

## Desarrollo, implementación y aplicaciones de metodología para la reducción de tiempos de indisponibilidad en sistemas de transporte de hidrocarburos por ductos

Ivan Augusto Fierro Rengifo  
Giovanny Torres Alvarez  
Bogotá, D.C. – Colombia

### 1. RESUMEN

La gestión efectiva de los sistemas de transporte exige un enfoque especializado para la adquisición y análisis de información, esencial para decisiones estratégicas y generación de valor.

La metodología implementada alrededor del Factor de Servicio (FS) permite el análisis de los tiempos de indisponibilidad causados por afectaciones como: eventos de falla de equipos por especialidad, eventos externos, operacionales y de terceros, entre otros.

Esta metodología ha logrado integrar diferentes áreas de la compañía como: gestión de activos, comercial, proyectos y operaciones, sincronizándolos para optimizar el uso de los activos reduciendo el riesgo operativo y riesgo comercial, creando así valor para la empresa.

### 2. INTRODUCCIÓN

CENIT, empresa colombiana, líder en el transporte de hidrocarburos en Colombia, transporta 600,000 barriles diarios a través de 9,000 km de tuberías, 51 estaciones y 800,000 equipos. Los sistemas de transporte de hidrocarburos son fundamentales para garantizar el suministro energético, pero su eficiencia y producción puede verse comprometida por mantenimientos, fallas y paradas programadas.

La CREG<sup>1</sup>, mediante la resolución 208 de 2021, exige que los operadores publiquen su **Factor de Servicio (FS)** para determinar la capacidad efectiva de los sistemas. Cada operador tiene la libertad de elegir su metodología para calcular este factor.

Si bien asumir un FS constante facilita la estimación de la capacidad efectiva, este enfoque no refleja las capacidades ociosas ni los cuellos de botella. El FS, por otro lado, permite identificar tendencias en los eventos que afectan el bombeo y optimizar los procesos internos.

En CENIT, el FS se ha convertido en un indicador clave para evaluar la eficiencia operativa. Su implementación ha permitido identificar áreas de mejora y optimizar el uso de los recursos, garantizando que el desempeño esté alineado con los objetivos estratégicos de la empresa.

Este documento presenta una metodología para medir, proyectar y reducir los tiempos de indisponibilidad utilizando el Factor de Servicio (FS).

### 3. ENFOQUE PROPUESTO

La metodología se basa en 4 pasos (ver figura 1), utiliza datos históricos y operativos extraídos de los sistemas de información de la compañía (SAP, Macrom, Scada entre otros) y reportes de otras áreas como: Planeación de Operaciones,

<sup>1</sup> Comisión de Regulación de Energía y Gas. Entidad estatal de Colombia.



Mantenimiento, Comité de Paros y Optimización Volumétrica. Estos datos se consolidan y analizan en PowerBi para monitorear tendencias, identificar patrones y proyectar escenarios futuros.

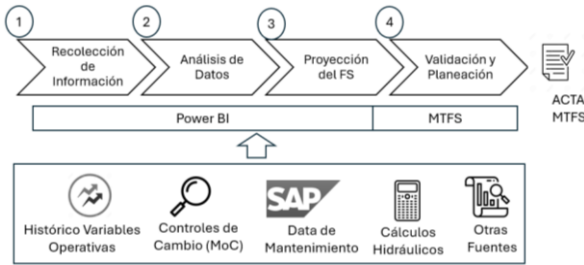


Fig. 1- Metodología desarrollada<sup>2</sup>

### 3.1 Paso 1- Recolección de Información

La información operacional y de mantenimiento se obtiene directamente de los sistemas de información de la compañía, registrándose eventos que afectan el bombeo y catalogándolos según su causa específica para un posterior análisis.

Para optimizar este análisis, se integran diversas fuentes de información con el fin de facilitar la toma de decisiones basadas en datos y tendencias, se utiliza un tablero de control que gestiona la siguiente información:

- i. Factor de Servicio (FS): corresponde a la relación entre la capacidad Efectiva y la capacidad nominal. Se calcula por sistema para un periodo de tiempo determinado (ver figura 2).

