equipo o sistema es más importante al momento de estudiar la disponibilidad, y se puede optimizar la estrategia de mantenimiento para los distintos equipos/sistemas.
- **Información de confiabilidad:** se utiliza para definir una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad de los equipos, que permita maximizar el tiempo de uso entre fallos de los equipos.

Un análisis RAM permite:

- Optimizar la productividad
 - Identificando equipos, procedimientos, operaciones, etc. a los que se pueden aplicar cambios con el objetivo de disminuir la probabilidad de pérdida de producción/operación.
 - Estudiando los resultados obtenidos para realizar análisis de sensibilidad que permitan comparar los impactos de las modificaciones en el sistema.
 - Determinando el impacto de los inventarios y los servicios en la disponibilidad del sistema.
 - Considerando estrategias de mantenimiento para minimizar los tiempos de baja.
- Minimizar costos
 - Minimizando las pérdidas de contratos debido a fallos en la producción.
 - Optimizando los inventarios y recursos de mantenimiento.

Desarrollo

El sistema bajo análisis se encuentra constituido por un gasoducto de 30" (0,762 m) y 500 Km (500.000 m) de longitud. Cuenta con cuatro estaciones compresoras a lo largo de la traza, tres estaciones de medición y dos puntos de entrega de gas natural. La confiabilidad de cada componente y sistema en particular contribuye a la disponibilidad total del sistema, siendo las unidades turbocompresoras las unidades más críticas del sistema. Las estaciones compresoras 1, 2 y 3 cuentan con 2 unidades turbocompresoras, y la estación 4 cuenta con 5 unidades turbocompresoras. Se cuenta con un servicio estratégico de mantenimiento que garantiza una confiabilidad mínima, para todas las unidades turbocompresoras, de un 97%.

Las estaciones de compresión están constituidas por un área de compresión (donde se ubican los turbocompresores), generadores de energía (con redundancia), compresores de aire para instrumentos (con redundancia) y un sistema de gas de utilidades. Adicionalmente, el gasoducto cuenta con 18 válvulas de seguridad (tipo bola), de 30" (0,762 m), a lo largo de la longitud del ducto, las cuales tienen la función de bloquear el gasoducto en casos de emergencia.

El sistema inicia en una estación de medición, donde se recepciona el fluido a transportar. El primer punto de entrega se encuentra en la estación de compresión 2, donde se cuenta con una estación de medición. En este punto, se cuenta con un compromiso contractual interrumpible de 2 MMm³/día (23,2 m³/s). Luego, se cuenta con un punto de entrega posterior a la estación de compresión 4, con un compromiso contractual firme de 30,5 MMm³/día (353 m³/s).

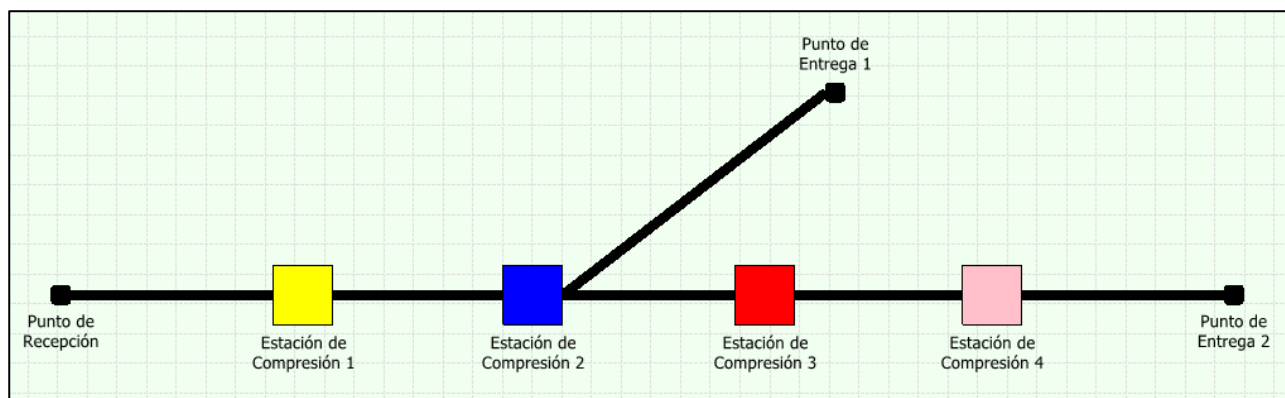


Figura 1. Esquema de sistema bajo análisis (Estaciones de compresión y puntos de entrega).

A partir de la recolección, análisis y procesamiento de la información del sistema bajo análisis, se determinaron los datos a ser utilizados para cada componente del sistema y se definió el diagrama de bloques de confiabilidad (RBD – Reliability Block Diagram) necesario para realizar el análisis RAM. En las imágenes siguientes se esquematizan algunos de los RBD que representan el sistema en análisis y su operación, que fueron empleados para realizar las simulaciones. Estos fueron construidos a partir del estudio detallado de los planos de construcción de cada una de las estaciones.

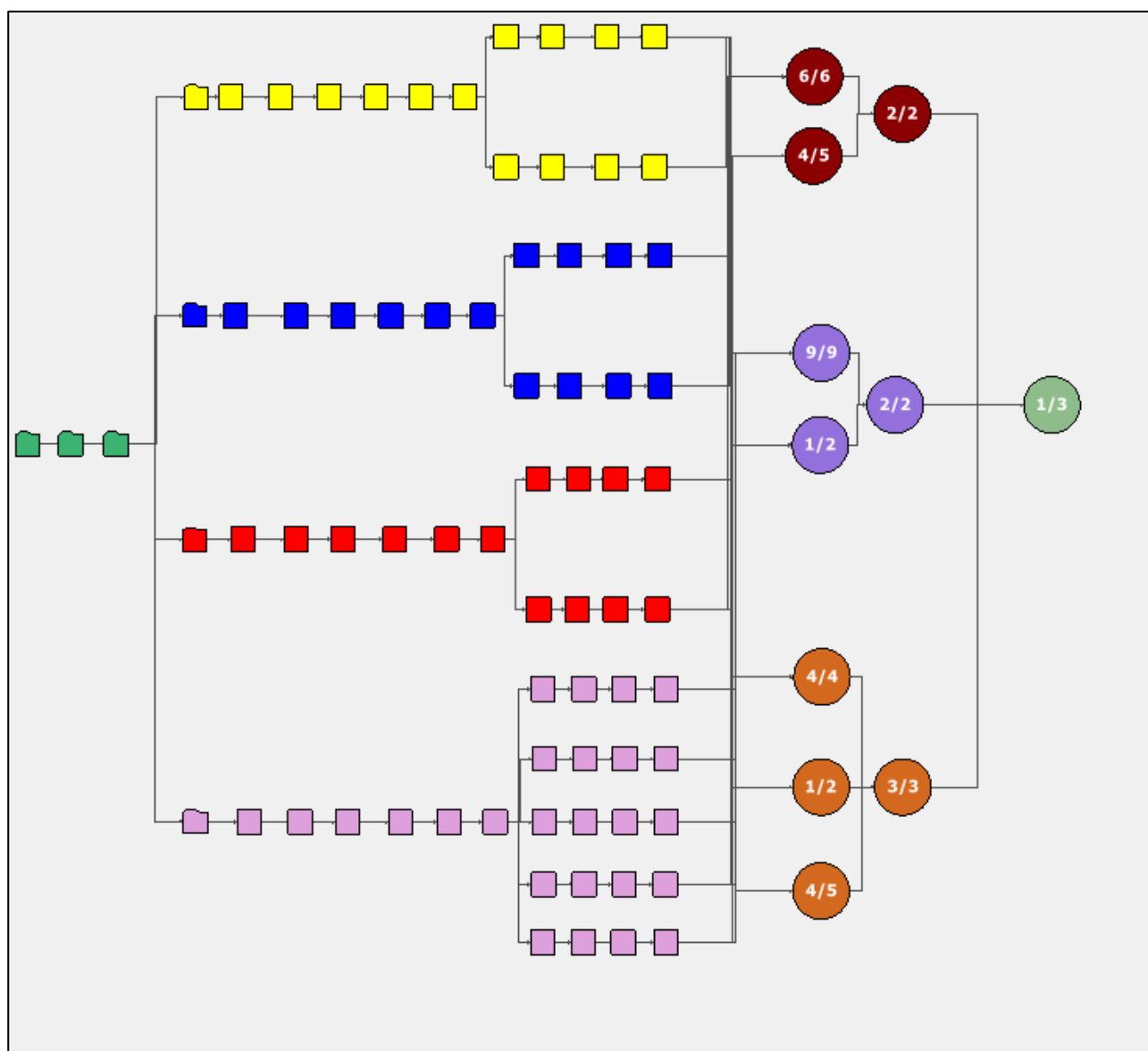


Figura 2. Diagrama de bloques de confiabilidad (RBD) cumplimiento máximo volumen contractual.

