

**IMPLEMENTAR PROPUESTA DE MEJORA QUE PERMITA LA
REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS ASOCIADOS A UNA DE LAS
FALLAS REPETITIVAS DE MAYOR IMPACTO EN OPERACIONES DE
COMPLETAMIENTO EN LA VICEPRESIDENCIA REGIONAL DE
ORINOQUÍA DE ECOPETROL S.A.**

JESUS DAVID VEGA GUTIÉRREZ

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2020**

**IMPLEMENTAR PROPUESTA DE MEJORA QUE PERMITA LA
REDUCCIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS ASOCIADOS A UNA DE LAS
FALLAS REPETITIVAS DE MAYOR IMPACTO EN OPERACIONES DE
COMPLETAMIENTO EN LA VICEPRESIDENCIA REGIONAL DE
ORINOQUÍA DE ECOPETROL S.A.**

JESUS DAVID VEGA GUTIÉRREZ

**Proyecto Integral De Grado para optar por el título de:
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

Director

**LADY STHEPANIE RESTREPO RODRÍGUEZ
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2020**

Nota de Aceptación

Ing. Jorge Andrés Tovar Moreno

Ing. Nelson Fernández Barrero

Bogotá D.C., Agosto de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

DR. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero institucional.

DR. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones.

DRA. MARÍA CLAUDIA APONTE

Vicerrector Administrativo y Financiero

DR. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General.

DRA. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano de Facultad.

DR. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Departamento de Energías.

DR. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Agradezco a mi padre por ser mi inspiración en cada momento y motivarme a cumplir los sueños que me han traído hasta este punto y me impulsaran a alcanzar metas más altas.

Agradezco especialmente a mi madre, quien me soportó con amor en cada momento y nunca permitió que mi camino se desviara, corrigió mis pasos y brindó todo lo necesario para crecer como persona y ser mejor cada día.

Agradezco con mucho cariño a mi hermana, que siempre estuvo presente en momentos difíciles, veló y velará siempre por mi bien y me apoya mis iniciativas sin importar opiniones ajenas.

Agradezco a mi familia por su don de crianza e inculcar profundamente valores morales y esa pasión y amor por la familia unida que alegra el corazón.

Agradezco finalmente a mi pareja, quien con mucho amor me acompañó en mi camino para lograr mis metas, explorar nuevos sentimientos y ser feliz.

AGRADECIMIENTOS

Mil gracias a todas aquellas personas que contribuyeron a la culminación de este proyecto y que, en el camino, no se tambaleara sino en cambio, se fortaleciera cada día más.

A la ingeniera Lady Restrepo por ser una gran compañera, mentora y directora de este proyecto, estaré eternamente agradecido por colaborarme a sacar este proyecto adelante.

Al comité de grado por siempre brindar una solución y respuesta oportuna a las inquietudes que surgían. Al director de carrera Juan Carlos por guiar los cimientos del proyecto cuando aún no se habían planteado objetivos y trazar un camino claro a seguir para finalizar con éxito el proyecto de grado.

Finalmente agradezco a mi querida Universidad, por hacerme sentir tan orgulloso de culminar mis estudios de pregrado en sus instalaciones y por hacerme el mejor profesional que pueda ser.

CONTENIDO		pág
INTRODUCCIÓN		19
1. MARCO TEÓRICO		22
1.1 COMPLETAMIENTO		22
1.2 TIPOS DE COMPLETAMIENTO		22
1.2.1 Estructura del hueco.		22
1.2.2 Zonas productoras o inyectoras con conectividad entre el pozo y el yacimiento.		23
1.2.3 Mecanismo de producción.		24
1.3 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL		24
1.3.1 Bombeo electro sumergible.		24
1.3.2 Bombeo de cavidades progresivas.		25
1.3.3 Bombeo mecánico.		25
1.3.4 Gas Lift.		26
1.2 SOFTWARE		27
1.2.1 Power BI		27
1.2.2 OpenWells		28
1.2.3 Data Analyzer		28
1.3 FALLAS RECURRENTES		29
1.3.1 Impacto en tiempo		29
1.3.2 Impacto económico		29
2. METODOLOGÍA Y DATOS		31
2.1 DISEÑO DE QUERIES Y DESCARGUE DE INFORMACIÓN		31
2.1.1 Localización y selección de la información		31
2.2 DISEÑO DE INFORME EN POWER BI		36
2.2.1 Cargue de información a Power BI y modelación de data		36
2.2.2 Generación de Gráficos		38
2.2.3 Selección de la falla de mayor impacto económico y en recurrencia		40
2.3 DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA		42

2.3.1 Propuesta de Optimización.	42
2.3.2. Propuesta de Mejora de Procedimientos.	43
2.3.3 Propuesta de Nuevas Tecnologías.	44
2.3.4 Evaluación Técnica.	44
2.3.5 Evaluación Financiera.	45
2.4 IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA DE MEJORA	47
2.5 ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN.	48
3. RESULTADOS Y ANALISIS	50
3.1 DISEÑO DE QUERIES Y CARGUE DE INFORMACIÓN	50
3.2. DISEÑO DE INFORME EN POWER BI Y SELECCIÓN DE FALLA DE MAYOR IMPACTO EN LA VRO	53
3.2.1 Portada.	54
3.2.2 Resumen General.	54
3.2.3 NPTs.	56
3.2.4 NPTs Mensual.	57
3.2.5. Categoría de NPT.	58
3.2.6 Distribución De Tiempos.	59
3.2.7 Distribución Por Empresa.	60
3.2.8 Detalle NPTs.	61
3.2.9 KPI.	62
3.3 SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE MEJORA SELECCIONADA.	63
3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJOR PROPUESTA DE MEJORA	67
3.4.1 Evaluación en tiempos de la implementación	72
3.5 EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN	73
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	81

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Datos cargados en Query INDICADOR NPTS OCM.	34
Cuadro 2. Datos cargados en Query BCG OCM NPTS.	35
Cuadro 3. Evaluación Técnica de Propuestas de Mejora.	45
Cuadro 4. Evaluación Financiera de Propuestas de Mejora.	47
Cuadro 5. Cálculo de Variables financieras de decisión.	64
Cuadro 6. Instructivo Básico Estándar previo a corridas de empaques.	66
Cuadro 7. Pozos Seleccionados Implementación de Propuesta de Mejora	68

LISTA DE ECUACIONES

	pág
Ecuación 1. NPTs Operativos.	37
Ecuación 2. NPTs No Operativos.	37
Ecuación 3. NPTs Gestionables.	37
Ecuación 4. KPI	38
Ecuación 5. Cálculo del WACC.	46
Ecuación 6. Cálculo del VPN.	46
Ecuación 7. Cálculo de la TIR.	46
Ecuación 8. Impacto en tiempo.	48
Ecuación 9. Impacto económico.	49
Ecuación 10. Impacto en tiempo 2020.	73
Ecuación 11. Impacto en tiempo 2019.	73
Ecuación 12. Optimización de tiempos.	73
Ecuación 13. Calculo impacto económico 2020.	74
Ecuación 14. Calculo impacto económico 2019.	74
Ecuación 15. Optimización económica.	74

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Completamiento hueco abierto.	23
Figura 2. Completamiento hueco revestido	23
Figura 3. Completación de una zona	25
Figura 4. Completación de una zona	26
Figura 5. Query BCG OCM NPTS.	50
Figura 6. Query INDICADOR NPTS OCM.	51
Figura 7. Libro de Excel con información cargada de Queries.	52
Figura 8. Resultados de Query Indicador NPTs OCM	53
Figura 9. PORTADA informe Power BI.	54
Figura 10. Resumen General Informe Power Bi.	55
Figura 11. NPTs informe Power BI.	56
Figura 12. NPTS MENSUAL informe Power BI.	57
Figura 13. Filtro por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO en NPTS MENSUAL.	58
Figura 14. Filtro Por Herramientas En Subsuelo En Categoría De NPT.	59
Figura 15. Filtro Herramientas En Subsuelo En Distribución De Tiempos.	60
Figura 16. Filtro Por Herramientas En Subsuelo En Distribución Por Empresa.	61
Figura 17. Filtro Por Herramientas En Subsuelo Y Pack En Detalle NPTs.	62
Figura 18. KPI.	63
Figura 19. RESUMEN GENERAL 2020.	69
Figura 20. NPTs 2020.	69
Figura 21. NPTs MENSUAL 2020.	70
Figura 22. CATEGORÍA DE NPT 2020.	71
Figura 23. DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA 2020.	71
Figura 24. DETALLE NPTs 2020.	72
Figura 25. Presentación Time Summary.	82
Figura 26. NPT/ EQUIPMENT FAILURE PROPERTIES.	83
Figura 27. Resumen Investigación sobre incidente con empaque en VRO.	84

Figura 28. Presentación de corrida de empaque de WEATHERFORD.	85
Figura 29. Presentación de corrida de empaque de Halliburton.	86
Figura 30. Presentación empaque Advantage Series HS Hydraulic Set Single String Retrievable Packer.	87
Figura 31. Distribución por categoría en VRC 2019.	88
Figura 32. Portada informe Power BI 2020 sin filtros.	89
Figura 33. RESUMEN GENERAL informe Power BI 2020 sin filtros.	90
Figura 34. NPTs informe Power BI 2020 sin filtros.	91
Figura 35. NPTs MENSUAL informe Power BI 2020 sin filtros.	92
Figura 36. CATEGORÍA DE NPT informe Power BI 2020 sin filtros.	93
Figura 37. KPI informe Power BI 2020 sin filtros.	94
Figura 38. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS informe Power BI 2020 sin filtros.	95
Figura 39. DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA informe Power BI 2020 sin filtros.	96
Figura 40. DETALLE NPTs informe Power BI 2020 sin filtros.	97
Figura 41. Portada informe Power BI 2019 sin filtros.	98
Figura 42. RESUMEN GENERAL informe Power BI 2019 sin filtros.	99
Figura 43. NPTs informe Power BI 2019 sin filtros.	100
Figura 44. NPTs MENSUAL informe Power BI 2019 sin filtros.	101
Figura 45. CATEGORIA NPTs informe Power BI 2019 sin filtros.	102
Figura 46. KPI informe Power BI 2019 sin filtros.	103
Figura 47. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS informe Power BI 2019 sin filtros.	104
Figura 48. DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA informe Power BI 2019 sin filtros.	105
Figura 49. DETALLE NPTs informe Power BI 2019 sin filtros.	106

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. SECCIÓN TIME SUMMARY DEL DAILY OPERATION REPORT	82
Anexo B. NPT/ EQUIPMENT FAILURE PROPERTIES	83
Anexo C. INVESTIGACIÓN DEL INCIDENTE CON EMPAQUES EN VRO	84
Anexo D. INSTRUCTIVOS BASES DE CORRIDA DE EMPAQUES	85
Anexo E. NUEVA TECNOLOGÍA EMPAQUE BAKER HUGHES	87
Anexo F. DISTRIBUCIÓN NPTS POR CATEGORÍA EN VRC 2019	88
Anexo G. INFORME POWER BI 2020 SIN SEGMENTACIÓN DE DATOS	89
Anexo H. INFORME POWER BI 2019 SIN SEGMENTACIÓN DE DATOS	98

LISTA DE ABREVIATURAS

%: Por ciento.

COP: Colombian Pesos.

Ft: Pies.

KPI: Key Performance Indicator – Indicador Clave de Desempeño.

MD: profundidad medida.

NPT: Non Productive Time. – Tiempo No Productivo.

OCM: evento de Completamiento.

RIH: Corrida de sarta en un Pozo.

RIG: Taladro, Equipo de Workover o Equipo de Well Service.

TIR: Tasa Interna de Retorno.

USD: United States Dollars.

VRO: Vicepresidencia Regional de Orinoquía

WACC: Wheighted Average Cost of Capital – Costo Promedio Ponderado de la financiación de un proyecto.

WBCO: Well Bore Clean Out.- Procedimiento de Limpieza y Acondicionamiento del hueco del Pozo

WDP: Well Delivery Process – Proceso de entrega de pozo.

GLOSARIO

CASING: tubería de revestimiento encargada de aislar el interior del pozo con la formación adyacente.¹

COILED TUBING: equipo que permite acceder al interior de un pozo a través de una tubería continua y flexible y realizar operaciones tales como limpiezas de revestimientos, levantamiento de pozos con nitrógeno, estimulaciones, entre otras.²

COMPLETAMIENTO: es el diseño, selección e instalación de herramientas, accesorios y equipos en un pozo con el fin de producir hidrocarburos de forma segura, eficiente y rentable.³

QUERY: comando de instrucciones aplicado en Data Analyzer que permite cargar solo la información especificada en el algoritmo.

Well Service: servicio a pozo, normalmente asociado a operaciones mantenimientos de SLA.⁴

Workover: operación de reacondicionamiento de pozo.⁵

¹ SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary en Español. Revestimiento [En línea]. Schlumberger. [Consultado: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/casing.aspx>

² SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary en Español. Tubería flexible [En línea]. Schlumberger. [Consultado: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/coiled_tubing.aspx

³ SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary en Español. Terminación [En línea]. Schlumberger. [Consultado: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/completion.aspx>

⁴ SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary en Español. Servicio de Pozo [En línea]. Schlumberger. [Consultado: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/w/well_servicing.aspx

⁵ SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary en Español. Reparación [En línea]. Schlumberger. [Consultado: 19 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/w/workover.aspx>

RESUMEN

En el presente trabajo de grado se implementó una propuesta de mejoramiento en la Vicepresidencia Regional de Orinoquia que permitiera la optimización de tiempos y costos asociados a la falla de mayor impacto en Operaciones de Completamiento, para ello, se utilizó Power BI como herramienta de análisis de la información depositada en OpenWells por ECOPETROL S.A., se diseñó un informe en Power BI en el cual, se identificó la falla que más impacto tuvo en la VRO mediante una serie de páginas con gráficos y filtros que intuitivamente guiaron hacia el NPT específico “PACK” asociado a incidentes en corridas de empaques. Posterior a la identificación de la falla se diseñaron tres propuestas de mejora enfocadas a Optimización, Mejoras en Procedimientos y Nuevas Tecnologías. Las tres propuestas se sometieron a una evaluación técnica y financiera para seleccionar la mejor entre ellas, esto con el fin de implementarla en Campo durante Operaciones de Completamiento. Se identificó la opción de Mejora en Procedimientos como la mejor propuesta, esta fue desarrollada y como resultado se creó el “Instructivo Básico Estándar Previo a Corridas de Empaques” que se implementó en Campo y se obtuvieron optimización en tiempo por valor de 92.03 % y optimización económica por valor de 97.17% superando así las estimaciones realizadas en la evaluación técnico-financiera y concluyendo la implementación de la propuesta y el proyecto en general, como un éxito.

PALABRAS CLAVE: OPENWELLS, POWER BI, PROPUESTA DE MEJORA, EVALUACIÓN TÉCNICOFINANCIERA Y OPTIMIZACIÓN.

ABSTRACT

In the present degree work, an improvement proposal was implemented in the Regional Vice Presidency of Orinoquia and that proposal allowed the optimization of times and costs associated to the failure of greater impact in Completion Operations, for this, Power BI was used as a tool for analysis of the information deposited in OpenWells by ECOPETROL SA, a report was designed in Power BI in which the fault that had the most impact on the VRO was identified through a series of pages with graphics and filters that intuitively guided towards the specific NPT "PACK" which is associated with incidents in packers runs. After the identification of the fault, three improvement proposals were designed focused on Optimization, Improvement in Procedures and New Technologies. The three proposals were submitted to a technical and financial evaluation to select the best among them, this in order to implement it in a Field in Completion Operations. The option of Improvement in Procedures was identified as the best proposal, this was developed and as a result, the "Basic Standard Instructive Pre Packers Runs Jobs" was created, which was implemented in a field and obtained optimization in time for a value of 92.03% and. economic optimization value of 97.17% thus exceeding the estimates made in the technical-financial evaluation and concluding the implementation of the proposal and the project in general, as a success.

KEYWORDS: OPENWELLS, POWER BI, PROPOSAL FOR IMPROVEMENT, TECHNICAL-FINANCIAL EVALUATION AND OPTIMIZATION.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores que más impacto tiene en el cálculo del indicador de desempeño de cualquier empresa operadora en el sector petrolero es la elevada presencia de tiempos no productivos (NPTs); éstos pueden reducir en gran medida la eficiencia de una operación e incrementar significativamente los costos reales ejecutados en un proyecto, esto ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias para mitigar el efecto negativo de los NPTs.

Actualmente las fallas que generan tiempos no productivos en operaciones de completamiento inicial en la VRO, se tratan a medida que estas surgen; esta estrategia de remediación no produce grandes resultados debido a que eventualmente volverá a ocurrir la falla inicial ya que no se identificó una causa raíz oportunamente y en los casos en los cuales se llevan a cabo investigaciones que identifican causas raíces, no se tienen en cuenta los datos históricos de esa falla limitando la eficiencia de cualquier acción de mejora a la hora evitar altos tiempos no productivos asociados a fallas repetitivas en operaciones de completamiento, los cuales no se reducen hasta que una falla haya tenido un impacto económico significativo y sea tan recurrente que haga evidente a dicha falla.

Los antecedentes de proyectos de optimización en la VRO muestran buenos resultados como el obtenido en el Campo Castilla entre 2010 y 2011⁶ el cual buscaba reducir los tiempos operacionales de perforación y completamiento y a través del diseño de líneas bases de tiempos de ejecución, implementación de nuevas tecnologías para el desarrollo de las actividades P&C, reformulación de estrategias de abastecimiento, movilización y contratación y análisis exhaustivo de

⁶ SILVA,Oscar Rodrigo; VALDERRAMA,Luis Ignacio y SILVA,GUDEN ORLANDO. SPE, 2013.

costos, se logró un estándar de tiempos operacionales y una reducción de costos anuales de 50 millones de dólares⁷.

El objetivo general de este trabajo de grado es implementar una propuesta de mejora que permita la reducción de tiempos y costos asociados a una de las fallas repetitivas de mayor impacto en operaciones de completamiento en la Vicepresidencia Regional de Orinoquía de Ecopetrol S.A. y los objetivos específicos establecidos para alcanzar el objetivo general fueron los siguientes.

1. Diseñar Queries en software Data Analyzer que permitan cargar la información depositada en OpenWells de forma ordenada, útil y pertinente para la identificación de fallas recurrentes en operaciones de Completamiento.
2. Determinar la falla con mayor impacto económico y recurrencia en operaciones de completamiento a través de la herramienta Power BI.
3. Diseñar tres propuestas de mejora enfocadas a optimización, nuevas tecnologías y mejora de procedimientos, realizando evaluación técnica y financiera para la selección de la mejor propuesta que permita la solución más viable y efectiva a la falla de mayor impacto.
4. Implementar la mejor propuesta de mejora en un Pozo, bajo el procedimiento WDP de Ecopetrol S.A.
5. Evaluación financiera de la implementación en campo de la mejor propuesta de mejora mediante los indicadores financieros TIR y WACC.

Al identificar las fallas repetitivas con mayor impacto en tiempo y costos en operaciones de Completamiento y al implementar propuestas de mejora enfocadas en Optimización, Nuevas Tecnologías y Mejoras en Procedimientos, se reducen los NPTs y se ahorran costos asociados a los mismos.

⁷ CARPENTER,Chris. Management Strategies Optimize Drilling NPTs. and Completion Operations. En: Journal of Petroleum Technology. Sep 1,. vol. 65, no. 9, p. 1-9

Esta investigación se fundamenta en la pobre identificación de fallas recurrentes que pueden existir en el completamiento inicial de un pozo y el impacto de gestión, técnico y financiero que estas pueden tener, llegando en algunos casos, a superar el millón de dólares asociados a un solo tipo de falla y a representar NPTs por valores de miles horas que actualmente no pueden ser identificados efectivamente con ninguna de las herramientas disponibles en Ecopetrol S.A.

1. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presenta la base teórica y conceptual bajo la cual se desarrolla el presente trabajo de grado.

1.1 COMPLETAMIENTO

El termino completamiento hace referencia a el proceso en el cual se diseñan y se seleccionan los tubulares, herramientas y equipos pertinentes para cada pozo que al ser instalados permitan asegurar la integridad mecánica en el pozo y controlar la producción o inyección de fluidos, teniendo en cuenta los puntos óptimos de operación y factores económicos.

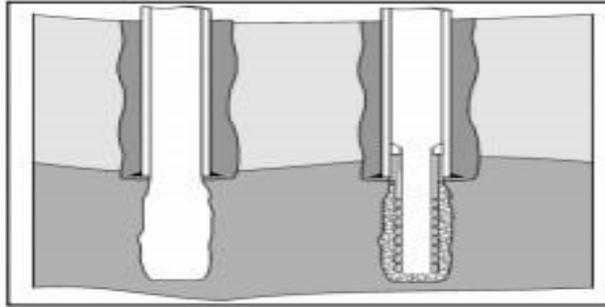
1.2 TIPOS DE COMPLETAMIENTO

Hay distintas maneras de categorizar los tipos de completamiento. Los criterios más comunes para realizar esta clasificación son los siguientes.

1.2.1 Estructura del hueco. Se dividen en dos tipos, los completamientos a hueco abierto (**Figura 1**) y de hueco revestido (**Figura 2**), ambos tipos pueden presentar un sistema de control de solidos como empaquetamiento con grava, instalación de un liner ranurado, instalación de mallas o algún tipo de polímero.⁸

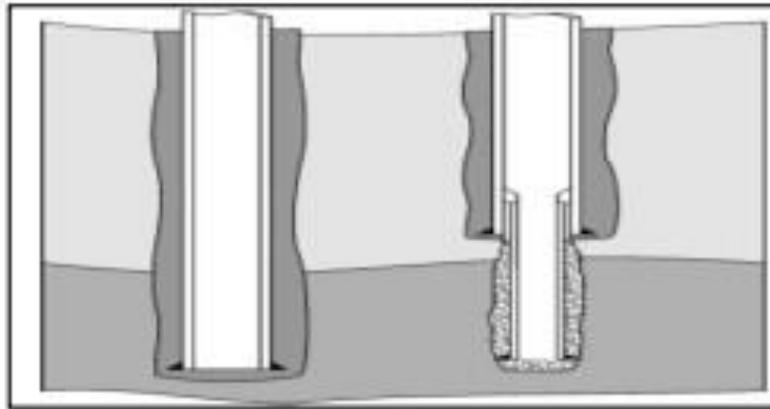
⁸ LEAL, Tulio. Schlumberger, Completions Primer. Única edición. 2003. p.1-6.

Figura 1. Completamiento hueco abierto.



Fuente: LEAL, Tulio. Schlumberger, Completions Primer. Única edición, 2003, p. 1-5.

Figura 2. Completamiento hueco revestido



Fuente: LEAL, Tulio. Schlumberger, Completions Primer. Única edición, 2003, p. 1-6.

1.2.2 Zonas productoras o inyectoras con conectividad entre el pozo y el yacimiento. En el caso de presentar un solo intervalo de producción se habla de un completamiento sencillo. Cuando dos zonas se desean explotar y dichas zonas no están interconectadas entre sí o los fluidos de producción son de características diferentes y se desea separar la producción por zonas, se implementa un completamiento tipo dual o múltiple dependiendo del número de zonas a dividir.

1.2.3 Mecanismo de producción. Si la energía natural del yacimiento es suficiente para poner fluido de producción a nivel de superficie y el caudal levantado cumple con los proyectados para un pozo en específico se habla de un completamiento de flujo natural, para el caso contrario en el que el yacimiento no tiene la presión requerida para llevar fluido hasta superficie o el caudal de producción no cumple con niveles de rentabilidad necesarios, se suele implementar un completamiento con sistema de levantamiento artificial que permite llevar el fluido de producción a caudales establecidos que generen utilidades.

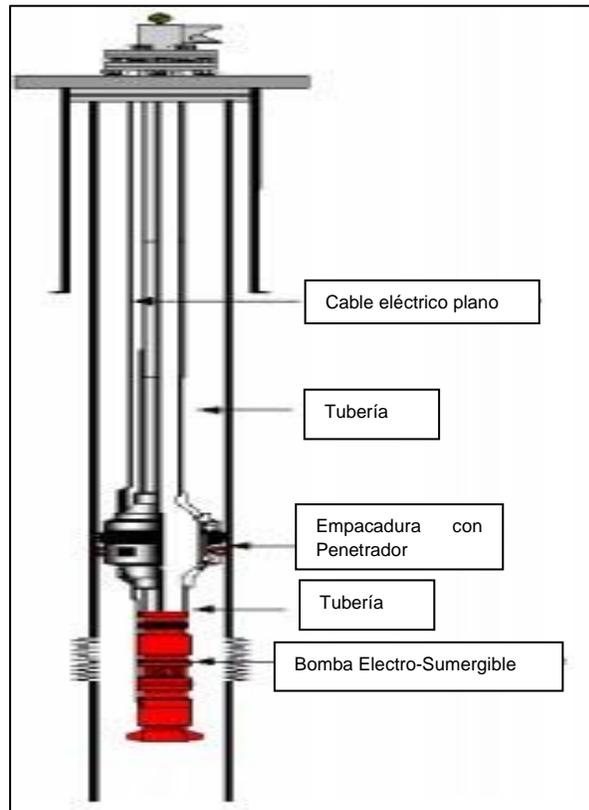
1.3 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Hace referencia a los equipos utilizados para agregar energía a una columna de fluido con la intención de iniciar o mejorar la producción del pozo cuando la energía natural de un yacimiento no es suficiente para alcanzar las cantidades de hidrocarburos esperadas por la compañía operadora. Existen varios mecanismos de levantamiento artificial que funcionan bajo diferentes principios físicos y entre los más implementados en la industria petrolera colombiana están los siguientes sistemas:⁹

1.3.1 Bombeo electro sumergible. Es un sistema de levantamiento accionado por un motor eléctrico e impulsa el fluido por medio de bombas centrífugas de varias etapas que se ajustan dependiendo de las características del fluido a producir y de los caudales esperados. (**Figura 3**)

⁹ LEAL, Tulio. Schlumberger, Completions Primer. Única edición. 2003. p.1-7

Figura 3. Completación de una zona Electro sumergible.