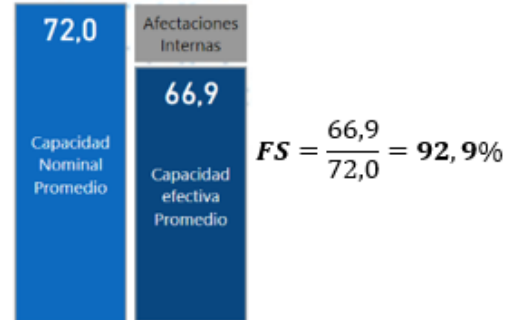


Fig. 2- Cálculo FS<sup>2</sup>

- ii. Pareto de causas: Se genera una priorización de las causas generales de afectación al bombeo para un periodo determinado, incluyendo las causas sobre las que la empresa tiene gestión directa (ver figura 3).

Clase Afectación	Hr
Estaciones No Programado	25,0
Estaciones Programado	14,4
Operaciones	2,5
Proyectos	2,5
<b>Total</b>	<b>44,3</b>

Fig. 3- Pareto de afectaciones

Cada causa contribuye al total de afectaciones en el bombeo para cada sistema. Para encontrar tendencias relevantes, es importante descomponer en causas específicas, obteniendo datos volátiles y otros con tendencias identificables. Las causas sin tendencia clara se agrupan sumando sus valores, proyectando así una continuidad basada en los registros históricos.

- iii. Actividades programadas: Se captura la información de eventos programados que

<sup>2</sup> Fuente: Elaboración propia



pueda impactar la producción (transporte de hidrocarburos) en un periodo determinado, con el fin de poder proyectar la afectación esperada de los sistemas por esta causa. Dentro de los eventos que están incluidos se encuentran: Mantenimientos Mayores (MOH), Mantenimientos programados o intervenciones planeadas en las facilidades.

- iv. Capacidad Nominal: Capacidad máxima de transporte de un sistema, calculada en función de la infraestructura instalada, el perfil topográfico, la longitud del ducto, la existencia de estaciones intermedias de refuerzo, las condiciones operativas y las propiedades físicas del producto transportado

### 3.2 Paso 2 – Análisis de Datos

Los datos recolectados muestran el balance mensual de variables que afectan la indisponibilidad del sistema. El FS ofrece una visión a corto plazo de la interacción de estas variables; sin embargo, al analizar los registros históricos y descomponerlos en causas específicas, se pueden identificar tendencias de mediano y largo plazo.

Para el análisis, se utilizan los registros históricos de FS (figura 4) y su descomposición en causas específicas (figura 5).

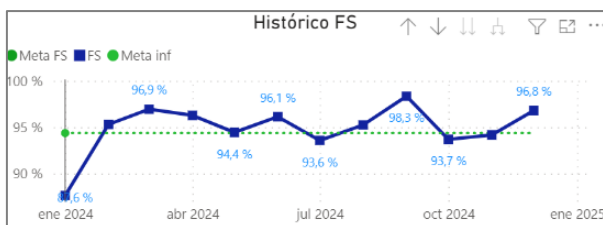


Fig. 4- Registro histórico FS<sup>2</sup>

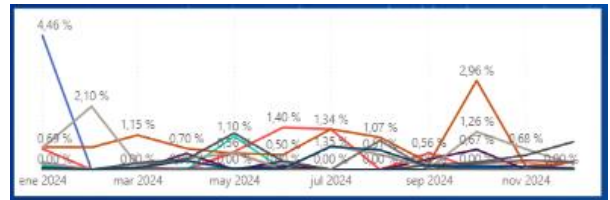


Fig 5- descomposición de causas específicas<sup>2</sup>

### 3.3 Proyección del FS

Identificadas las causas, se proyectan tendencias y utilizan métodos de proyección según el tipo de evento, basados en: intervenciones programadas, condiciones operativas o estimaciones de tendencia de datos.

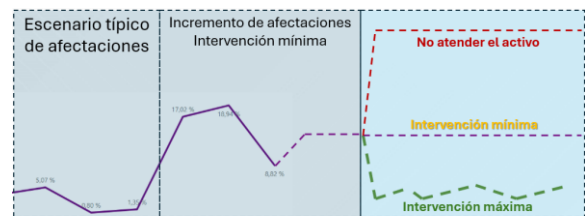


Fig. 6 - Campana de proyección<sup>1</sup>

Una vez identificadas las causas e impactos de las afectaciones, se puede establecer un plan de acción para reducir la interrupción del bombeo de manera duradera. Esta actividad prioriza las causas de mayor impacto para mejorar la eficiencia y optimizar la capacidad efectiva de los sistemas.