En la Figura 2 se presenta el diagrama de bloques de confiabilidad que representa el cumplimiento del máximo volumen contractual en los dos puntos de entrega del sistema bajo análisis. Los bloques representan diferentes subsistemas o equipos. Los bloques verdes representan a los siguientes subsistemas: 1) Ducto y válvulas de bloqueo asociadas, 2) Estación de medición en punto de entrega 1, y 3) Estación de medición en punto de entrega 2. Los bloques amarillos representan los diferentes equipos presentes en la estación de compresión 1, los bloques azules los equipos en la estación de compresión 2, los bloques rojos los equipos en la estación de compresión 3, y los bloques rosas los equipos en la estación de compresión 4. Los nodos, a la derecha de la figura, representan los diferentes escenarios que permiten el cumplimiento de entrega de máximo volumen contractual.

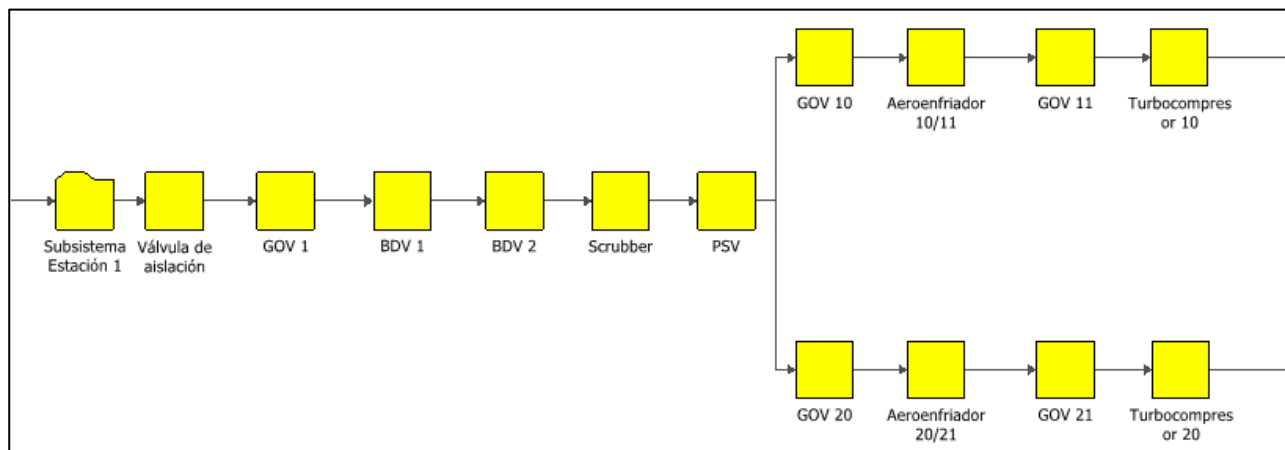


Figura 3. RBD de estación de compresión 1.

En esta figura se observan los distintos subsistemas y equipos que conforman la estación de compresión 1, y la arquitectura del Diagrama de Bloques de Confiabilidad. Dentro del bloque “Subsistema Estación 1” se encuentran los subsistemas correspondientes a: “Generación de energía”, “Gas de utilidad”, “Aire de instrumentos”, y “Sistema de control”.

Una vez construido los RBD generales y particulares del sistema y de cada subsistema, se procede a la determinación y carga de los datos de confiabilidad de cada equipo. Para determinar la confiabilidad de los turbocompresores de gas que componen las distintas estaciones de compresión, se consideran los informes de índices de disponibilidad/confiabilidad. Se utilizaron los valores de confiabilidad promedio mensuales y se los comparó con el valor mínimo de confiabilidad del 97% que garantiza el contrato de servicio de mantenimiento estratégico. En la siguiente figura se presentan los valores de la confiabilidad promedio de los turbocompresores de gas para cada mes.

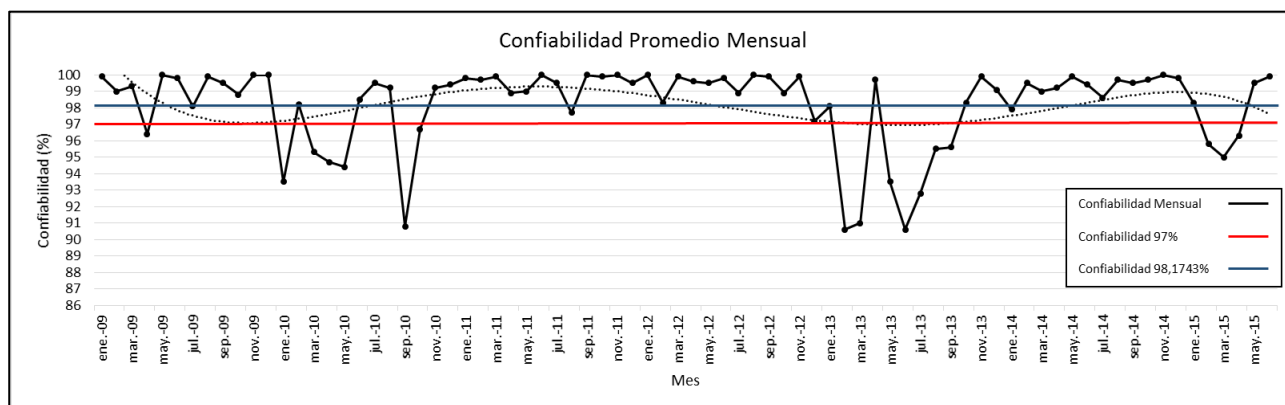


Figura 4. Confiabilidad promedio de los turbocompresores para cada mes.

Para el resto de los equipos (aeroenfriadores, calentadores de gas, cromatógrafos, computadores de flujo, sensores multivariable, scrubber, válvulas, filtros, separadores, ESD, UPS, PLC) se consideraron las fallas que los afectaron analizando las órdenes de trabajo y los reportes operativos diarios para determinar el MTBF de cada equipo.

Además, se utilizaron los programas de mantenimiento anual y mensual para establecer los datos referidos a los mantenimientos preventivos y correctivos que se realizan sobre el sistema analizado. Se complementó la información recolectada, utilizando el manual “Offshore Reliability Handbook – OREDA”, el cual brinda datos estadísticos de confiabilidad para diferentes equipos.

Durante el análisis de la información y la obtención de los datos necesarios de confiabilidad, se observó, en algunos casos, la necesidad de la optimización y estandarización de los métodos de registro de información.

Para el desarrollo de la simulación se utilizó el programa informático “BlockSim 9” de ReliaSoft. El mismo permite evaluar el sistema, a través de un proceso matemático basado en la simulación de Monte Carlo, para emular su evolución temporal.

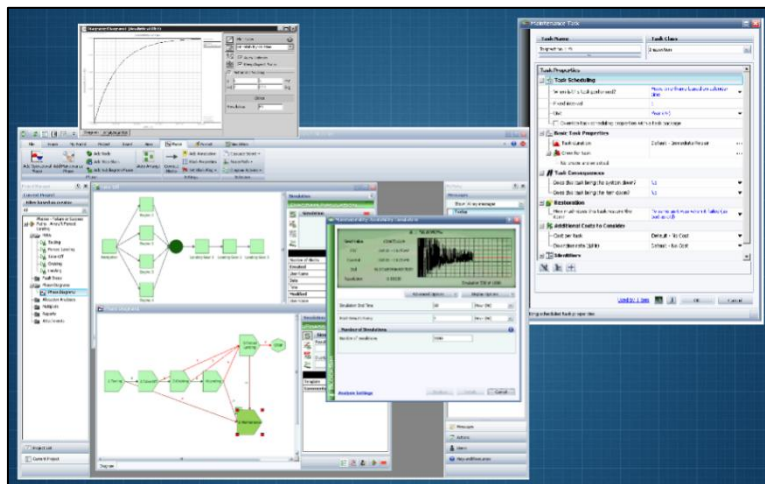


Figura 5. Software de simulación.

Se simuló el caso de máximo volumen contractual en los dos puntos de entrega. Se analizó un ciclo de vida del sistema de 10 años a partir de la información brindada por la compañía operadora, realizando, en cada simulación, 10.000 iteraciones para optimizar la convergencia de los resultados obtenidos.