Fuente: LEAL, Tulio.
Schlumberger, Completions
Primer. Única edición, 2003, p. 4-
10.

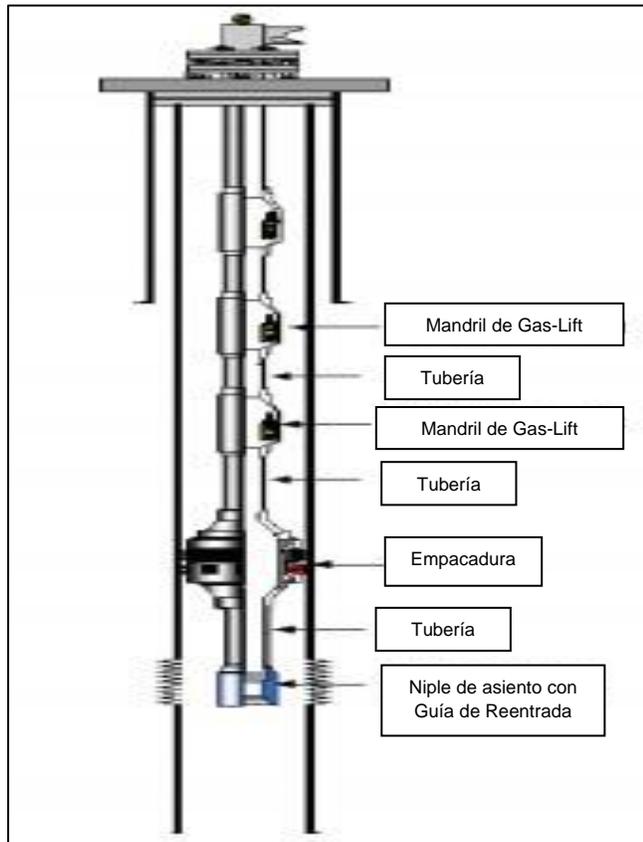
1.3.2 Bombeo de cavidades progresivas. Consiste en un sistema de varilla de succión que por medio de un rotor y un estator en donde el fluido sube a superficie al rotar las varillas y desplazar el fluido que se encuentra en la cavidad. También se le conoce como sistema de desplazamiento positivo.

1.3.3 Bombeo mecánico. Este sistema de levantamiento artificial consiste en el movimiento recíprocante generado por un balancín en superficie que a través de una sarta de varilla se acciona la bomba en fondo que consiste en un arreglo de

pistón y válvulas que convierten el movimiento alternativo en un desplazamiento vertical de los fluidos.

1.3.4 Gas Lift. Sistema de válvulas que se instalan en la tubería de producción (Figura 4) con el fin de aumentar la tasa de flujo por medio de la inyección de gas a través de las válvulas con el fin de reducir la presión hidrostática de la columna de fluido y esta reducción de presión facilita el desplazamiento vertical de los fluidos del yacimiento que ingresan al tubing.

Figura 4. Completación de una zona con mandriles de Gas Lift¹⁰.



Fuente: LEAL, Tulio. Schlumberger, Completions Primer. Única edición, 2003, p. 4-10.

¹⁰ LEAL, Tulio. Schlumberger, Completions Primer. Única edición. 2003. p.4-10

1.2 SOFTWARE

Un software según la Real Academia de la Lengua Española se define como¹¹ “Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora”, para efectos del presente proyecto de grado y resaltando la relevancia del conocimiento y uso de diferentes softwares en la industria petrolera, se describirán los softwares base utilizados en el desarrollo del proyecto y se presentan a continuación.

1.2.1 Power BI. Es una herramienta que permite cargar información desde orígenes locales o en la nube, tales como Excel, SharePoint o Dynamics 365. El software permite preparar y modelar los datos con facilidad a través la herramienta Power Query que ayuda a transformar, integrar y enriquecer los datos en Power BI. Además, el software ofrece análisis avanzados con la familiaridad de Office y le permite al usuario un control total sobre el modelo mediante el lenguaje de fórmulas DAX y herramientas de Inteligencia Artificial para mejorar las predicciones y valoración de información.

Con respecto a la dinámica del programa se permite crear informes interactivos personalizados de acuerdo con la necesidad del usuario y facilitando cientos de objetos visuales y formatos para expresar útilmente los datos cargados al informe.

Finalmente, el software de Microsoft faculta al usuario a presentar el informe creado en múltiples plataformas y optimizar la presentación de acuerdo con cada una, como en dispositivos móviles o tabletas.

¹¹ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [12/08/2020].

1.2.2 OpenWells. El software OpenWells permite la gestión y optimización de las operaciones de uno a todos los pozos de una compañía operadora, desde el abastecimiento del sitio hasta el abandono del pozo. El software posibilita capturar, rastrear, informar y analizar la información que se requiera de forma ágil en la misma plataforma gracias a la interfaz interactiva del programa. Además, se encuentra integrado con la base de datos y las demás herramientas de ingeniería de la empresa Landmark agrupadas en el Engineer's Data Model. Para efectos del presente proyecto de grado se identificaron dentro de OpenWells los reportes de operaciones de completamiento en donde las secciones Time Summary y NPT/Failure Equipment Properties permitieron la identificación de información clave para generar el informe de Power BI enfocado a el análisis de los tiempos no productivos en operaciones de Completamiento.

1.2.3 Data Analyzer. OpenWells funciona como una gran base de datos de información sobre los pozos de una compañía pero si la intención del usuario es seleccionar y agrupar información específica de algún evento, operación, pozo, campo o gerencia, OpenWells no permite realizar estas tablas con informaciones puntuales de diferentes pozos a la vez, es por esta razón que la empresa Landmark diseño el software Data Analyzer que viene incluido en el paquete de OpenWells y su función es permitir al usuario realizar consultas y análisis de datos de simples a completos para toda la base de datos del Engineer's Data Model. El data sheet del software indica que "Las Querys se construyen utilizando un árbol de selección intuitivo donde los campos de datos se muestran de forma familiar para el usuario" esta funcionalidad admite un acceso eficiente a los datos, permitiendo a los ingenieros comparar y contrastar cualquier tipo de información, comparar operaciones y extraer información requerida para informes corporativos.

1.3 FALLAS RECURRENTE

Para efectos del presente proyecto de grado, se definió una falla recurrente como un evento en una Operación de Completamiento que generó Tiempos No Productivos y Costos asociados en más de una ocasión en diferentes Pozos, Campos, Vicepresidencias y Meses del año. La identificación de las fallas recurrentes, análisis de casos y la toma de acciones a tiempo previenen para el fin de proyectos o análisis anuales de costos, grandes resultados tanto en tiempo como económicos. Con el fin de saber con mayor certeza la incidencia de alguna falla recurrente sobre las Operaciones de Completamiento, se realizan los cálculos de impactos en tiempos y costos y de acuerdo a los valores que estos impactos resulten, se pueden establecer jerarquías para el tratamiento de fallas y protocolos de acción, las descripciones de estos impactos se presentan en las secciones a continuación.

1.3.1 Impacto en tiempo. El impacto en tiempo de una falla se puede medir analizando el porcentaje de incidencia en el tiempo total ejecutado en Operaciones de Completamiento, se determinó para efectos del presente trabajo, que una falla recurrente tiene un gran impacto en NPTs si esta supera el 2% del total del tiempo ejecutado, si el porcentaje es mayor al 1% y menor al 2% se identifica como alto impacto en tiempo, y el valor es menor al 1% y mayor al 0.3% se considera una falla recurrente de mediano impacto en las operaciones y si el resultado es menor al 0.3%, la falla en cuestión tiene una baja incidencia en las operaciones de completamiento. Esta clasificación permite ordenar por relevancia las fallas a analizar y enfocar mejor los recursos destinados a la reducción de este indicador de impacto.

1.3.2 Impacto económico. El impacto económico de una falla recurrente se puede medir al calcular la relación entre el costo total asociado a la falla con el número total de horas ejecutadas, así, si el valor del impacto económico supera los 10 USD por hora ejecutada (USD/hr), se considera una falla de gran impacto económico, si

el valor es menor a 10 USD/hr y mayor a 5 USD/hr, se considera una falla de alto impacto económico, si el valor calculado es menor a 5 USD/hr y mayor a 1 USD/hr se clasifica como una falla de impacto moderado económicamente, y si el valor es menor a 1 USD/hr la falla no se considera impactante en términos económicos para las operaciones de completamiento. Esta clasificación permite ordenar por relevancia las fallas a analizar y enfocar mejor los recursos destinados a la reducción de este indicador de impacto.

2. METODOLOGÍA Y DATOS

En el siguiente capítulo se describe el proceso llevado a cabo con el fin de cumplir los objetivos planteados para el presente proyecto de grado. Inicialmente se encuentra la identificación, organización y descargue de la información lo cual incluye el proceso seguido para el diseño de Queries. Posteriormente, se describe el informe en Power BI que se generó y como se crearon cada una de las páginas del informe de acuerdo a cada tema específico a tratar para poder identificar la falla de mayor impacto en la VRO, también se presentan las caracterizaciones de las propuestas, el mecanismo de evaluación técnica y financiera de las mismas. Finalmente, se realiza la explicación de como se implementó la propuesta de mejora seleccionada y el método de evaluación en tiempo y económica de la implementación con base en los resultados obtenidos en el 2019 y el 2020 durante el periodo de análisis.

2.1 DISEÑO DE QUERIES Y DESCARGUE DE INFORMACIÓN

Toda la información de los Pozos de Ecopetrol está depositada en el software OpenWells, este software contiene tablas en los diferentes reportes y tablas en los cuales los datos tienen un código único por encabezado, dicho código se conoce como el origen o ubicación de la información en una tabla y reporte específico. En el desarrollo de la investigación se identificaron estos orígenes para cargar la información de interés en el software Data Analyzer y posterior exportación a libros de Excel.

2.1.1 Localización y selección de la información. Inicialmente se ubicó un Pozo base perteneciente a la VRO en la interfaz de OpenWells, de este se extrajeron los orígenes de la información general del Pozo, la información se organizó de la siguiente manera:

- **Nombre legal del Pozo:** Permite filtrar y observar la información por cada Pozo individual
- **Vicepresidencia:** Permite filtrar la VRO de las demás regionales
- **Campo:** Permite filtrar por campo petrolero

Seguido a esto se accedió al evento de Completamiento Inicial (OCM) del Pozo base y se identificó el reporte “Daily Operation Report” en donde se ubica la sección “Time Summary” (ver ANEXO A) y se depositan las actividades que se desarrollan en cada día de operación, los tiempos ejecutados de cada actividad y los costos asociados al día de operación. Del “Time Summary” se ubicó el origen y se organizó la información de la siguiente forma:

- **Siglas del evento:** Permite filtrar el evento OCM
- **P/N:** Permite identificar actividades planeadas y no planeadas
- **Código:** Permite identificar la operación general que se estaba llevando a cabo
- **Subcódigo:** Permite identificar la operación específica que se estaba llevando a cabo
- **Tipo de NPT:** Permite identificar la categoría general del NPT que se presente
- **Subtipo de NPT:** Permite identificar la categoría específica del NPT que se presente
- **Desde:** Fecha y hora a la cual inició la actividad
- **Hasta:** Fecha y hora a la cual finalizó la actividad
- **Duración:** Tiempo en horas que duró la actividad
- **Operación:** Descripción de la actividad que se lleva a cabo

Dentro del “Daily Operation Report” se accedió al “NPT/EQUIPMENT Failure Properties” (ver ANEXO B), el cual permite acceder a información específica de cada suceso de NPT dentro de las operaciones y puede incluir varias actividades ejecutadas. Del “Reporte de NPT” se extrajo el origen de los siguientes datos:

- **MD From (ft):** Profundidad medida de las herramientas de fondo al inicio del NPT

- **MD to (ft):** Profundidad medida de las herramientas de fondo al finalizar del NPT
- **Cause:** Causa aparente que generó el NPT
- **Description:** Descripción general del NPT
- **Start Date/time:** Fecha y hora a la cual empezó el NPT
- **End Date/time:** Fecha y hora a la cual finalizó el NPT
- **Event Type:** Identifica si fue un fallo de alguna herramienta o si fue falla en la operación
- **Failed Element:** Describe el elemento que falló durante la operación
- **Failure MD (ft):** Profundidad medida de la herramienta que falló
- **Title:** Descripción corta del NPT
- **Gross time (hr):** Tiempo total empleado durante el NPT
- **Net time (hr):** Tiempo neto empleado durante el NPT
- **Operation Type:** Tipo de operación que se estaba llevando a cabo inmediatamente antes de ocurrido el NPT
- **Failure location:** Identifica en donde sucedió la falla
- **Total net cost (\$):** Costo neto del NPT
- **Total gross cost (\$):** Costo total del NPT
- **Root_Cause_Type:** Causa aparente del NPT
- **Preventative actions:** Acciones preventivas recomendadas para evitar el NPT
- **NPT_Learnings:** Lecciones de aprendizaje derivadas del NPT
- **Contractor Name:** Empresa responsable del NPT

3.1.2 Diseño y exportación de Queries. Con los orígenes de la información identificados, se generaron dos queries en función de los objetivos del proyecto.

- La primera Query se tituló “INDICADOR NPTS OCM” y se enfocó en todas las actividades ejecutadas en la VRO con el fin de discretizar operaciones planeadas, operaciones no planeadas, operaciones de cambios de alcance y tiempos no productivos dentro de operaciones de cambio de alcance. La Query cargó los orígenes de la Data presentada en el **Cuadro 1**.

Se aplicaron condicionales y agrupaciones de data en el diseño de la Query para cargar información acertada y comenzar así con el control de calidad de la información evitando que se carguen filas extra con de otras fechas u otros eventos y comprobar que la información esté sincronizada con la Vicepresidencia, Campo, Pozo y Evento.

Cuadro 1. Datos cargados en Query INDICADOR NPTS OCM.

# Dato	Datos Query INDICADOR NPTS OCM
1	Vicepresidencia
2	Nombre del Campo
3	Nombre Legal del Pozo
4	Siglas del Evento
5	P/N
6	Código
7	Subcódigo
8	Tipo de NPT
9	Subtipo de NPT
10	Desde
11	Hasta
12	Duración (hr)
13	Operación

Fuente: elaboración propia.

- La segunda Query se tituló “BCG OCM NPTS” y en ella se recopiló la información correspondiente a los NPTs, para esto se cargaron los siguientes orígenes de Data encontrados en el Reporte de NPT y en adición, algunos datos del Daily Operation Report. La data cargada se puede observar en el **Cuadro 2**

Se aplicaron condicionales y agrupaciones de data en el diseño de la Query para cargar información acertada y comenzar así con el control de calidad de la información evitando que se carguen filas extra con de otras fechas u otros eventos y comprobar que la información esté sincronizada con la Vicepresidencia, Campo, Pozo, Evento y con la Data perteneciente al reporte Daily Operation Report.

Cuadro 2. Datos cargados en Query BCG OCM NPTS.

# Dato	Datos Query BCG NPTS OCM
1	Nombre Legal del Pozo
2	Vicepresidencia
3	Nombre del Campo
4	Siglas del Evento
5	P/N
6	MD From (ft)
7	MD To (ft)
8	Tipo de NPT
9	Subtipo de NPT
10	Operación
11	Cause
12	Description
13	Start Date/Time
14	End Date/Time
15	Event Type
16	Failed Element
17	Failure MD (ft)
18	Title
19	Gross Time (hr)
20	Net time (hr)
21	Operation Type
22	Failure Location
23	Total Net Cost (\$)
24	Total Gross Cost (\$)
25	Fecha de Inicio
26	Fecha de Finalización
27	Root_Cause_Type
28	Preventative Actions
29	NPT_Learnings
30	Contractor Name

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se procedió a realizar la corrida de las Queries diseñadas y la correspondiente exportación de las tablas generadas a Excel. Los resultados resumidos de la exportación de la información de las queries a libros de Excel se guardaron y sirvieron como base de datos para la generación del informe en Power BI.

2.2 DISEÑO DE INFORME EN POWER BI

Con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo del presente trabajo de grado, se procedió a ajustar los libros de Excel, programar ecuaciones, moldear tablas con Power Query, generar gráficos y ajustar la imagen corporativa de Ecopetrol S.A. al informe de Power BI que permitió la identificación de la falla en operaciones de Completamiento con mayor impacto económico y en recurrencia en la VRO.

2.2.1 Cargue de información a Power BI y modelación de data. Inicialmente se adecuaron los libros de Excel al formato aceptado por Power BI, se creó el informe de Power BI en el cual se utiliza la herramienta Power Query con el fin de adecuar los formatos de número de las columnas numéricas ya sea a números enteros, decimales o formato de contabilidad, también se aplicó formato de fecha a las columnas correspondientes.

Se procedió al modelamiento de data creando columnas adicionales que permitieran separar los meses de las fechas y el numeral correspondiente a cada mes para su posterior ordenamiento en los gráficos.

Con el fin de facilitar la lectura del informe y clarificar los gráficos, se cambiaron las codificaciones de los Tipos de NPTs por su descripción a través de una nueva columna.

Los NPTs de acuerdo con su Subtipo de NPT se clasificaron en NPTs Operativos, NPTs No Operativos y NPTs Gestionables, al realizar esta clasificación se puede hallar el Indicador de Desempeño (KPI) de la VRO, para ello se generó una nueva tabla a partir de los datos cargados de la Primera Query y que se constituye por las siguientes columnas:

- Vicepresidencia
- Mes
- NPTs Operativos
- NPTs No Operativos

- NPTs Gestionables
- Tiempo Total Ejecutado
- KPI

Los NPTs No Operativos presentados corresponden a la categoría de esperas no planeadas, entre los NPTs que destacan en esta categoría son los asociados a Clima, Problemas Sociales y Contratos.

Para desarrollar los cálculos correspondientes a los NPTs Operativos, NPTs No Operativos, NPTs Gestionables y KPI véanse las siguientes ecuaciones respectivamente: **Ecuación 1, Ecuación 2, Ecuación 3 y Ecuación 4.**

Ecuación 1. NPTs Operativos.

$$NPTs\ Operativos = \sum NPTs - \sum NPTs\ No\ Operativos$$

Fuente: elaboración propia, con base en.
ECOPETROL S.A.

Ecuación 2. NPTs No Operativos.

$$NPTs\ No\ Operativos = \sum NPTs_{Esperas\ No\ Planeadas}$$

Fuente: elaboración propia, con base en.
ECOPETROL S.A.

Ecuación 3. NPTs Gestionables.

$$NPTs\ Gestionables = \sum NPTs - \sum NPTs_{WTHR} - \sum NPTs_{LOC} - \sum NPTs_{LABOR}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. ECOPETROL S.A.

Ecuación 4. KPI

$$KPI = \frac{\sum NPTs\ Gestionables}{\sum Tiempos\ Ejecutados} * 100$$

Fuente: elaboración propia, con base en.
ECOPETROL S.A.

Con el fin de tener concordancia entre las tablas generadas y las originalmente modificadas, se vinculan dichas tablas a través de conexiones entre columnas con semejanza de datos. Específicamente se realizó la conexión de las tablas mediante las columnas de Vicepresidencia, Campo y Nombre Legal del Pozo. Llevar a cabo esta vinculación de tablas permitió crear gráficos de diferentes tablas origen; en la misma página del informe y que los gráficos de distinto origen puedan ser modificados por la misma segmentación de datos.

2.2.2 Generación de Gráficos. Los gráficos generados en el informe de Power BI fueron sometidos a un control de calidad en el cual se verificó la veracidad de la información contenida, en dicho proceso se realizaron segmentaciones de datos con el fin de mejorar la presentación de los datos, resaltar información y omitir errores.

Con la intención de hacer más amigable la interacción del ingeniero con el aplicativo en Power BI, el informe se dividió en páginas con enfoques diferentes y distribuidas de la siguiente manera.

- **PORTADA:** incluye la presentación del informe, responsables de la información cargada, fuentes de la información y el botón de inicio para comenzar a interactuar con el tablero de decisiones de Power BI.
- **RESUMEN GENERAL:** se generaron tres gráficos comparativos entre las Vicepresidencias de ECOPETROL S.A. en donde se muestran las distribuciones de NPTs, costos asociados a NPTs y tiempos ejecutados de las Vicepresidencias por cada mes, también se presentó un gráfico con la

distribución de NPTs asociados a las empresas en cada mes, se agregó un cuadro resumen que contiene los tiempos Ejecutados, NPTs Gestionables, NPTs Operativos y NPTs No Operativos de todas las Vicepresidencias y por último se agregó un filtro a las Vicepresidencias para conocer los valores específicos de la Vicepresidencia de interés del ingeniero.

- **NPTS:** esta página buscó identificar el Campo con mayor tiempo en NPTs y con mayor Costo asociado a esos NPTs, para ello se generaron dos gráficos con la distribución de NPTs y otra con Costos asociados por Campo; se creó una gráfica adicional que contuviese los NPTs en barras verticales y Costos asociados a NPTs en una línea continua para identificar los Pozos por Campo que destaquen por un alto valor en cualquiera de las dos variables. Finalmente se añadieron filtros por Vicepresidencia, Tipo de Operación, Tipo de NPT, Subtipo de NPT, Campo y Pozo.
- **NPTS MENSUAL:** se generaron dos gráficos que mostraran la distribución de los NPTs por mes de acuerdo con el Tipo de NPT, una de las gráficas presenta los tiempos no productivos y la segunda los costos asociados a los NPTs. Se agregó una tabla en la que muestra los valores específicos de NPTs y costos asociados de cada Pozo y se añadieron filtros por Vicepresidencia, Campo, Tipo de NPT, Subtipo de NPT y Mes.
- **CATEGORÍA NPT:** con el fin de conocer los NPTs y costos asociados a NPTs de los NPTs Gestionables, Operativos y No Operativos, se crearon seis gráficos con que contuvieran dicha información. Se añadieron filtros por Vicepresidencia, Campo y Tipo de NPT.
- **KPI:** se crearon dos gráficos presentando los KPIs calculados por mes y los KPIs Acumulados a cada mes, se generaron dos gráficos con los tiempos Ejecutados por mes y los tiempos Ejecutados Acumulados por mes y se generaron dos gráficos comparativos entre los tiempos Gestionables, Operativos y No Operativos y los tiempos Acumulados de cada una de estas tres categorías. Se añadió un filtro por Vicepresidencia.

- **DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS:** se diseñaron cuatro gráficos mostrando la distribución de los tiempos de acuerdo con si la actividad que se ejecutó hacia parte de las Operaciones Planeadas (P), Operaciones No Planeadas (N), Operaciones de Cambio de Alcance (C) o Tiempos No Productivos dentro de Operaciones de Cambio de Alcance (X), los gráficos exponen Tiempos Totales Ejecutados, Tiempos Totales Ejecutados por Vicepresidencia, Tiempos Totales Ejecutados por Campo y Tiempos Totales Ejecutados por Pozo. Se añadieron filtros por Vicepresidencia, Nombre del Campo, P/N, Tipo de NPT y Subtipo de NPT.
- **DISTRIBUCIÓN NPTS POR EMPRESA.** Con el fin de conocer las Empresas implicadas en eventos de NPTs, el impacto en tiempos y costos en NPTs de cada Empresa y la comparación entre las mismas, se generaron dos gráficos que presentan NPTs y costo asociado a NPTs por Empresa y dos gráficos que presentan NPTs y costo asociado a NPTs por Tipo de NPT. Se añadieron filtros por Vicepresidencia y por Empresa.
- **DETALLE NPTS:** se generó una tabla con información adicional sobre todos los NPTs en donde se puede encontrar el Pozo, Título, Tipo de NPT, Net Time, Total Net Cost y NPT learnings. Se añadieron filtros por Vicepresidencia, Campo, Pozo, Tipo de NPT, Tipo de Operación y Subtipo de NPT.

En adición a los gráficos, se incluye en la parte superior de cada página del informe el título de la página, el logo de ECOPETROL S.A. y la fecha de actualización del informe. Todo el informe mantiene concordancia con la imagen corporativa de la compañía manteniendo los colores y estilo estipulados por ECOPETROL S.A.

2.2.3 Selección de la falla de mayor impacto económico y en recurrencia. El presente trabajo de grado se centra en optimizar Operaciones de Completamiento, es por ello por lo que se filtró el Tipo de NPT “Esperas No Planeadas” que comprende NPTs No Operativos, los cuales requieren un enfoque administrativo que no está comprendido en el desarrollo del trabajo de grado. De

igual forma se filtra por Vicepresidencia Regional de Orinoquía (VRO), la cual es la Vicepresidencia de interés para el desarrollo del presente proyecto de grado.

En la página RESUMEN GENERAL se identificaron los tiempos Ejecutados, NPTs Gestionables, NPTs Operativos y NPTs No Operativos de la VRO, estos son los tiempos base de todos los gráficos del informe, se determinaron las empresas que más impacto en tiempo tuvieron cada mes y se registra la distribución de los tiempos Ejecutados en la VRO.

En la página NPTs, se identificó el campo más afectado por tiempos no productivos “CAMPO A”, tanto en tiempo como en costos asociados a NPTs, al igual que el Pozo con mayor afectación “POZO B-1”.

En la página NPTs MENSUAL se pudo identificar el tipo de NPT que mayor impacto generó a la empresa en tiempos y costos “HERRAMIENTAS EN SUBSUELO” y como se distribuyó dicho Tipo de NPT a través de los meses. Al filtrar por el Tipo de NPT identificado, se observaron los Pozos con el tiempo y costo asociado al NPT del Tipo.

