EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UNA CELDA DE EVALUACION DE HIDROCARBUROS – PVT.

DIONISIO ARNUBIO GONZÁLEZ TASCÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2021

EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UNA CELDA PVT

DIONISIO ARNUBIO GONZÁLEZ TASCÓN

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

Director
JEREMY DELAHAIS
M.Sc. Energía y Propulsión.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2021

DEDICATORIA

Con especial gratitud a mis hijas Karina y Paola por animarme siempre a seguir estudiando, a mis profesores, al personal administrativo y a mis compañeros de estudio de la Cohorte XXV de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento, por acogerme con cariño, respeto y abnegación.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION 11
1. OBJETIVOS 14
1.1 OBJETIVO GENERAL 14
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 14
2. JUSTIFICACION 15
3. METODOLOGÍAS DE ANALISIS 17
3.1 METODOLOGÍA DE MANTIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD 18
3.2 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN MBC 20
4. EQUIPO PVT 23
4.1 PARTES DE UN EQUIPO PVT 24
4.1.1 Fluid Eval PVT. 26
4.1.2 HPM (Microscopio de alta presión) 27
4.1.3 SDS (Sistema de Detección de Solidos). 27
4.1.4 Bomba de recirculación 28
4.2 MODELO DE MANTIMIENTO ACTUAL 30
4.2.1 Mantenimiento preventivo. 30
4.2.2 Operaciones de mantenimiento preventivo 30
4.3 ANALISIS DE DATOS HISTORICOS 32
4.3.1 Históricos de mantenimiento 33
4.3.2 Históricos de consumo 35
4.3.3 Tabla de fallas detectadas por el fabricante. 37
4.4 ANÁLISIS ECONOMICO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS HISTORICOS 38
5. MCC (RCM) 47

5.1 INTERPRETACIÓN DEL MCC (RCM) APLICADO A LA CELDA PVT OBJETO DE ESTUDIO. 60
5.2 MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO 62
6. CONCLUSIONES 67
7. RECOMENDACIONES 69
BIBLIOGRAFÍA 71

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Celda PVT, Vinci Technologies…… 12
Figura 2. Esquema de la Celda PVT, Vinci Technologies.....25
Figura 3. Fluid Eval PVT de la Celda PVT, Vinci Technologies. 26
Figura 4. Microscopio de alta Presión de la Celda PVT, Vinci Technologies. 27
Figura 5. Sistema de detección de Solidos de la Celda PVT, Vinci Technologies. 28
Figura 6. Bomba de recirculación de la celda PVT, Vinci Technologies. 29
Figura 7. Historial de Mantenimiento, Costos de mantenimiento Preventivo y Correctivo 44
Figura 8. Proyección de Ingresos 45
Figura 9. Tiempo entre fallas del equipo.....46
Figura 10. Portada del Análisis RCM para la celda PVT Fluid Eval.....47
Figura 11. Taxonomía. 48
Figura 12. Celda PVT objeto de estudio 48
Figura 13. Esquema de la Celda PVT objeto de estudio 49
Figura 14. Matriz de riesgos 58
Figura 15. Diagrama de decisión 66

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Históricos de mantenimiento 33
Tabla 2. Históricos de consumo 35
Tabla 3. Fallas Detectadas por el Fabricante 37
Tabla 4. Costos históricos de consumibles 39
Tabla 5. Costos históricos de partes reemplazadas 39
Tabla 6. Costos históricos de mantenimiento 41
Tabla 7. Análisis de Costos basados en Históricos 43
Tabla 8. Proyección de Ingresos 45
Tabla 9. Análisis RCM 50
Tabla 10. Datos Económicos y de tiempos (TBF, TTR) 60
Tabla 11. Tiempo de Respuesta del fabricante 62

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos, pueden ser visualizados en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Históricos de Mantenimiento

Anexo B. Históricos de Consumo

Anexo C. Costos de Mantenimiento

Anexo D. Análisis RCM para la celda PVT Fluid Eval gt-32334-600

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UNA CELDA PVT[*]

AUTOR: DIONISIO ARNUBIO GONZALEZ TASCÓN[**]

PALABRAS CLAVES: mantenimiento, laboratorio, yacimiento, celda pvt, Evaluación, Análisis.

DESCRIPCIÓN

El trabajo en el laboratorio PVT es parte fundamental para dimensionar los yacimientos de petróleo y su correcta explotación, en especial se requiere conocer las correlaciones de equilibrio gas-liquido cuando se someten a cambios de presión, volumen y temperatura (PVT).

Los estudios PVT se hacen en una celda llamada celda PVT y en general suelen ser de tres tipos. Expansión a composición constante (CCE), depleción a volumen constante (CVD), pruebas de separador WAT y AOP para parafinas y asfaltenos.

La toma de muestras en campo para análisis es un trabajo delicado y costoso. Las pruebas PVT son largas, en promedio demanda una semana por prueba. Tanto el cliente como el laboratorio corren un alto riesgo económico si se presenta una falla durante la prueba, de allí la importancia de implementar un programa de mantenimiento que ofrezca disponibilidad y confiabilidad del equipo y de los resultados.

El presente estudio evalúa con la metodología MCC (RCM) el actual programa de mantenimiento preventivo de una celda PVT libre de mercurio a fin de validarlo y/o proponer una nueva filosofía de mantenimiento, basados en los históricos de 8 años operación y de servicio.

[*] Trabajo de grado

[**] Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia en Mantenimiento. Director: Jeremy Delahais, MSc. Energía y Propulsión.

SUMMARY

TITLE: EVALUATION OF THE MAINTENANCE PROGRAM OF A PVT CELL*

AUTHOR: DIONISIO ARNUBIO GONZALEZ TASCÓN**

KEYWORDS: maintenance, laboratory, reservoir, pvt cell, evaluation, analysis.

DESCRIPTION

Work in the PVT laboratory is a fundamental part of sizing oil fields and their correct exploitation, especially it is required to know the gas-liquid equilibrium correlations when they are subjected to changes in pressure, volume and temperature (PVT).

PVT studies are done in a cell called a PVT cell and are generally of three types. Constant composition expansion (CCE), constant volume depletion (CVD), WAT and AOP separator tests for paraffins and asphaltenes.

Taking samples in the field for analysis is delicate and expensive work. PVT tests are long, on average it takes one week per test. Both the customer and the laboratory run a high economic risk if a failure occurs during the test, hence the importance of implementing a maintenance program that offers availability and reliability of the equipment and the results.

The present study evaluates with the MCC methodology (RCM) the current preventive maintenance program of a mercury-free PVT cell to validate it and / or propose a new maintenance philosophy, based on the 8-year operation and service history.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Jeremy Delahais, MSc. Energy and Propulsion.

INTRODUCCION

La correcta explotación de los fluidos contenidos en un yacimiento de hidrocarburos exige un conocimiento detallado de sus propiedades termodinámicas. En especial, es de gran importancia conocer su comportamiento de fases (equilibrio Gas – Liquido) cuando es sometido a cambios de presión, volumen y temperatura (PVT). Estos cambios son originados por los procesos de producción que implican retirar masa del yacimiento, así como, transportar el fluido hasta superficie. Este conocimiento permite diseñar las estrategias adecuadas tanto a nivel de yacimiento como de superficie para optimizar la producción, maximizando la cantidad de hidrocarburos en superficie y el aprovechamiento de la energía interna del yacimiento.

Para conocer el comportamiento de fases de los fluidos de yacimiento es necesario realizar estudios que evalúen los cambios en las propiedades PVT de un fluido representativo del yacimiento. Obtener el fluido objeto de estudio implica operaciones de toma de muestra bastante complejos que garanticen la representatividad de la muestra e implican altos costos operativos que dan un valor a la muestra obtenida de alrededor de 30,000.00 Euros[1]. Finalmente, esta muestra es sometida a cambios en las variables PVT que emulan los procesos de producción y permiten obtener la información necesaria[2]. La figura 1 representa una celda PVT Vinci Technologies, la cual opera libre de mercurio.

[1] BON, J., SARMA, H. y RODRIGUES, T. Reservoir-fluid sampling revisited - A practical perspective. SPE Reservoir Evaluation Engineering, 2007, Vol 10, p. 589–596

[2] PEDERSEN, Karen Schou y SHAIKH, Jawad Azeem. Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids. CRC Press. Edición 2, 2014, 465 p.

Figura 1. Celda PVT, Vinci Technologies.

Fuente: Catálogo de productos VINCI TECHNOLOGIES con autorización explicita.

Históricamente, los cambios de volumen a nivel de laboratorio eran producidos mediante la inyección o retiro de mercurio de una celda de alta presión, aprovechando su incompresibilidad y el hecho de que su expansión térmica es muy bien conocida. Sin embargo, la toxicidad del mercurio exigió el diseño de las celdas PVT libres de mercurio que se usan en la actualidad y que tiene un costo aproximado de 850,000.00 Euros[3]. Estos equipos, están constituidos por una celda de alta presión provista de válvulas para la inyección y retiro de fluidos, contenida dentro de un horno de alta precisión, los cambios de volumen son realizados mediante un pistón motorizado que está en contacto con el fluido y se desplaza al interior de la celda.

En un estudio PVT típico, las variaciones de presión y volumen a temperatura constante son las más estudiadas. Por lo tanto, el desplazamiento del pistón a alta presión al interior de la celda que contiene el fluido es la operación más frecuente. Entre las pruebas típicas de un análisis PVT encontramos la expansión a composición constante (CCE) con un costo aproximado de 7,000 Euros; la

[3] VINCI TECHNOLOGIES, Equipo Fluid Eval, manual de usuario. s.f. 46 p.

depleción a volumen constante (CVD) con un costo aproximado de 15,000.00 Euros y una prueba de separador con un costo aproximado de 4,000.00 Euros, la duración de estas pruebas es de una semana. De acuerdo con estos costos, una operación continua de una celda PVT generaría ingresos mensuales aproximados de 50,000.00 Euros, lo que implica que el equipo se pagaría en 17 meses. Consecuentemente, asegurar la confiabilidad de las celdas PVT evitando la perdida de contención del valioso fluido es de gran importancia para garantizar la viabilidad económica de un laboratorio de análisis PVT.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un programa de mantenimiento para la celda PVT Fluid Eval VINCI-GT-32334-600 mediante la evaluación del histórico de desempeño y el mantenimiento especializado actual que permita optimizar el costo efectivo del mantenimiento sin comprometer su disponibilidad y confiabilidad.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar los costos generados por el programa de mantenimiento actual mediante la evaluación del desempeño histórico de la celda PVT, Ref. Fluid Eval GT-32334-600.

2. Implementar la metodología MCC (RCM) por sus siglas en inglés, para indagar las fallas, causas de falla y efectos sobre la disponibilidad de la celda PVT Fluid Eval VINCI-GT-32334-600.

3. Diseñar un programa de mantenimiento con el análisis resultante de la aplicación de la metodología propuesta, optimizando los costos de mantenimiento, sin comprometer la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

2. JUSTIFICACION

Durante los últimos 8 años, la empresa GONZALEZ TASCON SAS, ha realizado el mantenimiento especializado a la celda PVT Ref. Fluid Eval GT-32334-600. En la actualidad se conservan los reportes del mantenimiento, el historial de fallas y los listados de consumibles y partes de repuestos usados para mantener ciento por ciento operativo el equipo al igual que los costos del servicio. Con base en lo anterior, se hace viable realizar una evaluación del costo efectivo de mantenimiento a fin de explorar la posibilidad de optimizarlo, sin comprometer la fiabilidad y disponibilidad el equipo.