Para el cumplimiento de entrega de máximo volumen contractual tanto en el punto de entrega 1 como en el punto de entrega 2 del sistema, se cuenta con los siguientes escenarios posibles:

- Los dos turbocompresores de las estaciones de compresión 1, 2 y 3 operando, y 4 de los 5 turbocompresores de la estación de compresión 4 operando.
- Todos los turbocompresores de las estaciones de compresión 1, 2 y 4 operando, y 1 de los 2 turbocompresores de la estación de compresión 3 operando.
- Los dos turbocompresores de las estaciones de compresión 1 y 2 operando, 1 de los turbocompresores de la estación de compresión 3 operando, y 4 de los 5 turbocompresores de la estación de compresión 4 operando.

La simulación de esta condición predijo una disponibilidad promedio del sistema del 95% durante los 10 años de operación (cuando la referencia de las mejores prácticas indica que la Disponibilidad de una Planta Clase Mundial es >97%). Considerando el máximo caudal de entrega ($32,5 \text{ MMm}^3 = 376,2 \text{ m}^3/\text{s}$) y el precio del gas natural ($3,54 \text{ USD/MMBtu} \equiv 0,125 \text{ USD/m}^3$), la operación del sistema representa una facturación anual del negocio de USD 1.425.000.000. Al mismo tiempo, un aumento en la disponibilidad del sistema del 1%, representa un aumento de USD 15.000.000 en un año, y en consecuencia de USD 150.000.000 en el periodo simulado (10 años).

La disponibilidad resultante de la simulación (95%), considera todos los eventos, tanto la indisponibilidad del sistema por fallas como por mantenimientos preventivos. La simulación estima un tiempo total de detención de 4400 hs, del cual el 70% corresponde a fallas y el porcentaje restante a mantenimientos

preventivos (la referencia de las mejores prácticas de la industria indica que las relaciones deberían ser inversas para corresponderse con una planta Clase Mundial, es decir un 70% de mantenimientos preventivos y predictivos, y un 30% de mantenimientos correctivos). Por otro lado, el MTBF resultante, del sistema completo, es de aproximadamente 1500 hs. Esto implica, que cada 1500 hs se presenta una falla en un equipo o subsistema en particular que genera la indisponibilidad de todo el sistema (en este indicador no se contempla el tiempo de reinicio de la operación del sistema).

Las siguientes figuras representan la disponibilidad instantánea y la disponibilidad media del sistema para cada tiempo del ciclo de vida evaluado.

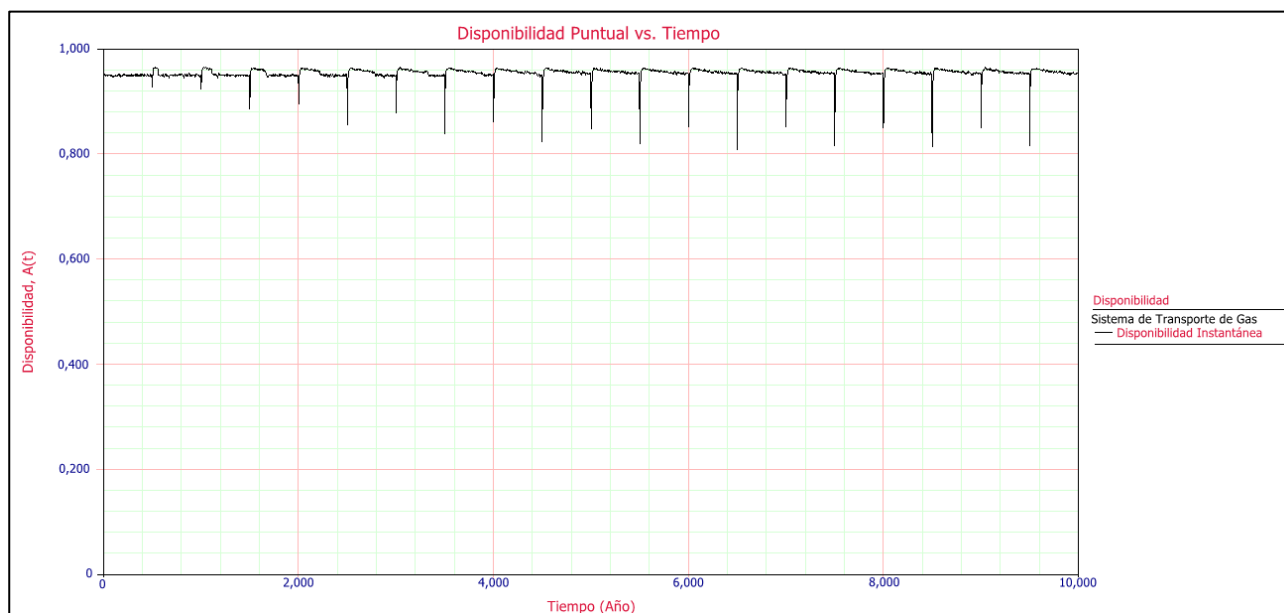


Figura 6. Disponibilidad instantánea del sistema para cada tiempo del ciclo de vida evaluado (10 años).

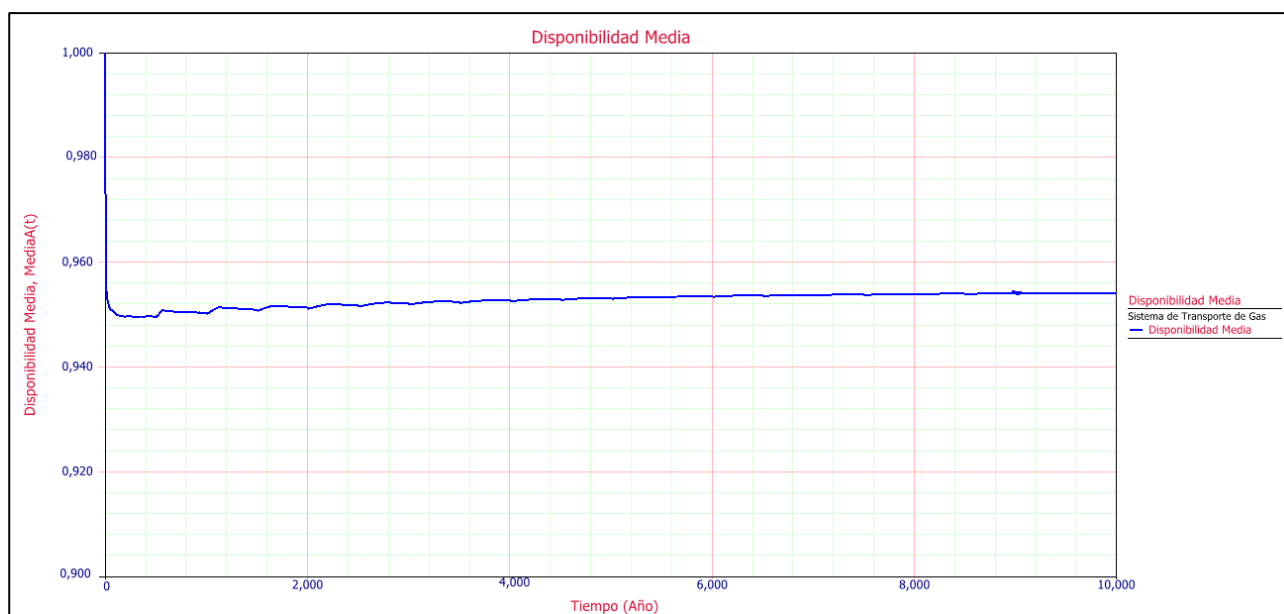


Figura 7. Disponibilidad media del sistema para cada tiempo del ciclo de vida evaluado (10 años).

Por otro lado, se analizó la contribución de cada uno de los equipos a la indisponibilidad del sistema. En la tabla a continuación, puede observarse cómo afecta cada equipo a la no disponibilidad del sistema, determinando de esta manera la criticidad de cada equipo en el análisis de disponibilidad del sistema.

Equipo	Contribución a Indisponibilidad	Pérdida Absoluta de Disponibilidad
Turbocompresor 10 Estación 1	15,27%	0,7002%
Turbocompresor 20 Estación 1	14,39%	0,6598%
Turbocompresor 20 Estación 2	14,18%	0,6502%
Turbocompresor 10 Estación 2	13,74%	0,6300%
Sistema ESD Estación 4	1,49%	0,0683%
UPS Estación 1	1,28%	0,0587%
Scrubber V-0601 Estación 4	1,11%	0,0509%
Scrubber F-8030 Estación 4	1,11%	0,0509%
Turbocompresor 1C Estación 4	1,09%	0,0500%
PLC Estación 4	1,08%	0,0495%

Tabla 1. Contribución de equipos a la indisponibilidad.