En la página CATEGORÍA NPT se filtró por el Tipo de NPT determinado en el punto anterior “HERRAMIENTAS EN SUBSUELO”, permitiendo así registrar el Subtipo de NPT o la falla específica que más impacto en tiempo y costos asociados a NPTs tuvo en la VRO “PACK” el cual está asociado a fallas en Corridas de Empaques.

En la página DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS se filtró el Subtipo de NPT identificado en el punto anterior “PACK” y se verificó en qué tipo de actividad ocurrieron los incidentes que llevaron a la materialización de NPTs.

En la página DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA se identificó en tiempos y en costos la empresa que más impacto tuvo en cuanto a NPTs se refiere y al filtrar por el Tipo de NPT de mayor impacto, se determinó la incidencia de cada empresa en dicho NPT específico.

Finalmente, en la página DETALLE NPTs se pudieron observar con mayor detalle cuales fueron los Pozos, la descripción corta del incidente, el tiempo y el costo que cada incidente de NPT generó y los puntos de aprendizaje de cada incidente. Esto aplicando filtros de acuerdo con el Subtipo de NPT con mayor impacto "PACK".

2.3 DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo número tres del presente trabajo de grado, se procedió a diseñar tres propuestas de mejoramiento enfocadas a:

- Optimización
- Mejora de Procedimientos
- Nuevas Tecnologías

Para el diseño de las anteriormente mencionadas propuestas, se tuvo en cuenta investigaciones de casos en curso o finalizadas que estén asociadas a la falla de mayor impacto identificada.

Para el desarrollo de las propuestas se contó con el apoyo técnico del equipo de ingenieros encargados del QA/QC del departamento de Completamiento de ECOPETROL S.A.

2.3.1 Propuesta de Optimización. Como se pudo evidenciar en una investigación sobre un incidente a finales del 2019 (ver ANEXO C) en donde se presentó una falla en una corrida de empaques previa a un fracturamiento hidráulico, una de las causas raíces son las malas condiciones del interior del casing posterior a un WBCO, por esta razón se propuso realizar una simulación en el software Prosper y soportándose en el software Cerberus para la verificación de resultados, dicha simulación consiste en modelar las limpiezas del hueco realizadas en operaciones de Completamiento que se lleven a cabo utilizando Coiled Tubing. Según Nakul

Varma la simulación estima las velocidades de flujo y los tiempos óptimos para la operación, llegando a reducir hasta en tres horas la operación de limpieza y mejorando el lavado del interior de la tubería.

Implementando la presente propuesta se mejorarían los WBCOs realizados en operaciones de completamiento con Coiled Tubing reduciendo de esta manera los NPTs asociados a fallas en empaques causadas por deficientes limpiezas de casing. La implementación se llevaría a cabo a través de un ingeniero especialista del equipo de QA/QC de Completamiento que será el encargado de la simulación y generar los reportes para el procedimiento de WBCO con Coiled Tubing a realizar.

2.3.2. Propuesta de Mejora de Procedimientos. En ECOPETROL S.A. se realizan los procedimientos de corrida de empaque de acuerdo a pozo o corrida en específico en concordancia al tipo de empaque o al procedimiento interno de cada contratista encargada de la corrida, esta metodología es riesgosa ya que no hay un estándar que facilite la trazabilidad y sincronización de las actividades ejecutadas en corridas de empaques, es por dicha carencia de estándar que se propuso realizar un análisis de causa raíz que permita identificar las razones principales por las cuales ocurren fallas en corridas de empaques durante Operaciones de Completamiento en la VRO, posterior al análisis se realizó la identificación de la fase crítica en los procedimientos realizados para enfocar la propuesta a una fase específica y generar un documento estándar básico de corridas de empaques en ECOPETROL S.A. que incluya los requerimientos mínimos que se deben acatar en una corrida de este tipo en la fase a tratar identificada. Para el desarrollo del estándar se tendrán en cuenta los procedimientos de corrida de empaques de dos compañías prestadoras del pertinente servicio petrolero de reconocimiento mundial (Ver ANEXO D) y la guía de empaques de ECOPETROL S.A. En conjunto con el equipo de QA/QC de Operaciones de Completamiento se definirán técnicamente los ítems con mayor relevancia y se determinarán los procedimientos básicos a realizar. Con el fin de implementar la presente propuesta se procederá con

reuniones informativas del documento generado con contratistas involucrados en operaciones de corrida de empaques y la observación en Campo de la correcta ejecución de los lineamientos se llevará a cabo a través de los supervisores de Pozo.

2.3.3 Propuesta de Nuevas Tecnologías. Una de las razones de operar empaques recuperables es poder implementarlos en más de una ocasión, esto puede llevar a desgastes en los empaques y aumentar el riesgo de falla de las herramientas. Tomando el anterior argumento se propuso utilizar el nuevo empaque recuperable diseñado por la empresa Baker Hughes “Advantage Series HS Hydraulic Set Single String Retrievable Packer” (Ver ANEXO E) el cual promete un mayor rendimiento en diferentes corridas y ya ha sido probado en la Vicepresidencia Regional Central, en donde en el 2019 los NPTs asociados al mencionado empaque son cero (Ver ANEXO F) y aún no se ha testeado en la VRO. Con el fin de implementar la presente propuesta en operaciones de completamiento de la VRO se dará inicio al proceso WDP de ECOPETROL S.A. en el cual se acordarán términos de implementación del empaque, costos asociados al servicio y condiciones contractuales. Luego del debido proceso se selecciona un pozo piloto estipulado por la compañía operadora y a través del equipo de operaciones en pozo de ECOPETROL S.A. se procede a realizar la ejecución del programa de corrida del empaque acorde a la planeación del pozo piloto.

2.3.4 Evaluación Técnica. Las propuestas se valorarán técnicamente teniendo en cuenta las siguientes variables:

- Tiempo previo a la implementación de la propuesta
- Personal capacitado disponible
- Disponibilidad de softwares, equipos o herramientas
- Accesibilidad a instalaciones de Campo y Pozo
- Riesgos de la implementación

- Tiempo de ejecución de la propuesta
- Relevancia para la compañía

Los datos correspondientes a cada variable serán obtenidos con base en experiencias de la compañía y del equipo de QA/QC de Completamiento en ejecución de proyectos. La información obtenida se presenta en el **Cuadro 3**.

Cuadro 3. Evaluación Técnica de Propuestas de Mejora.

Evaluación Técnica de Propuestas de Mejora		Propuestas		
Variables	Unidad	Optimización	Mejora en Procedimientos	Nuevas Tecnologías
Tiempo previo a Implementación	Meses	1	1	3
Personal Capacitado Disponible	Si/No	Disponible	Disponible	Disponible
Disponibilidad de softwares	Si /No	Disponible	Disponible	-
Accesibilidad a Campo y Pozo	Disponible/No	Disponible	Disponible	Disponible
Riesgos de la Implementación	Alto/Medio/Bajo	Medio	Bajo	Alto
Tiempo de Ejecución	Meses	2	2	2
Relevancia para la compañía	Alta/Media/Baja	Media	Alta	Baja
Reducción en tiempo estimada	%	20	30	15

Fuente: elaboración propia, con base en. ECOPETROL S.A.

2.3.5 Evaluación Financiera. Se evaluará económicamente la propuesta a través de los indicadores financieros WACC, VPN y TIR. Los anteriores indicadores serán calculados utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5. Cálculo del WACC.

$$WACC = \text{COSTO PROMEDIO DE CAPITAL} = \left(\frac{S}{S+B}\right) * R_s + \left(\frac{B}{S+B}\right) * R_b * (1 - t_c)$$

Fuente: Ross, Stephen. Finanzas Corporativas. México, Novena edición, 2012, p. 412.

Ecuación 6. Cálculo del VPN.

$$VPN = -V_i + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+WACC)^t}$$

Fuente: Elaboración propia, con base en. Ross, Stephen. Finanzas Corporativas. “Valor Presente Neto (VPN)”, México, Novena edición, 2012, P. 414.

Ecuación 7. Cálculo de la TIR.

$$VPN = 0 = -V_i + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+TIR)^t}$$

Fuente: BACA C. Guillermo, Ingeniería Económica. “Tasa Interna de Retorno (TIR)”, Fondo Educativo panamericana, Octava Edición, 2005. P. 237

Se desarrollará una hoja de cálculo en Excel que permita hallar los valores del WACC, VPN y TIR anteriormente mencionados. Para la elaboración de la matriz de cálculo se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- Tiempo de terminación del proyecto: Un año
- Inversión Inicial
- Porcentaje de deuda

- Capitales corporativos
- Impuesto al Rendimiento Petrolero (IRP), según Endo Eduardo¹² IRP=35%
- Costo de los capitales corporativos, según Endo Eduardo¹³ Rs =32%
- Tasa de interés de la deuda

Los datos utilizados en la evaluación financiera se presentan en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Evaluación Financiera de Propuestas de Mejora.

Evaluación Financiera de Propuestas de Mejora		Propuestas		
Variables	Unidad	Optimización	Mejora en Procedimientos	Nuevas Tecnologías
Tiempo de finalización del proyecto	Años	1	1	1
Inversión Inicial	COP	45,000,000	10,000,000	120,000,000
Porcentaje de deuda	%	0	0	0
Capitales Corporativos	%	100	100	100
IRP	%	35	35	35
Costo de Capitales Corporativos	%	32	32	32
Tasa de interés de la deuda	%	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Reducción en costos estimada	%	15%	35%	10%

Fuente: elaboración propia, con base en. ECOPEPETROL S.A.

Se realizará la comparación cuantitativa de los resultados obtenidos con el fin de seleccionar la mejor propuesta en términos financieros.

2.4 IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA DE MEJORA

Una vez estructurada la propuesta de mejoramiento para las operaciones de Completamiento inicial en la VRO, se realizó la implementación en Pozos de la Vicepresidencia con el fin de evaluar el desempeño de las operaciones a mejorar con respecto a los datos obtenidos en el año 2019 y dar cumplimiento al objetivo

¹² ENDO HERNANDEZ, Eduardo K. RENTABILIDAD DE PROYECTOS DE LA INDUSTRIA PETROLERA. Trabajo de investigación. 2011. 15 p.

¹³ *Ibíd.*, pag 36.

específico número cuatro del presente proyecto de grado. La implementación de la propuesta de mejoramiento se llevó a cabo entre el primero de febrero de 2020 y el 30 de abril de 2020.

2.5 ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN.

Con el fin de dar cumplimiento al quinto y último objetivo específico del presente proyecto de grado se evaluó el desempeño de la implementación a través del cálculo de la relación entre NPTs específicos de la falla a mejorar y el tiempo Ejecutado en operaciones de Completamiento de la VRO durante los meses de evaluación (ver **Ecuación 8**), esto con el fin de cuantificar la optimización obtenida de la implementación. El presente análisis toma como premisa que el número de empaques corridos en la VRO es directamente proporcional a las horas Ejecutadas en Operaciones de Completamiento.

Ecuación 8. Impacto en tiempo.

$$Impacto\ en\ tiempo = \frac{\sum NPTs_{PACK}}{\sum Tiempos\ Ejecutados} * 100$$

Fuente: elaboración propia, con base en.
ECOPETROL S.A.

A nivel financiero se tuvo en cuenta la reducción en costos asociados a la falla en Operaciones de Completamiento a mejorar, esto comparando los costos asociados al mencionado NPT específico entre el año 2019 y el 2020. La comparación se realizó con base en la diferencia entre Costos asociados al NPTs específico de la falla a mejorar en el 2019 y el 2020 durante los meses de evaluación (ver **Ecuación 9**). El presente análisis toma como premisa que el número de empaques corridos en la VRO es directamente proporcional a las horas Ejecutadas en Operaciones de Completamiento.

Ecuación 9. Impacto económico.

$$\text{Impacto económico} = \frac{\sum \text{Costos NPT}_{SPACK}}{\sum \text{Tiempos Ejecutados}}$$

Fuente: elaboración propia, con base en.
ECOPETROL S.A.

Los datos de tiempos y costos se tomaron con base en el informe de Power BI generado en el objetivo específico número dos.

3. RESULTADOS Y ANALISIS

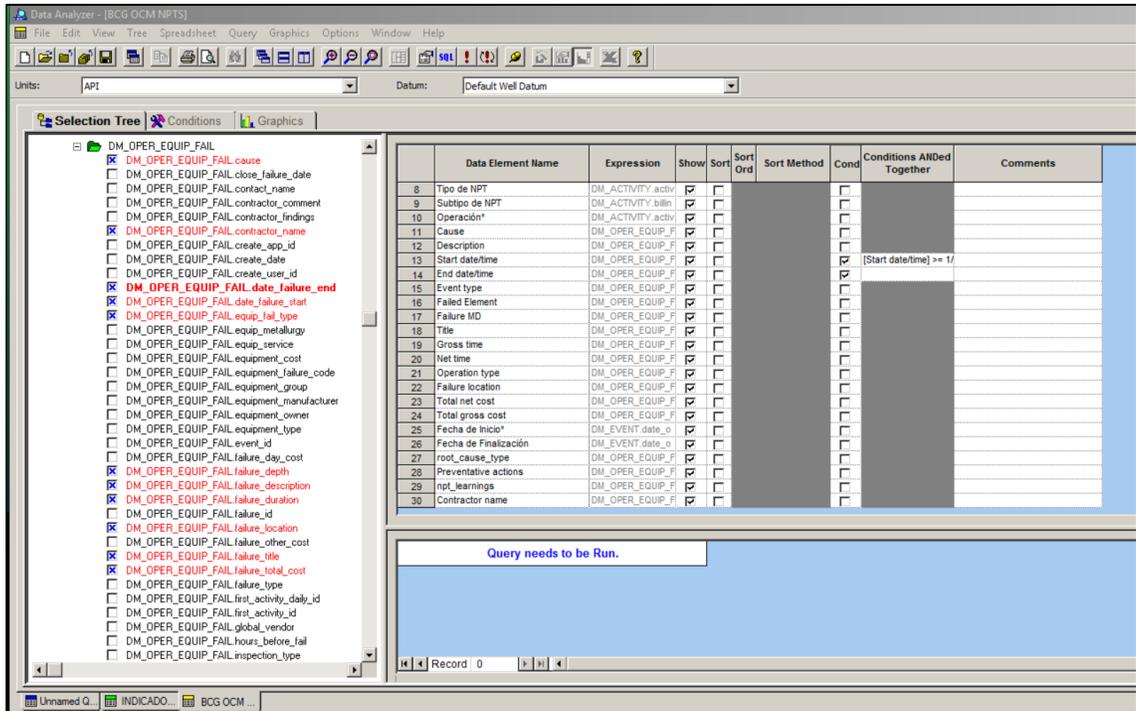
En el presente capítulo se presentan los resultados de cálculos realizados, gráficos generados y se analizan los mismos, el orden de los resultados obtenidos se expone en concordancia con la metodología y objetivos específicos establecidos.

3.1 DISEÑO DE QUERIES Y CARGUE DE INFORMACIÓN

La información correspondiente a los condicionales, filtros y modificaciones realizadas a la Query en el software se modificaron por solicitud de ECOPETROL S.A y en función de proteger información confidencial de la compañía. El resultado del diseño de las dos Queries implementadas se presentan a continuación.

- La Query BCG OCM NPTS ya diseñada y cargada en el software Data Analyzer se presenta en la **Figura 5**.

Figura 5. Query BCG OCM NPTS.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Data Analyzer.

La Query BCG OCM NPTS permitió cargar la información depositada en OpenWells que se consideró relevante y útil para hallar los valores de tiempos y costos asociados a NPTs en todas las Vicepresidencias de ECOPEPETROL S.A. Los elementos que se muestran en la sección izquierda de la **Figura 5**. Corresponden a los orígenes de los datos. Los orígenes resaltados en color rojo son aquellos que se seleccionaron para el diseño de la Query.

- La Query INDICADOR NPTS OCM ya diseñada y cargada en el software Data Analyzer se presenta en la **Figura 6**.

Figura 6. Query INDICADOR NPTS OCM.

	Data Element Name	Expression	Show	Sort	Sort Ord	Sort Method	Cond	Conditions ANDed Together	Comments
1	Vicepresidencia	CD_PROJECT.desc	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	[Vicepresidencia] =	
2	Nombre del Campo	CD_WELL.field_na	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
3	Nombre Legal del Pozo	CD_WELL.well_leg	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
4	Siglas del Evento*	DM_EVENT.event*	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	[Siglas del Evento] =	
5	PI#	DM_ACTIVITY.activ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
6	Código*	DM_ACTIVITY.activ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
7	Subcódigo*	DM_ACTIVITY.activ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
8	Tipo de NPT	DM_ACTIVITY.activ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
9	Subtipo de NPT	DM_ACTIVITY.bltn	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
10	Desde*	DM_ACTIVITY.time	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	[Desde] >= 1/1/2020	
11	Hasta*	DM_ACTIVITY.time	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
12	Duración (hr)	DM_ACTIVITY.activ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
13	Operación*	DM_ACTIVITY.activ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
14	Paso No.	DM_ACTIVITY.step	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

Query needs to be Run.

Record 0

Fuente: elaboración propia, con base en: software Data Analyzer.

La Query INDICADOR NPTS OCM permitió calcular los valores correspondientes a tiempos Ejecutados, NPTs Operativos, NPTs No Operativos, NPTs Gestionables y KPI, los cuales son la base del análisis para determinar la falla de mayor impacto en la VRO.

Los elementos que se muestran en la sección izquierda de la **Figura 6**. Corresponden a los orígenes de los datos. Los orígenes resaltados en color rojo son aquellos que se seleccionaron para el diseño de la Query.

El resultado de las corridas de las Queries anteriormente mostradas se cargó en un libro de Excel que sirvió como data de entrada para el informe generado en Power BI. La estructura del libro de Excel es presentada en las **Figura 7 y Figura 8**.

Figura 7. Libro de Excel con información cargada de Queries.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
Nombre Legal del Pozo	Vicepresidencia	field_name	Siglas del I	P/N*	MD From	MD to (R)	Tipo de NI	Subtipo de	Operación	Cause	Descripción	Start date	End date/	Event type	Fallid	
1																
2	POZO A1	VRO	CAMPO A	OCM	N	8,876.0	8,876.0	WAIT	WTHR	OPERACIÓN	SWOR	OPERACION	#####	#####	N	
3	POZO B1	VRO	CAMPO B	OCM	N	9,249.0	9,249.0	WAIT	LOC	AL BAJAR LA	WAIT	AL BAJAR LA	#####	#####	N	
4	POZO B2	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,620.0	8,620.0	WAIT	CONT	EQUIPO EN E	WAIT	EN ESPERA D	#####	#####	N	
5	POZO B3	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,541.0	8,541.0	SFAL	TONG	REALIZÓ OPE	RIG	REPARACIÓN	#####	#####	N	
6	POZO A2	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,541.0	8,541.0	SFAL	PIPH	INTENTÓ BAJ	WAIT	INSTALÓ POW	#####	#####	N	
7	POZO C-215	VRO	CAMPO A	OCM	N	9,075.0	9,075.0	DEFAL	PACK	REALIZÓ MAI	WAIT	FALLA EMPA	6/20/2019 4:	6/22/2019 11:EN	FALLA	
8	POZO B-386	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,770.0	7,770.0	SFAL	CIRC	PROBLEMAS	WAIT	VÁLVULAS G	#####	#####	N	
9	POZO B-285	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,541.0	8,541.0	WAIT	WTHR	PARÓ OPERA	WOR	SE DETUVO C	#####	#####	N	
10	POZO B-373	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,180.0	8,180.0	DEFAL	COTR	DESTORQUE	WAIT	DAÑO DE RO	#####	#####	EN	BLAS
11	POZO B-386	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,700.0	7,700.0	WAIT	WTHR	OPERACIONE	WOR	DETUVO OPE	1/17/2019 11:	1/18/2019 4:	N	
12	POZO B-284	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,100.0	8,100.0	DEFAL	LOG	BAJO CAÑON	LTEFC	EN EL POZO	1/19/2019 5:	1/19/2019 6:	N	
13	POZO D-13	VRO	CAMPO D	OCM	N	10,080.0	10,080.0	WAIT	PERM	ESPERÓ POR	WAIT	ESPERÓ POR	1/21/2019 11:	1/21/2019 2:	N	
14	POZO D-13	VRO	CAMPO D	OCM	N	10,080.0	10,080.0	WAIT	PERM	ESPERÓ POR	WAIT	ESPERÓ POR	1/21/2019 6:	1/21/2019 8:	N	
15	POZO D-42	VRO	CAMPO D	OCM	N	9,998.0	9,998.0	DEFAL	LHGR	REALIZÓ REU	DEFAL	DESPUÉS DE	1/22/2019 7:	1/25/2019 6:	N	
16	POZO C-187	VRO	CAMPO C	OCM	N	8,350.0	8,350.0	DHPRB	FILL	INICIÓ ARME	RES	ARME DE BH	1/24/2019 3:	1/26/2019 2:	EN	
17	POZO B-293	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,487.0	7,487.0	WAIT	LABOR	PARO DE LA	WAIT	PARO DE LA	1/14/2019 6:	1/14/2019 8:	N	
18	POZO B-293	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,487.0	7,487.0	WAIT	LABOR	RESTRICCIÓN	WAIT	RESTRICCIÓN	1/15/2019 6:	1/15/2019 8:	N	
19	POZO A-357	VRO	CAMPO A	OCM	N	8,340.0	8,340.0	RIG	FLOOR	FUGA DE AC	RIG	FUGA DE AC	1/27/2019 6:	1/27/2019 2:	EN	
20	POZO C-177	VRO	CAMPO C	OCM	N	8,876.0	8,876.0	SFAL	LINE	REALIZÓ MAI	SFAL	SE IDENTIFIC	1/28/2019 8:	1/29/2019 2:	EN	TAPA
21	POZO B-293	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,487.0	7,487.0	WAIT	WTHR	SUSPENDE S	WOR	SUSPENDE S	1/30/2019 3:	1/30/2019 6:	N	
22	POZO B-293	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,487.0	7,487.0	SFAL	TREE	CORRIGIÓ FJ	SFAL	CORRIGIÓ FU	#####	#####	N	
23	POZO D-42	VRO	CAMPO D	OCM	N	9,998.0	9,998.0	WAIT	LOC	PERFORACIÓN	HUMAN	PERFORACIÓN	#####	#####	N	
24	POZO B-189	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,416.0	8,416.0	WAIT	TRAIN	ESPERÓ MOV	WAIT	RESTRICCIÓN	#####	#####	N	
25	POZO B-189	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,408.0	8,408.0	WAIT	UTIL	RESTRCCION	WAIT	RESTRICCIÓN	#####	#####	N	
26	POZO B-189	VRO	CAMPO B	OCM	N	8,416.0	8,416.0	DEFAL	PACK	BAJÓ SARTA	DEFAL	REALIZÓ PRU	2/15/2019 5:	2/17/2019 6:	EN	CUÑ
27	POZO B-301	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,930.0	7,930.0	WAIT	WTHR	SUSPENDIÓ	WOR	SUSPENDIÓ	2/16/2019 7:	2/16/2019 8:	N	
28	POZO D-21	VRO	CAMPO D	OCM	N	9,681.0	9,681.0	WAIT	WTHR	CESE DE ACTI	WAIT	SE PRESENTA	2/17/2019 4:	2/17/2019 5:	N	
29	POZO B-301	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,930.0	7,930.0	WAIT	WTHR	SUSPENDIÓ	WOR	SUSPENDIÓ	2/17/2019 4:	2/17/2019 5:	N	
30	POZO B-301	VRO	CAMPO B	OCM	N	7,930.0	7,930.0	DEFAL	ESPC	INSTALÓ VIE	DEFAL	EALIZÓ PRUE	2/17/2019 10:	2/18/2019 10:	EN	
31	POZO D-14	VRO	CAMPO D	OCM	N	9,370.0	9,370.0	WAIT	WTHR	SUSPENDIÓ	WAIT	SUSPENDIÓ	2/17/2019 3:	2/17/2019 5:	N	

Fuente: elaboración propia, con base en: Excel.