GONZALEZ TASCON SAS, es una empresa colombiana dedicada al suministro de equipos especializados para investigación en hidrocarburos, petrofísica, geoquímica y química fina, y al servicio de mantenimiento especializado para equipos de tecnología de punta y a la transferencia tecnológica para la industria petrolera y para las instituciones universitarias.

La empresa presta el servicio de mantenimiento especializado con expertos de fábrica, obedeciendo a los programas establecidos por el cliente, según su experiencia y las recomendaciones del fabricante.

González Tascon sas., como contratista, asume un rol pasivo, limitándose a cumplir con las especificaciones del contrato. No obstante, se evidencia que podría ofrecer un valor agregado al servicio con base en la experiencia adquirida, el conocimiento desarrollado y el análisis de los eventos históricos inherentes a los equipos.

Uno de los equipos objeto de mantenimiento es una celda PVT de alta presión (15000 psi), libre de mercurio para análisis de crudos livianos y fracciones de gas. Este equipo es el alma del laboratorio de fluidos, es el que genera caja y permite la

mantenibilidad de los demás equipos auxiliares requeridos para su normal funcionamiento.

El programa actual de mantenimiento está basado en una rutina de mantenimiento preventivo especializado anual recomendada por el fabricante. Esta rutina ha sido efectiva en el tiempo, pero igualmente costosa, dado que los expertos viajan desde Europa para prestar el servicio con el consiguiente sobrecosto generado por pasajes internacionales, manutención y acomodamiento.

La presente propuesta busca realizar una evaluación del actual programa de mantenimiento preventivo especializado con base en el histórico del desempeño del equipo, buscando encontrar elementos que permitan reducir el costo efectivo del mantenimiento sin comprometer su disponibilidad y confiabilidad.

3. METODOLOGÍAS DE ANALISIS

El mantenimiento es una actividad dinámica que ha sufrido mutaciones y mejoras permanentes a lo largo del tiempo. Existen muchas maneras de suplir la necesidad de un mantenimiento eficiente, efectivo y eficaz dentro de una empresa y en general se opta por una mezcla de metodologías a la hora de tomar decisiones. Solo por mencionarlas, a continuación, se encuentra un listado de estas metodologías según Ortiz Plata[4]:

- Tero tecnología o Gestión de Activos
- CCV - Costo del Ciclo de Vida
- TQM - Gestión Total de la Calidad
- DSP – Diseño Sistémico de Procesos
- CMMS - Sistemas de Gestión de Mantenimiento Computarizado
- Gestión y Evaluación de Riesgos
- RCA – Análisis de causa raíz
- FMEA – Análisis de Modos de Falla y sus Efectos
- MCC - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- RCS – Repuestos Centrados en la Confiabilidad
- RARC – Repuestos Alineados con el Riesgo y la Confiabilidad
- Monitoreo de la Condición y Análisis Predictivo
- Análisis de Disponibilidad y Confiabilidad (estudio RAM)
- Método KAIZEN
- TPM - Mantenimiento Productivo Total
- Diseño orientado a la Confiabilidad y la Mantenibilidad
- Sistemas Expertos y redes neuronales

[4] ORTIZ PLATA, Daniel. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD – MCC – Guía práctica. 2017. 33 p.

- 5S

Para este estudio de la celda PVT, se usará la metodología MCC (RCM)

3.1 METODOLOGÍA DE MANTIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) es un método para establecer un plan de mantenimiento que permita alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación. El MCC se centra en la confiabilidad. Su objetivo es mantener la confiabilidad inherente del sistema o diseño de equipos, reconociendo que los cambios en la confiabilidad inherente pueden lograrse solo a través del diseño de cambios. Dentro de esta restricción, MCC funciona para determinar qué mantenimiento preventivo se requiere para garantizar la seguridad del personal, proteger el medio ambiente y el equipo; y brindar una garantía razonable de poder cumplir con la misión del equipo a un costo menor que el de corregir el fallo que la tarea preventiva intenta prevenir[5].

El MCC desarrolla tareas de mantenimiento para nuevos sistemas mediante:

- Partición del equipo en sistemas y subsistemas que requieren análisis;
- Identificar elementos funcionalmente significativos;
- Determinar los requisitos (tareas) de mantenimiento necesarios para cada elemento significativo en función del análisis de sus funciones (evidentes y ocultas), sus modos dominantes de falla y gestión de riesgo asociado con falla funcional;

[5] UNITED STATES NAVY. Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook. 2007. 109 p.

- Determinar cuándo, cómo y quién debe realizar cada tarea.
- Identificar cualquier necesidad de cambio de diseño:
- MCC valida las tareas de mantenimiento existentes utilizando información de operaciones y mantenimiento en un análisis simplificado, y ajuste de intervalos de tareas y contenido de tareas cuando sea apropiado. Considerando lo anterior, con la implementación de esta metodología se esperan tres tipos de mejoras:
- Disminución de actividades del programa de mantenimiento básico.
- Optimización del programa de mantenimiento al incluir y/o eliminar actividades según las técnicas de monitoreo que se estén aplicando y una optimización de las frecuencias de los monitoreos y/o los reacondicionamientos periódicos.
- Aumento de actividades de monitoreo y preventivas con reducción adicional de las reactivas.

Para lograr lo anterior, el MCC aplica una filosofía que ayuda a conservar un balance óptimo entre el costo del mantenimiento y la confiabilidad del servicio. Según Ortiz Plata[6], lo anterior está relacionado con la "Evolución de las probabilidades de fallas" de los equipos, debido a que permite visualizar mejor nuestras opciones para decidir cuál tarea de mantenimiento y su frecuencia es mejor.

En concordancia con UNITED STATES NAVY[7], la metodología del MCC consiste en responder siete (7) preguntas en estricto orden:

1) ¿Cuáles son las funciones y estándares de ejecución asociados con el activo, en su actual contexto operacional?
2) ¿En qué forma falla el equipo, con respecto a la función que cumple en el contexto operacional?
3) ¿Qué causa la falla funcional?

[6] ORTIZ PLATA, Daniel. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD – MCC – Guía práctica. 2017. 33 p.
[7] UNITED STATES NAVY. Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook. 2007. 109 p.

4) ¿Qué sucede cuando falla?
5) ¿Qué ocurre si falla?
6) ¿Qué puede hacerse para evitar la falla?
7) ¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea para evitar la falla?

3.2 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN MBC (CBM POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

El mantenimiento basado en condición MBC (CBM por sus siglas en inglés) incluido en el mantenimiento Preventivo y definido en el RCM, como metodología, analiza datos en tiempo real para conocer el rendimiento o condición de un equipo**.** Anticipa la detección de fallas basándose en la información real de sensores (presión, temperatura, nivel, fugas, flujo, vibración, calor, humo, torque, interfases, corrosión, desgaste, alineación, etc.)

Requiere personal capacitado para la interpretación de la data. En general se requiere un software dedicado, en nuestra celda es el software Appilab, el cual se adquiere en el mercado y puede irse alimentando con las características de condición del equipo.

Su principal función es reducir el tiempo de inactividad no programado. Para equipos no instrumentados la implementación del CBM es costosa, pero nuestro objeto de estudio es una celda de tecnología de punta que integra todos los sensores requeridos para entregar información local y remota en tiempo real de su estado y operación, por tanto, solo requiere del personal experto para la interpretación adecuada de las señales de instrumentación.

La aplicación del CBM consta de tres etapas[8]:

- Recepción de información de los sensores

El sensor capta el estado o condición de la maquina o elemento, transmite una señal de voltaje, amperaje o frecuencia.

- Interfase de comunicación de datos

La señal de voltaje, amperaje o frecuencia es convertida en unidades de ingeniería para representar la variable de control. Ejemplo: 4-20 mA, es una señal de amperaje donde 4 mA es el punto límite inferior, 0% y 20 mA es el 100% o límite superior.

Unidades de ingeniería comunes son: 0-5 VDC, 0-24 VDC, 4-20 mA, 0-1000 Khz.

Estas unidades se colocan en un punto o rango conveniente y saludable del proceso, (set point), cuando llega al punto fijado puede generar una alarma, enviar una señal de apertura o cierre de válvula, encendido, apagado, etc. Los sistemas de software sofisticados como el SCADA no solo ejercen control local y remoto, sino que informan en tiempo real vía satélite a celulares u otros elementos de recepción y retransmisión de datos.

- Ejecución de las tareas de mantenimiento

Implica generar procesos operativos para reparar o corregir la desviación detectada a fin de que el operario de la maquina o el encargado del mantenimiento pueda actuar con ligereza y corregir la desviación presentada[9].

Como todo sistema de mantenimiento, el CBM ofrece fortalezas y debilidades.

[8] IRIM, Guía 8: Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento basado en condición. 2018. 280 p.
[9] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Gestión de activos. Sistemas de gestión, Requisitos. ISO 55001:2014. Ginebra, Suiza, 2014.

Podríamos enumerar como fortalezas las siguientes:

- Aumento de la disponibilidad de los activos.
- Reducción de probabilidad de fallas.
- Producción ininterrumpida, en general las desviaciones presentadas pueden corregirse sin detener la producción

Las debilidades o desventajas son:

- Alto costo de la instrumentación
- Requiere permanente calibración y puesta a punto de los sensores.
- Requiere personal experto en instrumentación y control de procesos electromecánicos.

4. EQUIPO PVT

Fluid-Eval PVT / Fluid Eval GT-32334-600

El sistema Visual Fluid-Eval PVT como se representa en la Figura 1, realiza estudios de comportamiento de la fase de hidrocarburos en condiciones de presión y temperatura representativas del yacimiento, de acuerdo con Vinci Technologies[10]. Caracterizado por una celda visual completa como se muestra en la Figura 1. Celda PVT, Vinci Technologies., el aparato garantiza una excelente confiabilidad en muestras de aceite negro, aceite volátil y condensado de gas. La celda visual completa es particularmente adecuada para estudios que requieren monitoreo visual de la muestra de hidrocarburos, por ejemplo. pruebas de hinchamiento, estudios de condensados volátiles de petróleo y gas. El sistema utiliza una bomba de alta presión integrada para controlar y monitorear la presión y el volumen del fluido dentro de la celda. Se utiliza una sola celda para los estudios de condensados de petróleo y gas. Para los estudios de petróleo, la celda está en posición vertical, mientras que, para los estudios de condensado de gas, se invierte para maximizar la eficiencia de detección del punto de rocío. La rotación de la celda se logra a través de un poderoso mecanismo de balanceo motorizado. Un sistema de cámara de video vigila continuamente la interfaz gas / líquido y mide el volumen de condensado retrógrado durante los estudios de condensado de gas. Un agitador acoplado magnéticamente, montado dentro de la cámara de muestra, proporciona una mezcla eficiente de fluidos y garantiza un equilibrio termofísico rápido. El calentamiento de la muestra homogénea se genera al calentar los cartuchos incrustados en el cuerpo de la celda.

[10] PATENTE DE USA A NOMBRE VINCI TECHNOLOGIES. Device and method for thermodynamic measurements on petroleum fluids. https://patents.google.com/patent/US7628058B2/en

CARACTERISTICAS

- Presión / volumen: 15,000 psi / 400 ml (modelo Visual Fluid Eval)
- Temperatura: ambiente a 200 ° C (opción: -20 ° C)
- Regulación de temperatura: ± 0.2 ° C
- Precisión de volumen: 0.001 ml
- Precisión de presión: 0.02% Escala completa Precisión de depósito de líquido: ± 0.005 ml Fuente de alimentación: 220 VAC, 50/60 Hz

BENEFICIOS

- Diseño versátil: Funcionamiento sin mercurio, Volumen muerto mínimo
- Visibilidad completa de la muestra para una mayor capacidad operativa
- Bomba integrada para un control preciso de la presión y medición de volumen.
- Sistema de cámara de video para grabar experimentos PVT en tiempo real
- Agitador magnético para un equilibrio rápido de fases.
- Sistema de balanceo motorizado para posicionamiento de la celda
- Transductor de presión de alta temperatura con extrema precisión.
- Sellado especial de poliamida resistente a la descompresión rápida de gases
- Control de temperatura por debajo del ambiente

4.1 PARTES DE UN EQUIPO PVT

Para el desarrollo de esta metodología, los sistemas se descomponen en subsistemas, equipos, componentes y partes.