De los resultados, puede analizarse que los turbocompresores de gas correspondientes a las estaciones de compresión de 1 y 2 contribuyen en un **57,6%** en la indisponibilidad del sistema, representando una pérdida absoluta del **2,64%** de la **disponibilidad del sistema**. La siguiente figura representa como incide cada equipo en la disponibilidad del sistema:

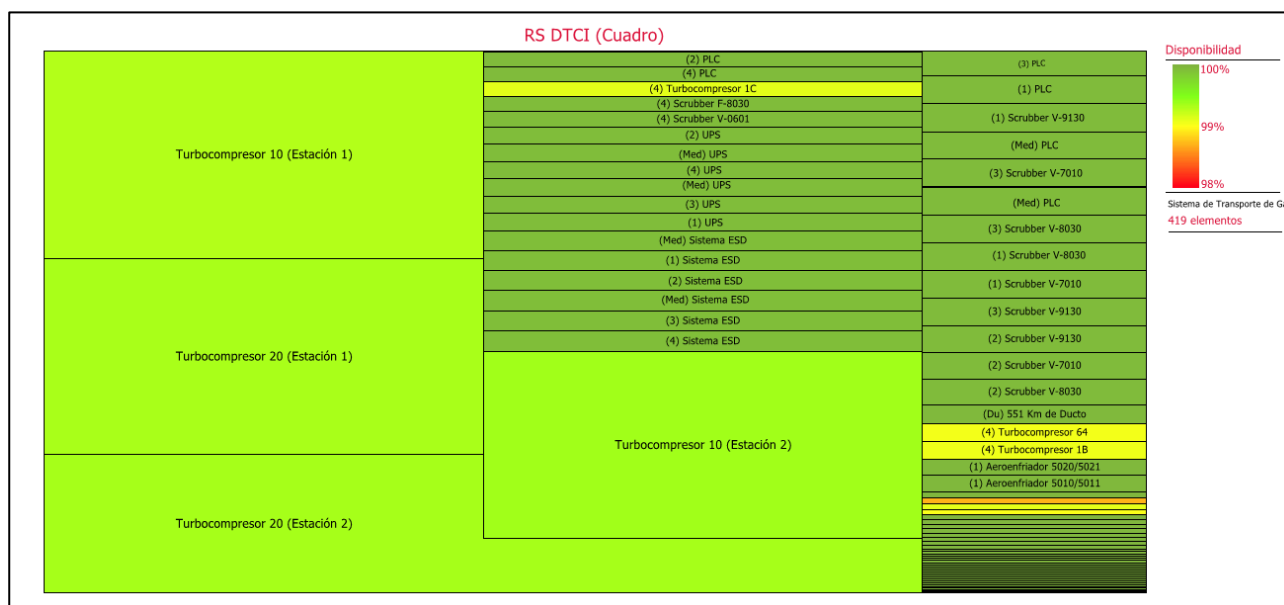


Figura 8. Índice DTIC para el sistema.

Esta figura representa el índice DTIC del sistema. Este índice es un índice relativo que muestra la contribución de cada ítem en el “downtime” del sistema y la disponibilidad de cada uno de los ítems. La escala de colores representa la disponibilidad de cada ítem en particular, mientras que el tamaño de los cuadros de cada ítem representa como afecta esta disponibilidad particular del ítem a la disponibilidad total del sistema. Puede observarse, entonces, que no necesariamente, los ítems con menor disponibilidad son los que aportan mayor pérdida de disponibilidad del sistema.

En la siguiente tabla, puede observarse cuáles son los grupos de equipos que más afectan la disponibilidad del sistema operado bajo análisis.

Grupo	Contribución a Indisponibilidad	Pérdida Absoluta de Disponibilidad
-------	---------------------------------	------------------------------------

Turbocompresores	60,63%	2,78%
Sistema de Control	22,87%	1,05%
Scrubber	11,43%	0,52%
Ducto y Válvulas	1,96%	0,09%
Aeroenfriadores	1,63%	0,07%

Tabla 2. Efectos sobre la disponibilidad según el tipo de equipo.

Se observa que son los turbocompresores los equipos que mayor incidencia tienen sobre la indisponibilidad del sistema, aportando una pérdida absoluta de disponibilidad del 2,78 %. Luego de los turbocompresores, el sistema de control, constituido por diferentes ítems, es el grupo de equipos que más contribuye a la indisponibilidad del sistema.

Dentro del grupo de sistema de control se consideran los ítems siguientes: sistema ESD, UPS y PLC. En la siguiente figura se presenta la incidencia de cada ítem del grupo del sistema de control.

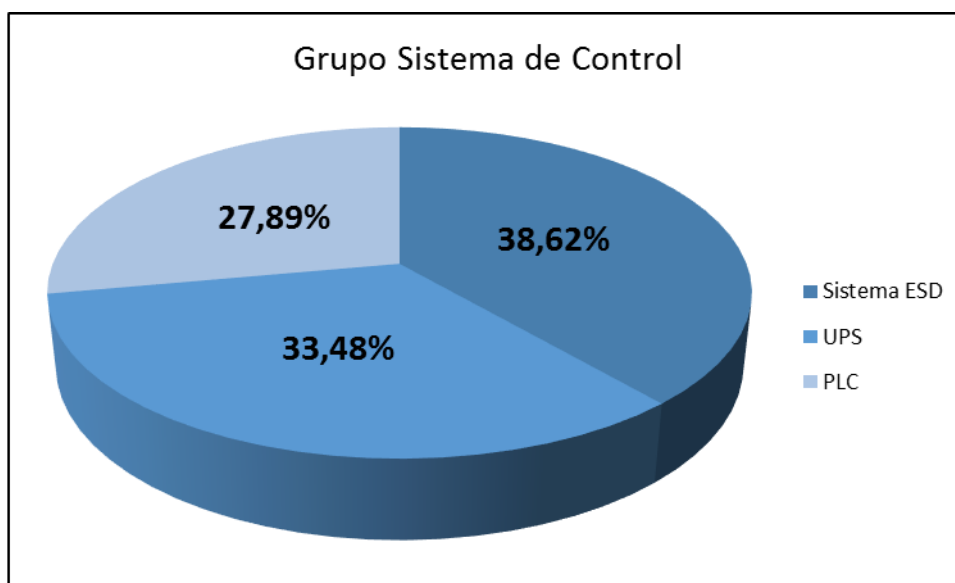


Figura 9. Incidencia de cada ítem del grupo sistema de control.

Por otro lado, en la simulación realizada, se observó que de los tiempos de detención ocasionados por fallas, el 23% corresponde al traslado del equipo encargado del mantenimiento correctivo desde su ubicación hasta la estación que lo requiere. Adicionalmente, los tiempos de reparación se ven afectados por los tiempos de traslado de los repuestos hasta el lugar donde se debe realizar la reparación.

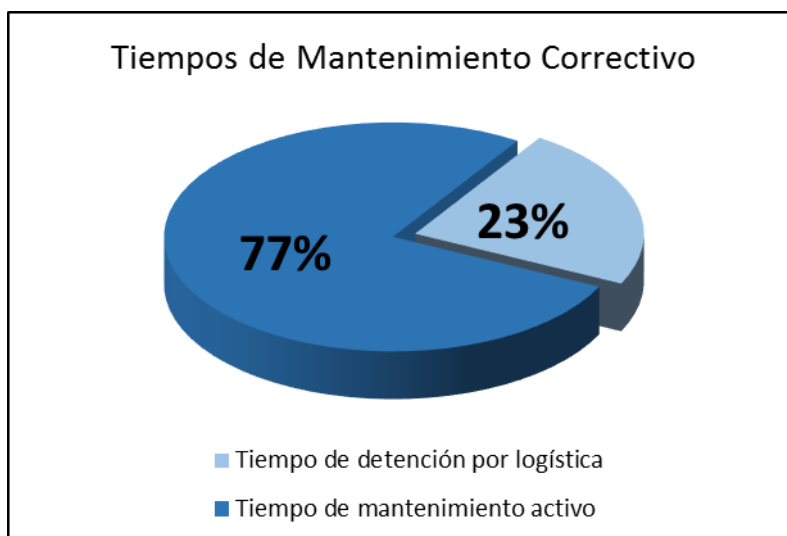


Figura 10. Composición del tiempo de mantenimiento correctivo.