Figura 8. Resultados de Query Indicador NPTs OCM

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Vicepresidencia	field_name	Nombre	Siglas del I	P/N*	Código*	Subcódigo	Tipo de NI	Subtipo de	Desde*	Hasta*	Duración (-)	Operación				
2	VRO	CAMPO D	POZO D-14 OCM	P	1600	1602			1/30/2019	11/30/2019	11	0.50	REALIZÓ REUNIÓN PREOPERACIONAL Y DE SEGURIDAD PARA CAM			
3	VRO	CAMPO D	POZO D-14 OCM	P	1600	1602			1/30/2019	12/30/2019	1	0.50	REALIZÓ REUNIÓN PREOPERACIONAL Y DE SEGURIDAD PARA ARM			
4	VRO	CAMPO B	POZO B-18 OCM	P	1100	1129			1/30/2019	10/30/2019	11	0.50	RIG DOWN HERRAMIENTAS DE MANEJO DP 3-1/2".			
5	VRO	CAMPO B	POZO B-18 OCM	P	1900	1906			1/30/2019	2/1/30/2019	2	0.50	REALIZÓ FLUSHING AL MOTOR CON 2.5 GALONES DE ACEITE DIELE			
6	VRO	CAMPO B	POZO B-18 OCM	P	1900	1906			1/30/2019	7/1/31/2019	4	5.00	IZÓ Y CONECTÓ - INTAKE ESP B 538 HSS MTC, S/N: E181204464, P			
7	VRO	CAMPO D	POZO D-06 OCM	P	1100	1124			1/30/2019	9/1/30/2019	10	1.00	RIG DOWN KELLY. RETIRÓ CAMPANA Y FLOW LINE.			
8	VRO	CAMPO D	POZO D-06 OCM	P	1100	1148			1/30/2019	1/30/2019	6	6.50	SACÓ TUBERÍA DP 3-1/2" NC 38 EN SENCILLOS DESDE 3654' HASTA			
9	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	P	2000	2012			1/30/2019	7/1/30/2019	9	2.50	SACÓ Y DESARMÓ BHA # 8: BOTTOM PLUG, SET DE CAÑONES X 4 1			
10	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	P	1100	1129			1/30/2019	1/1/30/2019	2	1.00	SUBIÓ HERRAMIENTAS DE MANEJO BORETS Y LLAVE HIDRAÚLICA.			
11	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	P	2100	2111			#####	#####	2	5.00	LLENÓ TUBERIA EN DIRECTA CON 15 BBLs DE AGUA FRESCA. CONE			
12	VRO	CAMPO B	POZO B-18 OCM	P	1000	1006			#####	02/02/2019	2	0.00	RETIRÓ SET DE BOP 11X SM. DESINSTALÓ DSA 13-5/8" SK X 11" SK			
13	VRO	CAMPO D	POZO D-14 OCM	P	1100	1122			#####	#####	1	0.00	RETIRÓ JUNTA DE MANEJO Y HERRAMIENTAS DE MANEJO DE TUE			
14	VRO	CAMPO B	POZO B-18 OCM	P	1100	1122			#####	#####	1	5.00	RETIRÓ ESCALERAS Y BARANDAS. SOLTÓ Y RETIRÓ LÍNEA DEL CHOI			
15	VRO	CAMPO C	POZO C-18 OCM	P	1100	1164			#####	#####	0	5.00	CONECTÓ TUBING HANGER 11" X 4-1/2" EUE Y PUP JOINT 4-1/2" E			
16	VRO	CAMPO B	POZO B-18 OCM	P	1100	1103			#####	#####	1	5.00	INSTALÓ SMR. SENTÓ TUBING HANGER EN EL TUBING HEAD SPO			
17	VRO	CAMPO C	POZO C-18 OCM	P	1900	1901			02/01/2019	#####	14	5.00	BAJANDO ENSAMBLE ESP CON TUBING 4-1/2" EUE 12.75 #/FT NBO			
18	VRO	CAMPO C	POZO C-17 OCM	P	1900	1905			#####	#####	0	5.00	BAJÓ RUEDA GUIA. CORTÓ CABLE DE POTENCIA.			
19	VRO	CAMPO C	POZO C-18 OCM	P	1600	1602			1/28/2019	8/1/28/2019	8	0.50	REALIZÓ REUNIÓN PRE OPERACIONAL Y DE SEGURIDAD CON TODC			
20	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	P	1100	1106			1/28/2019	11/1/29/2019	0	5.00	BAJÓ EN DOBLES DP 3-1/2" CON BHA #8 DE CAÑONEO TCP DESDE			
21	VRO	CAMPO C	POZO C-17 OCM	P	2000	2008			1/28/2019	5/1/28/2019	8	3.00	ENVIÓ DATA DE REGISTROS DE CALIDAD DE CEMENTO A YACIMIE			
22	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	P	2000	2008			1/28/2019	8/1/28/2019	11	3.00	ARMÓ Y BAJÓ BHA No.8 DE CAÑONES TCP DESDE SUPERFICIE HAS			
23	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	N	3000	3014	WAIT	TRAIN	1/14/2019	1/14/2019	6	6.00	RESTRICCIÓN VIAL PARA MOVILIZAR EQUIPO BSV06 DESDE EL POZ			
24	VRO	CAMPO C	POZO C-18 OCM	P	3000	3004			1/14/2019	2/1/14/2019	6	4.00	INICIÓ ARME DE EQUIPO.			
25	VRO	CAMPO C	POZO C-17 OCM	N	3100	3104	WAIT	LABOR	1/14/2019	6/1/14/2019	8	2.50	PARO DE LA COMUNIDAD PETICION LABORAL A NABORS DRILLING			
26	VRO	CAMPO C	POZO C-18 OCM	P	3000	3004			1/14/2019	8/1/14/2019	12	3.50	MOVILIZÓ UNIDAD BÁSICA, TANQUES DE LODOS, POOR BOY - CHC			
27	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	N	1800	1828	WAIT	TRAIN	1/14/2019	6/1/15/2019	6	0.00	ESPERANDO LUZ DEL DÍA PARA MOVILIZAR CARGAS.			
28	VRO	CAMPO C	POZO C-17 OCM	N	3000	3014	WAIT	TRAIN	1/14/2019	12/1/14/2019	2	2.00	RESTRICCIÓN PARA MOVER POR HORARIO ESCOLAR			
29	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	N	1000	1005	SFAL	TREE	#####	#####	1	0.00	CORRIGIÓ FUGA EN PEGUE DE VALVULA MASTER Y STUDDED CRO			
30	VRO	CAMPO A	POZO A-35 OCM	P	1000	1005			02/02/2019	#####	3	0.00	INSTALÓ ÁRBOL DE PRODUCCIÓN (SECCIÓN C) 4-1/16" 3K. PROBÓ			
31	VRO	CAMPO C	POZO C-18 OCM	P	1900	1906			1/31/2019	12/1/31/2019	1	1.00	INSTALÓ Y-TOOL FEPCO 9-5/8" x 3-1/2" EUE (PN: P781039586; S/N			

Fuente: elaboración propia, con base en: Excel.

Los Nombres de los Pozos, Campos y Empresas cargadas de las Queries fueron modificados por solicitud de ECOPETROL S.A. y en función de proteger información confidencial de la compañía.

Al crear el libro en Excel y depositar la información obtenida en Data Analyzer a través de las Queries se dio cumplimiento al primer objetivo específico planteado en el presente Proyecto de Grado.

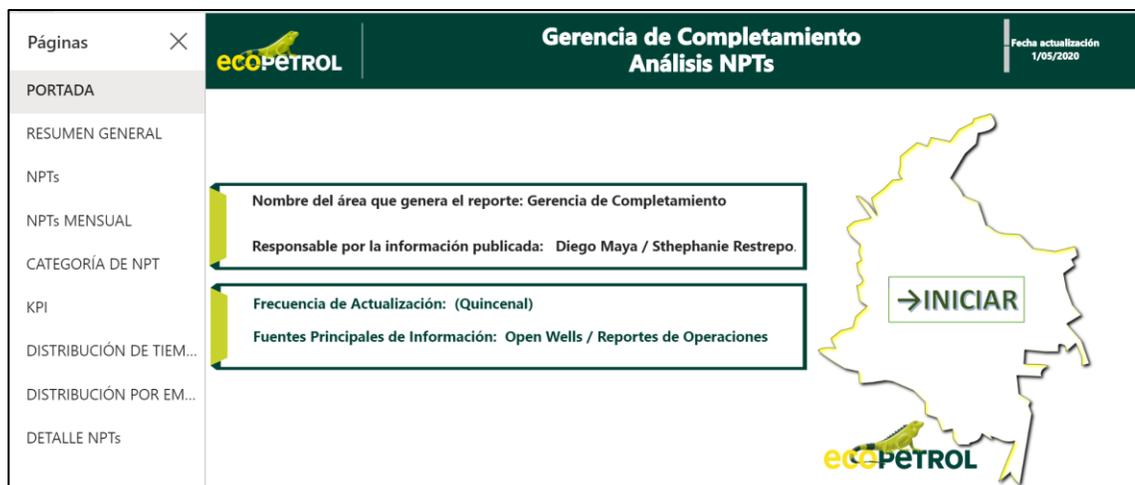
3.2. DISEÑO DE INFORME EN POWER BI Y SELECCIÓN DE FALLA DE MAYOR IMPACTO EN LA VRO

Con el fin dar cumplimiento al objetivo específico número dos se diseñó un informe en el aplicativo Power BI, el cual se dividió en páginas que sirven en conjunto como herramienta de decisión. A continuación, se presenta el análisis realizado en cada página presentada en el informe y el procedimiento seguido para identificar la falla de mayor impacto.

3.2.1 Portada. Se identifica a la Gerencia de Completamiento como departamento encargado de publicar la información, a Diego Maya (Líder de Eficiencias en Completamiento) y Stephanie Restrepo (Responsable de reportes de Completamiento) como responsables de la información cargada en el informe, la frecuencia de Actualización del informe el cual se modifica en el primer y el quinceavo día de cada mes y finalmente se resaltan OpenWells y Reportes de Operaciones como fuentes de la información depositada en el informe. La estructura y la visualización de la PORTADA se presentan en la **Figura 9**.

La información depositada en la portada denota la relevancia que tiene el proyecto para ECOPEPETROL S.A., en donde la gerencia misma designó personal responsable por la información y actualización del informe. En adición, desde el inicio se conoce el origen de los datos que se presentan en el informe y brindan a cualquier ingeniero que revise el informe, la confianza en los gráficos presentados y valores contenidos.

Figura 9. PORTADA informe Power BI.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

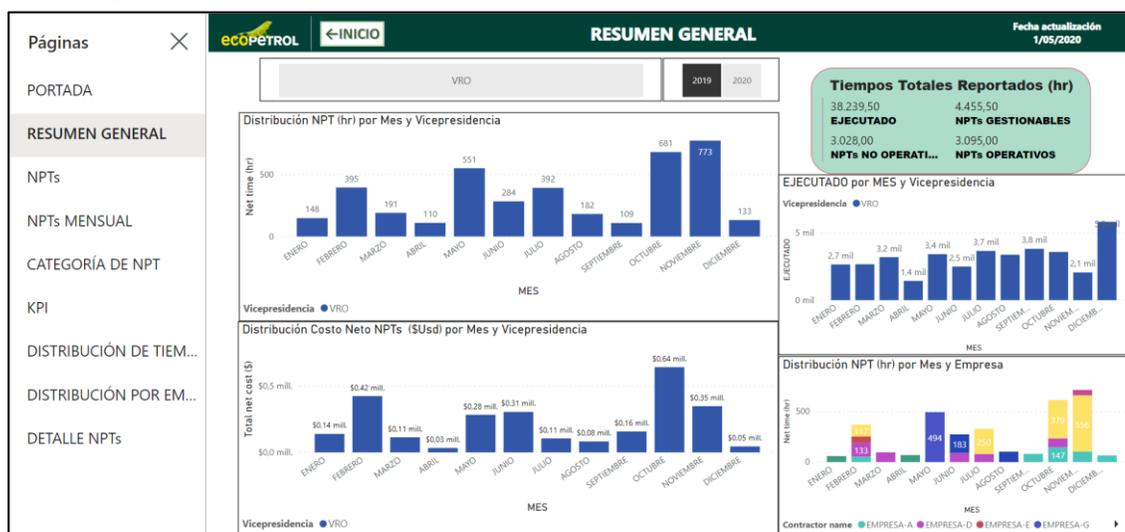
3.2.2 Resumen General. Los gráficos en esta página nos permiten conocer cuantitativa y cualitativamente, cuáles fueron los meses del año en los cuales se presentaron mayores NPTs tanto en tiempo como en costos, en qué meses se Ejecutaron más horas y en qué meses destacaron unas compañías sobre otras en

cuanto a NPTs respecta. También se observa la discretización entre los tiempos Ejecutados, NPTs Gestionables, NPTs Operativos y NPTs No Operativos

El principal aporte en el resumen general consiste en que, a través de un corto vistazo, ya permite sacar conclusiones, como el mes con mayor NPTs en tiempo y costo, el mes con mayor tiempo Ejecutado, La empresa que destaca en todo el año 2019 por tener el mayor número de NPTs, la proporción entre tiempos Ejecutados, NPTs Gestionables, NPTs Operativos y NPTs No Operativos y la baja relación proporcional entre el número de horas ejecutadas y los NPTs. La estructura y la visualización del RESUMEN GENERAL se presentan en la **Figura 10**.

Los valores que sobresalen en esta sección corresponden a los meses de febrero, mayo, octubre y noviembre contienen valores en horas asociadas a NPTs de 395, 551, 681 y 773 respectivamente. En igual sentido los meses de febrero, junio, octubre y noviembre resaltan al contener valores en USD asociados a NPTs de con 0.42 millones, 0.31 millones, 0.64 millones y 0.35 millones respectivamente. En adición, se observa que el mes de diciembre, es donde se registra el valor más alto de horas Ejecutadas con 5833.5 horas y en contradicción a lo estimado, es el tercer mes con menos NPTs registrando solo 133 horas asociadas.

Figura 10. Resumen General Informe Power Bi.



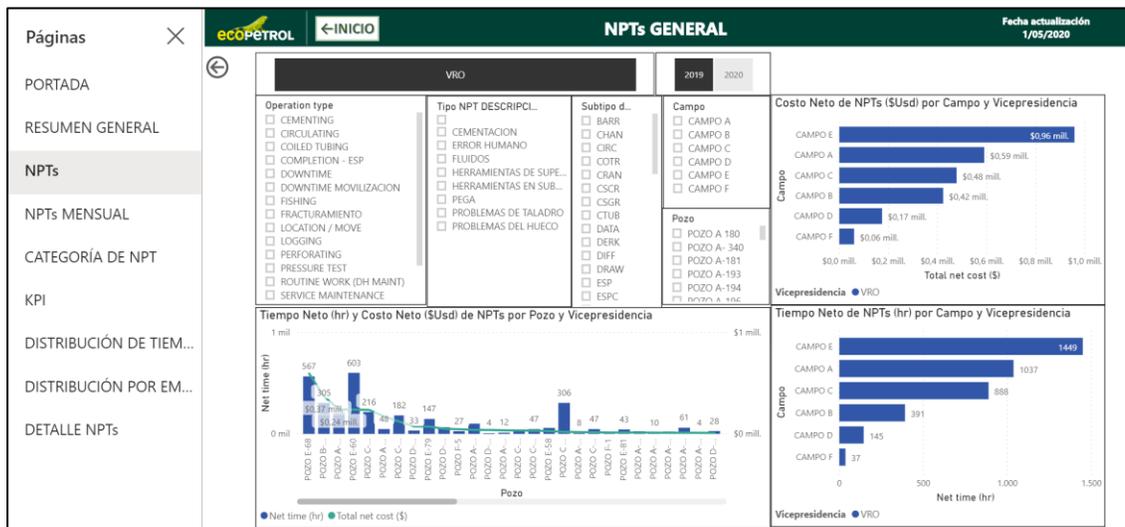
Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

3.2.3 NPTs. Al interactuar con esta página, los gráficos muestran los campos y pozos de la VRO que presentan NPTs ordenado de mayor a menor valor, los campos y pozos pueden variar al aplicar filtros sobre el informe. Los datos presentados corresponden a tiempos y costos asociados a NPTs.

El punto para destacar en la presente página es el poder cercar un Campo y poder conocer el comportamiento de los Pozos que contiene. Esto permite identificar los Pozos que están presentando mayores NPTs y comenzar una investigación al respecto. También permite conocer los Campos y Pozos con mayores valores en NPTs respecto a un Tipo de NPT, Subtipo de NPT o tipo de operación, lo cual facilita la identificación de Pozos desviados en NPTs. La estructura y la visualización del NPTs se presentan en la **Figura 11**.

De los resultados mostrados en la página NPTs se destaca Campo-E con 0.96 millones de USD y 1449 horas asociadas a NPTs y Campo-A con 0.59 millones de USD y 1037 horas asociadas a NPTs. En conjunto, ambos campos suman 1.55 millones de USD y 2486 horas asociadas a NPTs lo cual evidencia una gran oportunidad de optimización y mejoramiento en las Operaciones de Completamiento de la VRO.

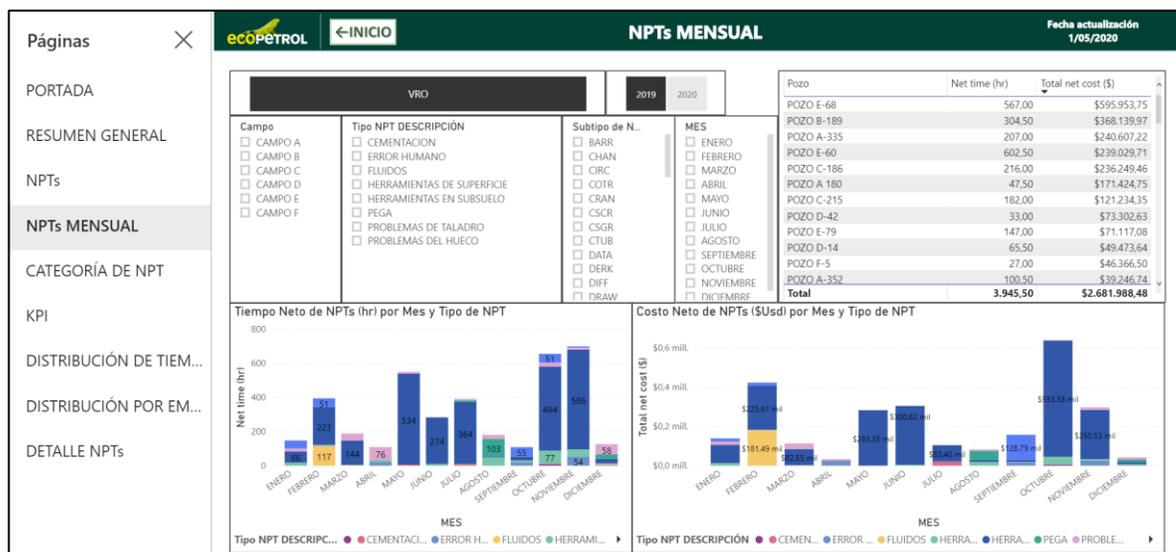
Figura 11. NPTs informe Power BI.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

3.2.4 NPTs Mensual. En esta página inicia el proceso de selección de la falla con mayor impacto económico y en tiempo en la VRO, a través de los gráficos correspondientes de Tiempo Neto distribuido en los meses del año 2019 y por Tipo de NPT y Costo Neto distribuido en los meses del año 2019 y por Tipo de NPT, se identificó con claridad el Tipo de NPT que predomina en todos los meses del año el cual es HERRAMIENTAS EN SUBSUELO y se identifica con color azul oscuro en las gráficas como se puede observar en la **Figura 12**.

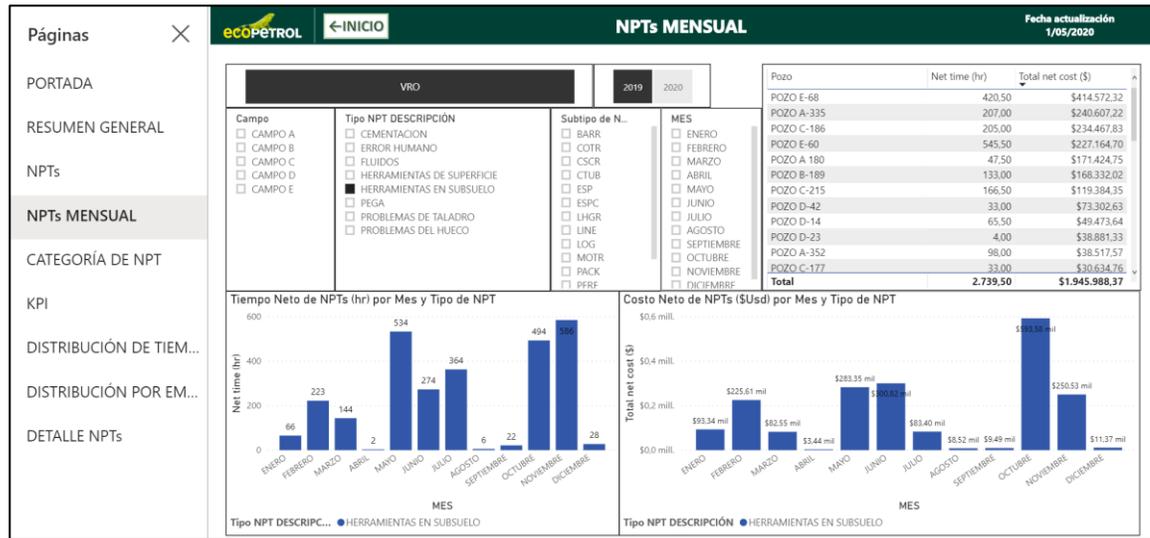
Figura 12. NPTS MENSUAL informe Power BI.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

Al filtrar la página por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO en la segmentación de datos correspondiente se observan los Pozos E-68 y A-335 con costos asociados de 420 y 207 horas respectivamente y 414 KUSD y 240 KUSD en costos asociados, estos pozos y demás pueden ser observados en la **Figura 13** que muestra el cambio de la página al implementar el filtro por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO.

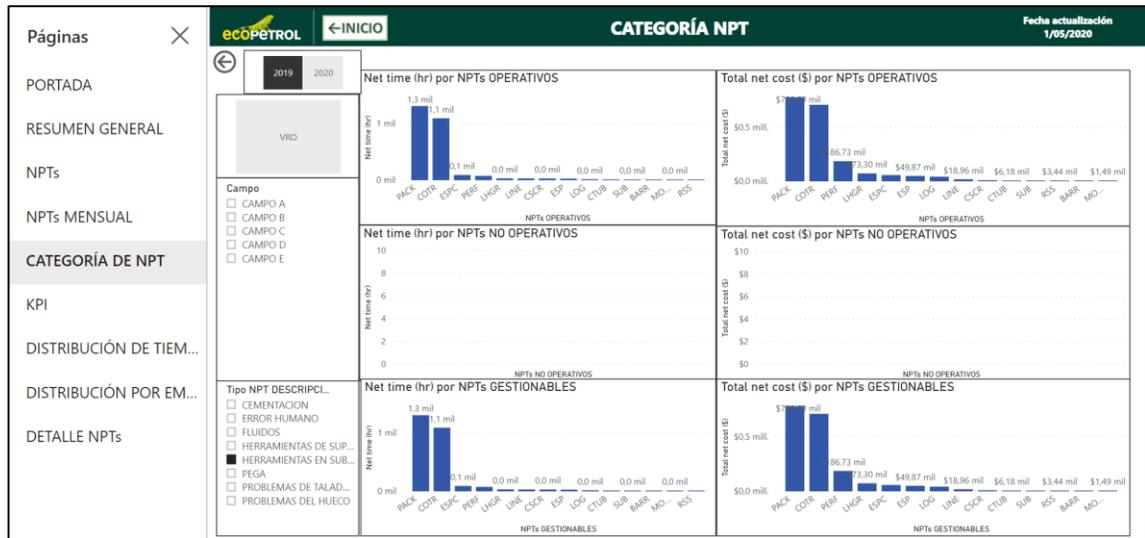
Figura 13. Filtro por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO en NPTS MENSUAL.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

3.2.5. Categoría de NPT. Manteniendo el filtro aplicado en la página NPTS Mensual, se observó que los NPTS asociados a HERRAMIENTAS EN SUBSUELO son de carácter operativo, esto se aprecia en la nulidad de valores en los gráficos correspondientes a NPTS No Operativos. Los gráficos restantes presentan los NPTS Gestionables y NPTS Operativos, en ellos se contienen NPTS y Costos asociados a los NPTS, esto de acuerdo con los Subtipos de NPT. Al visualizar los gráficos mencionados, se identifica la falla PACK (empaques) como el NPT con mayor impacto tanto en tiempo con 1306 horas como en costos con 780 KUSD. Esto representa un 16.47% más tiempo que la segunda falla con mayor tiempo asociado y 93% más elevado con respecto a la tercera falla en la lista. En término de costos, las fallas asociadas a PACK superan a la segunda falla con mayores costos asociados a NPTS en un 9.3% y con respecto a la tercera falla un 76%. En la Figura 14 se observa la disposición de los gráficos en la página CATEGORÍA DE NPT y los filtros que completan los objetos visuales dispuestos.

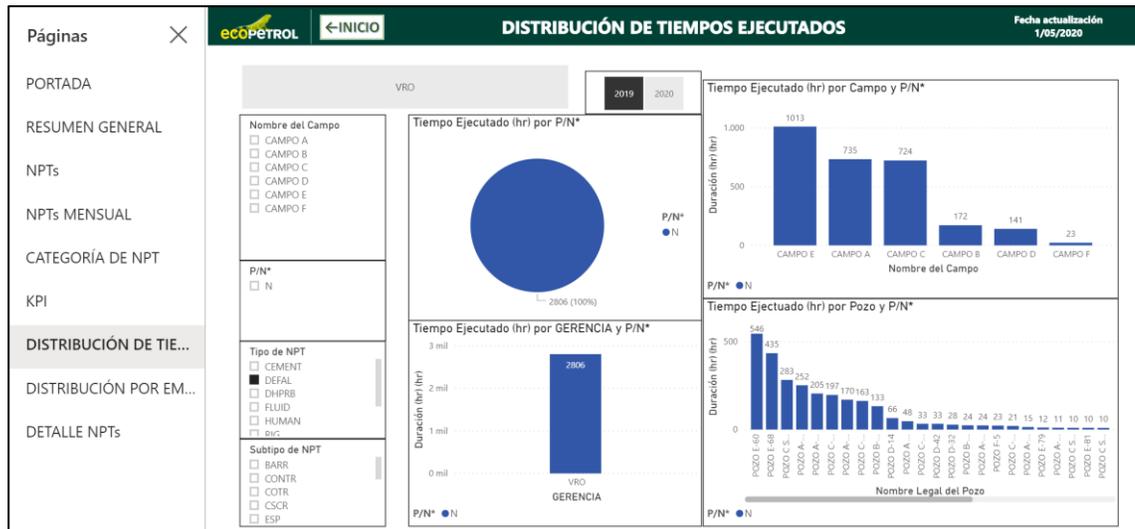
Figura 14. Filtro por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO en CATEGORÍA DE NPT.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

3.2.6 Distribución De Tiempos. El contenido de la presente pestaña permite dividir los NPTs de acuerdo con la presencia o no de un Cambo de Alcance en el proyecto de Completamiento, esta clasificación permite identificar patrones en caso de existir tendencia a que ocurra un incidente de NPT asociado a un Subtipo o Tipo de NPT específico en Operaciones Planeadas o en Operaciones de Cambio de Alcance. En la Figura 15 se muestra la estructura que adopta la página DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS al mantener aplicado el filtro HERRAMIENTAS EN SUBSUELO, evidenciando que el 100% de los NPTs asociados a esta falla ocurridos en la VRO sucedieron durante Operaciones Planeadas.