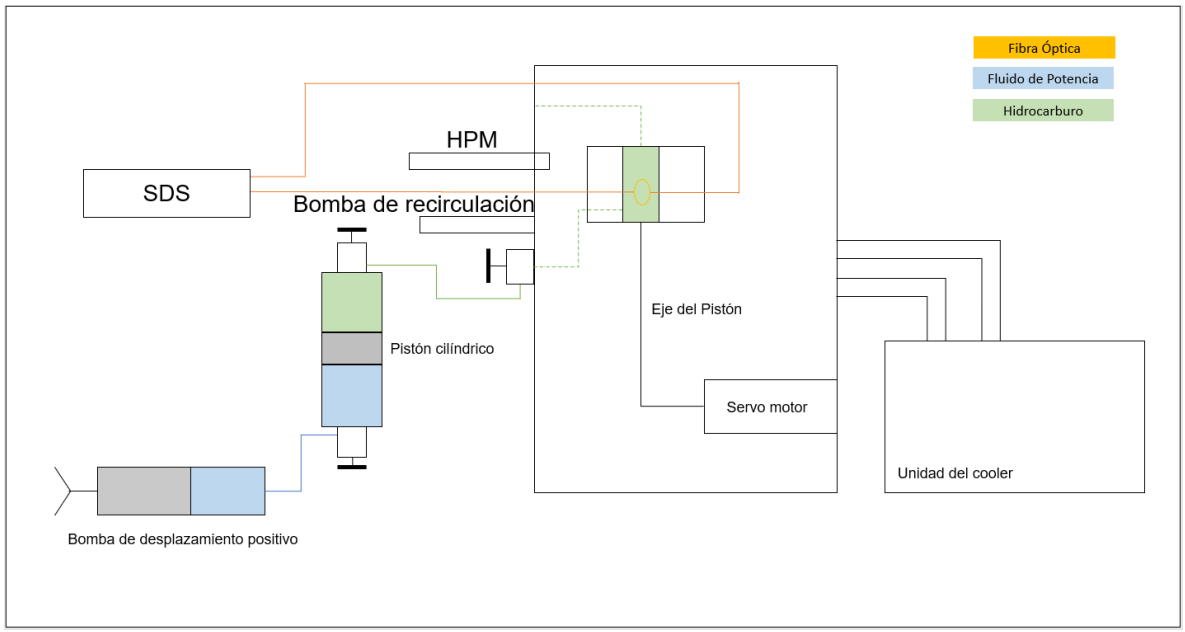
En nuestro caso de estudio, estamos analizando un equipo, una Celda PVT y por consiguiente solo lo descompondremos en componentes y partes.

Los componentes de la celda PVT Fluid Eval GT-32334-600 son[11]:

1. Fluid Eval PVT
2. HPM (Microscopio de alta presión)
3. SDS (Sistema de Detección de Solidos)
4. Bomba de recirculación.
5. Cámara Frontal

En las siguientes figuras se puede apreciar cómo está conectado e instalado el equipo.

Figura 2. Esquema de la Celda PVT, Vinci Technologies.



Fuente: GONZALEZ TASCON SAS

[11] VINCI TECHNOLOGIES. Fluid-Eval Standard, Spare parts & Consumables list. 2010. 9 p.

4.1.1 Fluid Eval PVT. Este componente es un equipo PVT utilizado para medir las características PVT del petróleo negro, volátil, gas condensado, gases húmedos y secos[12]; el equipo es libre de mercurio y cuenta con un motor que puede ser usado en varias configuraciones dependiendo el tipo de análisis a realizar.

A continuación, se puede observar una imagen de la Celda Fluid Eval PVT.

Figura 3. Cabezal de la Celda PVT, Vinci Technologies.

[12] VINCI TECHNOLOGIES, Equipo Fluid Eval, manual de usuario. s.f. 46 p.

4.1.2 HPM (Microscopio de alta presión): El HPM es un instrumento de precisión que permite realizar observaciones sobre la composición e interacción de los fluidos cuando están siendo sometidos a pruebas PVT. De acuerdo con Vinci Technologies[13] se presentan dos configuraciones: Gas y Aceite, dependiendo del tipo de estudio que se está realizando. En la siguiente figura se puede apreciar el HPM de la celda PVT Fluid Eval GT-32334-600.

Figura 4. Microscopio de alta Presión de la Celda PVT, Vinci Technologies.

Fuente: Catálogo de productos VINCI TECHNOLOGIES con autorización explicita.

4.1.3 SDS (Sistema de Detección de Solidos). De acuerdo con Vinci Technologies[14], el SDS contiene un espectrómetro y es usado para la cuantificación de sólidos en hidrocarburos, el sistema consiste en Célula para asfáltenos, Fibras óptica, espectrómetro, lampara, sistema de detección de solidos con software especializado. En la siguiente figura, podemos observar el SDS del PVT Fluid Eval GT-32334-600.

[13] VINCI TECHNOLOGIES. High Pressure Microscope HPM, Appendix for FLUID EVAL. s. f. 10 p.
[14] VINCI TECHNOLOGIES, Sistema de Detección de solidos con espectrómetro, Para la cuantificación de la deposición de solidos en hidrocarburos. s.f. 47 p.

Figura 5. Sistema de detección de Solidos de la Celda PVT, Vinci Technologies.

Fuente: Catálogo de productos VINCI TECHNOLOGIES con autorización explicita.

4.1.4 Bomba de recirculación. Es un mecanismo electromecánico paralelo a la bomba principal de la celda cuyo objetivo principal es dar soporte a la homogeneización y restauración de los fluidos en estudio. No necesita ningún tipo fluido para ser activada y su principio de funcionamiento es básicamente igual al de la bomba principal, pero la bomba de recirculación no cuenta con sistema de agitación y su volumen es menor (10 c.c.).

Figura 6. Bomba de recirculación de la celda PVT, Vinci Technologies.

Fuente: Catálogo de productos VINCI TECHNOLOGIES con autorización explicita.

4.1.5 Cámara Frontal. Es una cámara de video que va sobre la celda y sirve para mirar directamente el interior mientras se realiza la prueba.

Figura 7. Cámara Frontal de la celda PVT, Vinci Technologies.

Fuente: Catálogo de productos VINCI TECHNOLOGIES con autorización explicita.

4.2 MODELO DE MANTIMIENTO ACTUAL

El modelo de Mantenimiento que se ha implementado a la celda PVT objeto de estudio es Mantenimiento Preventivo desde 2012 hasta la actualidad. La sugerencia de Fabrica es una visita anual para intervenir preventivamente el equipo, sin embargo, por razones de logística y fortuitas, en los últimos 8 años solo se han realizado 5 intervenciones.

4.2.1 Mantenimiento preventivo. El mantenimiento que se le realiza a la celda PVT es del tipo Mantenimiento Preventivo siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Vinci Technologies ofrece un ano de garantía para sus equipos por defectos de fabricación o mal funcionamiento.

Ofrece también un contrato para una revisión anual de mantenimiento preventivo realizado por un experto de fábrica. Este mantenimiento consiste en las siguientes operaciones.

4.2.2 Operaciones de mantenimiento preventivo

- Realización de prueba de fugas del sistema de presión de confinamiento y test de fugas para el sistema de desplazamiento y de confinamiento.
- Procedimiento de limpieza de las líneas de instrumentación (interna y externa) relacionadas con el sistema de presión.
- Inspección y verificación de integridad de accesorios y conexiones de la instrumentación de los sistemas de presión.
- Cambio de o’ rings y sellos del sistema.
- Inspección y verificación de la funcionalidad de las válvulas de los sistemas de presión.

- Verificación de funcionamiento del transductor de presión, simulando en el software y utilizando un calibrador de procesos.
- Inspección de componentes, pruebas funcionales, limpieza, verificación de voltajes y de rizado de la fuente de alimentación.
- inspección y realización de seguimiento de los cables y conexiones de potencia, comunicaciones y control de todo el sistema.
- Limpieza, inspección y pruebas funcionales del indicador de presión, utilizando un calibrador de procesos.
- Verificación y pruebas funcionales del agitador magnético (rotor y estator).
- Verificar integridad y funcionalidad de los sensores de temperatura (termopozo, cable y conector).
- Realización de pruebas funcionales utilizando un calibrador de procesos.
- Verificación, pruebas y parametrización del controlador de temperatura.
- Revisión y pruebas funcionales y de integridad de las resistencias de calentamiento.
- Inspección, limpieza y prueba de funcionamiento del ventilador del horno.
- Revisión y prueba del relé de estado sólido.
- Verificación del estado del aislamiento térmico.
- Verificación y pruebas del sistema de rotación.
- Limpieza y pruebas del sistema óptico y de iluminación.
- Verificación y pruebas de la lámpara.
- Inspección y pruebas funcionales del sistema de control de las bombas.
- Verificación y pruebas del motoreductor y de los cilindros de la bomba.
- Verificación y pruebas funcionales de la cámara de video.
- Verificación y pruebas funcionales del panel View.
- Limpieza y verificación de condiciones operativas del hardware del PC.
- Revisión de funcionamiento y estado del software del PC.

4.3 ANALISIS DE DATOS HISTORICOS

En esta sección se plantea la revisión de los principales resultados obtenidos durante las intervenciones realizadas entre 2012 y 2020.

4.3.1 Históricos de mantenimiento

Tabla 1. Históricos de mantenimiento

Section	2012	2013	2014	2015	2017	2019
O-rings	All the O-rings of the unit have been replaced	All the O-rings of the unit have been replaced.	All the O-rings of the unit have been replaced.	All the O-rings of the unit have been replaced.	All the O-rings of the unit have been replaced.	All the O-rings of the unit have been replaced.
PVT Calibrations	All the sensors have been calibrated according to factory procedure					
Software	Appilab software has been updated to v6.9.				Communication between the PC (Applilab and Camera) and the PVT are correct.	Communication between the PC (Applilab and Camera) and the PVT are correct.
Embedded pump		Homing of the pump has been done. Electrical safety switches were checked. Minimum volume has been calibrated.	Homing of the pump has been done. Electrical safety switches were checked. Minimum volume has been calibrated.	Homing of the pump has been done. Electrical safety switches were checked	Homing of the pump has been done. Electrical safety switches were checked	Homing of the pump has been done. Electrical safety switches were checked

Section	2012	2013	2014	2015	2017	2019
Pump Firmware		Onboard Diagnostic of the automated pump features	Onboard Diagnostic of the automated pump features	Onboard Diagnostic of the automated pump features		
Labels			Labels of inlet/outlet port has been replaced			
NIR bulb			Lens and optical fibers are clean.	Lens and optical fibers are clean.	Lens and optical fibers are clean.	Lens and optical fibers are clean.