Cuando ya están establecidos los planes de acción para cada una de las afectaciones al bombeo, priorizados los efectos y proyectada la posible tendencia, se unen cada una de las proyecciones para que en conjunto conformen la proyección de FS de mediano plazo. Esto incluirá las actividades de mantenimiento programado, las acciones correctivas requeridas, las ventanas operativas programadas y el estado actual de salud de los activos del sistema.

### 3.4 Validación y Planeación

Cada sistema con esta proyección tiene una capacidad efectiva esperada a mediano plazo (1-3 años). Esta capacidad proyectada incluye actividades necesarias para mantener la capacidad óptima y la confiabilidad del sistema.

Con esta información, se realizan reuniones mensuales en un espacio transdisciplinar llamado Mesa Técnica de Factor de Servicio (MTFS), en el que participantes de diversas áreas revisan tendencias de datos, proyecciones de FS y analizan la capacidad efectiva a mediano plazo. Este espacio incluye representantes de Operación Remota, Operación Local, Mantenimiento, Planeación de Operación e Ingenieros de Operación. Estas capacidades son utilizadas por cada área ya que aportan información para los siguientes procesos:

- v. Validación de Capacidades Efectivas de los sistemas de transporte, para soportar pronósticos y planeación volumétrica.
- vi. Identificación de cuellos de botella en la infraestructura, motivando proyectos de optimización y planes de inversión.
- vii. Estimación de la Capacidad Nominal requerida para el diseño y selección de nuevos equipos como: unidades de bombeo, sistemas de tubería, sistemas de medición entre otros.
- viii. Medición del estrés<sup>3</sup> en los sistemas, permitiendo maximizar la utilización de los sistemas con planes de acción efectivos.

- ix. Fuente cuantitativa de información que permite dar seguimiento a la planeación de mediano y largo plazo de cada sistema.
- x. Formulación de modelos predictivos para estimar el FS de los próximos tres meses.
- xi. Incorporación de ajustes por estacionalidad y eventos programados.

Estos resultados permiten que cada área tenga un soporte basado en información real del sistema, lo que facilita acciones coordinadas y optimiza la eficiencia de los sistemas de transporte, alineándose con los objetivos estratégicos de CENIT.

#### 4. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Un sistema de transporte tiene un FS acumulado de 85.27% en los últimos dos años. Para optimizar su capacidad, es necesario analizar las causas específicas de los eventos que afectan el bombeo y así mejorar su factor de servicio.

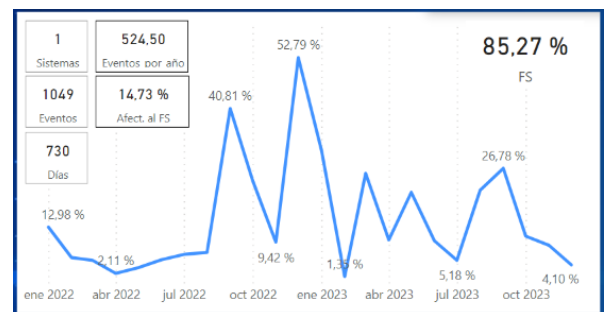


Fig. 7- Histórico FS<sup>2</sup>

Para poder establecer la intervención más efectiva para el sistema, se lleva a cabo la descomposición de las afectaciones en sus

<sup>3</sup> Estrés, se puede contextualizar como una medición de la sobrecarga operativa que podría llevar a un deterioro o ineficiencia en los activos gestionados.



causas específicas obteniendo los siguientes resultados:

Causa de Afectaciones	Hr
Mantenimiento de línea	583,8
Bajos Inventarios Internos	424,7
Falla de Unidad Principal de Bombeo	452,3
<b>Total</b>	<b>1460,9</b>

Fig. 8- Pareto de afectaciones

Con esta descomposición se inicia la revisión de tendencias de afectaciones con el fin de poder identificar los planes de acción a ejecutar en cada caso obteniendo los siguientes resultados para el TOP 3 de afectaciones:

#### 4.1 Tendencia de afectaciones por Mantenimiento de línea

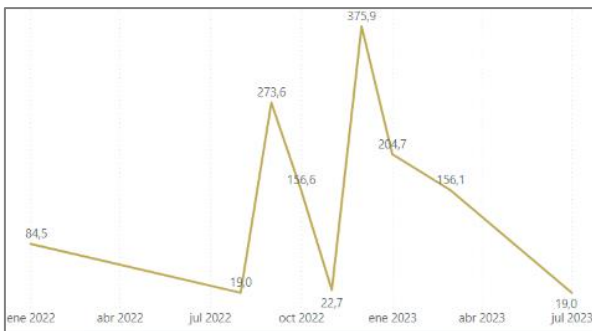


Fig. 9- Tendencia de afectaciones por Mantenimiento de línea

Al validar los periodos de ocurrencia de las afectaciones por mantenimiento de líneas, se determinó que estas fueron generadas por causas específicas en los periodos de septiembre y diciembre de 2022, durante los cuales se realizaron actividades de intervención en la línea. Para el periodo de 2024, no se prevé la ejecución de actividades de tal magnitud, por lo que se proyecta que las intervenciones se llevarán a cabo dentro de las ventanas de mantenimiento regulares, estimadas en 12 horas mensuales.

#### 4.2 Tendencia de afectaciones por falla de unidad Principal de Bombeo

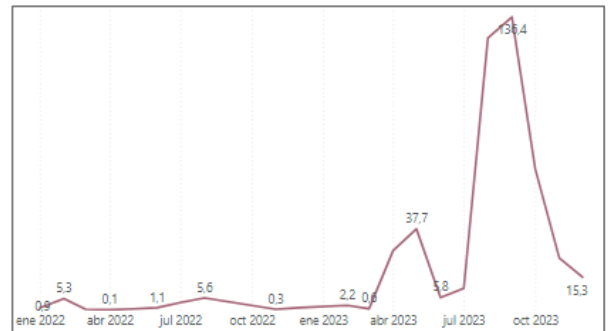


Fig. 10- Tendencia de afectaciones por falla de unidad Principal de Bombeo

Al revisar la información, se evidencia un aumento en las afectaciones de las unidades principales de bombeo. Se realizan talleres RCA y se revisan los mantenimientos mayores anteriores. Según el análisis, se intervendrán los equipos en 2024 durante 30 días, reduciendo la capacidad Nominal del sistema durante este periodo. Después, se espera que los equipos alcancen nuevamente el nivel de confiabilidad esperado del sistema y manteniendo las afectaciones al bombeo dentro de un régimen óptimo.

#### 4.3 Tendencia de afectaciones por bajos inventarios internos

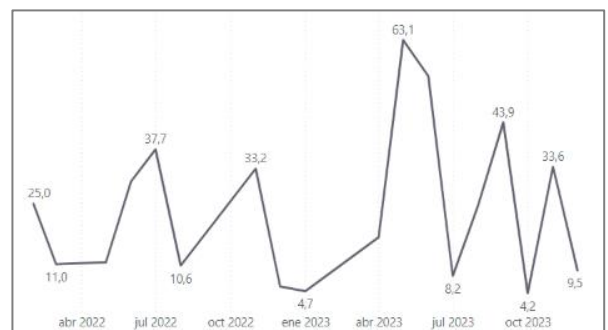


Fig. 11- Tendencia de afectaciones por bajos inventarios internos<sup>2</sup>



Tras analizar los bajos inventarios y consultar a los interesados, se identificó una periodicidad en los eventos que afectan el bombeo. La revisión con las áreas comercial y de planeación determinó que el desabastecimiento se debe a condiciones del mercado y volúmenes de producto en los puntos de entrada del sistema.

Con estos resultados, se inicia un proyecto para suavizar el impacto de los inventarios en la estabilidad del sistema, asegurando una operación continua y estable.

#### 4.4 Consolidación de información

Tras compilar los resultados del análisis de cada una de las causas de afectación al bombeo y con la proyección de posibles escenarios para las afectaciones durante el periodo de tiempo de un año, se procede a generar una proyección para el FS para el próximo período. Esto se realiza teniendo en cuenta las premisas establecidas por las áreas técnicas de la compañía.