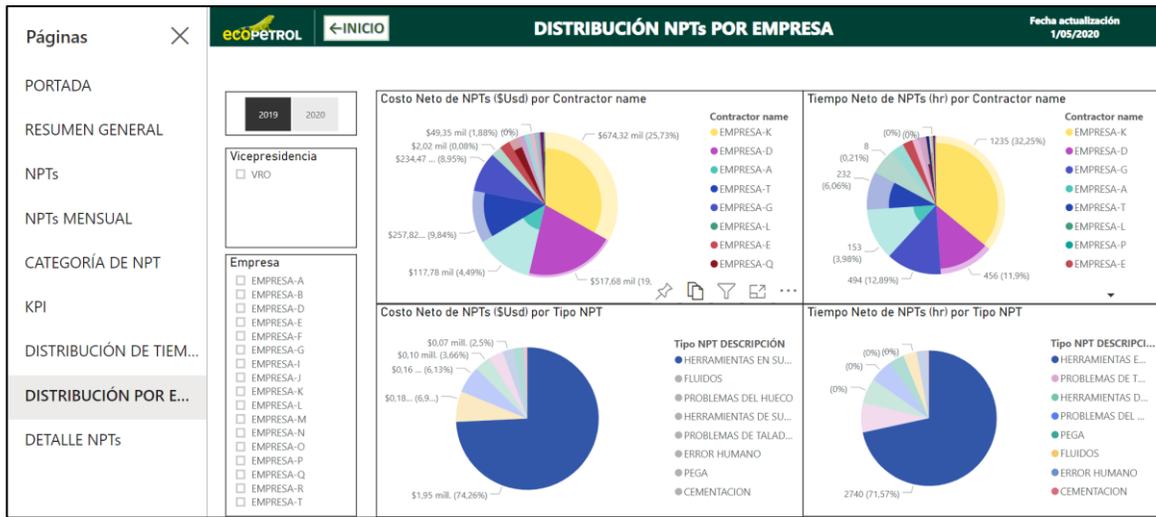
Figura 15. Filtro HERRAMIENTAS EN SUBSUELO en DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

3.2.7 Distribución Por Empresa. En esta página se encuentra la distribución en tiempo y costo de los NPTs asociados a cada empresa, esto permite enfocar las acciones correctivas al grupo de empresas con mayor participación en porcentaje en el total de NPTs, tanto en tiempo como en costos. Al continuar con el filtro HERRAMIENTAS EN SUBSUELO, destacan las empresas K, D, T y G que representan el 25.73%, 19.75%, 9.84% y 8.95% respectivamente del total de USD asociados a NPTs, la suma del costo asociado a las empresas anteriormente mencionadas resulta en 1684 KUSD. La estructura que adopta la página al activar el filtro por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO se observa en la Figura 16.

Figura 16. Filtro por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO en DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

3.2.8 Detalle NPTs. En la presente página se procedió a activar los filtros por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO y PACK en las segmentaciones de datos por Tipo de NPT y Subtipo de NPT respectivamente, esto con el fin de identificar las descripciones de cada evento de NPT por Pozo y de esa manera generar un contexto en el cual sucedieron los incidentes. La estructura de la página DETALLE NPTs posterior a la aplicación de filtros se presenta en la **Figura 17.**

Figura 17. Filtro por HERRAMIENTAS EN SUBSUELO y PACK en DETALLE NPTs.

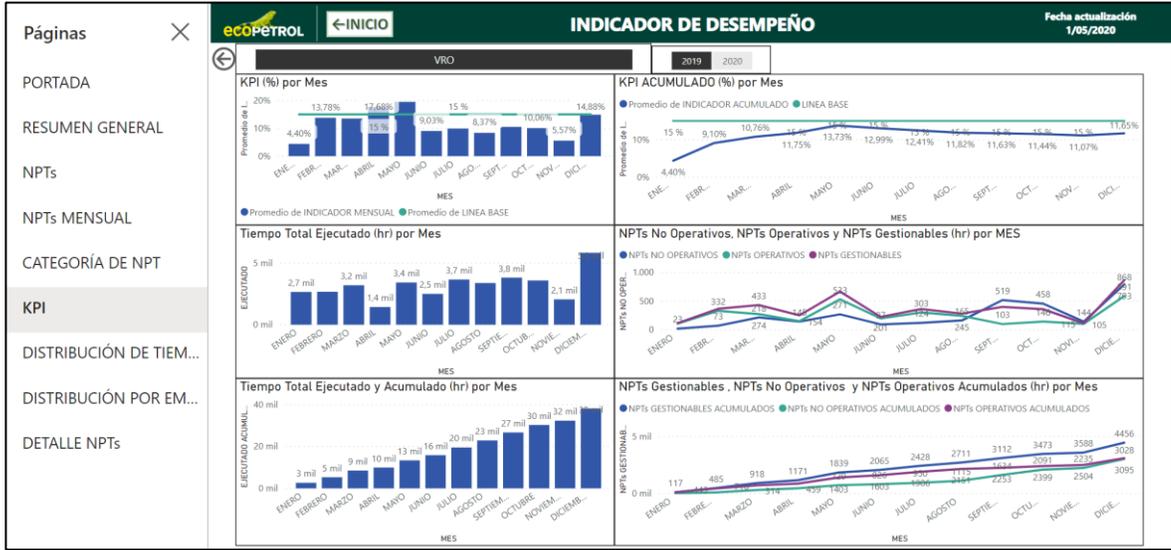
Pozo	Title	Tipo de NPT	Net time (hr)	Total net cost (\$)	npt_earnings
POZO A-335	OPERACION NO PLANEADA DEBIDO A TAPON BRIDGE PLUG NO EVIDENCIÓ ASENTAMIENTO ADECUADAMENTE.	DEFAL	183,00	\$240.607,22	
POZO E-60	FALLA EN EL EMPAQUE RTTS	DEFAL	534,50	\$222.530,17	EN INVESTIGACIÓN
POZO B-189	FALLA SISTEMA DE SENTAMIENTO DE EMNPAQUE RTV	DEFAL	96,00	\$154.275,00	EN INVESTIGACIÓN
POZO C-215	BAJÓ BHA # 06 PARA PESCAR EMPAQUE RTV BAKER	DEFAL	76,00	\$59.173,00	
POZO C-215	BOMBEO EN DIRECTA 28 BLS DE AGUA DE INYECCIÓN PARA LIMPIAR VÁSTAGO DE PESCA TRABAJANDO LA SARTA PARA ENGANCHAR RBP SIN ÉXITO, A 1 FT DEL RBP BOMBEO 140 BLS EN DIRECTA A 4 BPM PARA LIMPIAR VASTAGO DE PESCA, BAJÓ CAUDAL A 1.5 BPM Y TRABAJÓ SARTA HASTA CON 20 KLBS DE PESO Y DANDO 2 A 3 GIROS A LA DERECHA PARA AYUDAR AL ENGANCHE. AL SUBIR SARTA SE OBSERVA ARRASTRE Y 2000 KLBS DE TENSIÓN PERO LAS LIBERA INMEDIATAMENTE. SIN LOGRAR ENGANCHAR. SE DECIDIÓ SACAR SARTA CON RTV PARA REVISAR HERRAMIENTA EN SUPERFICIE.	DEFAL	48,00	\$47.750,00	
POZO C-177	FALLA EN INTEGRIDAD DE EMPAQUES RTTS Y RBP-	DEFAL	32,50	\$29.834,76	EN INVESTIGACION
POZO B-189	FALLA EN PRUEBA DE INTEGRIDAD EMPAQUE.	DEFAL	37,00	\$14.057,02	BAJO INVESTIGACIÓN
POZO C-215	FALLA EMPAQUE RTV DE BAKER NO PERMITE ASENTAR.	DEFAL	42,50	\$12.461,35	NA.
POZO A- 340	QUEBRANDO TUBERIA LLENA DE GEL LINEAL 25# POR TAPONAMIENTO A NIVEL DE BHA CON ARENA MAS EXPEDITE.	DEFAL	7,50	\$0,00	
POZO A-375	MOLIENDA DE EMPAQUE EZ A 8506 FT	DEFAL	249,50	\$0,00	
Total			1.306,50	\$780.688,52	

Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

3.2.9 KPI. Se diseñó la página KPI con el propósito de identificar la participación del NPT de mayor impacto en el indicador de desempeño de la VRO en operaciones de completamiento, en caso de que coincidiesen los meses en los que un NPT específico vio incrementado sus valores en tiempos y costos con los meses en que el KPI supero la línea de rendimiento óptimo establecida por ECOPETROL S.A. en 15%. En caso de presentar un NPT con estas características se puede establecer una relación directa entre un NPT y el desempeño en operaciones de completamiento de la compañía para uno o más meses.

En adición al valor por mes del KPI calculado para la VRO, se presenta el comportamiento de los NPTs Operativos, NPTs No Operativos y NPTs Gestionables por mes y el comportamiento y tendencia acumulada de las variables anteriormente mencionadas. En la **Figura 18** se presenta la visualización de la pestaña KPI para el 2019.

Figura 18. KPI.



Fuente: elaboración propia, con base en: Power BI.

En la anterior figura se muestra la relación entre los NPTs asociados herramientas en subsuelo y un valor superior a la línea base de 17.68% en el mes de mayo, en el cual se presentaron los mayores costos y tiempos asociados al NPT por herramientas en subsuelo. En adición, se muestran los comportamientos de tiempos ejecutados y las clasificaciones de NPTs, en donde se muestra que los NPTs Gestionables se mantuvieron por encima de los demás tipos a excepción de los meses de septiembre y octubre del 2019 pero teniendo en cuenta los tiempos acumulados los NPTs gestionables mantienen su relevancia en el total de NPTs de la VRO para Operaciones de Completamiento.

3.3 SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE MEJORA SELECCIONADA.

Con el fin de dar cumplimiento al objetivo específico número tres del presente trabajo de grado, se tomó como base para la selección de la mejor propuesta de mejoramiento el **Cuadro 3** y el **Cuadro 4** que corresponden respectivamente a los datos para las evaluaciones técnica y financiera. Con apoyo del equipo de QA/QC

de Completamiento, se seleccionó la mejora en procedimientos como la mejor propuesta en evaluación. Técnicamente, la propuesta seleccionada cumple con los plazos estipulados en el presente proyecto de grado para su desarrollo (3 meses), se dispone del personal, las herramientas y el acceso a las instalaciones de Campo y Pozo requeridas para la implementación, representa un riesgo bajo para la compañía el ejecutar la propuesta en Campo y es la propuesta con mayores rendimientos estimados (30%) en comparación con las demás.

La evaluación financiera derivada de los datos recopilados en el **Cuadro 4** se plasmaron en el **Cuadro 5** en donde la propuesta de mejora en procedimientos presenta un VPN de 152.657 que representa un 314% más factible que la propuesta en Optimización y se descarta la propuesta en Nuevas

Tecnologías ya que presenta valor negativo en el cálculo del VPN determinando la propuesta como inviable. La TIR calculada para la propuesta en Mejora de Procedimientos es la de mayor cuantía con 8544% que representa la rentabilidad del proyecto en el plazo de evaluación.

Cuadro 5. Cálculo de Variables financieras de decisión.

Cálculos	Propuestas		
	Optimización	Mejora en Procedimientos	Nuevas Tecnologías
WACC (%)	32%	32%	32%
Costo NPTs PACK (USD)	780688.52	780688.52	780688.52
Reducción Estimada (USD)	117103.28	273240.98	78068.85
TRM base (COP/USD)	3200	3200	3200
Flujo de caja (USD) t=0 años	-14062.50	-3125.00	-37500.00
Flujo de caja (USD) t=1 años	103040.78	270115.98	40568.85
VPN	48483.86	152657.82	-5125.77
TIR (%)	633%	8544%	8%

Fuente: elaboración propia, con base en: Excel.

Las investigaciones sobre fallas en corridas de empaques en Operaciones de Completamiento de ECOPETROL S.A. permitieron identificar la fase previa a las corridas de empaques como la más crítica debido a una omisión de algún procedimiento o algún control de calidad en esta fase aumenta considerablemente la probabilidad de una falla en el procedimiento o las herramientas utilizadas que generaría un NPT asociado a fallas en corridas de empaques.

La propuesta en Mejora de Procedimientos se desarrolló enfocada a la fase previa a los trabajos de corrida de empaques bajo la premisa de disponer de un documento que comprenda las siguientes consideraciones:

- Concreto
- General para cualquier tipo de corrida de empaque
- HSE
- Práctico

Al recopilar información de procedimientos de corrida de empaques de Weatherford y Baker Hugues, tener en cuenta las consideraciones mencionadas anteriormente, investigaciones de casos y los aportes empíricos del equipo de QA/QC de Completamiento, se desarrolló el Instructivo Básico Estándar Previo a Corridas de Empaques, el cual se presenta en el **Cuadro 6**.

Cuadro 6. Instructivo Básico Estándar previo a corridas de empaques.

		Departamento de Completamiento Well Delivery Process		
		Código WDP-F-XXX	Elaborado 21/01/2020	Versión 1
INTRUCTIVO BÁSICO ESTANDAR PREVIO A CORRIDAS DE EMPAQUES				
FASE	# PASO	ACTIVIDAD		CHECK LIST
PRE JOBS	1	Reunion HSE Con Personal De Operaciones		
	2	Asegurar Comunicación Entre Compañías Operadora Y Contratista		
	3	Divulgar Riesgos Especificos De La Operación		
	4	Verificar Permisos De Trabajo		
	5	Asegurar BOPs		
	6	Confirmar Presencia De Supervisor De Operación En El Area De Trabajo		
	7	Confirmar Condiciones Adecuadas Del Hueco Para La Corrida De Empaques		
	8	Medir Y Calibrar Herramientas De Acuerdo Con El Estado Mecánico Del Pozo		
	9	Instalar Wiper		
	10	Asegurar Velocidad De Corrida De Acuerdo Con El Diametro Del Casing		
	11	Verificar Limpieza De Herramientas O Sarta A Ingresar Al Pozo		
	12	Verificar Maximas Presiones De Trabajo Permitidas		
	13	Verificar Compatibilidad De Conexiones De Todos Los Componentes De La Sarta		
	14	Verificar Tally De Tubería		
	15	Asegurar Limpieza De Los Sistemas De Circulación Del Rih		
	16	Medir Y Calibrar Toda La Sarta A Correr En El Pozo		

Fuente: elaboración propia, con base en. ECOPETROL S.A.

En el 100% de las investigaciones revisadas correspondientes a casos durante el 2019, se encontraron fallas humanas en los procedimientos previos a la corrida de empaques, por esta razón se decidió enfocarse específicamente en los Pre Jobs a corridas de empaques y se hizo énfasis en los pasos que presentan tendencia a fallar. La intención del instructivo es mostrar con claridad los pasos críticos a considerar en cualquier corrida de empaques de tal manera que exista siempre una segunda revisión de los procedimientos a ejecutar, revisión que será llevada a cabo por los supervisores encargados de las operaciones del Pozo.

3.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJOR PROPUESTA DE MEJORA

Una vez estructurada la propuesta de mejora, se procedió a la implementación de esta en una muestra que comprende todos los pozos con operaciones de Completamiento en la VRO. La implementación se llevó a cabo en el periodo de tiempo comprendido entre el 01 de febrero de 2020 y el 30 de abril de 2020. En el lapso estipulado, se llevó seguimiento de los NPTs y los costos asociados de todos los Pozos involucrados.

La propuesta de mejora se implementó en una muestra de 21 Pozos en la VRO, se seleccionaron 7 Pozos del Campo A, 5 pozos del Campo B, 3 Pozos del Campo D, y 6 Pozos del Campo E. La selección se hizo con base en las Operaciones de Completamiento planeadas por ECOPETROL S.A. en el periodo comprendido entre el 01 de febrero de 2020 y el 30 de abril del mismo año.

Los pozos Seleccionados para la implementación de la propuesta se presentan en el **Cuadro 7**.

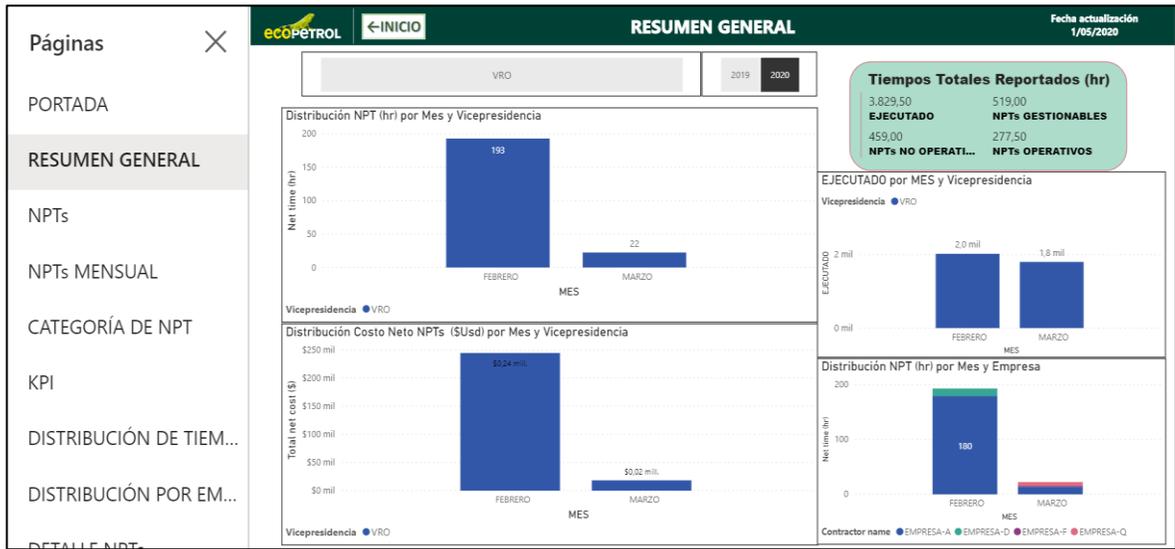
Cuadro 7. Pozos Seleccionados Implementación de Propuesta de Mejora

# Pozo	Pozos Seleccionados Implementación
1	POZO A- 340
2	POZO A-183
3	POZO A-228
4	POZO A-229
5	POZO A-304
6	POZO A-342
7	POZO A-367
8	POZO B-288
9	POZO B-290
10	POZO B-291
11	POZO B-700
12	POZO B-702
13	POZO D-34
14	POZO D-53
15	POZO D-55
16	POZO E-105i
17	POZO E-46
18	POZO E-55
19	POZO E-60
20	POZO E-72
21	POZO E-75

Fuente: elaboración propia, con base en: Excel.

Se implementó el informe en Power BI diseñado en el objetivo específico número dos del presente proyecto de grado con el fin de tener registro de los NPTs durante el año 2020, tener los datos de tiempos Ejecutados, NPTs Gestionables, NPTs Operativos, NPTs No Operativos, distribución en cada mes de tiempos y costos, distribución según la Operación, Tipo de NPT, Subtipo de NPT, Campo y Pozo. En Resumen, cargar la data del 2020 en el informe de Power BI, genera los valores y gráficos necesarios para la evaluación de la propuesta de mejora implementada. A continuación, se presentan los resultados del informe evaluado en el 2020 durante los meses involucrados en la implementación de la propuesta.

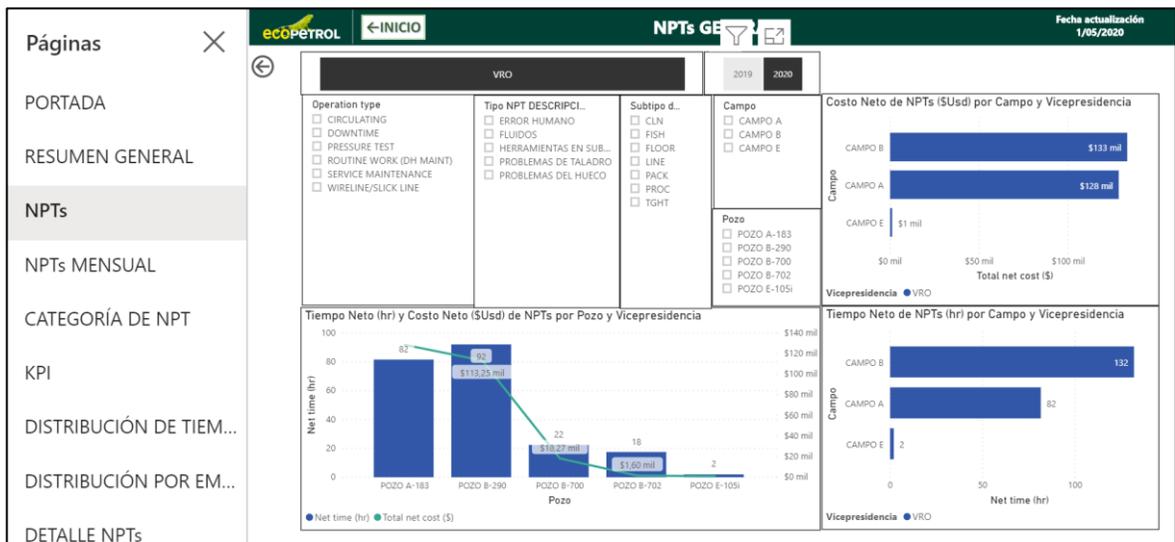
Figura 19. RESUMEN GENERAL 2020.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

Se obtuvo una disminución del 52% en el número de horas ejecutadas en comparación con los datos obtenidos del 2019. Además, no se reportó ninguna operación para Completamiento en el mes de abril.

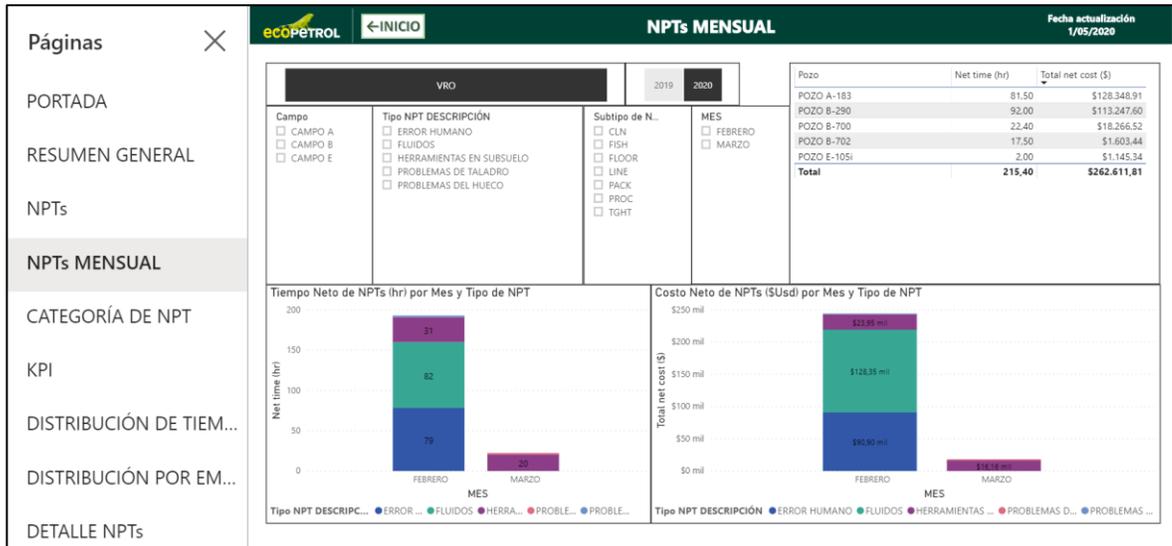
Figura 20. NPTs 2020.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

Campo-B destaca en cantidad de NPTs en el 2020 manteniendo la tendencia evidenciada en el 2019.

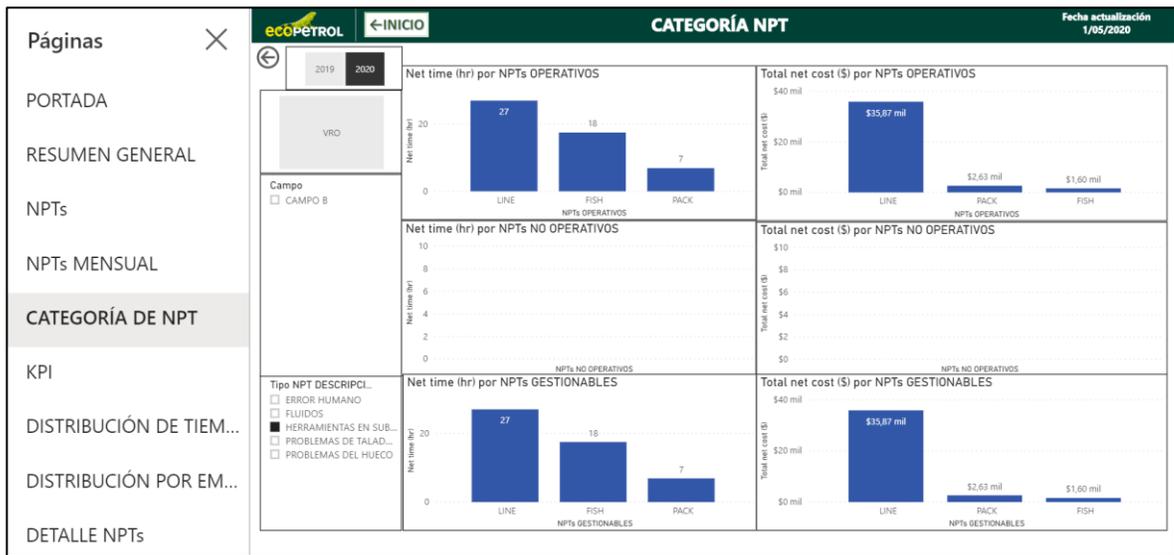
Figura 21. NPTs MENSUAL 2020.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

Para el 2020 solo se determinan NPTs Operativos en 5 Pozos en toda la VRO de los cuales se destacan el pozo A-183 y B-290 que juntos representan el 80% en tiempos y el 91% en costos asociados a NPTs.