4.3.2 Históricos de consumo

Tabla 2. Históricos de consumo

DESCRIPTION	PART NUMBER	2012	2013	2014	2015	2017	2019
OIL Head backup ring PTFE	T0000382	6	6	6	6	1	1
OIL Head backup ring PEEK	T0002192	8	6	8	8	2	1
OIL Head Viton O-ring	JT198036V	4	4	4	4	2	2
OIL Head EDR O-ring	JT198036EDR	4	4	4	4	2	2
PVT Head Valve - Stem/awl	STD0000632	1	1			1	1
PVT Head Valve - Sealing ring - PTFE	STD0000635	1	1	1	2	2	2
PVT Head Valve - Sealing ring - PEEK	STD0001621	2	2	2	1	1	2
Piston EDR O-ring - d43.7	JT3429533EDR	1	1	1	1	1	1
Piston Viton O-ring - d43.7	JT3429533V	1	1	1	1	1	1
Piston backup PTFE - d43.7	AP0001153	2	2	2	2	0	0
Piston backup PEEK - d43.7	AP0001927	2	2	2	2	0	0
PVT pump EDR O-ring	JT5842262EDR	1	1	1	1	1	1
Top stator bearing 10x19x5	6800-CE	2	2	2	2	0	0
Rotor bearing 6x13x3.5	686-CE	2	2	1	1	1	1
1/8" Valve - PTFE sealing ring	1/8VA-PTFE-RING	1	1	1	1	1	1
1/8" Valve - PEEK sealing ring	1/8VA-PEEK-RING	1	1	1	1	1	1

DESCRIPTION	PART NUMBER	2012	2013	2014	2015	2017	2019
1/8" Valve - Stem	1/8VA-stem	1	1				
coupling part between the two screw jacks.	GESM24-28AL25	1					
coupling part between the two screw jacks.	GESM24-28AL25	1					
Maintenance Service	PROJ. 15429						

4.3.3 Tabla de fallas detectadas por el fabricante. Según el fabricante esta es la manera en la que el equipo fallará de manera más probable.

Tabla 3. Fallas Detectadas por el Fabricante

Failure designation	Life expectancy without check or maintenance	Possible origin of the failure	Solution
leak on tubing	2 years	over torque, repetitive assembly/disassembly (wearing)	avoid disassembly, use of torquemeter
Leak on piston packing	6 months to 1 year	uncorrect assembly	Replacement
		wear and tear	
		life expectancy reduced according to operating conditions, pressure ramp	
Leak on window	6 months to 1 year	uncorrect assembly	Replacement
		wear and tear	
		life expectancy reduced according to operating conditions, pressure ramp	
Saphire broken	if no damage during the first 2 years, look like to stand forever	Uncorrect assembly	Replacement
		natural weakness of saphire according to batches	
		pressure hammer	
		absence of lubricant	
Leak on stem valve (any)	2 years	overtigthened	Replacement
		sediment in the sample	
		wear and tear	
leak on valve packing (any)	1 year	packing gland loose	Replacement
		wear and tear	
Stirrer inner bearing	1 year	Uncorrect assembly	Replacement
		Solid sediment (sand) or high viscosity sample	
		wear and tear	

Failure designation	Life expectancy without check or maintenance	Possible origin of the failure	Solution
Stirrer outer bearing	1 year	Uncorrect assembly	Replacement
		Operation with failure on inner bearing	
		wear and tear	
Pressure transmitter	5 years	Life expectancy of the sensor	Replacement
		Pressure hammer	
Misalignement of cell oven	2 years	wear and tear	Recalibrate
heating cartrigde	4 years	wear and tear	Replacement
		electrical failure	
Other electrical components	>5 years	wear and tear	Replacement
(motor, drive etc)		electrical failure	
Shaft locked / seize	2 years	unit not operating for long period	add lubricant or Replacement
		Absence of lubricant	

4.4 ANÁLISIS ECONOMICO DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS HISTORICOS

En las siguientes tablas se resumen los costos que han generados las intervenciones realizadas entre 2012 y 2020 por diversos conceptos.

Tabla 4. Costos históricos de consumibles

DESCRIPTION	PART NUMBER	QTY	UNIT	U. PRICE		TOTAL	
OIL Head backup ring PTFE	T0000382	36	EA	€	58.00	€	2088.00
OIL Head backup ring PEEK	T0002192	36	EA	€	101.00	€	3636.00
OIL Head Viton O-ring	JT198036V	24	EA	€	26.00	€	624.00
OIL Head EDR O-ring	JT198036EDR	24	EA	€	26.00	€	624.00
PVT Head Valve - Stem/awl	STD0000632	6	EA	€	23.00	€	138.00
PVT Head Valve - Sealing ring - PTFE	STD0000635	6	EA	€	34.00	€	204.00
PVT Head Valve - Sealing ring - PEEK	STD0001621	12	EA	€	34.00	€	408.00
Piston EDR O-ring - d43.7	JT3429533EDR	6	EA	€	64.00	€	384.00
Piston Viton O-ring - d43.7	JT3429533V	6	EA	€	29.00	€	174.00
Piston backup PTFE - d43.7	AP0001153	12	EA	€	68.00	€	816.00
Piston backup PEEK - d43.7	AP0001927	12	EA	€	192.00	€	2304.00
PVT pump EDR O-ring	JT5842262EDR	6	EA	€	75.00	€	450.00
Top stator bearing 10x19x5	6800-CE	12	EA	€	120.00	€	1440.00
Rotor bearing 6x13x3.5	686-CE	6	EA	€	75.00	€	450.00
1/8" valve - PTFE sealing ring	1/8VA-PTFE-RING	6	EA	€	23.00	€	138.00
1/8" valve - PEEK sealing ring	1/8VA-PEEK-RING	6	EA	€	34.00	€	204.00
					TOTAL	€	14,082.00

Tabla 5. Costos históricos de partes reemplazadas

DESCRIPTION	PART NUMBER	QTY	UNIT	U. PRICE		TOTAL	
Stirrer cable the electrical wire for the motor of the stirrer (24VDC)	DIVER	1	MT	€	110.00	€	110.00
The motor peak Coupling Part.	GESM24-28AL25	1	EA	€	305.00	€	305.00
Camara de video HPM-CAM	HPM-CAM	1	EA	€	11,120.00	€	11,120.00

DESCRIPTION	PART NUMBER	QTY	UNIT	U. PRICE		TOTAL	
D12.5 INDUSTRIAL SAPPHIRE WINDOW W/O EDGE	C0000396	1	EA	€	2,500.00	€	2,500.00
					TOTAL	€	14,035.00

Tabla 6. Costos históricos de mantenimiento

AÑO	FECHA EJECUCION	DÍAS EN FALLA	CLASE ORDEN	TEXTO BREVE	EQUIPO	DENOMINACIÓN	COSTO		CRITICIDAD
2012	18/08/2012	9	Preventivo	revisión rutinaria celda pVT11	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	15,300.00	CPL (critico por laboratorio)
2012	18/08/2012	9	Correctivo	cambio cable stirrer	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	110.00	CPL (critico por laboratorio)
2013	04/11/2013	9	Preventivo	revisión rutinaria celda pVT11	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	15,300.00	CPL (critico por laboratorio)
2013	04/11/2013	9	Correctivo	cambio del Stirrer coupling	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	305.00	CPL (critico por laboratorio)
2015	23/09/2014	9	Preventivo	revisión rutinaria celda pVT11	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	15,300.00	CPL (critico por laboratorio)
2017	06/07/2017	9	Preventivo	revisión rutinaria celda pVT11	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	15,300.00	CPL (critico por laboratorio)
2018	29/04/2020	114	Correctivo	DAÑO EN BOMBA DE LA CELDA	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	1,500.00	CPL (critico por laboratorio)
2019	28/11/2019	274	Preventivo	Revisión técnica de celda Vinci #11 por	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	15,300.00	CPL (critico por laboratorio)
2019	21/01/2020	50	Correctivo	Reemplazo cámara de Celda Vinci 11	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	11,120.00	CPL (critico por laboratorio)

AÑO	FECHA EJECUCION	DÍAS EN FALLA	CLASE ORDEN	TEXTO BREVE	EQUIPO	DENOMINACIÓN	COSTO		CRITICIDAD
2020	27/10/2020	232	Correctivo	Cambio Safiro celda VT #11	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	2,500.00	CPL (critico por laboratorio)
2020	07/12/2020	185	Correctivo	Configuración interfase celda PVT 11	10113610	Celda Comportamiento Fases Vinci # 11	€	580.00	CPL (critico por laboratorio)
						TOTAL	€	92,615.00	

Se puede observar que las partes reemplazadas en los últimos 8 años corresponden con lo predicho en la Tabla 3. Fallas Detectadas por el Fabricante, y se puede analizar a mayor profundidad en el Anexo C3. Costos Históricos de Mantenimiento.

En la siguiente tabla se puede observar el costo consolidado de las intervenciones realizadas entre 2012 y 2020; los costos anuales totales incluyen los costos de los consumibles, costos de partes reemplazadas y los costos por mantenimientos correctivos y preventivos.

Tabla 7. Análisis de Costos basados en Históricos

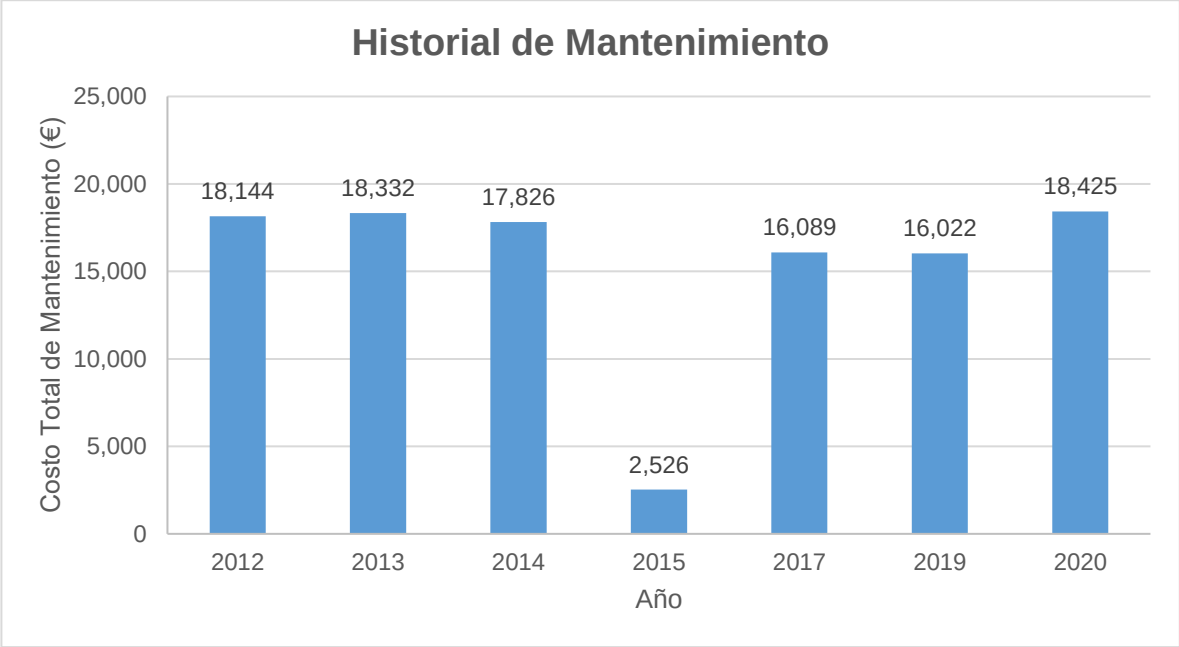
Año	Concepto	Valor	Valor Total
2012	Consumibles	€ 2,624.00	€ 18,144.00
	Correctivo	€ 110.00	
	Preventivo	€ 15,300.00	
	Partes reemplazadas	€ 110.00	
2013	Consumibles	€ 2,422.00	€ 18,332.00
	Correctivo	€ 305.00	
	Preventivo	€ 15,300.00	
	Partes reemplazadas	€ 305.00	
2014	Consumibles	€ 2,526.00	€ 17,826.00
	Preventivo	€ 15,300.00	
2015	Consumibles	€ 2,526.00	€ 2,526.00
2017	Consumibles	€ 789.00	€ 16,089.00
	Preventivo	€ 15,300.00	
2019	Consumibles	€ 722.00	€ 16,022.00
	Preventivo	€ 15,300.00	
2020	Consumibles	€ 2,725.00	€ 18,425.00
	Correctivo	€ 2,080.00	
	Partes reemplazadas	€ 11,120.00	
		€ 2,500.00	

En la siguiente Figura No.8, se puede apreciar una reducción en los costos de mantenimiento durante el año 2015, ya que en ese año solo se realizó la compra de consumibles, pero no se contrató el servicio de mantenimiento.