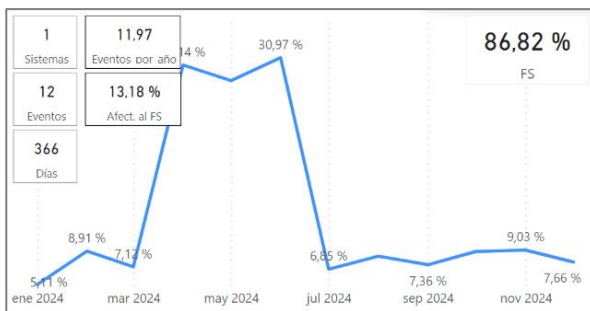


Fig. 12- Afectaciones proyectadas acumuladas

Se espera que el periodo entre abril y junio, durante el mantenimiento mayor de los equipos de bombeo, presente una mayor afectación por la indisponibilidad de los equipos. Sin embargo, una vez en línea, se reducirán y estabilizarán las afectaciones, mejorando el factor de servicio en aproximadamente un 1.65% para 2024 respecto a años anteriores.

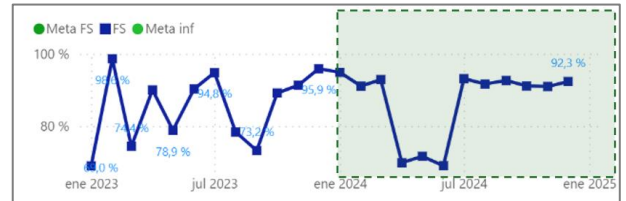


Fig. 13- Proyeccion de FS siguiente vigencia <sup>2</sup>

$$Mejora FS_{Esperada} = FS_{Proyectado} - FS_{2023}$$

$$Mejora FS_{Esperada} = 86.92\% - 85.27\%$$

$$Mejora FS_{Esperada} = 1.65\%$$

Considerando que el FS se define como la relación entre la capacidad nominal y la capacidad efectiva, una gestión adecuada de las afectaciones al bombeo ha mejorado la eficiencia del sistema, lo que resultará en un aumento esperado de la capacidad efectiva acumulada para el periodo 2024 en un 1.6%, asociado a las causas específicas registradas.

#### 4.5 Generación de escenarios de capacidad efectiva

Considerando la metodología para la proyección del FS a mediano y largo plazo, es posible establecer estimaciones más precisas para periodos cortos. Para ello, se generan escenarios que incluyen las actividades programadas a mediano plazo y las ventanas operativas ofrecidas a los clientes, determinando posibles impactos en el factor de servicio calculado anualmente. Estas actividades pueden abarcar mantenimientos a equipos auxiliares, así como operativas e inspecciones necesarias para el monitoreo y control de los sistemas.

Para un sistema de transporte de refinados con una capacidad nominal de 100 KBPD, se esperan las siguientes capacidades efectivas

según las premisas establecidas durante la consolidación de información y seguimiento técnico de FS.

	ene/24	feb/24	mar/24	abr/24	may/24	jun/24
FS	94,9%	91,1%	92,9%	69,9%	71,6%	69,0%
Cap. Efect. KBPD	94,9	91,1	92,9	69,9	71,6	69,0

	jul/24	ago/24	sep/24	oct/24	nov/24	dic/24
FS	93,2%	91,7%	92,6%	91,1%	91,0%	92,3%
Cap. Efect. KBPD	93,2	91,7	92,6	91,1	91,0	92,3

Tabla 1- Proyección de capacidad efectiva

## 5. RESULTADOS

Desde 2019, el proceso de seguimiento y proyección al FS se ha madurado e implementado dentro de la compañía, formando parte de los procesos de proyección de capacidades de los sistemas de transporte y posicionándose estratégicamente en el sistema integrado de gestión de activos. Este proceso ha generado los siguientes beneficios para la compañía:

Se observó una reducción de tiempos de indisponibilidad de los sistemas mediante una mejor planificación de las actividades a desarrollar en los activos.

Facilita la Toma de Decisiones de las personas que intervienen en todo el ciclo de vida de los activos.