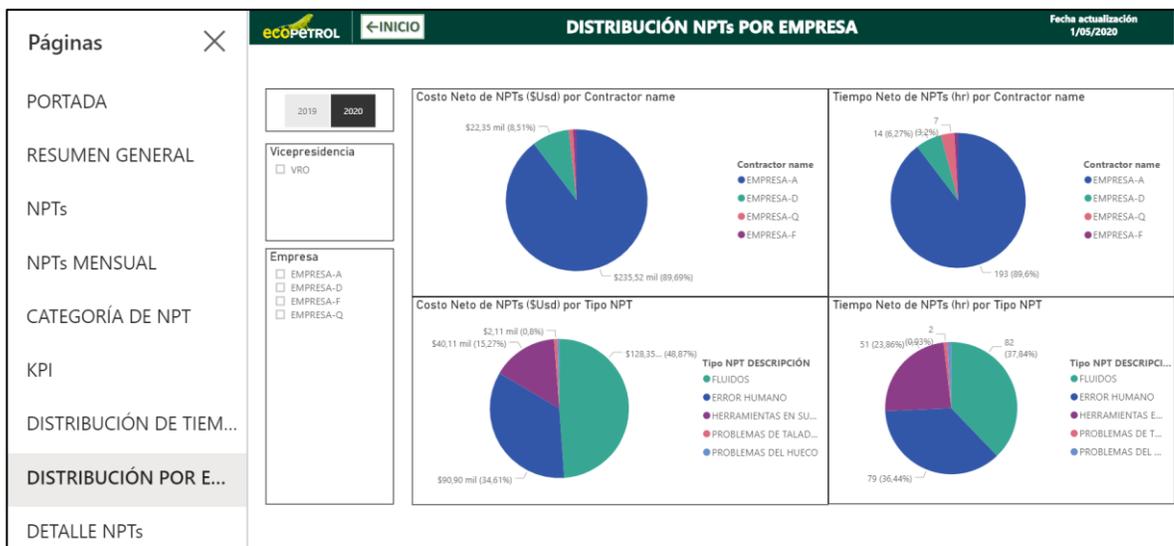
Figura 22. CATEGORÍA DE NPT 2020.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

Se evidencia el bajo impacto que representan los NPTs asociados a fallas en empaques en el periodo de prueba durante el 2020, en donde toma la posición número tres en el total de NPTs, representando solo 7 horas y 3.630 USD asociados.

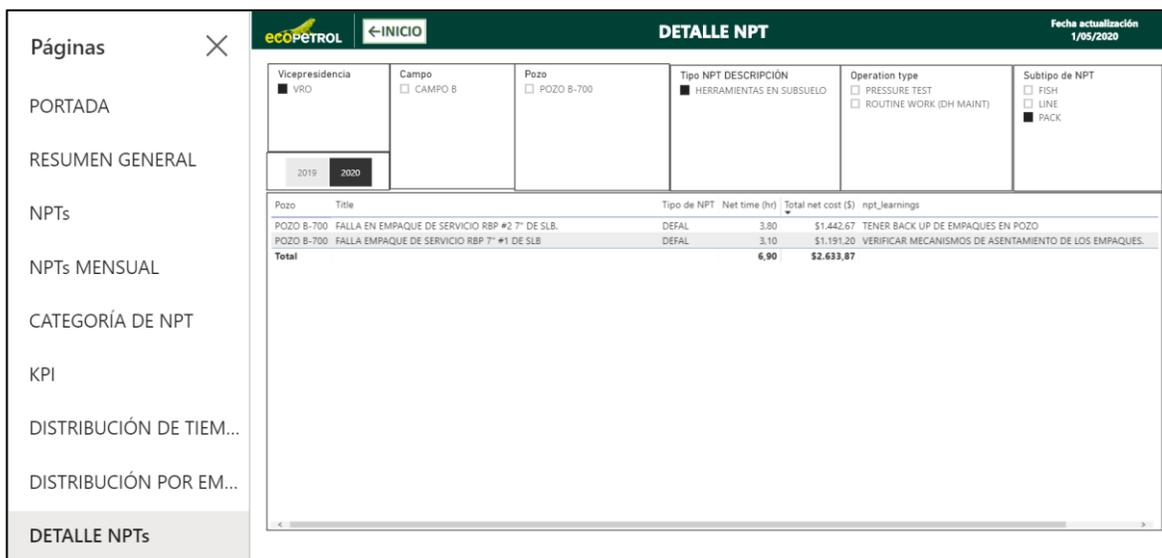
Figura 23. DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA 2020.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI

Como se puede evidenciar, en el 2020 durante el periodo de implementación, las fallas asociadas a herramientas en subsuelo pasaron a ser la tercera falla más representativa en la VRO y las empresas que en el 2019 se destacaron por altos valores en el mencionado NPT, ya no se encuentran visibles a excepción de la Empresa-A.

Figura 24. DETALLE NPTs 2020.



Fuente: elaboración propia, con base en: software Power BI.

Solo el Pozo B-700 presentó NPTs asociados a empaques en el periodo de implementación, reduciendo considerablemente el impacto en tiempo y costos que generaron los Pozos en el 2019 durante el mismo periodo de tiempo.

3.4.1 Evaluación en tiempos de la implementación. La implementación se evaluó a través del cálculo del impacto en tiempo que presentó la VRO entre el 01 de febrero de 2019 y el 30 de abril de 2019 y los respectivos cálculos de impacto en tiempo para el mismo lapso en el 2020.

Ecuación 10. Impacto en tiempo 2020.

$$\text{Impacto en tiempo 2020} = \frac{\sum NPT_{SPACK}}{\sum \text{Tiempos Ejecutados}} * 100 = \frac{6.9}{3829} * 100 = 0.18\%$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 11. Impacto en tiempo 2019.

$$\text{Impacto en tiempo 2019} = \frac{\sum NPT_{SPACK}}{\sum \text{Tiempos Ejecutados}} * 100 = \frac{165.5}{7306.5} * 100 = 2.26\%$$

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 12. Optimización de tiempos.

$$\text{Optimización de tiempos} = \left(1 - \frac{\text{Impacto en tiempo 2020}}{\text{Impacto en tiempo 2019}}\right) * 100 = \frac{0.18}{2.26} * 100 = 92.03\%$$

Fuente: elaboración propia.

Se concluye que se redujo el índice de impacto en tiempo de la VRO en un 92,03% en el periodo de implementación de la propuesta de mejoramiento. Al evaluar la optimización que se obtuvo en el valor total de NPTs presentado en el 2019 y considerando un comportamiento similar de los datos en el 2020, se determina un valor de 103.62 horas totales asociadas a fallas en corridas de empaques.

3.5 EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN

La implementación se evaluó a través del cálculo del impacto económico que presentó la VRO entre el 01 de febrero de 2019 y el 30 de abril de 2019 y los respectivos cálculos de impacto económico para el mismo lapso en el 2020.

Ecuación 13. Calculo impacto económico 2020.

$$\text{Impacto económico 2020} = \frac{\sum \text{Costos } NPT_{SPACK}}{\sum \text{Tiempos Ejecutados}} = \frac{2633 \text{ USD}}{3829 \text{ hr}} = 0.7659 \frac{\text{USD}}{\text{hr}}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. ECOPETROL S.A.

Ecuación 14. Calculo impacto económico 2019.

$$\text{Impacto económico 2019} = \frac{\sum \text{Costos NPT}_{SPACK}}{\sum \text{Tiempos Ejecutados}} = \frac{198.166 \text{ USD}}{73065 \text{ hr}} = 27.12 \frac{\text{USD}}{\text{hr}}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. ECOPETROL S.A.

Ecuación 15. Optimización económica.

$$\text{Optimización económica} = \left(1 - \frac{\text{Impacto económico 2020}}{\text{Impacto económico 2019}}\right) * 100 = \left(1 - \frac{0.7659}{27.12}\right) * 100$$

Fuente: elaboración propia.

Se concluye que se redujo el índice de impacto económico de la VRO en un 97,17% en el periodo de implementación de la propuesta de mejoramiento. Al evaluar la optimización que se obtuvo en el valor total de Costos asociados a NPTs presentado en el 2019 y considerando un comportamiento similar de los datos en el 2020, se determina un valor de 22.093 USD totales asociadas a fallas en corridas de empaques.

El valor del WACC calculado en la evaluación de la propuesta de mejoramiento fue de 32%, los cual al comparar con la optimización obtenida de la implementación se encuentra 65 puntos porcentuales de subestimación

Con respecto al Valor de TIR calculado y el valor de optimización logrado, se concluye que los costos asociados a NPTs por fallas en corridas de empaques podrían mantenerse en valores mínimos y mantener la tendencia hasta finales de 2020.

Los gráficos generados en el 2020 por el informe de Power BI, se pueden observar en el **ANEXO G**. De igual manera, se presentan en el **ANEXO H**, los gráficos generados en el 2019 por el informe de Power BI.

CONCLUSIONES

- Implementar el informe generado en Power BI, disminuye los tiempos empleados en análisis de información sobre NPTs. El tiempo utilizado entre el cargue de información y la obtención total del informe es menor a 30 minutos.
- Las fallas de mayor impacto en tiempo y costos en Operaciones de Completamiento son asociadas a incidentes en corridas de empaques, estas fallas representaron 1306 horas (16,95% del total de NPTs) y 780.000 USD (15.73% del total de costos en NPTs) en tiempos no productivos acumulados desde el primero de enero de 2019 hasta el 31 de diciembre del mismo año.
- Con base en resultados de investigaciones elaboradas por equipos interdisciplinarios para diferentes fallas ocurridas en 2019, las cuales arrojaban como resultado, fallas en procedimientos y control de calidad a equipos y procedimientos, se diseñaron tres propuestas de mejora enfocadas a Nuevas Tecnologías, Mejoras en Procedimientos y Optimización.
- La propuesta de mejora a implementar se seleccionó con base en análisis de diferentes investigaciones de casos asociados a empaques y se determinó que la más apropiada y efectiva correspondió a mejoras en procedimientos de Operaciones de Completamiento, la cual cumplió con todos los requisitos establecidos en el alcance del proyecto, tanto técnicos como financieros.
- Se implementó el "INSTRUCTIVO BÁSICO ESTÁNDAR PREVIO A CORRIDAS DE EMPAQUES" en una muestra de 21 Pozos entre el 01 de febrero de 2020 y el 30 de abril del mismo año. La muestra correspondió a la totalidad de pozos que ejecutaron Operaciones de Completamiento en el lapso de tiempo seleccionado para la implementación.
- El desarrollo del presente proyecto contempló el análisis de 52.135 horas en tiempos ejecutados, 8833 horas correspondientes a NPTs y 5'648.481 USD asociados a NPTs. Estos valores corresponden al 100% de las Operaciones de

Completamiento de 127 Pozos entre el 01 de enero de 2019 y el 30 de abril de 2020.

- Como resultado de la implementación en campo entre el 01 de febrero de 2020 y el 30 de abril del mismo año y en comparación con los datos obtenidos en el mismo periodo de tiempo para el año 2019, se obtuvo el 7.93% de NPTs asociados a empaques con respecto al año anterior. Este valor puede verse afectado por incidentes en corridas de empaque que puedan ocurrir en las operaciones en el resto del año. Las operaciones de completamiento ejecutadas entre el 01 de febrero y 30 de abril en el año 2019 se vieron reducidas para el mismo periodo de tiempo en el 2020 en un 52,41%, esto pudo reducir los valores en NPTs asociados a fallas en corrida de empaques en el 2020.
- Los valores de Optimización en tiempos y costos calculados, no incluyen la incidencia de otros proyectos enfocados a solucionar fallas asociadas a empaques en la VRO, por lo cual, los porcentajes de optimización obtenidos pueden verse reducidos.
- En el proceso de desarrollo del presente proyecto, se siguió el proceso WDP de ECOPETROL S.A. en cada uno de los pozos donde se implementó la mejora, no se requirió ningún cambio de alcance o modificación considerable en las Operaciones de Completamiento de la VRO.
- En la evaluación financiera posterior a la implementación entre el 01 de febrero y el 30 de abril del 2020 se obtuvieron costos asociados a fallas en empaques del 2.83% con respecto a los costos presentados en el mismo periodo de tiempo para el año 2019.
- El cálculo del WACC se encontró 65% subestimado con respecto a la optimización obtenida de la implementación en Campo.
- El cálculo de la TIR se encuentra sobre estimado debido a que se encuentra 8446.83 puntos porcentuales por encima de la optimización determinada con base en la implementación en Campo.

RECOMENDACIONES

- Mantener el informe de Power BI actualizado, permitirá crear una base de datos más robusta, capaz de generar gráficos más complejos con análisis más profundo sobre los NPTs.
- Asegurar un control de la calidad en la data cargada de años anteriores al 2019 en Power BI será de gran relevancia para realizar análisis retroactivo sobre NPTs.
- Reemplazar el análisis financiero a través de los indicadores TIR y WACC por un análisis de costos que evalúe los tiempos y costos en el periodo que se desee analizar.
- Implementar nuevas herramientas de Machine Learnings dispuestas en las últimas versiones del Software Power BI, podría arrojar resultados mejor optimizados y pertinentes de acuerdo con cada análisis.
- Se recomienda diseñar un procedimiento estándar de corrida de empaques para cada tipo de empaque disponible que permita controlar en mayor medida las los NPTs asociados a fallas en corridas de estas herramientas.
- Desarrollar las propuestas en Nuevas tecnologías y Optimización diseñadas en el presente proyecto e implementarlas en Operaciones de Completamiento.

BIBLIOGRAFÍA

ARDILA ZIPA, Alejandra y RUBIANO, Nicolas. ESTRUCTURACIÓN DEL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN (DCOP) CON ALCANCE A LOS CAMPOS DE LA VICEPRESIDENCIA REGIONAL DE ORINOQUÍA DE ECOPETROL S.A. ESTABLECIENDO UNA LINEA BASE DE DESEMPEÑO PARA LAS OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO. Tesis de pregrado. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, Facultad de ingenierías, 2019. 201 p.

BACA, Guillermo. [online] Ingeniería Económica. 8ª edición. Bogotá D.C. Fondo Educativo Panamericano. 2009. [citado 15, mayo, 2020] Disponible en: https://www.academia.edu/35826554/Guillermo_Baca_Currea_Ingenieria_Economica_8va_Edicion

CANNY, Steven A. Batch Completion Operations Cost Reduction in a Segregated Drilling Campaign: Surface Equipment Requirements. En: Offshore Technology Conference (1-4 mayo: Texas, USA) Offshore Technology Conference. 2017. 35 p.

CARPENTER, Chris. Management Strategies Optimize Drilling and Completion Operations. En: Onepetro. [online] Septiembre 2013. [citado 15, mayo, 2020]

Disponible en: https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-0913-0152-JPT?sort=&start=0&q=Management+Strategies+Optimize+Drilling+and+Completion+Operations+&from_year=&peer_reviewed=&published_between=&fromSearchResults=true&to_year=&rows=25#

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

LEAL BORRADOR, Tulio. [online] Manual de Completación. Schlumberger. 2003. [citado 15, mayo, 2020] Disponible en: <https://issuu.com/eduardo.arias108/docs/manualcompletacinschlumberger-14052>

ROSS, Stephen A., WESTERFIELD, Randolph W. y JAFFE, Jeffrey F. [online] Finanzas corporativas. 9ª Edición. Mexico. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2012 [citado 15, mayo, 2020] Disponible en <https://cucjonline.com/biblioteca/files/original/923fadb1a071a4533d1fa4b240c25592.pdf>

SILVA, Oscar R., SILVA, Guden O. y VALDERRAMA, Luis I. A Successful Optimization Case of Drilling and Completion Operations Through Management Tools and Strategies. En: SPE Western Regional & AAPG Pacific Section Meeting (19-25, abril: California, USA) Society of Petroleum Engineers. 2013. 9 p.

VARMA, Nakul *et al.* Prosper & Cerberus Modelling for Efficient WBCOs in Artificial Lift Flowing Wells. En: SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition (, 9-11, abril: Mumbai, India.) Society of Petroleum Engineers. 2019. 16p.

ANEXOS

ANEXO A SECCIÓN TIME SUMMARY DEL DAILY OPERATION REPORT

Figura 25. Presentación Time Summary.

The screenshot displays the 'Time Summary' section of the OpenWells software. The interface includes a menu bar (File, View, Tools, Help) and a toolbar with various icons. The main area is divided into several sections:

- Time Summary Header:** Includes 'Sección Completa' and a '24 Hour Summary Comments' section (highlighted in yellow).
- Activity Details:** A table with the following columns: Desde*, Hasta*, Duración (hr) (hr), Paso no., Fase*, Código*, Subcódigo, Description, MD From (ft), MD to (ft), P/N*, Nivel de NPT, NPT Type, NPT Subtype, and Operación*.
- Table Data:** The table shows five rows of data, with the first row starting at 00:00. The 'Duración' column is highlighted in yellow.
- Summary:** A 'Tiempo Total (hr)' field at the bottom shows 0.00 hr.

	Desde*	Hasta*	Duración (hr) (hr)	Paso no.	Fase*	Código*	Subcódigo	Description	MD From (ft)	MD to (ft)	P/N*	Nivel de NPT	NPT Type	NPT Subtype	Operación*
1	00:00	RH:mm										0			
2	RH:mm	RH:mm										0			
3	RH:mm	RH:mm										0			
4	RH:mm	RH:mm										0			
5	RH:mm	RH:mm										0			

Fuente: software OpenWells.

ANEXO B
NPT/ EQUIPMENT FAILURE PROPERTIES

Figura 26. NPT/ EQUIPMENT FAILURE PROPERTIES.

NPT/Equipment Failure Properties

General | **NPT** | Equipment Failure | Obstructions | Close Out/Comments | Audit

Unplanned Event Type

Equipment Failure
 Equipment Failure With NPT
 NPT (No Failure)

NPT Activities

Start: n/a [no phase] [no code]

End: --None--

Event

Title

Gross time: 0.00 hr

Prod time adj.: hr

Nested NPT: 0.00 hr

Net time: 0.00 hr

Formation:

Create user: ECOPETROL\e0279369

Failure MD: ft

RA/EA:

Cost

Rig Day Rate: \$	Other cost: \$
Contractors Cost: \$	Equipment/Tool/Product Cost: \$
Total gross cost: 0.00 \$	Total net cost: 0.00 \$

Locked

Validate OK Cancel Apply Help

Fuente: software OpenWells.

ANEXO C
INVESTIGACIÓN DEL INCIDENTE CON EMPAQUES EN VRO

Figura 27. Resumen Investigación sobre incidente con empaque en VRO.

	Formato de Lección Aprendida Operacional		
	Gerencia de Perforación y Completamiento Well Delivery Process		
	CODIGO WDP-F-041	Elaborado 25/11/2019	Versión: 1
<u>Que No Nos Pase Lo Mismo En Ecopetrol</u>		Lecciones Por Aprender	
Descripción corta o Título del incidente: Se corrió un set de empaques en tandem para el aislamiento zonal temporal requerido para realizar un trabajo de fracturamiento hidráulico. Al no poder sentar el Retrievmatic II Pkr se sacó sarta notando en superficie desconexión en el Top Sub del empaque en el pozo [REDACTED].			
Fecha de ocurrencia: 18/07/2019 7:30:00 a. m.			
Valoración Real de lo sucedido según RAM: M(3XD)			
Valoración Potencial de lo sucedido según RAM: M(3XD)			
Describe la consecuencia real de lo sucedido: Desconexión en el Top Sub del empaque Retrievmatic Modelo II en la conexión 2-7/8" 8RD EU dejando las herramientas en el hueco.			
Código GRI del incidente: NA			
Tipo de Evento: Operacional			
DESCRIPCION DE LOS HECHOS SEGÚN LA INVESTIGACIÓN: En el pozo [REDACTED] se corrió un set de empaques en tandem para el aislamiento zonal temporal requerido para realizar un trabajo de fracturamiento hidráulico. El set inicial corrido fue sacado del pozo debido a que no se consiguió integridad al probar el RBP. Corrió otro set de empaques y finalmente al no poder sentar el Retrievmatic se sacó sarta notando en superficie desconexión en el Top Sub del empaque.			
➡ CAUSAS INMEDIATAS El exceso de intentos para liberar empaques atascados y el no uso de equipo adecuado para operar los empaques conducen a la desconexión en fondo del top sub al empaque dejándolos en fondo.			
➡ CAUSAS BASICAS: Falta de revisión de las condiciones del pozo antes de la corrida de empaques.			
ACCIONES CORRECTIVAS			
1. Verificar procedimiento de WBCO antes de una corrida de empaques. 2. Implementar un mecanismo para dejar evidencia documental del torque aplicado a las conexiones de bajos valores de torque de apriete. 3. Usar accesorios y equipos con licencias API. Usar proveedores que cumpla con los siguientes requisitos: certificación del material, licencia vigente de acuerdo a la especificación API-7-1 para conexiones rotarias y licencia vigente de acuerdo a especificación API-5CT para la conexión 8RD EU. Contacto: [REDACTED]. Extensión: [REDACTED]			

Fuente: Departamento de Completamiento de ECOPETROL S.A.

ANEXO D
INSTRUCTIVOS BASES DE CORRIDA DE EMPAQUES

Figura 28. Presentación de corrida de empaque de WEATHERFORD.

	1 of 16	Standard Operating Procedure- Inflatable Retrievable Bridge Plug Installation on Coiled Tubing / Jointed Pipe					
Document Number	Classification	Document Level	Revision Number	Issue Date	Prepared By	Approval	
GL-WLS-OEPS-L4-109	CONTROLLED	TECHNICAL WORK INSTRUCTION	013	16 JANUARY 2019	BOB MURPHY	COMP TWIC	

Table of Contents

Section	Description	Page
1	Purpose.....	2
2	Scope.....	2
3	Hazard Identification (HAZID)	2
4	Definitions.....	4
5	Responsibilities.....	4
6	Shipping Procedures	4
7	Required Materials	4
8	Bottom Hole Assembly Schematic (Intervention)	6
9	Running Consideration	8
10	Procedure	8
11	Reference Documents	13
12	Training and Competency Requirements.....	13
13	Supplemental.....	14
14	Problem Solving Matrix	15
15	Document Change Record.....	16

Fuente: WEATHERFORD.

Figura 29. Presentación de corrida de empaque de Halliburton.



Fuente: HALLIBURTON

ANEXO E

NUEVA TECNOLOGÍA EMPAQUE BAKER HUGHES

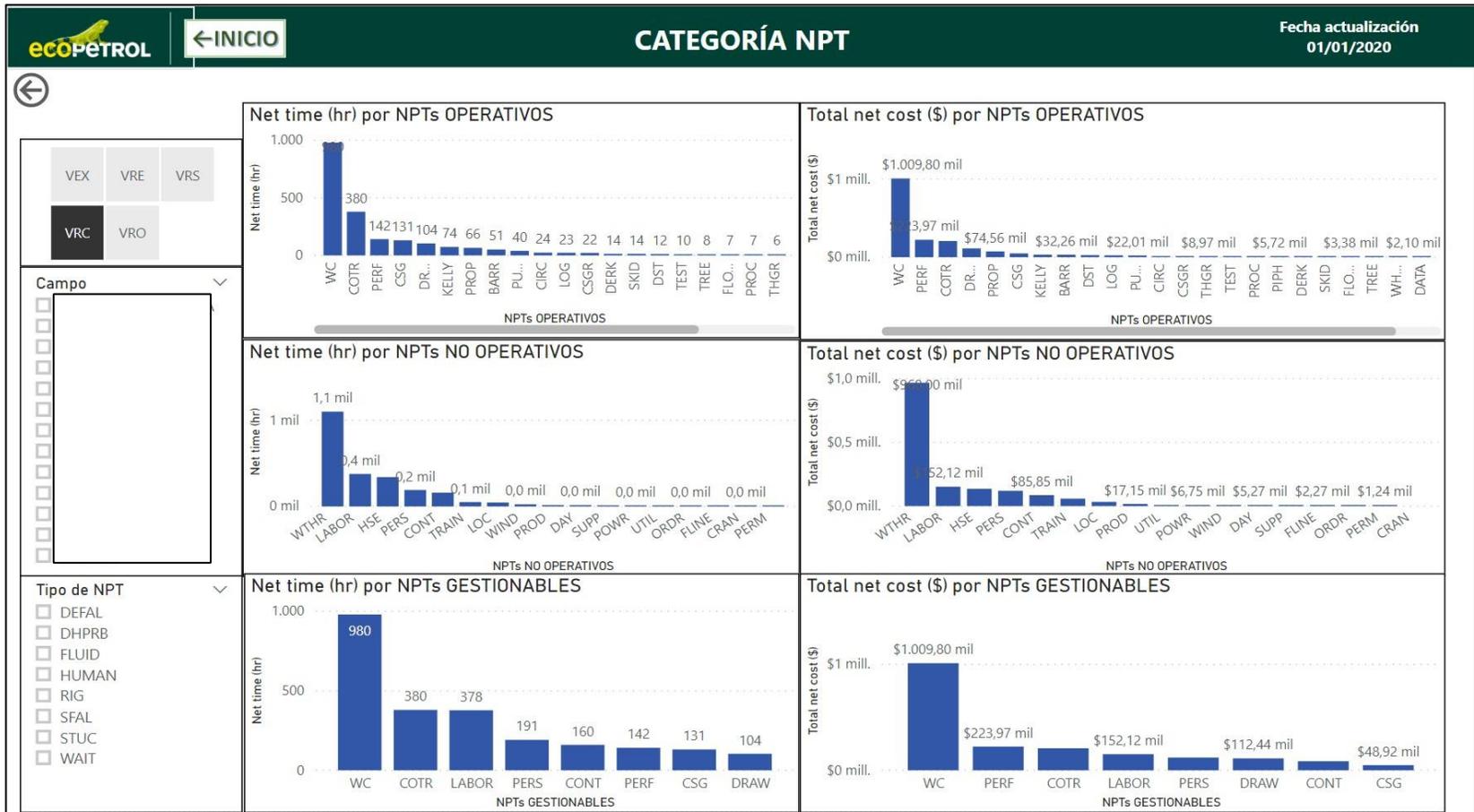
Figura 30. Presentación empaque Advantage Series HS Hydraulic Set Single String Retrievable Packer.