También se puede observar un mayor costo durante el año 2020 debido a las partes reemplazadas durante ese año.

Vale resaltar que excepto por el tiempo de mantenimiento y el tiempo muerto por falta de consumibles o repuestos, la celda ha estado en funcionamiento tiempo completo 24 horas / día. Es decir, la capacidad instalada tiene demanda 100% del tiempo, como se infiere de la Figura No. 9.

Figura 8. Historial de Mantenimiento, Costos de mantenimiento Preventivo y Correctivo



Fuente: GONZÁLEZ TASCON SAS

La capacidad instalada de la celda PVT con sus elementos auxiliares permite hacer pruebas en las proporciones mostradas en la tabla 8. Los valores son un promedio de los reales actuales del mercado mundial. Cualquiera que sea la demanda del tipo de pruebas, el equipo está en capacidad de producir ingresos por valor promedio mensual de 50,000.00 (EUR).

Esta celda tiene demanda de servicios 100% del tiempo, cuando no está disponible se envían las pruebas a laboratorios del exterior encareciendo aún más la operación.

La eficiencia de la disponibilidad de capacidad instalada teórica es de 360 días menos 9 días por mantenimiento preventivo anual = 351 días / año.

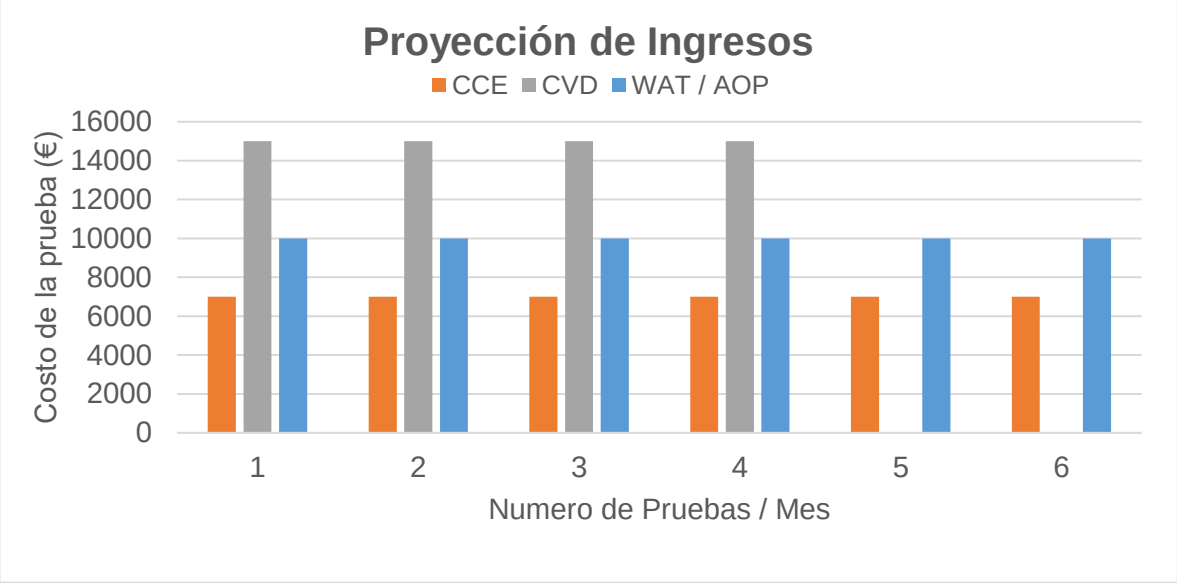
Tabla 8. Proyección de Ingresos

Estudios	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
CCE (presión de Burbuja / Expansión a presión constante)	6	€ 7,000.00	€ 42,000.00
CVD (depleción a volumen constante)	4	€ 15,000.00	€ 60,000.00
WAT / AOP (Temperatura de aparición de Parafinas / Presión Onset de asfáltenos)	6	€ 10,000.00	€ 60,000.00

En la figura 9, se muestra las posibles combinaciones de pruebas que pueden hacerse por mes, la sumatoria de los valores de las pruebas realizadas reflejan aproximadamente la capacidad instalada de producción, 50.000.00 / mes.

Cuando el equipo se encuentra parado por temas de fallas o mantenimiento, el cliente deja de producir € 1,650.00 / día.

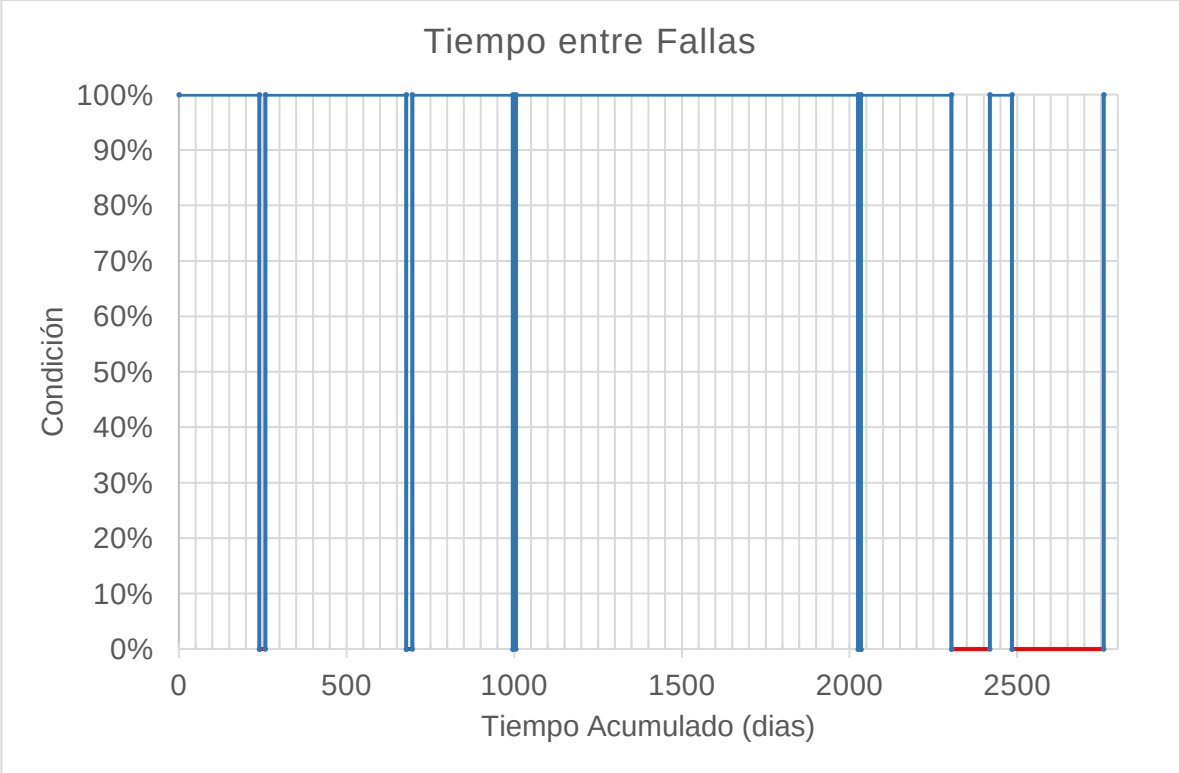
Figura 9. Proyección de Ingresos



Fuente: GONZALEZ TASCON SAS

A continuación, se presenta la gráfica de tiempos muertos la celda PVT Fluid Eval GT-32334-600, Figura 10, en la cual el eje Condición refleja la operatividad o no operatividad del equipo; el 100% significa que el equipo está en funcionamiento, mientras un 0% significa es un tiempo no operativo. Los cambios reflejan los momentos en los cuales se realizó mantenimiento, de acuerdo con los requerimientos del equipo. Cabe resaltar que el equipo requiere para su mantenimiento preventivo solo 3 días, no obstante, se estiman 9 días por la necesidad de asegurar la limpieza interna y la preparación de la nueva muestra.