Además, independientemente de cómo inciden en la disponibilidad del sistema, los equipos que individualmente presentan menor disponibilidad (ya sea por cantidad de fallas, tiempos de mantenimiento correctivo o preventivo) son: los turbocompresores, los generadores eléctricos, el sistema de control, los compresores de aire y los equipos de medición de variables operativas. Respecto a la incidencia de cada subsistema en la disponibilidad media del sistema, se observa mayor incidencia de las estaciones de compresión 1 y 2 como consecuencia de la importancia de las unidades turbocompresoras de estas unidades.

La siguiente tabla presenta la incidencia de cada subsistema en las pérdidas de disponibilidad del sistema. Puede observarse que los subsistemas que más inciden son la estación de compresión 1 y la estación de compresión 2. Esto se debe principalmente a las características operativas del sistema y a la criticidad que tienen los turbocompresores de estas estaciones de compresión para cumplir con los máximos volúmenes contractuales.

Subsistema	Incidencia de cada subsistema en la disponibilidad del sistema	Pérdida absoluta de disponibilidad por subsistema
Estación de Medición 1	1,62%	0,08%
Estación de Compresión 1	36,65%	1,83%
Estación de Compresión 2	36,90%	1,85%
Estación de Compresión 3	3,96%	0,20%
Estación de Compresión 4	10,86%	0,54%
Estación de Medición 2	5,31%	0,27%
Ducto y válvulas	4,70%	0,24%

Tabla 3. Incidencia de cada subsistema en la disponibilidad del sistema.

A partir de los resultados obtenidos previamente, se plantean y analizan diferentes alternativas que permiten el aumento de la disponibilidad del sistema, y en consecuencia de la flexibilidad de la empresa para cumplir con los compromisos contractuales. A continuación, se evalúan las alternativas que inciden aumentando la disponibilidad del sistema en estudio:

Caso 1: Aumento de la confiabilidad de los turbocompresores

Según los resultados obtenidos en las simulaciones, los turbocompresores son los equipos que más inciden en la disponibilidad del sistema. Por lo tanto, la primera evaluación que se realizó fue la de aumentar la confiabilidad de los turbocompresores. Si se implementara un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras, como complemento y fiscalización del contrato de mantenimiento, de forma tal que se garantice que la confiabilidad de los turbocompresores nunca sea menor al 97%, se podría aumentar la confiabilidad promedio hasta el 98,8218%, lo que representa un aumento del 0,6595%.

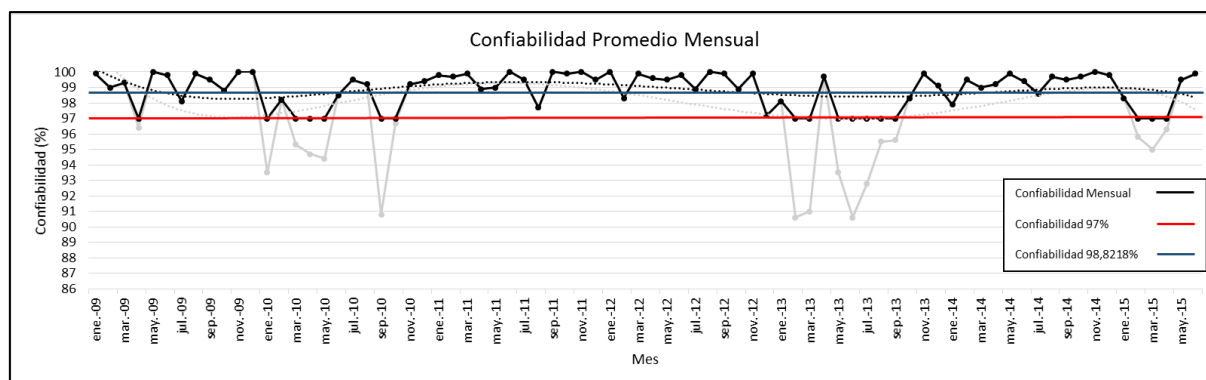


Figura 11. Confiabilidad promedio mensual de los turbocompresores de gas según el Caso 1.

La utilización de esta alternativa permitiría aumentar la confiabilidad de los turbocompresores de todas las estaciones de compresión, permitiendo aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 96,8% (aumento de un 1,8% de disponibilidad).

Caso 2: Mejora del sistema de control en las estaciones

Dada la recurrencia de fallas en diferentes equipos y dispositivos que forman parte del sistema de control de planta, la disponibilidad del sistema se ve afectada notablemente. Sin embargo, no es posible con la información disponible determinar las causas de las diversas fallas. Para esto, es necesario realizar acciones que permitan verificar el estado de los diferentes equipos y dispositivos, y que minimicen o erradiquen los eventos causales de fallas.

En este estudio se considera el aumento de la confiabilidad del Sistema de Control de todas las estaciones para analizar cómo se manifiesta en los resultados de disponibilidad del sistema. Con el objetivo de aumentar la confiabilidad se analiza aumentar la redundancia de los sistemas UPS, ESD y PLC, obteniendo un aumento de la disponibilidad del sistema de control desde 99,81% a 99,99%. Este aumento de la disponibilidad podría obtenerse minimizando los causales de falla o evaluando el rediseño de dichos sistemas, entre otras alternativas.

El aumento de la confiabilidad del Sistema de Control de todas las estaciones podría permitir aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 96,35% (aumento de un 1,35% de disponibilidad). Adicionalmente, la cantidad de eventos que detienen el sistema se podría ver disminuido en aproximadamente un 50%.

Caso 3: Combinación de Caso 1 y Caso 2

Se evalúa la combinación de las condiciones simuladas en el Análisis 1 y en el Análisis 2 para el período de vida en estudio del sistema. Es decir, este análisis contempla el aumento de la confiabilidad de los turbocompresores y el aumento de la confiabilidad del sistema de control del sistema.

A partir de la implementación de un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras y un análisis de fallas, con la posterior optimización, del sistema de control se podría aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 98% (aumento de un 3% de disponibilidad).

Caso 4: Redundancia de turbocompresores en estación de compresión 2

Otra alternativa para aumentar la confiabilidad de los turbocompresores es aumentar la redundancia de los mismos. Como se observó en las primeras simulaciones presentadas, los turbocompresores de las estaciones de compresión 1, 2 y 3 (4 presenta redundancia en sus turbocompresores) son las que más afectan la disponibilidad del sistema. De estas tres estaciones, es la estación de compresión 2 la que mayor pérdida de disponibilidad genera por la confiabilidad de sus turbocompresores, la arquitectura del sistema y las condiciones operativas. Por lo tanto, en este análisis se evaluará la incorporación de un turbocompresor redundante en la estación de compresión 2.

El aumento de la confiabilidad a partir de la instalación de un equipo redundante en la estación de Compresión 2 podría permitir aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 96,7% (aumento de un 1,7% de disponibilidad). La incorporación de equipos redundantes en las estaciones de compresión 1 y 2 podrían incidir de forma similar en la variación porcentual de la disponibilidad del sistema.

Caso 5: Implementación de actividades de integridad en Scrubbers

Dentro del sistema en análisis existen equipos que, si bien cuentan con frecuencias de falla que no son tan críticas como las de otros equipos, no presentan ni redundancia ni actividades de inspección o mantenimiento registradas. Con lo cual una falla suya podría repercutir en la falla operacional del sistema. Estos equipos son los Scrubbers. Por lo tanto, para aumentar la flexibilidad del sistema se realiza el análisis implementando actividades de integridad a estos equipos (inspecciones y mantenimiento preventivo).

La implementación de actividades de integridad en los equipos mencionados de todas las estaciones podría permitir aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 95,6% (aumento de un 0,6 % de disponibilidad).

Caso 6: Cuadrillas de mantenimiento en todas las estaciones

En este análisis se considera la posibilidad de contar con cuadrillas de mantenimiento en todas las estaciones, tanto de compresión como de medición. Esta alternativa permitiría reducir los tiempos de logística del mantenimiento evitando tiempos de espera por el traslado de los equipos de mantenimiento.

Contar con cuadrillas de mantenimiento en todas las estaciones podría permitir aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 95,6% (aumento de un 0,6% de disponibilidad).