	L3 - Instruction / T1 - Global Tech Unit Packers TU 4550 Rev. F Effective Date: 02 Nov 2017
Advantage Series HS Hydraulic Set Single String Retrievable Packer Product Family H78460	
Features and Benefits	
<ul style="list-style-type: none">• NACE MR0175 compliant elements (except for size 450-237 in which the body is the only NACE component)<ul style="list-style-type: none">– Renders a tool suitable for H₂S service.• Optional premium elastomer trim (available in Aflas® trim except for size 450-237 which is available in nitrile only)<ul style="list-style-type: none">– Provides long-term protection.• Short, compact design<ul style="list-style-type: none">– Is ideal for negotiating tight spots and deviated wells while allowing for convenient handling at surface.• Packing element system with zero-gap backup<ul style="list-style-type: none">– Prevents elastomer extrusion at high temperatures and pressures.• PERFORM™ rating envelopes<ul style="list-style-type: none">– Describe the packer's performance limits under the combined effects of tubing movement loads and differential pressure.• Bidirectional (opposed dovetail) slip system<ul style="list-style-type: none">– Prevents movement of the packer in either direction during pressure reversals eliminating the need for hydraulic holddown buttons above the packing elements.• No mandrel movement<ul style="list-style-type: none">– Mandrel movement is not required during setting sequence. This feature becomes important in stacked applications.• Hydraulic set<ul style="list-style-type: none">– Requires only 2,500 psi to fully pack off and eliminates hydrostatic limitations of FH.• Hydraulic interlock system<ul style="list-style-type: none">– Prevents preset as all outer housing components are mechanically locked to the mandrel during run-in making negotiation of tight spots in the well possible.• Superior O-ring and backup design<ul style="list-style-type: none">– Is supported by peroxide-cured nitrile O-rings that provide increased resistance against compressive set, and Teflon® backup rings. All tested during assembly of the packer.• Packing elements above slips<ul style="list-style-type: none">– Protect slips from debris buildup that can cause retrieval problems.• Built on a 1-piece continuous mandrel<ul style="list-style-type: none">– Renders an HS packer rated comparable to N-80 tubing.• Built-in unloader and bypass<ul style="list-style-type: none">– Aid in releasing and retrieving.	

Fuente: BAKER HUGUES.

ANEXO F DISTRIBUCIÓN NPTS POR CATEGORÍA EN VRC 2019

Figura 31. Distribución por categoría en VRC 2019.



Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI

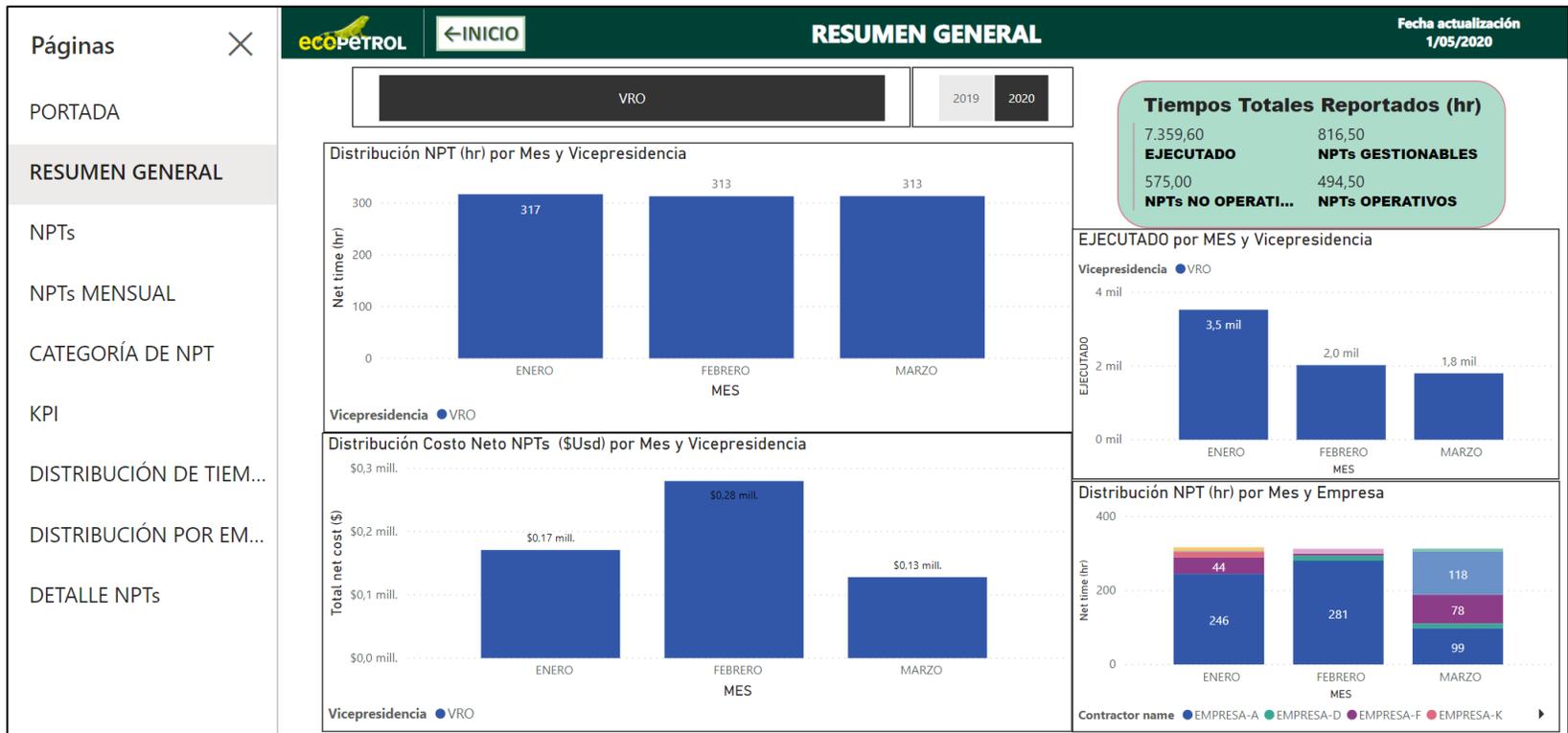
ANEXO G
INFORME POWER BI 2020 SIN SEGMENTACIÓN DE DATOS

Figura 32. Portada informe Power BI 2020 sin filtros.

The image shows a Power BI report dashboard. On the left is a navigation pane with the following items: Páginas (with a close icon), PORTADA (highlighted), RESUMEN GENERAL, NPTs, NPTs MENSUAL, CATEGORÍA DE NPT, KPI, DISTRIBUCIÓN DE TIEM..., DISTRIBUCIÓN POR EM..., and DETALLE NPTs. The main content area has a dark green header with the 'ecopETROL' logo on the left, the title 'Gerencia de Completamiento Análisis NPTs' in the center, and 'Fecha actualización 1/05/2020' on the right. Below the header, there are two information boxes: the first contains 'Nombre del área que genera el reporte: Gerencia de Completamiento' and 'Responsable por la información publicada: Diego Maya / Stephanie Restrepo.'; the second contains 'Frecuencia de Actualización: (Quincenal)' and 'Fuentes Principales de Información: Open Wells / Reportes de Operaciones'. On the right side of the main area is a map of Colombia with a yellow outline and a green '→ INICIAR' button overlaid on it. The 'ecopETROL' logo is also visible at the bottom right of the map area.

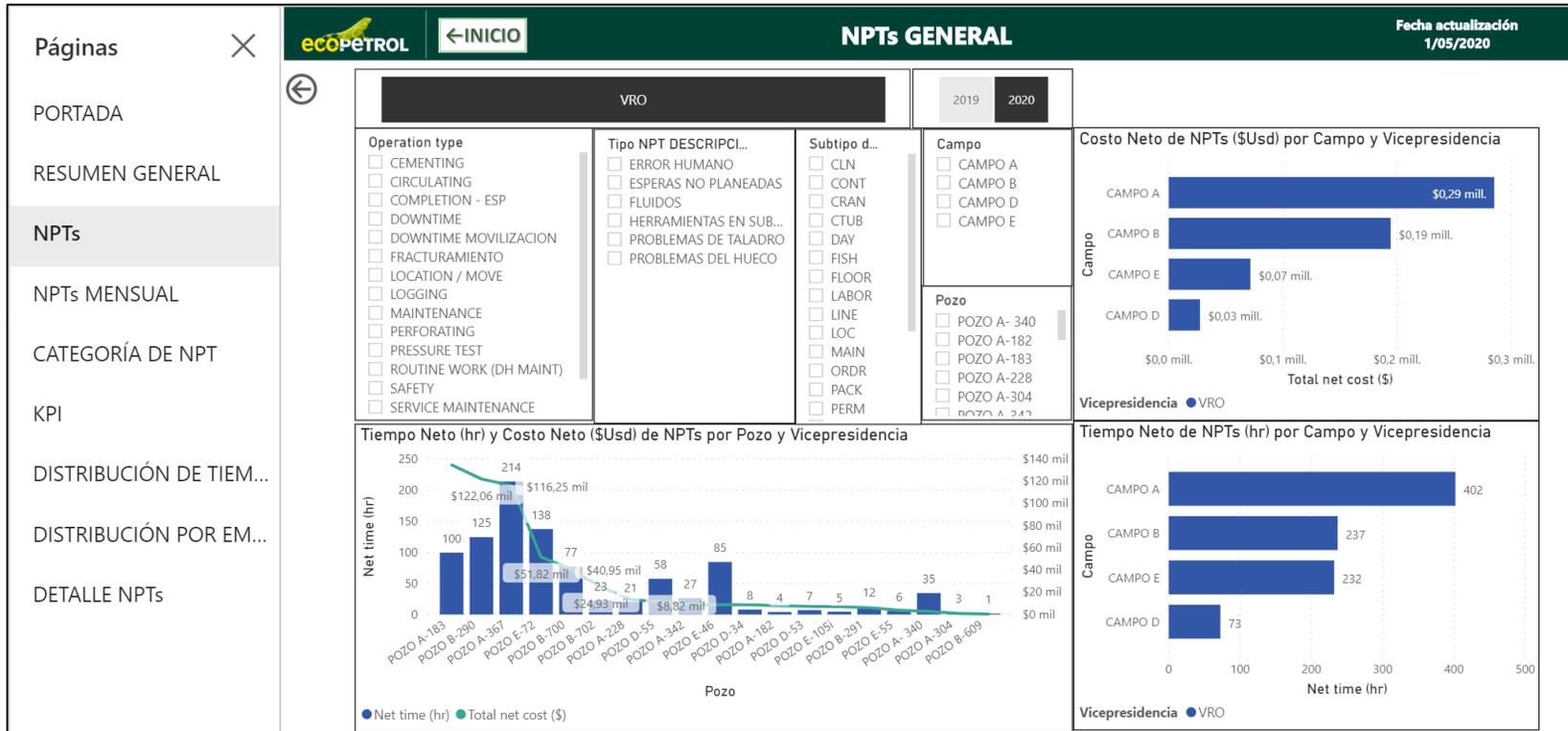
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI

Figura 33. RESUMEN GENERAL informe Power BI 2020 sin filtros.



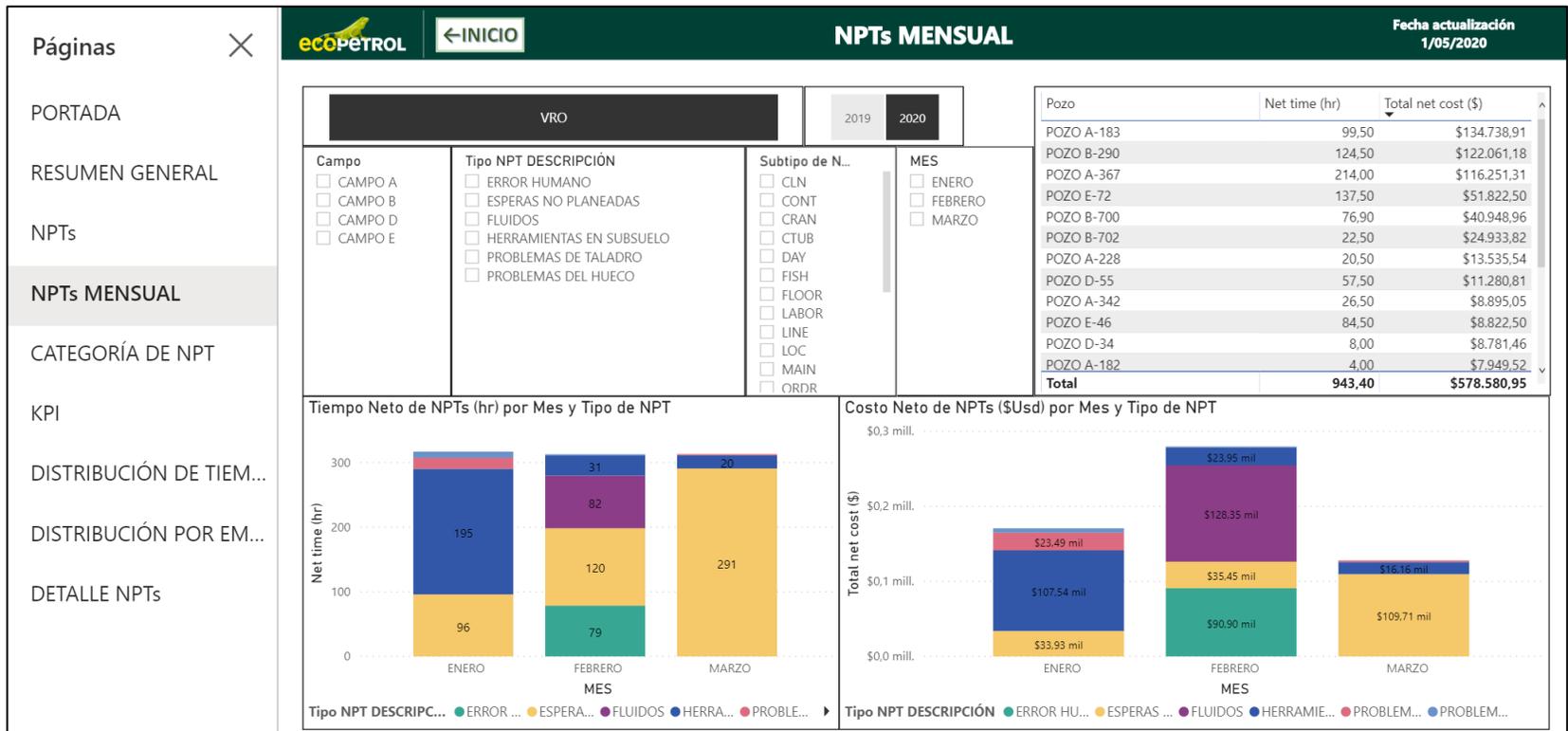
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI

Figura 34. NPTs informe Power BI 2020 sin filtros.



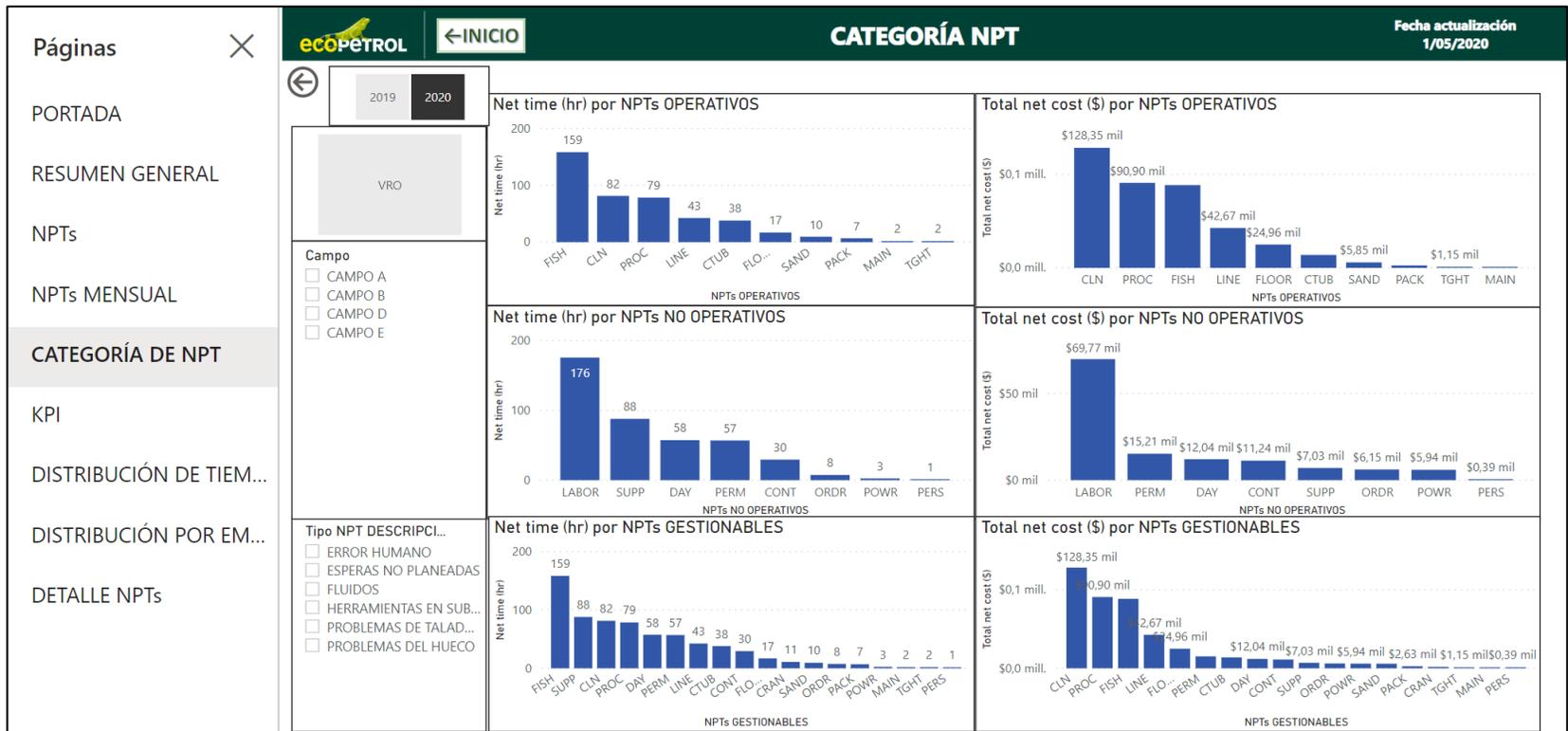
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 35. NPTs MENSUAL informe Power BI 2020 sin filtros.



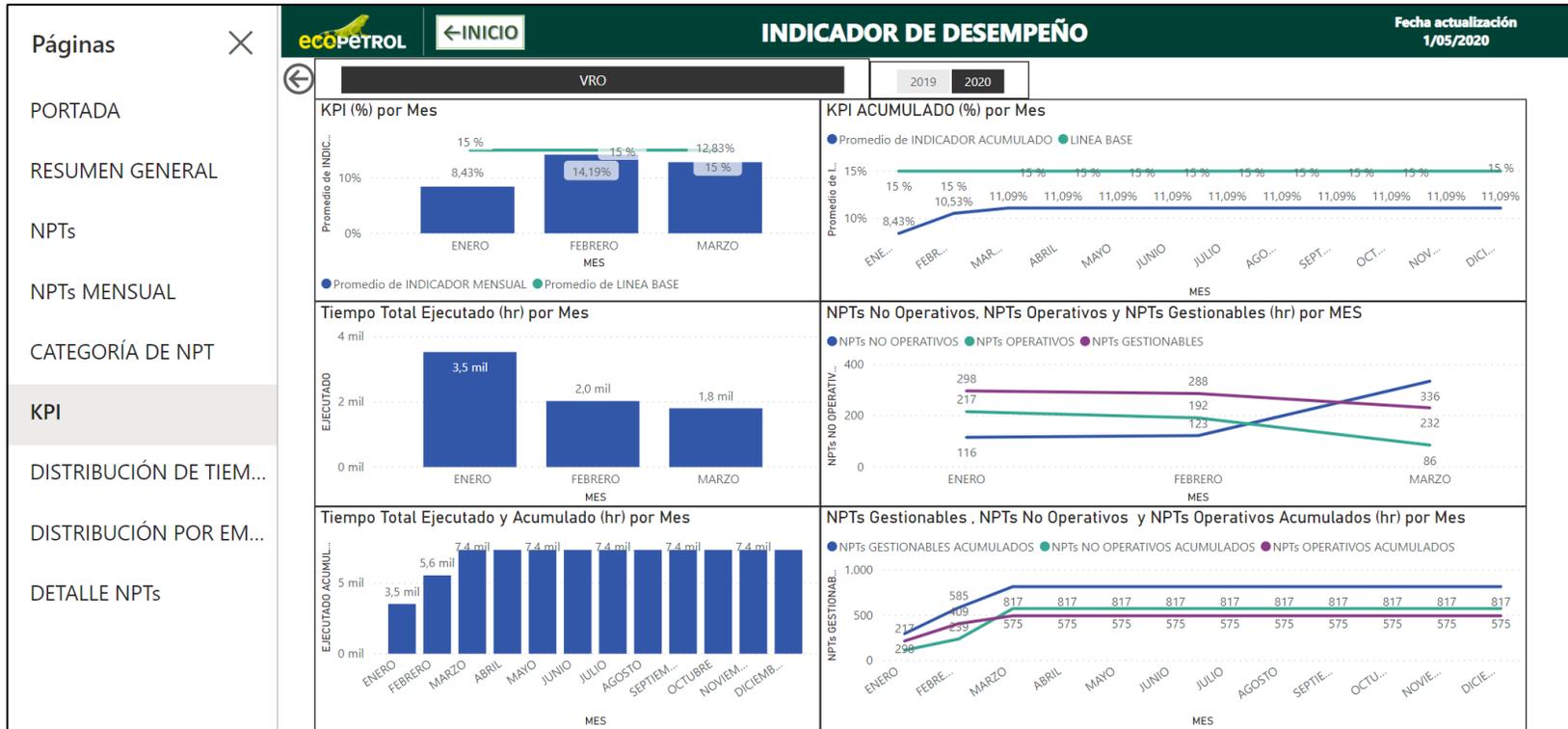
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 36. CATEGORÍA DE NPT informe Power BI 2020 sin filtros.



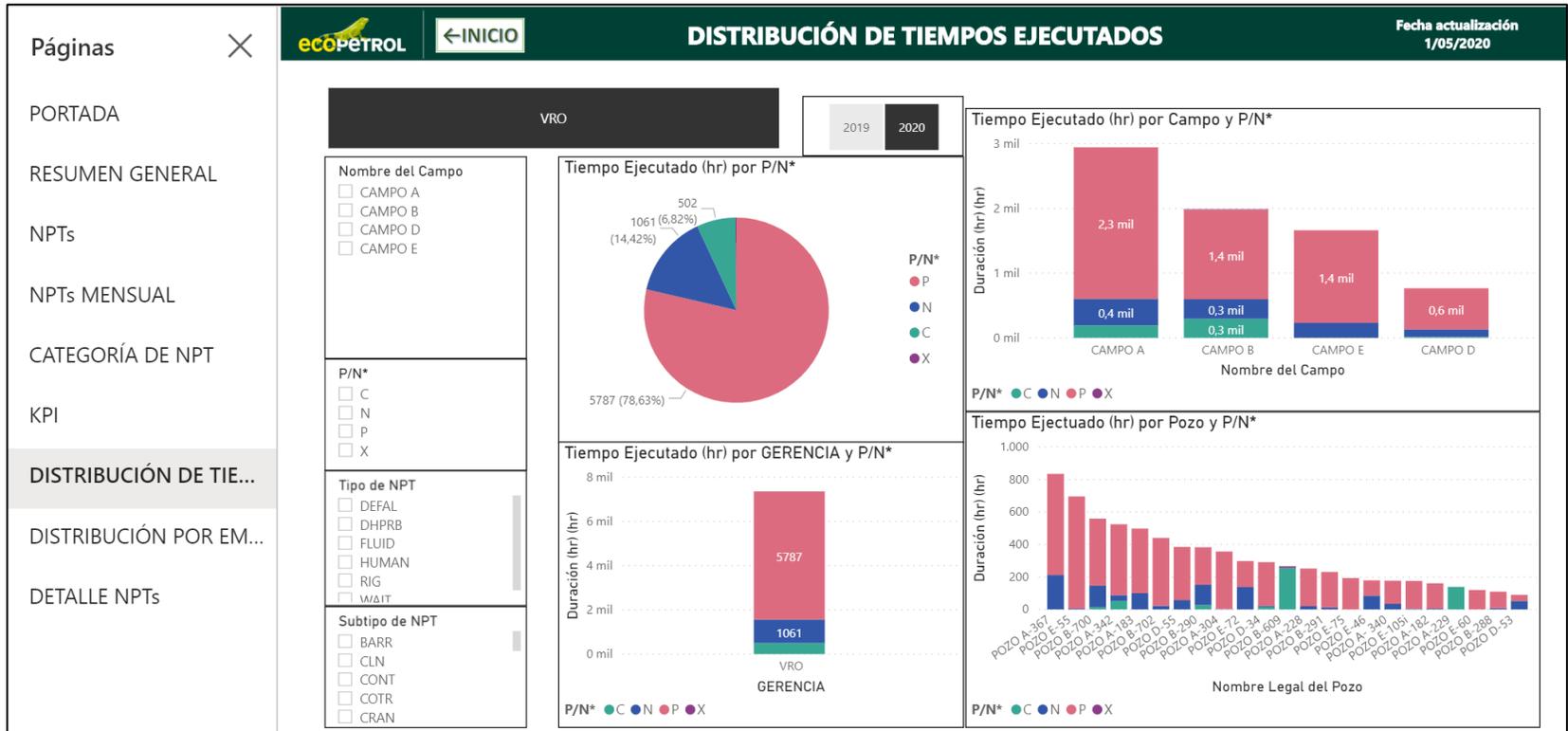
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 37. KPI informe Power BI 2020 sin filtros.