Figura 10. Tiempo entre fallas del equipo

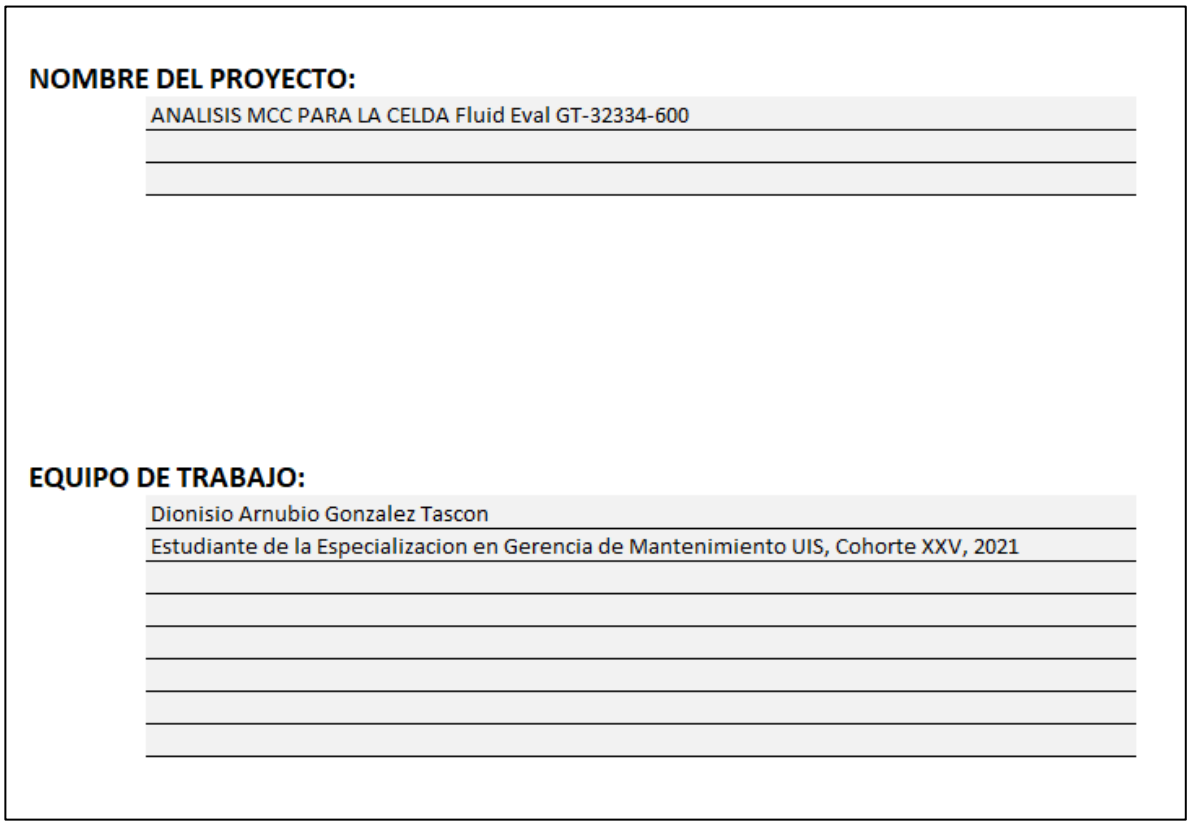


Fuente: GONZALEZ TASCON SAS

5. MCC (RCM)

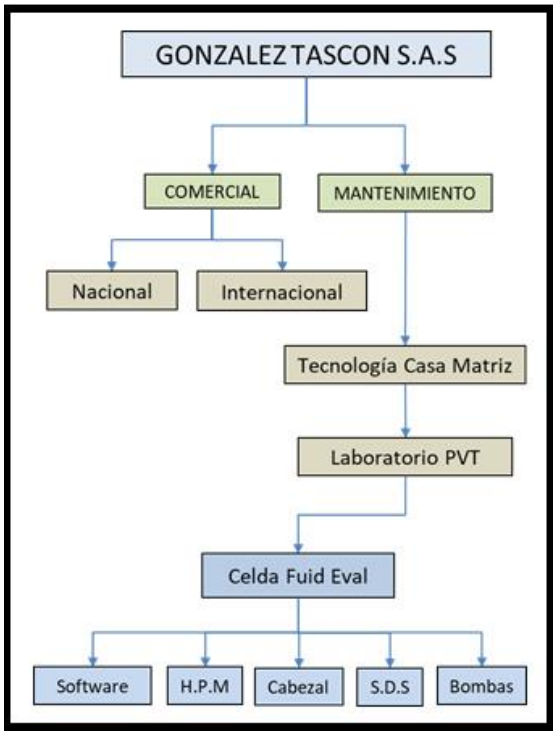
El análisis RCM completo puede ser encontrado en el Anexo D. Análisis RCM para la celda PVT Fluid Eval gt-32334-600., a continuación, se procederá a mostrar las tablas de RCM realizadas.

Figura 11. Portada del Análisis RCM para la celda PVT Fluid Eval



Fuente: GONZÁLEZ TASCOS S.A.S.

Figura 12. Taxonomía.

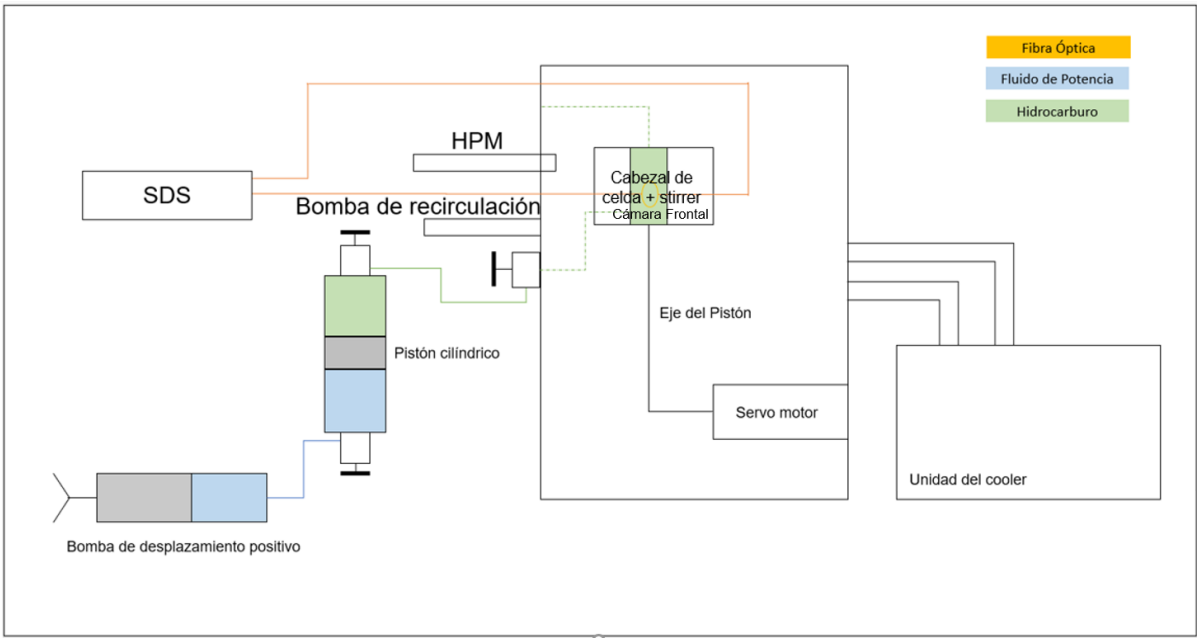


Fuente: GONZÁLEZ TASCOS S.A.S.

Figura 13. Celda PVT objeto de estudio

Fuente: GONZÁLEZ TASCOS S.A.S.

Figura 14. Esquema de la Celda PVT objeto de estudio



Fuente: GONZÁLEZ TASCOS S.A.S.

Tabla 9. Análisis RCM

Identificación de fallas y modos de falla

Elemento / Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Evidencia (sobre la Falla Funcional)
Cabezal de celda / contener fluidos hidrocarburos a condiciones de yacimiento.	Disminución de volumen.	No estabiliza la presión.	Es evidente
Control de temperatura (Unidad Cooler) / controlar la temperatura programada	Inestabilidad de temperatura	Descontrol en set up de temperatura.	Es evidente
líneas de inyección de fluido / conducir fluido al cabezal de la celda.	Control de presión.	Inestabilidad de presión.	Es evidente
Stirrer en extremo superior de pistón / Agitar y homogenizar los fluidos en el cabezal	No gira el stirrer	No gira cuando se ajusta las revoluciones.	Es evidente
Eje del stirrer / Soportar las revoluciones de agitación	Ruido y golpeteo anormal	Trabajo forzado del eje del Stirrer	Es evidente
Sistema de rotación 180° para homogenización / restauración de fluidos y Rotación del cabezal para cambio de dirección	No gira 180° la celda.	No actúa el sistema rotacional al activar comando eléctrico.	Es evidente
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	La bomba no actúa en coherencia con la orden del software	El servomotor registra falla en su función.	Es evidente
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	Falla en modo volumen	La presión no varía de forma uniforme, se torna escalonada.	Es evidente

Elemento / Función	Descripción Falla Funcional	Modo de Falla	Evidencia (sobre la Falla Funcional)
Bomba auxiliar (10cc) / Recircular Fluidos de muestra	Perdida de Contención Fuga en línea de conexión a celda	Se detecta derrame en línea que entra a bomba auxiliar. **u**	Es evidente
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	Señal intermitente.	Se evidencia que la imagen del monitor se congela intermitentemente.	Es evidente
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	Registro visual incoherente.	Imágenes captadas con apariencia de partículas de suciedad.	Es evidente
SDS (sistema de detección de solidos) / Visualizar interfases	Señal débil del espectro.	Registra porcentajes de transmitancia bajos.	Es evidente
SDS (sistema de detección de solidos) / visualizar depositario de orgánicos	No enciende el equipo	No registra alimentación eléctrica.	Es evidente
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	Imágenes borrosas.	No es evidente el registro.	Es evidente
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	Acceso denegado a set-up	No permite ingresar al software a modo configuración.	Es evidente

Identificación de efectos y consecuencias

Elemento / Función	Descripción Efectos	Efectos sobre MA y Seg. (sobre la Modo de Falla)	Efectos Prod. Y Otros (sobre la Modo de Falla)	Daños físicos (sobre la Modo de Falla)	Correctivo (sobre la Modo de Falla)
Cabezal de celda / contener fluidos hidrocarburos a condiciones de yacimiento.	Pérdida gradual de la muestra inyectada para el análisis.	Tiene efecto Contaminación local	Aborto del análisis.	Perdida del fluido	Asegurar hermeticidad del sistema.
Control de temperatura (Unidad Cooler) / controlar la temperatura programada	No estabilización de parámetros del fluido.	Tiene efecto Posible vaporización	Perdida del fluido.	Fluido no representativo.	Asegurar parámetro del sistema.
Líneas de inyección de fluido / conducir fluido al cabezal de la celda.	Pérdida gradual de la muestra inyectada para el análisis.	Tiene efecto Contaminación local	Aborto del análisis.	Perdida del fluido	asegurar hermeticidad del sistema.
Stirrer en extremo superior de piston / Agitar y homogenizar los fluidos en el cabezal	Fuera de línea sistema de homogeneización.	Tiene efecto Contaminación local	No permite homogenizar la muestra.	Fluido no representativo.	Revisar cable de alimentación eléctrica.
Eje del stirrer / Soportar las revoluciones de agitación	colapso del eje, fractura.	Tiene efecto Contaminación local	No permite homogenizar la muestra.	Fluido no representativo.	revisión mecánica del eje.
Sistema de rotación 180° para homogenización / restauración de fluidos y Rotación del cabezal para cambio de dirección	No se activa el motor y el sistema mecánico para dar rotación a la celda.	No tiene efecto	No permite homogenizar la muestra.	Daño eléctrico y/o electrónico y posible falla mecánica.	revisión general de sistema rotacional
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	Inoperatividad de la bomba.	No tiene efecto	No permite operar la celda.	Daño eléctrico y/o electrónico y	revisión general de sistema rotacional

Elemento / Función	Descripción Efectos	Efectos sobre MA y Seg. (sobre la Modo de Falla)	Efectos Prod. Y Otros (sobre la Modo de Falla)	Daños físicos (sobre la Modo de Falla)	Correctivo (sobre la Modo de Falla)
				posible falla mecánica.	
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	No permite ajustar una rata constante de despresurización.	No tiene efecto	Inoperativa para análisis de disminución de presión controlada.	Golpeteo en eje de bomba.	reparación eje de bomba principal
Bomba auxiliar (10cc) / Recircular Fluidos de muestra	Cuando se activa la bomba de recirculación se evidencia derrame de fluido en puerto de conexión.	Tiene efecto Contaminación local	Queda inactivo el modo recirculación.	Perdida del fluido	asegurar hermeticidad del sistema.
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	Perdida de seguimiento al análisis.	No tiene efecto	periférico generando data incompleta.	análisis no concluyente.	revisión de líneas de control del HPM.
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	partículas externas inciden en el registro y medición de formación de compuestos orgánicos.	No tiene efecto	detección errada de WAT y AOP	No tiene efecto	revisión de óptica del microscopio.
SDS (sistema de detección de solidos) / Visualizar interfases	Señales débiles que inciden en graficas erróneas.	No tiene efecto	detección errada de WAT y AOP	No tiene efecto	revisión de fibra óptica.
SDS (sistema de detección de solidos) / visualizar depositacion de orgánicos	Equipo periférico deshabilitado para análisis de compuestos orgánicos.	No tiene efecto	Inoperatividad de periférico SDS	SDS fuera de línea	revisión eléctrica del equipo o fuente

Elemento / Función	Descripción Efectos	Efectos sobre MA y Seg. (sobre la Modo de Falla)	Efectos Prod. Y Otros (sobre la Modo de Falla)	Daños físicos (sobre la Modo de Falla)	Correctivo (sobre la Modo de Falla)
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	No permite apreciar con exactitud el punto de inicio de presión de burbuja.	No tiene efecto	detección errada de Pb.	No tiene efecto	Limpieza de la óptica de la Cámara.
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	Cámara inoperativa, no recibe comandos de ajuste y configuración para inicio de análisis.	No tiene efecto	No permite registro visual de Punto de Burbuja.	No tiene efecto	revisión de sistema óptico externo.