Caso 7: Optimización de la formación de los mantenedores

En este análisis se considera la reducción en un 50% de todos los tiempos activos de reparación de los diferentes equipos que conforman el sistema. Para obtener esta reducción se debe evaluar la revisión y/o implementación de los procedimientos de reparación y/o del programa de formación técnica de los encargados de realizar los mantenimientos tanto correctivos como preventivos.

La reducción de los tiempos activos de reparación en un 50% podría permitir aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 96,4% (aumento de un 1,4% de disponibilidad).

Caso 8: Optimización de la formación de los mantenedores del sistema de control

En este análisis se considera la reducción en un 50% de los tiempos activos de reparación del 50% de las fallas que afectan a los diferentes equipos que conforman el sistema de control. Para obtener esta reducción se debe evaluar la revisión y/o implementación de los procedimientos de reparación y/o del programa de formación técnica de los encargados de realizar los mantenimientos tanto correctivos como preventivos, o la posibilidad de formar a los encargados de llevar a cabo la operación en las diferentes estaciones para que sean capaces de realizar ciertas reparaciones de los componentes del sistema de control.

La reducción de los tiempos activos de reparación en un 50%, del 50% de las fallas que afectan al sistema de control de cada estación, podría permitir aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 95,5% (aumento de un 0,5% de disponibilidad).

Caso 9: Combinación de Caso 1 y Caso 7

Se evalúa la combinación de las condiciones simuladas en el Análisis 1 y en el Análisis 7 para el período de vida en estudio del sistema. A partir de la implementación de un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras y la reducción de los tiempos activos de reparación se podría aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 97,6% (aumento de un 2,6% de disponibilidad).

Caso 10: Combinación de Caso 2 y Caso 7

Se evalúa la combinación de las condiciones simuladas en el Análisis 2 y en el Análisis 7 para el período de vida en estudio del sistema. A partir de la implementación de un análisis de fallas, con la posterior optimización, del sistema de control y la reducción de los tiempos activos de reparación se podría aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 96,9% (aumento de un 1,9% de disponibilidad).

Caso 11: Combinación de Análisis 2 y Análisis 4

Se evalúa la combinación de las condiciones simuladas en el Análisis 2 y en el Análisis 4 para el período de vida en estudio del sistema. A partir de la implementación de un análisis de fallas, con la posterior optimización, del sistema de control y la instalación de un equipo turbocompresor redundante en la estación de Compresión 2 se podría aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 97,9% (aumento de un 2,9% de disponibilidad).

Caso 12: Turbina disponible en almacén

Otra alternativa para aumentar la confiabilidad de los turbocompresores es disponer de una turbina (rotor) en almacén para proceder al recambio en caso de falla mayor de una unidad de compresión. Como se observó en las primeras simulaciones presentadas, los turbocompresores de las estaciones de compresión 1, 2 y 3 (4 presenta redundancia en sus turbocompresores) son las que más afectan la disponibilidad del sistema en las condiciones de operación. En este análisis de sensibilidad se considerará que la turbina en almacén se encuentra disponible para las estaciones de compresión 1, 2 y 3 y que las turbinas poseen la misma confiabilidad que los equipos a los que reemplazan.

A partir de la posibilidad de disponer con una turbina (rotor) en almacén para proceder al recambio en caso de falla mayor de una unidad de compresión se podría aumentar la disponibilidad media del sistema, para cumplir con el máximo contractual en ambos puntos de entrega, desde el 95% hasta el 98% (aumento de un 3% de disponibilidad).

Análisis de Resultados

De la simulación de la situación de cumplimiento de entrega del máximo volumen contractual surge una disponibilidad media del 95 %. Del análisis de los resultados se extrae que son los turbocompresores y el sistema de control los grupos de equipos que más afectan la disponibilidad del sistema.

Con los análisis de sensibilidad es posible determinar cómo las modificaciones en la confiabilidad de los equipos pueden afectar la disponibilidad del sistema. Una disminución de la pérdida de disponibilidad podría otorgarle a la compañía mayor flexibilidad para cumplir con sus compromisos contractuales. A continuación, se resumen todos los resultados obtenidos en estos análisis:

Caso	Aumento de Disponibilidad	Impacto en la facturación del negocio (1 año)	Impacto en la facturación del negocio durante el ciclo simulado (10 años)
1	1,80 %	USD 27.000.000	USD 270.000.000
2	1,35 %	USD 20.250.000	USD 202.500.000
3	3,00 %	USD 45.000.000	USD 450.000.000
4	1,70 %	USD 25.500.000	USD 255.000.000
5	0,60 %	USD 9.000.000	USD 90.000.000
6	0,60 %	USD 9.000.000	USD 90.000.000
7	1,40 %	USD 21.000.000	USD 210.000.000
8	0,50 %	USD 7.500.000	USD 75.000.000

9	2,60 %	USD 39.000.000	USD 390.000.000
10	1,90 %	USD 28.500.00	USD 285.000.00
11	2,90 %	USD 43.500.000	USD 435.000.000
12	3,00 %	USD 45.000.000	USD 450.000.000

Tabla 4. Comparación de la variación de disponibilidad del sistema para todos los análisis, respecto a las condiciones actuales de operación, e impacto posible en la facturación.

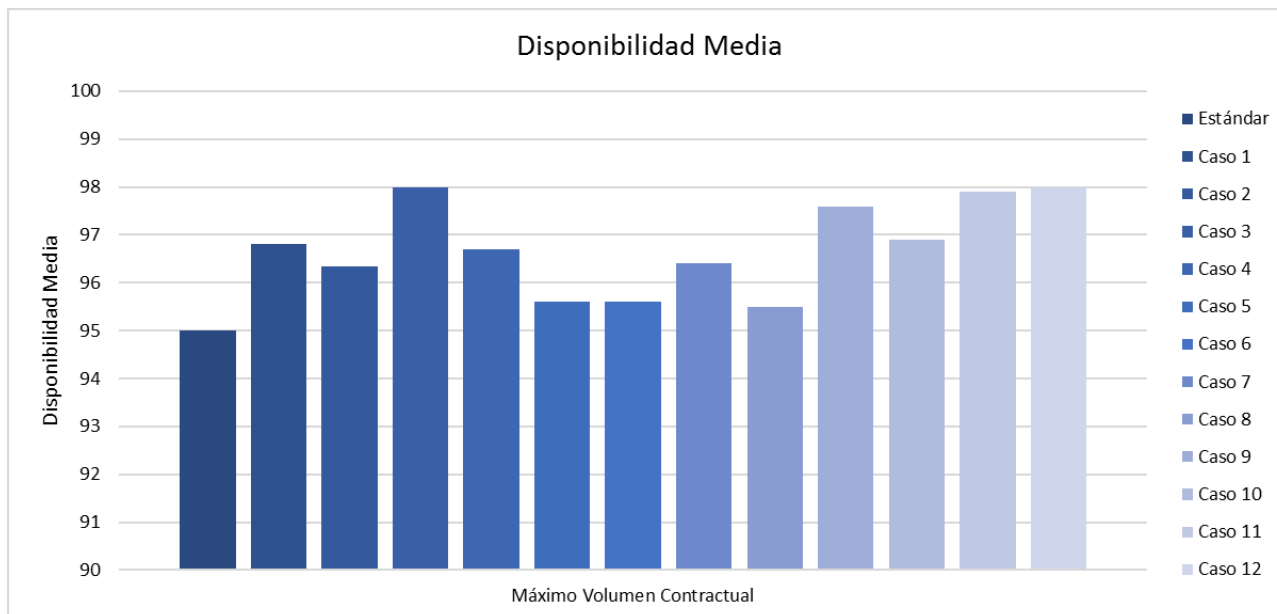


Figura 12. Disponibilidad Media del sistema para los diferentes análisis de sensibilidad.

Los análisis de sensibilidad que mejor optimizan la Disponibilidad del sistema son el Caso 3, el Caso 9, el Caso 11 y el Caso 12. El Caso 3 contempla el control y monitoreo de la disponibilidad de los turbocompresores y un análisis de falla, y la posterior optimización, del sistema de control para obtener un aumento en la confiabilidad de ambos grupos de equipos. El Caso 9 contempla el control y monitoreo de la disponibilidad de los turbocompresores y la optimización de la formación de los mantenedores. El Caso 11 contempla un análisis de falla, y la posterior optimización del sistema de control y la incorporación de un equipo turbocompresor redundante en la estación 2. El Caso 12 contempla disponer de una turbina (rotor) en almacén para proceder al recambio en caso de falla mayor de una unidad de compresión. Luego, el Caso 1 (aumento de la confiabilidad de los turbocompresores) permite mejorar sustancialmente la disponibilidad.