Genera un margen de contingencia racional en el dimensionamiento de nuevos equipos y/o infraestructura. Así como en el cumplimiento de la nominación.<sup>4</sup>

Es un integrador, que facilita la toma de decisión para comprometer a la organización al cumplimiento de una nominación.

Minimiza el riesgo comercial de pagar multas por no cumplimiento de la nominación a través de una planeación racional basada en análisis de datos.

## 6. CONCLUSIONES

La metodología basada en el análisis y proyección del Factor de Servicio (FS) ha demostrado ser una herramienta robusta para mejorar la disponibilidad operativa y la planificación estratégica de los sistemas de transporte de hidrocarburos. Al identificar las principales causas de indisponibilidad, priorizar intervenciones correctivas y proyectar escenarios futuros, CENIT ha logrado una reducción significativa en los tiempos de indisponibilidad y un aumento en la eficiencia operativa de sus activos. Esto se traduce en una operación más confiable, con impactos positivos en la continuidad del servicio y el cumplimiento de compromisos comerciales.

La implementación de esta metodología fomenta la colaboración interdisciplinaria, integrando áreas clave como mantenimiento, operaciones y planeación. Este enfoque coordinado ha permitido optimizar la capacidad efectiva de los sistemas, reducir riesgos operativos y comerciales, y establecer una base sólida para la toma de decisiones informadas. La proyección precisa del FS también ha facilitado la planificación de actividades futuras,

<sup>4</sup> Nominación, producción comprometida a entregar a un cliente.



asegurando que los recursos y capacidades estén alineados con las necesidades del negocio.

Por otra parte, esta metodología tiene un alto potencial de aplicación en otras industrias que enfrentan desafíos similares de gestión de sistemas complejos, como la generación y distribución de energía eléctrica, la aviación y el transporte terrestre. Por ejemplo, en el sector eléctrico, el análisis del FS podría utilizarse para gestionar la disponibilidad de plantas generadoras y redes de transmisión, priorizando mantenimientos y minimizando interrupciones en el suministro de energía. Este tipo de enfoque, replicable en múltiples contextos, establece un estándar de optimización y confiabilidad que puede beneficiar a una amplia variedad de sectores industriales.

## 7. REFERENCIAS

[1] Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG]. (2021). *Resolución No. 208 de 2021: Regulación y directrices aplicables al transporte de hidrocarburos*. Recuperado de [<https://gestornormativo.creg.gov.co/>]

[2] Menon, S. (2017). *Liquid pipeline hydraulics* (2nd ed.). CRC Press.

[3] Villasenor, J. (2018). *Power BI para negocios: Guía práctica de análisis de datos para la toma de decisiones estratégicas*. Editorial Anaya.

[4] Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data mining: Concepts and techniques* (3rd ed.). Elsevier.

**Iván Fierro**, Ingeniero de Confiabilidad e Integridad en CENIT S.A.S. Cuenta con 20 años de experiencia en formulación, ejecución y cierre de proyectos, participando en las

diferentes etapas de estos procesos. Es Ingeniero Mecánico (Universidad Nacional, 2005), Project Management Professional (PMI 2013), Máster en gestión y evaluación de proyectos de inversión (Externado 2014), SCRUM Máster (2020).

Tel. 3174310824, Calle 113 #7-80 piso 11. [ivan.fierro@cenit-transporte.com](mailto:ivan.fierro@cenit-transporte.com), Bogotá D.C., Colombia.

**Giovanny Torres**, Ingeniero Experto de Operaciones en CENIT S.A.S. Cuenta con 20 años de experiencia en Transporte de Hidrocarburos por ductos en Ecopetrol S.A. y CENIT S.A.S, en las siguientes áreas: integridad de equipo estático, operaciones, mantenimiento, Equipo rotativo e ingeniería. Es Ingeniero Mecánico (UIS, 2005), Máster en Ingeniería (Andes ,2011), Especialista en Gerencia de Proyectos (EL Bosque, 2020), y MBA (Westfield, 2023).

Tel. 3104775905, Calle 113 #7-80 piso 11. [giovanny.torres@cenit-transporte.com](mailto:giovanny.torres@cenit-transporte.com), Bogotá D.C., Colombia.