Valoración de Riesgos

Elemento / Función	R. Ambiental	R. Humano	R. Económico	R. Imagen	Probabilidad (sobre la Modo de Falla)	Valor del riesgo	Valor económico del riesgo ($)
Cabezal de celda / contener fluidos hidrocarburos a condiciones de yacimiento.	5E	5E	4E	5E	E	M	€ 9,000.00
Control de temperatura (Unidad Cooler) / controlar la temperatura programada	5E	5E	4E	5E	E	M	€ 9,000.00
Líneas de inyección de fluido / conducir fluido al cabezal de la celda.	5E	5E	4E	5E	E	M	€ 9,000.00
Stirrer en extremo superior de piston / Agitar y homogenizar los fluidos en el cabezal	5E	5E	4E	5E	E	M	€ 9,000.00
Eje del stirrer / Soportar las revoluciones de agitación	5E	5E	4E	5E	E	M	€ 9,000.00

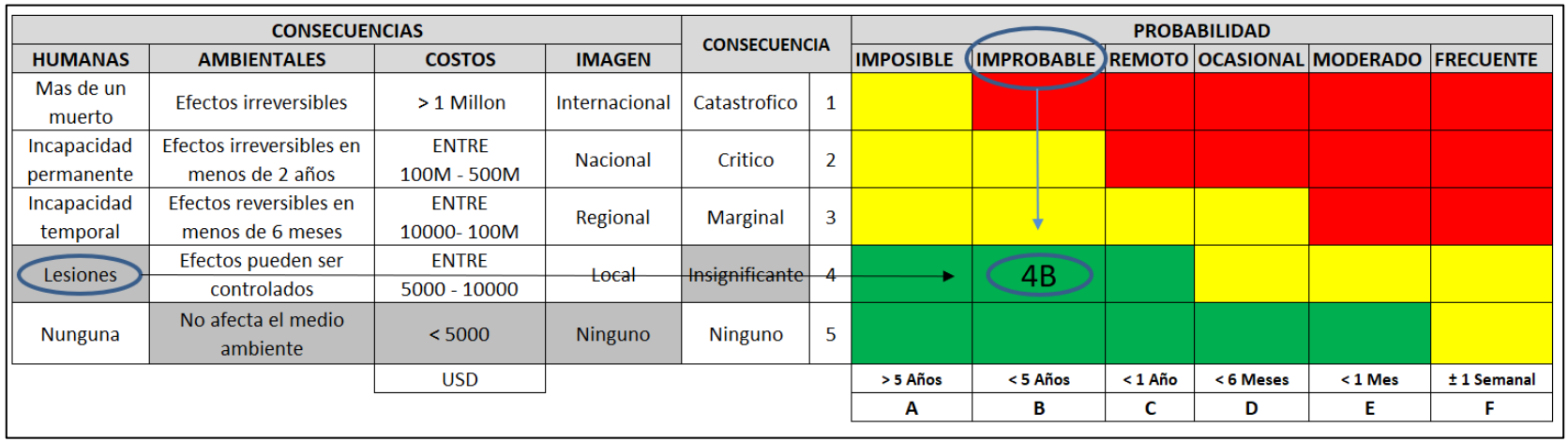
Elemento / Función	R. Ambiental	R. Humano	R. Económico	R. Imagen	Probabilidad (sobre la Modo de Falla)	Valor del riesgo	Valor económico del riesgo ($)
Sistema de rotación 180° para homogenización / restauración de fluidos y Rotación del cabezal para cambio de dirección	5E	5E	4E	5E	E	M	$ 9,000.00
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	5E	5E	4E	5E	E	M	$ 9,000.00
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	5D	5D	4D	5D	D	M	$ 9,000.00
Bomba auxiliar (10cc) / Recircular Fluidos de muestra	5C	5C	5C	5C	C	B	$ 2,000.00
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	5C	5C	5C	5C	C	B	$ 2,000.00
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	5D	5D	4D	5D	D	M	$ 6,000.00
SDS (sistema de detección de solidos) / Visualizar interfases	5D	5D	4D	5D	D	M	$ 6,000.00
SDS (sistema de detección de solidos) / visualizar depositacion de orgánicos	5D	5D	4D	5D	D	M	$ 6,000.00
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	5D	5D	4D	5D	D	M	$ 6,000.00
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	5D	5D	4D	5D	D	M	$ 5,000.00

Identificación de decisiones y tareas

Elemento / Función	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (días)	RECURSOS
Cabezal de celda / contener fluidos hidrocarburos a condiciones de yacimiento.	Monitoreo	Monitorear parámetros estabilizados.	Diariamente	Operador / prueba neumática.
Control de temperatura (Unidad Cooler) / controlar la temperatura programada	Monitoreo	Monitorear parámetros estabilizados.	Diariamente	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
Líneas de inyección de fluido / conducir fluido al cabezal de la celda.	Monitoreo	Monitorear parámetros estabilizados.	Diariamente	Operador / prueba neumática.
Stirrer en extremo superior de piston / Agitar y homogenizar los fluidos en el cabezal	Intervención para cambio del cable	Cambio cable de alimentación eléctrica.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
Eje del stirrer / Soportar las revoluciones de agitación	Detener funcionamiento	revisión de eje para reparación o cambio total.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
Sistema de rotación 180° para homogenización / restauración de fluidos y Rotación del cabezal para cambio de dirección	Monitoreo	revisión sistema rotacional.	Diariamente	Operador
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	Monitoreo	revisión mecánica y eléctrica del servomotor.	Diariamente	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
Bomba principal (500cc) / Bombear Fluidos de muestra	CAF	Cambio de centralizadores, o 'rings y rodamientos del eje.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales

Elemento / Función	TIPO DE DECISIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (días)	RECURSOS
Bomba auxiliar (10cc) / Recircular Fluidos de muestra	Monitoreo	Cambio de puerto de conexión de la línea.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	CAF	revisión del control electrónico.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
Microscopio de alta presión (HPM) / Permitir visualización de fases y nivel	CAF	Desarticular y limpiar con solvente lentes del microscopio.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
SDS (sistema de detección de solidos) / Visualizar interfases	CAF	revisión de integridad de fibra óptica y conexiones.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
SDS (sistema de detección de solidos) / visualizar depositación de orgánicos	CAF	Revisar circuitos de alimentación del sistema y/o fusibles del equipo.	Por condición	Cuadrilla de mantenimiento Herramientas y materiales
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	CAF	Limpieza con solvente de las lentes de la Cámara.	Por condición	Operador
Cámara frontal (externa) / Permitir visualización directa	CAF	revisión electrónica de la Cámara y cable de datos.	Por condición	Técnico Instrumentista Repuestos de Cámara.

Figura 15. Matriz de riesgos



Fuente: GONZÁLEZ TASCÓN S.A.S.

Se utiliza esta matriz de riegos del cliente y cuyo resultado se encuentra en la Tabla No. 9, Valoración de Riesgos. Este ejercicio es específicamente para la celda PVT Fluid Eval gt-32334-600

Se identifican los siguientes riesgos:

- Humanas: Identifica riesgo de lesiones por posibles salpicaduras, o fugas en el procedimiento de inyección.
- Ambientales: No se identifica en el proceso afectaciones en el ambiente.
- Costos: Una falla de control puede generar costos de mantenimiento inferiores a USD 5000.
- Imagen: La ocurrencia de un incidente operacional no trasciende a medios locales.

- Probabilidad: IMPROBABLE, el efecto de las consecuencias anteriores no se presenta en un término menor de 5 años de frecuencia.

La valoración de riesgo se hace teniendo en cuenta que el operario es una persona capacitada y certificada en la operación y manipulación de la Celda Fluid Eval. De este modo se garantiza la integridad humana y del equipo, generando una probabilidad de riesgo muy baja (4B).

A continuación, se procederá a hacer una evaluación sobre el Análisis RCM realizado a fin de proponer un modelo de mantenimiento para la celda PVT Fluid Eval GT-32334-600 más eficiente que el presente.

5.1 INTERPRETACIÓN DEL MCC (RCM) APLICADO A LA CELDA PVT OBJETO DE ESTUDIO.

Antes de realizar la interpretación deben considerarse algunos datos económicos y de tiempo de la celda PVT objeto de estudio.

Tabla 10. Datos Económicos y de tiempos (TBF, TTR)

Concepto	Valor
Costo del equipo instalado y en funcionamiento DDP	€ 850,000.00
Costo del mantenimiento promedio anual	€ 13,420.00
Costo total de mantenimiento durante 8 años	€ 107,360.00
Capacidad teórica de producción / año	€ 579,000.00
Perdida por ineficiencia operativa / gerencial	(909-72) x 1,650= € 1,381.000.00
Costos promedio de consumibles / año	€ 15,000,00
Costos promedio de repuestos / año	€ 14,000,00
Periodo de recuperación de la inversión PRI	1.46 años
Tiempo promedio para reparación / Mtto. Preventivo	9 días
Tiempo acumulado para reparación	72 días
Tiempo promedio entre fallas	720 días
Disponibilidad teórica instalada	351 días.
Tiempo real de disponibilidad histórica en 8 años	(2880-909) = 1,971 días
Demanda de disponibilidad de la Celda	100%
Vida útil esperada de la celda PVT Ref. Fluid Eval GT-32334-600	25 años

La celda Fluid Eval es un mecanismo de tecnología avanzada, cuenta con soporte técnico de su casa matriz para garantizar su buen funcionamiento y confiabilidad.

La implementación de un proyecto de mantenimiento verificado, teniendo en cuenta los datos históricos del equipo y los promedios de fallas ponderados por el fabricante, son garantía para proponer una filosofía de mantenimiento que permita mantener y en lo posible mejorar las cifras costo-beneficio y la disponibilidad y confiabilidad del equipo[15].

De los datos históricos se observa que la celda solo ha requerido 4 mantenimientos correctivos durante 8 años de operación, un promedio de tiempo entre fallas de 720 días. No obstante, se evidencia que el tiempo muerto (La No disponibilidad) es muy alto, 909 días. El tiempo óptimo de inactividad seria 72 días, considerando los tiempos de reparación y de mantenimiento preventivo.

La diferencia, es decir 837 días inoperativos equivalente al 37% de la disponibilidad posible se deben a la falta de gestión de la dirección de mantenimiento.

Los costos de consumibles son muy bajos, no alcanzan en promedio a 2,000 euros anuales.

Los costos de partes de repuesto reemplazadas son muy bajos, no alcanzan en promedio a 2,000 euros anuales.

La velocidad de respuesta del fabricante para consumibles es de 2 semanas las cuales se elevan a 4 semanas por importación y nacionalización.

[15] LAVALLE BURGUETE, A. C., Análisis financiero. Editorial Digital UNID. 2017. 200 p.

La velocidad de respuesta del fabricante para Partes de repuestos de primera línea es de 8 semanas las cuales se elevan a 10 semanas por importación y nacionalización.

Teniendo en cuenta que en promedio el equipo deja de producir €1,650 diariamente si no está en funcionamiento, se podría resumir la perdida por la velocidad de respuesta del fabricante en la siguiente tabla.

Tabla 11. Tiempo de Respuesta del fabricante

Concepto	Tiempo (semanas)	Valor Total €
Consumibles	4	46,200.00
Partes de respuesta de primera línea	10	115,500.00

5.2 MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Este análisis RCM cubre el sistema en su totalidad al igual que sus periféricos involucrados en los diferentes tipos de estudios. Las fallas, los mantenimientos preventivos y correctivos, los históricos de consumibles y repuestos, son monitoreados y preservados en la data del equipo para asistir de manera oportuna en futuras intervenciones.