El aumento de la confiabilidad del sistema de control permite un aumento de la disponibilidad del sistema. La mayor cantidad de fallas del sistema son generadas por los equipos que componen el sistema de control, afectando la operación normal del sistema. Si bien estas fallas no requieren tiempos considerables para su corrección (razón por la que afectan en menor medida a la disponibilidad), la mejora del sistema de control podría verse reflejada en un aumento de la disponibilidad del sistema. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, no fue posible con la información disponible determinar las causas de las diversas fallas. Para esto, es necesario realizar acciones que permitan verificar el estado de los diferentes equipos y dispositivos, y que minimicen o erradiquen los eventos causales de fallas.

El Caso 4 simula la incorporación de un turbocompresor redundante en la estación 2. En el caso de la condición de cumplimiento de entrega del máximo volumen contractual, esta alternativa permite alcanzar una variación de la disponibilidad del sistema equivalente al Caso 1. Resultados similares se podrían obtener realizando un análisis de sensibilidad incorporando un turbocompresor redundante en la estación de compresión 1.

El análisis de sensibilidad 5 evalúa equipos específicos, los scrubbers, que por sus condiciones actuales de operación y mantenimiento presentan mayor criticidad para la confiabilidad del sistema que otros equipos en particular. Si bien las variaciones de disponibilidad del sistema resultantes de este análisis no son tan importantes como los casos analizados previamente, deberían ser consideradas ya que la falla de estos

equipos podría ocasionar una indisponibilidad del sistema mayor a la estimada. Puede observarse en los resultados de esta evaluación un aumento de la disponibilidad del sistema del 0,6% a partir de la implementación de un programa de integridad para estos equipos.

Adicionalmente, debería considerarse el tiempo de espera, compuesto principalmente por el tiempo de traslado del equipo de mantenimiento y de los repuestos necesarios previo a los mantenimientos correctivos que pueda requerir algún componente del sistema. Como se mencionó anteriormente, estos tiempos representan aproximadamente el 23% de los mantenimientos correctivos, por lo que reducirlos permitiría aumentar la disponibilidad del sistema. Por lo tanto, en el Caso 6 se contempla la posibilidad de contar con una cuadrilla de mantenimiento en cada una de las estaciones (compresión y medición), obteniendo un aumento en la disponibilidad del sistema del 0,6%. También es importante realizar una evaluación adecuada de los repuestos críticos y del stock de los mismos.

El Caso 7 evalúa la disminución de los tiempos activos de reparación en un 50%. Como resultado la disponibilidad del sistema, en el caso de la condición de cumplimiento contractual de entrega del máximo volumen, podría verse aumentada hasta en un 1,4%. El Caso 8, por su parte, analiza la disminución, en un 50%, de los tiempos activos de reparación de la mitad de las fallas que afectan al sistema de control de las diferentes estaciones de compresión y medición, obteniendo como resultado, en el caso de la condición de cumplimiento contractual de entrega del máximo volumen, un aumento de la disponibilidad del sistema del 0,5%.

Finalmente, el análisis de sensibilidad 10 contempla el aumento de la confiabilidad del sistema de control y la optimización de la formación de los mantenedores. Este análisis permite observar un aumento de la disponibilidad del sistema, del 1,9%. Los resultados obtenidos en este análisis alcanzan un aumento similar de la disponibilidad del sistema al Caso 1, en el cual se aumenta la confiabilidad de los turbocompresores.

Como se menciona anteriormente, mejorar la disponibilidad del sistema posibilita mejorar la facturación del negocio. A partir de la implementación de los diferentes análisis de sensibilidad, y según los posibles impactos de facturación detallados en la Tabla 4, sería posible aumentar la facturación anual del negocio (de USD 1.425.000.000) entre 7,5 y 45 millones de dólares por año (lo que podría representar, en el ciclo de 10 años evaluado, un aumento de hasta 450 millones de dólares en la facturación del negocio).

Conclusiones

- El **máximo volumen contractual de transporte en los dos puntos de entrega** para un ciclo de vida del sistema, de **10 años presenta una disponibilidad media del 95 %**.
- El aumento de la disponibilidad del sistema permitiría **aumentar la facturación anual del negocio** (de USD 1.425.000.000) entre **7,5 y 45 millones de dólares** por año (lo que podría representar, en el ciclo de **10 años** evaluado, un aumento de **hasta 450 millones de dólares** en la facturación del negocio).
- Los **turbocompresores de las estaciones de compresión y el sistema de control** son los grupos de equipos que **más afectan la disponibilidad del sistema**.
- Los **análisis de sensibilidad** que más **aumentan la Disponibilidad** del sistema son: el que combina la **implementación de un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras con la mejora del sistema de control**;

el que combina la **implementación de un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras con la reducción de los tiempos activos de reparación** de las fallas de los equipos; el que combina la **mejora del sistema de control con la incorporación de un turbocompresor redundante** en la **estación de compresión 2**; y el que considera la disponibilidad de una **turbina (rotor)** en almacén para **reemplazar** a las **unidades de compresión** en caso de una falla mayor.

- El **aumento de confiabilidad del sistema de control** aumenta la **disponibilidad media** apreciablemente, al mismo tiempo que **reduce la cantidad de fallas** que afectan al sistema.
- Las **actividades de inspección, mantenimiento y evaluación de la integridad** de los scrubbers, podrían **disminuir la pérdida de disponibilidad del sistema** y **prevenir indisponibilidades** mayores a las estimadas.
- El aumento de la **redundancia de los turbocompresores en la estación de compresión 2** podría permitir **aumentar la disponibilidad del sistema** considerablemente.
- La **disminución de los tiempos de traslado** de las cuadrillas de mantenimiento, permitiría **disminuir la indisponibilidad** del sistema.
- A partir de la **reducción de los tiempos activos de reparación**, se obtendrían una **pérdida de disponibilidad menor**.
- La **mejora del sistema de control en conjunto con la reducción de los tiempos activos de reparación de los equipos** podría permitir **aumentar la disponibilidad** del sistema en porcentajes similares a los resultados obtenidos por el aumento de confiabilidad de los turbocompresores, ya sea **tanto por la implementación de un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras como por la adición de un turbocompresor redundante**.

A partir de estas conclusiones, se realizan las siguientes recomendaciones:

- **Implementar un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras.** El sistema de gestión propuesto busca fiscalizar el contrato de mantenimiento y el sistema de monitoreo y predicción de condición actual. El objetivo buscado es:
 - Garantizar la normal operación evitando indisponibilidades promedio mensuales menores al 97%.
 - Alinear los objetivos del contrato de mantenimiento con los objetivos operativos de la compañía operadora.
 - Reducir la repetitividad y el downtime derivado de las fallas de arranque de los turbocompresores.
 - Optimizar el control de vibraciones de las unidades turbocompresoras.
 - Minimizar las fallas en los sensores de presión y temperatura de las unidades turbocompresoras.

Con ello se pretende aumentar la **confiabilidad de los turbocompresores** en un **0,66%**, lo que permitiría el **incremento de la disponibilidad del sistema en un 1,8%**.

- Evaluar la **implementación de: una auditoría del sistema de control** (que permita minimizar o erradicar los eventos de problemas de comunicaciones y de fallas de procesadores y fuentes), **una auditoría de puesta a tierra** (para verificar su valor y el nivel de conexión de los equipos a la misma) y **una auditoría del sistema de energía** (para validar la calidad de energía y la segregación de usos), de todas las estaciones de compresión y medición, para mitigar las causas que generan las fallas y afectan la normal operación. En el desarrollo de esta recomendación se deberían evaluar las siguientes actividades:

evaluación de sistemas redundantes tanto en ESD como en SCP y redes de comunicación e interruptores industriales, evaluación de hermeticidad, humedad y temperatura de los paneles de control, revisión de las redes de comunicación, verificación de la malla de puesta a tierra de instrumentos, ajuste de la puesta a tierra de todos los equipos, medición y ajuste de potenciales, separación de la iluminación de emergencia de las UPS de control y comunicaciones, evaluar la implementación de sistema de monitoreo de estado de cargadores y de UPS con alerta temprana y mantenimiento preventivo sobre los equipos. La aplicación de estas acciones permitiría aumentar la confiabilidad del sistema de control, lo que podría resultar en un **aumento de la disponibilidad del sistema en un 1,35%**.