Como dijimos previamente, el programa actual de mantenimiento está basado en una rutina de mantenimiento preventivo especializado anual recomendada por el fabricante. Esta rutina ha sido efectiva en el tiempo, pero igualmente costosa, dado que los expertos viajan desde Europa para prestar el servicio con el consiguiente sobrecosto generado por pasajes internacionales, manutención y acomodamiento.

No obstante, se concluye con el estudio MCC realizado, que el mantenimiento Preventivo es el apropiado para la celda objeto de estudio.

Podemos por supuesto sugerir mejoras para una optimización de la disponibilidad y confiabilidad del equipo como también del tiempo y los recursos.

Es evidente que, siendo el tiempo de fallas del equipo tan largo, 720 días promedio, el mantenimiento preventivo especializado de fabrica podría realizarse bianual reduciéndose los costos a un 50% en este rubro. Pasaría de 12,000.00 a 6,000.00 Euros promedio anual aproximadamente.

Los costos de consumibles son pírricos, no alcanzan a 2,000.00 Euros / año. Se deduce que podrían asegurarse esos consumibles con antelación a fin de no perder tiempo en posteriores importaciones.

Los consumibles y partes de repuestos del equipo no son reparables ni reutilizables, los primeros se usan y se cambian, los segundos se dañan y se reemplazan.

El tipo de fluido a evaluar es un factor determinante en la intervención del equipo post-analisis, el personal técnico de VINCI recomienda no desensamblar el equipo en su totalidad para iniciar un nuevo estudio, aunque sea lo que dice la norma. Si la muestra de la próxima prueba presenta un perfil similar o igual en su composición, esto no afectara los resultados, una limpieza sin desmontar realizada con solvente sería suficiente si se lleva a cabo de este modo:

Limpieza de la celda post-analisis:

- Ajustar temperatura a 60°C
- Drenado total del fluido analizado.
- Inyectar solvente (tolueno o diclorometano) +/- 150cc

- Activar mixer y recircular por tiempo 15min, y posteriormente drenar en su totalidad.
- Repetir esta operación hasta comprobar que el solvente drenado está casi del color original.
- Finalmente generar vacío por un largo periodo (4 horas).

En consecuencia, con el estudio de un fluido totalmente diferente en su composición y en condiciones de análisis, si es recomendable desarticular las partes que entran en contacto con la muestra; sin embargo, esta opción puede ser evaluada por la persona encargada del proyecto en favor de no intervenir en su totalidad el sistema para evitar desajustes innecesarios del equipo y cambio de elementos consumibles con vida útil activa.

El modelo de mantenimiento propuesto es:

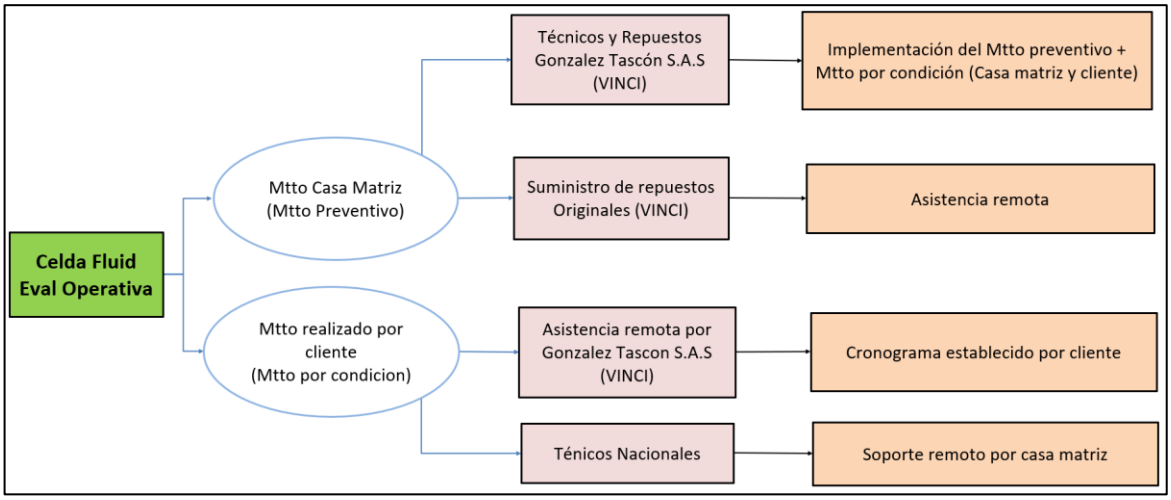
Mantenimiento Preventivo + Mantenimiento Basado en Condición.

Evidentemente, el CBM es una metodología totalmente viable para implementarse en la CELDA PVT objeto de estudio. La celda está equipada con todos los elementos sensores para detectar y transmitir su condición en tiempo real con visualización local y remota, el operador debe ser una persona capacitada y certificada en la operación y manipulación de la Celda Fluid Eval. avalado y certificado por fabrica.

Dadas todas las condiciones favorables para recomendar la filosofía de **Mantenimiento Preventivo + Mantenimiento Basado en Condición,** es importante manifestar que esta filosofía de mantenimiento seria efectiva siempre que:

- Se involucren conjuntamente expertos de fabrica con técnicos de la empresa para el mantenimiento preventivo bianual y el mantenimiento correctivo generado por condición a fin de lograr la transferencia tecnología básica para el mantenimiento de la celda.
- Siempre que la empresa conserve y asegure el conocimiento, es decir conserve los métodos, las lecciones aprendidas y a sus operarios expertos en el equipo.
- La empresa mantenga en stock los consumibles para dos años de operación como lo recomienda el fabricante.
- La empresa adelanta oportunamente el contrato de mantenimiento Preventivo especializado bianual con expertos de fabrica a través de la empresa prestadora del servicio.
- Se sigan las buenas prácticas de limpieza basadas en la experiencia a fin de no desensamblar el equipo cada vez que se inicia una prueba.
- Se sigan las recomendaciones del experto de fabrica para ensamble y desensamble. Se nota que en los últimos 8 años se ha hecho caso omiso a las recomendaciones de instalación y torque de las conexiones HIP, Butech y Autoclave, las cuales no deben llevar Teflón. (ver Anexo A)
- Finalmente, que la empresa visualice la celda como equipo capital productivo, designándole un gestor de operación y mantenimiento con autoridad y poder de decisión para proceder con la compra oportuna de consumibles y repuestos, planear y contratar oportunamente el servicio de mantenimiento preventivo especializado y asegurar la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

Figura 16. Diagrama del Plan de Mantenimiento propuesto para la celda PVT Fluid Eval gt-32334-600



Fuente: GONZÁLEZ TASCÓN S.A.S.

6. CONCLUSIONES

La evaluación del actual mantenimiento Preventivo de la celda PVT recomendado por el fabricante Vinci Technologies, evidencia ser apropiado y efectivo.

Con base en los resultados del estudio RCM, y como una alternativa de mejoramiento para lograr eficacia y eficiencia, se propone implementar una filosofía de mantenimiento que recoja el actual mantenimiento preventivo, asistido por la metodología CBM. Esta filosofía de mantenimiento permitiría optimizar el costo efectivo del mantenimiento sin comprometer su disponibilidad y confiabilidad.

Los costos generados por el mantenimiento actual son realmente bajos. Los costos de consumibles y repuestos de primera linea son muy bajos comparativamente con la productividad efectiva de la celda.

Los costos mayores del mantenimiento se presentan por el mantenimiento preventivo especializado, el cual implica traer personal experto desde Francia para su realización. No obstante, ese rubro no es significativo comparado con la productividad efectiva de la celda.

Hemos diseñado un programa de mantenimiento con base en el análisis de la metodología RCM que permitiría optimizar los costos de mantenimiento sin comprometer la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

El alto factor de “no disponibilidad” de la celda no es inherente a la celda misma sino a la falta de gestión oportuna para atender los mantenimientos de rutina, adquisición de consumibles y repuestos y la planificación de las intervenciones necesarias para el aseguramiento de la disponibilidad y confiabilidad del equipo. El tiempo muerto

por la falta de gestión administrativa equivale al 91% (72/909); es decir por carencia de Gerencia del Mantenimiento.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar una filosofía de mantenimiento que considere el **Mantenimiento Preventivo Actual,** el cual ha demostrado ser efectivo para este equipo + **Mantenimiento por Condición.**

Mantener un stock de consumibles y de repuestos de primera línea permiten asegurar la disponibilidad de la celda.

La capacitación técnica del personal de mantenimiento del cliente debe estar avalada y certificada por Vinci Technologies a fin de asegurar el conocimiento, los procesos, la pericia e idoneidad requerida para realizar las tareas de operación y mantenimiento de la celda, en procura de la satisfacción de ambas partes.

Se deben seguir las recomendaciones y lecciones aprendidas, así como las buenas prácticas de limpieza antes de cada prueba recomendadas por Vinci Technologies.

Se evidencia una posibilidad de mejora con el estudio e implementación de la norma ISO 55001: 2014, la cual especifica los requisitos para un sistema de gestión de activos dentro del contexto de la organización.
Importante que la empresa visualice la celda como equipo capital productivo, designándole un gestor de operación y mantenimiento con autoridad y poder de decisión técnico y del gasto para asegurar la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

El entrenamiento directo de los técnicos de Vinci Technologies es garantía de prácticas seguras y confiables que se traducen en menos paradas y mayor productividad del equipo. Debe asegurarse que en cada intervención de

mantenimiento especializado tome parte el personal de la empresa para recibir entrenamiento “manos a la obra” y capacitación de la operación.

La intervención bianual de la celda por expertos de fabrica garantiza la afinación de la celda y el upgrading permanente de software y comunicaciones.

Se evidencia que el personal administrativo está involucrado con la operación de la celda, pero no comprometido con su disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad. Es necesario crear una mentalidad que se enfoque en la rentabilidad del activo, toda vez que la demanda de la disponibilidad es del 100%.

BIBLIOGRAFÍA

BON, J., SARMA, H. y RODRIGUES, T. Reservoir-fluid sampling revisited - A practical perspective. SPE Reservoir Evaluation Engineering, 2007, Vol 10, p. 589–596.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Gestión de activos. Sistemas de gestión, Requisitos. ISO 55001:2014. Ginebra, Suiza, 2014.
IRIM, Guía 8: Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento basado en condición. 2018. 280 p.

LAVALLE BURGUETE, A. C., Análisis financiero. Editorial Digital UNID. 2017. 200 p.

ORTIZ PLATA, Daniel. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD – MCC – Guía práctica. 2017. 33 p.

PATENTE DE USA A NOMBRE VINCI TECHNOLOGIES. Device and method for thermodynamic measurements on petroleum fluids. https://patents.google.com/patent/US7628058B2/en

PEDERSEN, Karen Schou y SHAIKH, Jawad Azeem. Phase Behavior of Petroleum Reservoir Fluids. CRC Press. Edition 2, 2014, 465 p.

UNITED STATES NAVY. Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook. 2007. 109 p.

VINCI TECHNOLOGIES, Equipo Fluid Eval, manual de usuario. s.f. 46 p.

VINCI TECHNOLOGIES. Fluid-Eval Standard, Spare parts & Consumable ’s List. 2010. 9 p.

VINCI TECHNOLOGIES. High Pressure Microscope HPM, Appendix for FLUID EVAL. s. f. 10 p.

VINCI TECHNOLOGIES. Sistema de Detección de solidos con espectrómetro, Para la cuantificación de la deposición de solidos en hidrocarburos. s.f. 47 p.