- Evaluar la implementación de un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento de las unidades turbocompresoras en conjunto con auditorías del sistema de control, de la puesta a tierra y del sistema de energía, ya que este conjunto de actividades permitiría **aumentar la disponibilidad del sistema en un 3%**.
- Evaluar la implementación de **una auditoría del sistema de control, una auditoría de puesta a tierra y una auditoría del sistema de energía** (según se describió anteriormente) en conjunto con la instalación de una **unidad turbocompresora adicional** en la estación de compresión 2 que otorgue la flexibilidad suficiente para cumplir con los compromisos contractuales de entrega, lo que permitiría aumentar la **disponibilidad del sistema en un 2,9%**.
- Evaluar la posibilidad de disponer de una **turbina (rotor)** en almacén para proceder al **recambio** en caso de falla mayor de una **unidad de compresión** (según modelo de los actuales turbocompresores) en las estaciones de compresión 1, 2 y 3, lo que permitiría aumentar la **disponibilidad del sistema en un 3%**.
- Diseñar e implementar **actividades de integridad de los scrubbers** basadas en el código de inspección de recipientes a presión API 510 "*Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration*". Dentro de estas actividades se debería contemplar una inspección base (medición de espesores, inspecciones visuales internas y externas, etc.) y, en función de los resultados obtenidos, determinar la frecuencia de inspección o la implementación de actividades adicionales para garantizar su normal operación y evitar indisponibilidades mayores a las previstas. La aplicación de estas actividades podría aumentar la confiabilidad de los scrubbers permitiendo **aumentar la disponibilidad del sistema en un 0,6%**.
- Realizar un **análisis costo-beneficio** para instalar una **unidad turbocompresora adicional** en la estación de compresión 2 que otorgue la flexibilidad suficiente para cumplir con los compromisos contractuales de entrega, lo que permitiría aumentar la **disponibilidad del sistema en un 1,7%**.
- Evaluar la posibilidad de contar con **personal idóneo y recursos para el mantenimiento en todas las estaciones** (de medición y compresión), lo que permitiría disminuir un 23 % el tiempo de los mantenimientos correctivos y **aumentando**, en consecuencia, **la disponibilidad del sistema en un 0,5%**.
- Evaluar la posibilidad de contar con **recursos para el mantenimiento en las estaciones 1 y 2** (estaciones con mayores tiempos de traslado), lo que permitiría disminuir un 23% el tiempo de los mantenimientos correctivos en esas estaciones, **aumentando la disponibilidad del sistema en un 0,6%**.
- **Analizar y optimizar los procedimientos de reparación y el programa de formación técnica de los mantenedores** para reducir los tiempos activos de reparación de los diferentes equipos. La reducción de un 50% de estos tiempos podría permitir **aumentar la disponibilidad del sistema** hasta en un **1,4%**.
- Evaluar la implementación de un **análisis y optimización de los procedimientos de reparación y el programa de formación técnica de los mantenedores** en conjunto con la **implementación de un sistema de gestión que permita monitorear los indicadores que provee el contrato de mantenimiento**

de las unidades turbocompresoras, o con una auditoría del sistema de control, una auditoría de puesta a tierra y una auditoría del sistema de energía. La implementación de esta alternativa permitiría aumentar la **disponibilidad del sistema** en hasta un **2,6%**.

- **Optimizar y/o estandarizar los canales y métodos de registro** de la información (fallas de equipos, criticidad de las fallas, tiempos de reparación, repuestos requeridos, tiempos de mantenimientos preventivos e inspección, entre otros), con el objetivo de a partir de su análisis poder determinar **mejoras de procedimientos, de mantenimiento y operacionales**.
- **Revisión y evaluación de la gestión de stock de repuestos**, con el objetivo de determinar un **punto de pedido** de los repuestos en el almacén central, y en los almacenes de cada estación, destinados al mantenimiento correctivo. Es recomendable que esta actividad sea acompañada por el desarrollo de un **sistema informático** que facilite el control de la **gestión del stock y de los repuestos críticos**.

Nomenclatura

CBM: "Condition Based Maintenance" - Mantenimiento Basado en condición.

CDF: "Cumulative distribution function" - Función distribución acumulada.

Confiabilidad: Capacidad de un ítem de realizar una función requerida bajo condiciones dadas por un cierto intervalo de tiempo.

Datos de falla: Datos que caracterizan la ocurrencia de un evento de fallas.

Datos de mantenimiento: Datos que caracterizan la acción de mantenimiento planeada o realizada.

Disponibilidad: Capacidad de un ítem a estar en un estado para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo, asumiendo que los recursos externos son provistos.

Falla crítica: Falla de un equipamiento que causa un inmediato cese de la capacidad de realizar una función requerida.

Ítem: Cualquier parte, componente, dispositivo, subsistema, unidad funcional, equipo o sistema que puede ser considerado individualmente.

KPI: "Key performance indicators" - Indicadores de rendimiento.

Mantenibilidad: Capacidad de un ítem bajo ciertas condiciones de uso, a ser retenida en, o restaurada a, un estado en el cual puede realizar una función requerida, cuando el mantenimiento es realizado bajo condiciones dadas y utilizando procedimientos y recursos establecidos.

Mantenimiento correctivo: Mantenimiento realizado después de la detección de fallas y con la intención de poner un ítem en un estado en el que puede realizar una función requerida.

Mantenimiento preventivo: Mantenimiento realizado en intervalos predeterminados o de acuerdo a los criterios preestablecidos, con la intención de reducir la probabilidad de falla de una función de un ítem.

MDT: "Mean down time" - Tiempo medio de inactividad.

MTBF: "Mean time between failures" - Tiempo medio entre fallas.

MTTF: "Mean time to failure" - Tiempo medio hasta falla.

MTTM: "Mean time to maintain" - Tiempo medio hasta mantenimiento.

MTTR: "Mean time to repair" - Tiempo medio hasta reparar. Es una medida del tiempo promedio desde el diagnóstico y reparación de una falla, hasta un estado operacional.

MUT: "Mean up time" - Tiempo medio de actividad.

OREDA: "Offshore Reliability Database" - Base de datos de confiabilidad.

PM: "Preventive maintenance" - Mantenimiento preventivo.

RAM: "Reliability, availability, maintainability" - Confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad.

RBD: "Reliability Block Diagram" - Diagrama de bloques de confiabilidad: es una representación de interdependencias lógicas (trayectorias paralelas o en serie) requeridas para el sistema bajo análisis para que funcione correctamente.

Registro de mantenimiento: Parte de la documentación de mantenimiento que contiene toda la información de defectos, fallas y mantenimiento relacionado a un ítem.

Tiempo de inactividad: Intervalo de tiempo durante el cual un ítem se encuentra sin realizar su función.

Stand-By: Estado de un equipo, instalación o ítem que se encuentra conectado, pero en reposo a la espera de recibir órdenes.

Bibliografía

- OREDA; Offshore Reliability Data Handbook, Volume 1 – topside data and Volume 2 – subsea data 5th edition, 2009.
- OREDA Handbook; Offshore Reliability Data Handbook, 4th edition, 2002.

- ISO 14224; Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and Exchange of reliability and maintenance data for equipment, 2nd edition, 2006.
- ISO 20815; Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Production assurance and reliability management.
- www.smrp.org – Sociedad de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad
- www.reliawiki.org - Reliasoft

Breve Cv

Autor: Juan Ignacio Igartúa

Título y lugar de estudio: Ingeniero en Materiales – Universidad Nacional de Mar del Plata

Trayectoria: Más de 2 años de experiencia en Programas de Gerenciamiento de Integridad de Ductos, Planes de Inspección, Análisis de Riesgo y Confiabilidad de Sistemas. Trabajos desarrollados para Argentina, Bolivia y Perú.

Cargo actual en la empresa: Analista Junior de Integridad de Ductos



Autor: Luciano Carlini

Título y lugar de estudio: Ingeniero Mecánico – Universidad Nacional de Mar del Plata

Trayectoria: Más de 10 años de experiencia en Programas de Gerenciamiento de Integridad de Ductos, Planes de Inspección y Análisis de Riesgo. Trabajos desarrollados para Argentina, Uruguay, Ecuador, Bolivia y Perú.

Cargo actual en la empresa: Gerente de Proyecto



Autor: Gerardo Soula

Título y lugar de estudio: Ingeniero Mecánico – Universidad de Buenos Aires

Trayectoria: Más de 20 años de experiencia en Sistemas de Integridad de Ductos. Trabajos desarrollados para Argentina, Uruguay, Ecuador, Bolivia y Perú.

Cargo actual en la empresa: Gerente de Unidad de Negocio