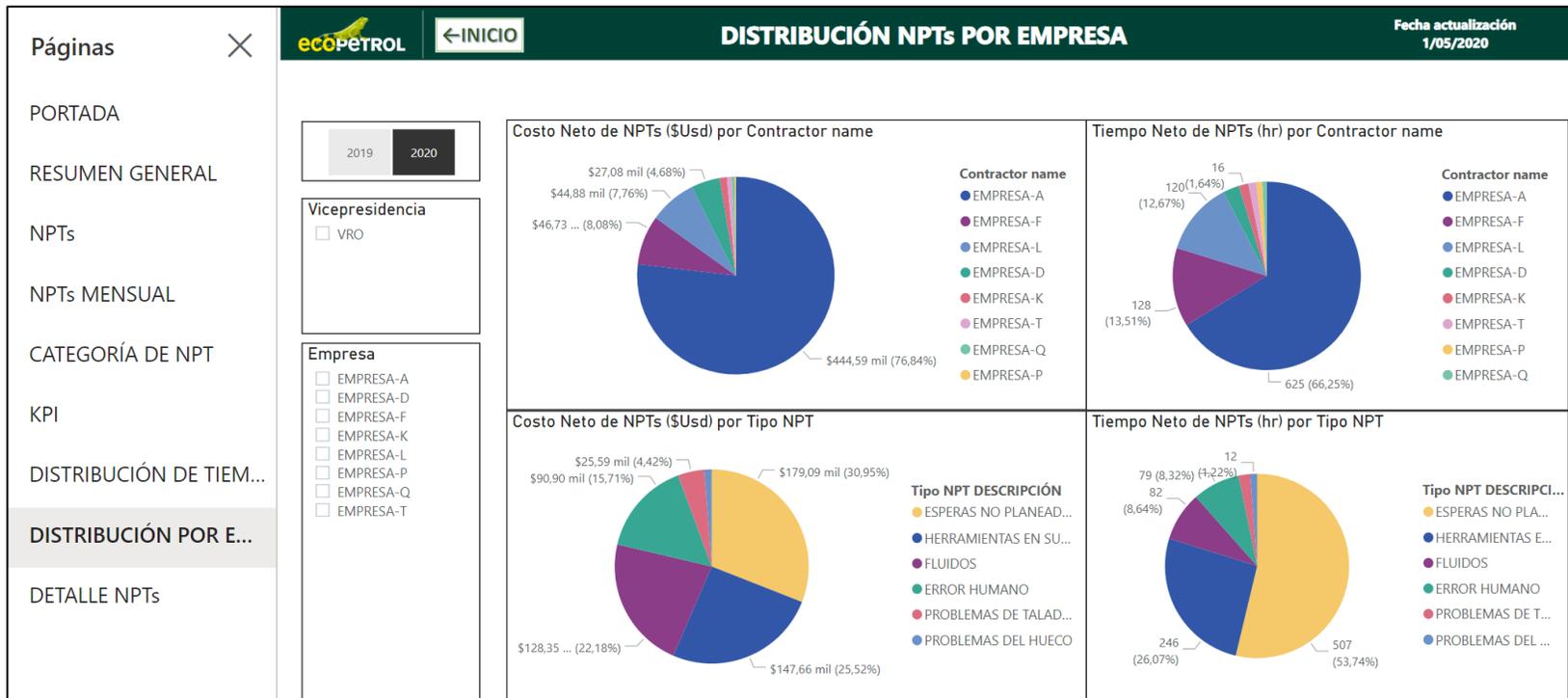
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 38. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS informe Power BI 2020 sin filtros.



Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 39. DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA informe Power BI 2020 sin filtros.



Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 40. DETALLE NPTs informe Power BI 2020 sin filtros.

Páginas		ecopETROL		← INICIO		DETALLE NPT		Fecha actualización 1/05/2020					
PORTADA RESUMEN GENERAL NPTs NPTs MENSUAL CATEGORÍA DE NPT KPI DISTRIBUCIÓN DE TIEM... DISTRIBUCIÓN POR EM... DETALLE NPTs		Vicepresidencia <input checked="" type="checkbox"/> VRO		Campo <input type="checkbox"/> CAMPO A <input type="checkbox"/> CAMPO B <input type="checkbox"/> CAMPO D <input type="checkbox"/> CAMPO E		Pozo <input type="checkbox"/> POZO A- 340 <input type="checkbox"/> POZO A-182 <input type="checkbox"/> POZO A-183 <input type="checkbox"/> POZO A-228 <input type="checkbox"/> POZO A-304 <input type="checkbox"/> POZO A-342 <input type="checkbox"/> POZO A-367 <input type="checkbox"/> POZO B-290		Tipo NPT DESCRIPCIÓN <input type="checkbox"/> ERROR HUMANO <input type="checkbox"/> ESPERAS NO PLANEADAS <input type="checkbox"/> FLUIDOS <input type="checkbox"/> HERRAMIENTAS EN SUBSUELO <input type="checkbox"/> PROBLEMAS DE TALADRO <input type="checkbox"/> PROBLEMAS DEL HUECO		Operation type <input type="checkbox"/> CEMENTING <input type="checkbox"/> CIRCULATING <input type="checkbox"/> COMPLETION - ESP <input type="checkbox"/> DOWNTIME <input type="checkbox"/> DOWNTIME MOVILIZACION <input type="checkbox"/> FRACTURAMIENTO <input type="checkbox"/> LOCATION / MOVE <input type="checkbox"/> LOGGING		Subtipo de NPT <input type="checkbox"/> CLN <input type="checkbox"/> CONT <input type="checkbox"/> CRAN <input type="checkbox"/> CTUB <input type="checkbox"/> DAY <input type="checkbox"/> FISH <input type="checkbox"/> FLOOR <input type="checkbox"/> LABOR	
		2019 2020											
Pozo	Title	Tipo de NPT	Net time (hr)	Total net cost (\$)	npt_learnings								
POZO A-183	LIMPIEZA GEL OBTURANTE POR SUBDESPLAZAMIENTO	FLUID	81,50	\$128.348,91	TENER EN CUENTA QUE PUEDE PRESENTAR SUBDESPLAZAMIENTO TRATAMIENTO, SE DEBE INCLUIR EN EL PROGRAMA DE TRABAJO.								
POZO B-290	PÉRDIDA DE INTEGRIDAD SEGUNDA BARRERA MECÁNICA EN FONDO DE POZO	HUMAN	78,50	\$90.900,60									
POZO A-367	STANDING VALVE SIN PODER RECUPERARSE CON PULLING TOOL	DEFAL	141,00	\$86.919,50	CUANDO SE BAJE EL COMPLETAMIENTO DESPUÉS DE UNA FRACTU QUE EL POZO ESTE LIMPIO SIN APORTE DE ARENA.								
POZO E-72	BLOQUEO AL INGRESO DE PERSONAS POR PARTE DE LA COMUNIDAD DE GUATIQUE	WAIT	117,50	\$44.242,50	CONVERSAR CON LA COMUNIDAD- DELEGAR LA FUNCION DE COI EL SOCIAL								
POZO B-290	DETONACIÓN NO EXITOSA DURANTE ASENTAMIENTO DE BRIDGE PLUG	DEFAL	13,50	\$22.347,00	SIEMPRE QUE VAYA A EJECUTAR OPERACIONES CON EXPLOSIVOS, / ADECUADO ALMACENAMIENTO DE LOS DETONADORES, SOLICITA QAQC EN POLVORÍN Y POZO								
POZO B-702	FALLA DEL SISTEMA DE DATA ACQUISITION PASON DEL EQUIPO BSV 06, NECESARIO PARA REGISTRAR PRUEBAS DE INTEGRIDAD DEL BHA DE INYECCIÓN.	RIG	3,00	\$20.854,45	TENER UN CHECK LIST								
POZO A-367	VIAJE ADICIONAL POR TUBERIA LLENA DE CRUDO PARA LIMPIEZA DE TUBERIA	DEFAL	38,00	\$13.831,49	MEJORAR MONITOREOS PERMANENTES DE APORTE DE ARENA EN								
POZO E-72	OPERACIONES SUSPENDIDAS POR ALERTA MUNDIAL DE PANDEMIA COVID-19	WAIT	20,00	\$7.580,00	ORGANIZACION Y PLANEACIÓN PREVIA A UNA PARADA FORTUITA ACELERARSE Y MALOS GENIOS U ORDENES OFUSCADOS								
POZO D-53	OPERACIONES SUSPENDIDAS POR ALERTA MUNDIAL DE PANDEMIA COVID-19	WAIT	7,00	\$7.338,25	SUSPENSIÓN DE ACTIVIDADES PARA EVITAR CONTAGIO DEL PERS EN LOS EQUIPOS WO.								
POZO E-16	OPERACIONES SUSPENDIDAS POR ALERTA MUNDIAL DE PANDEMIA COVID-19	WAIT	0,00	\$7.010,00	ACATAR DIRECTRICES GOBIERNO NACIONAL Y ECOPETROL								
Total			943,40	\$578.580,95									

Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

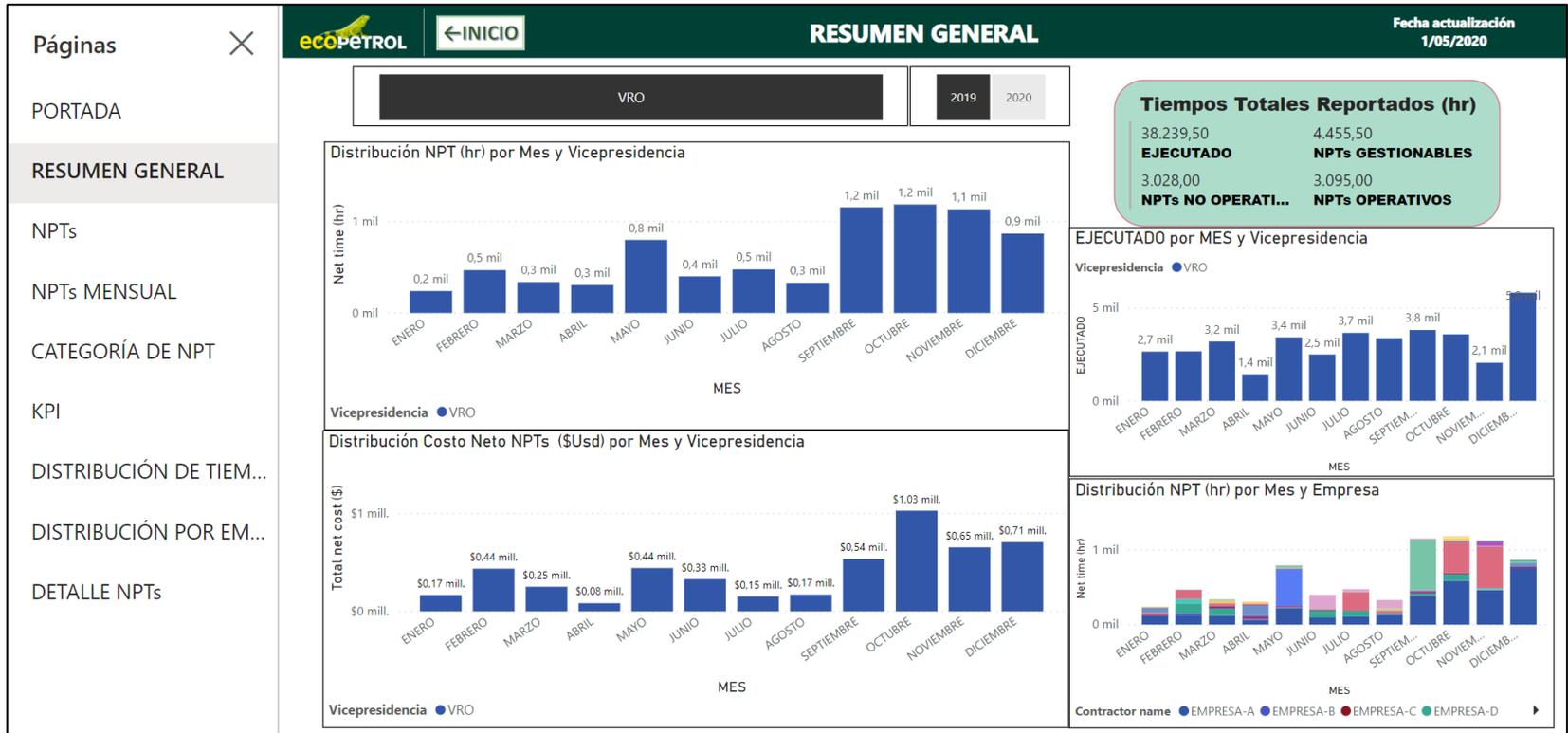
ANEXO H
INFORME POWER BI 2019 SIN SEGMENTACIÓN DE DATOS

Figura 41. Portada informe Power BI 2019 sin filtros.

The image shows a Power BI report dashboard. On the left is a navigation pane with a 'Páginas' header and a close icon (X). The menu items are: PORTADA (highlighted), RESUMEN GENERAL, NPTs, NPTs MENSUAL, CATEGORÍA DE NPT, KPI, DISTRIBUCIÓN DE TIEM..., DISTRIBUCIÓN POR EM..., and DETALLE NPTs. The main content area has a dark green header with the 'ecopETROL' logo on the left, the title 'Gerencia de Completamiento Análisis NPTs' in the center, and 'Fecha actualización 1/05/2020' on the right. Below the header, there are two information boxes: the first contains 'Nombre del área que genera el reporte: Gerencia de Completamiento' and 'Responsable por la información publicada: Diego Maya / Stephanie Restrepo.'; the second contains 'Frecuencia de Actualización: (Quincenal)' and 'Fuentes Principales de Información: Open Wells / Reportes de Operaciones'. To the right of these boxes is a map outline of Colombia with a green box containing the text '→ INICIAR'. The 'ecopETROL' logo is also visible at the bottom right of the map area.

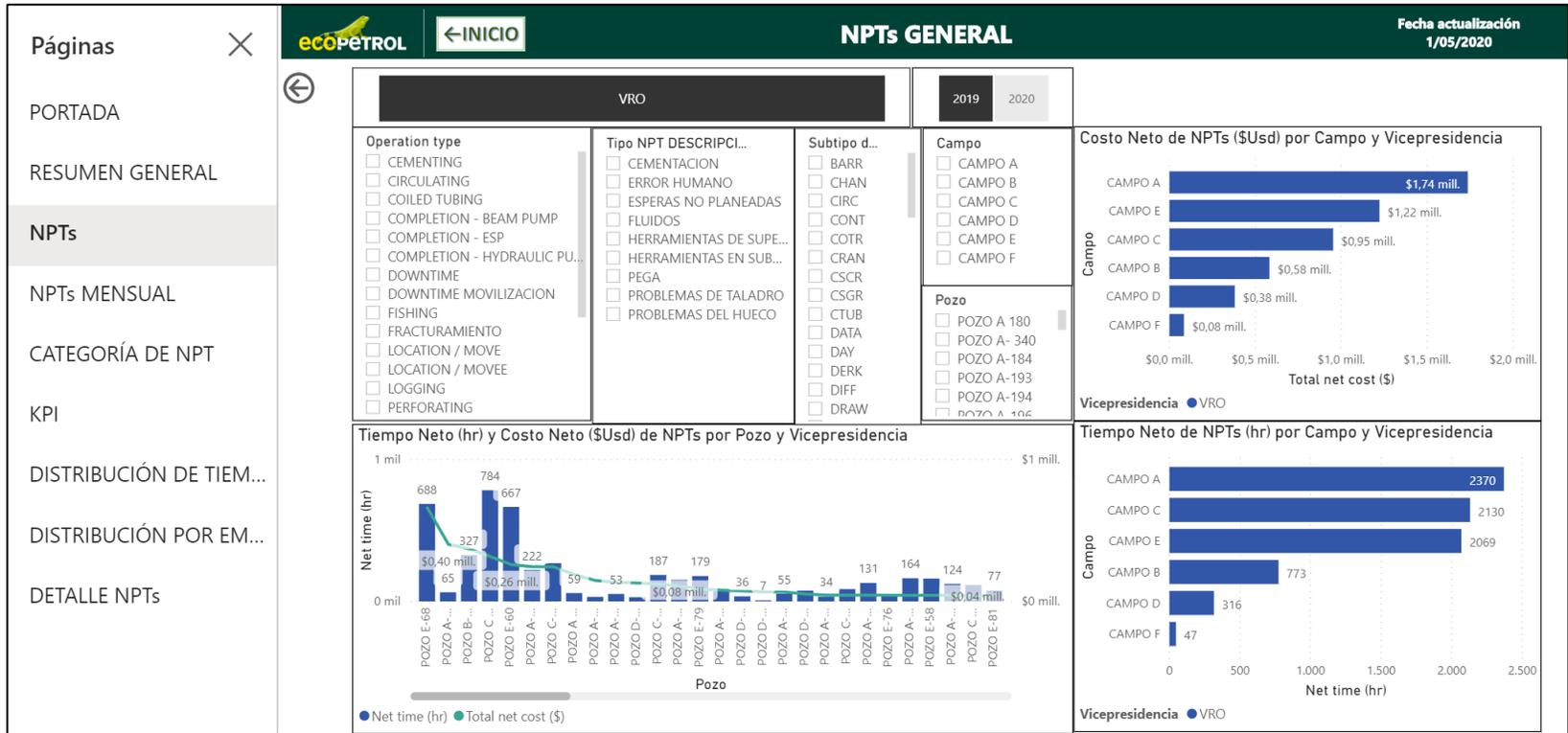
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 42. RESUMEN GENERAL informe Power BI 2019 sin filtros.



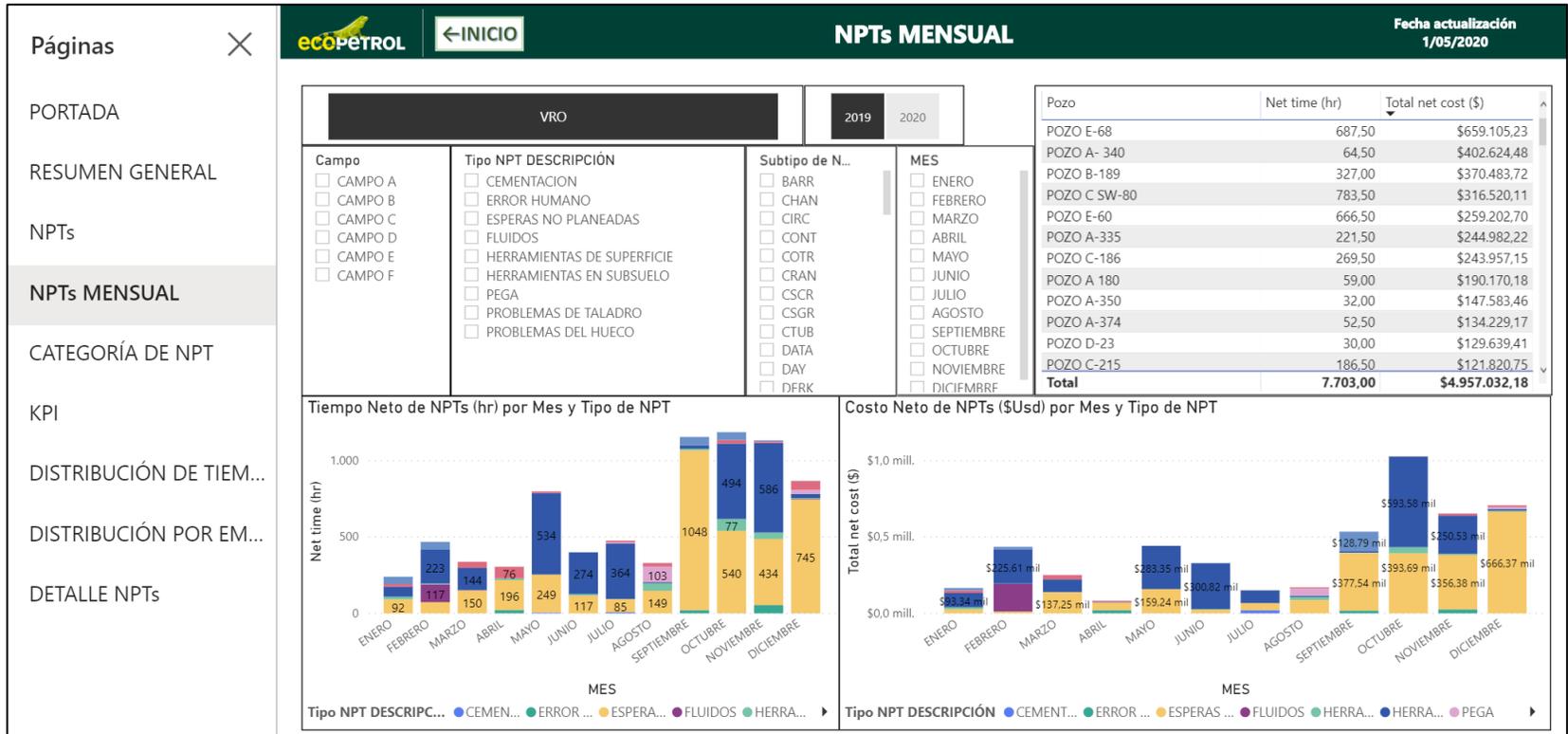
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 43. NPTs informe Power BI 2019 sin filtros.



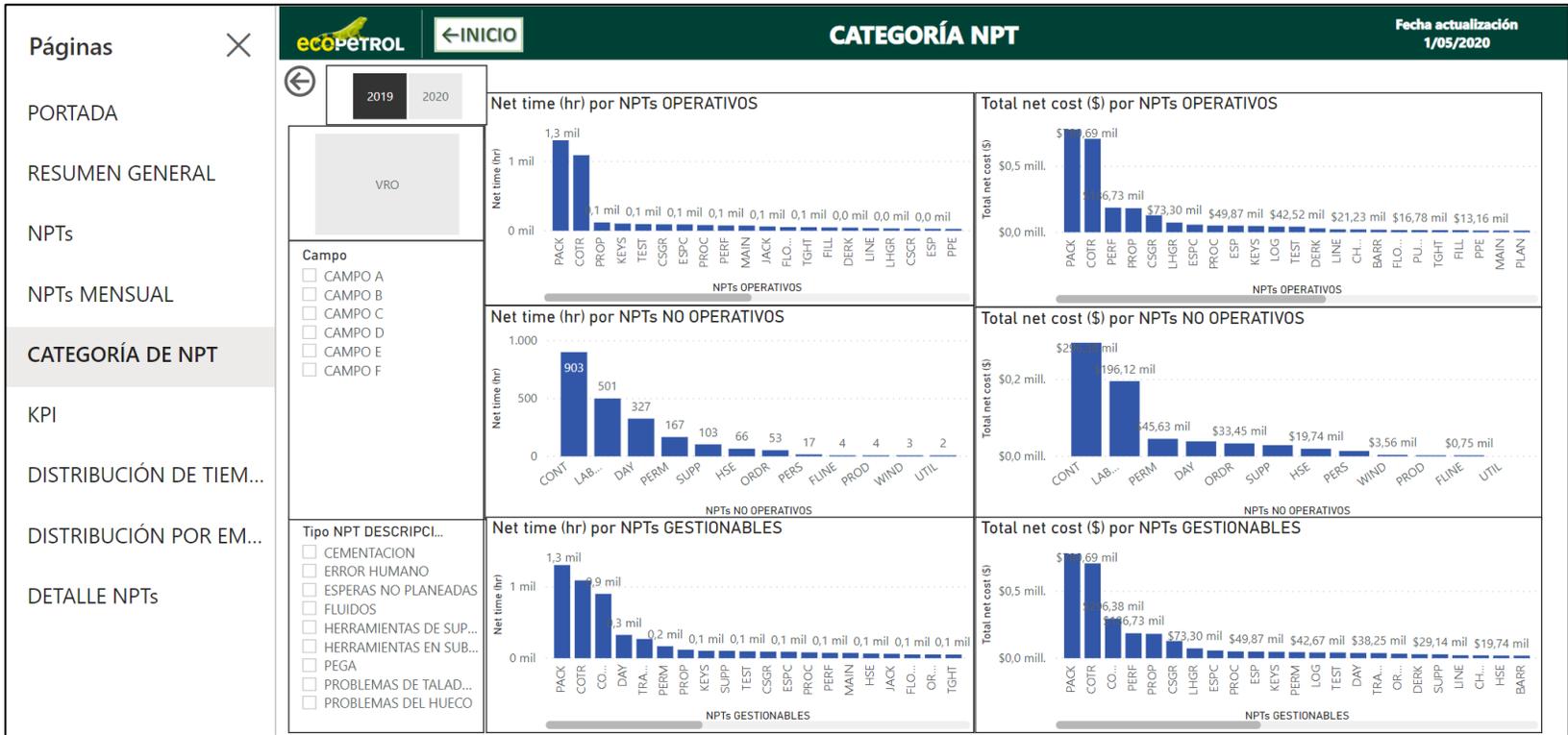
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI

Figura 44. NPTs MENSUAL informe Power BI 2019 sin filtros.



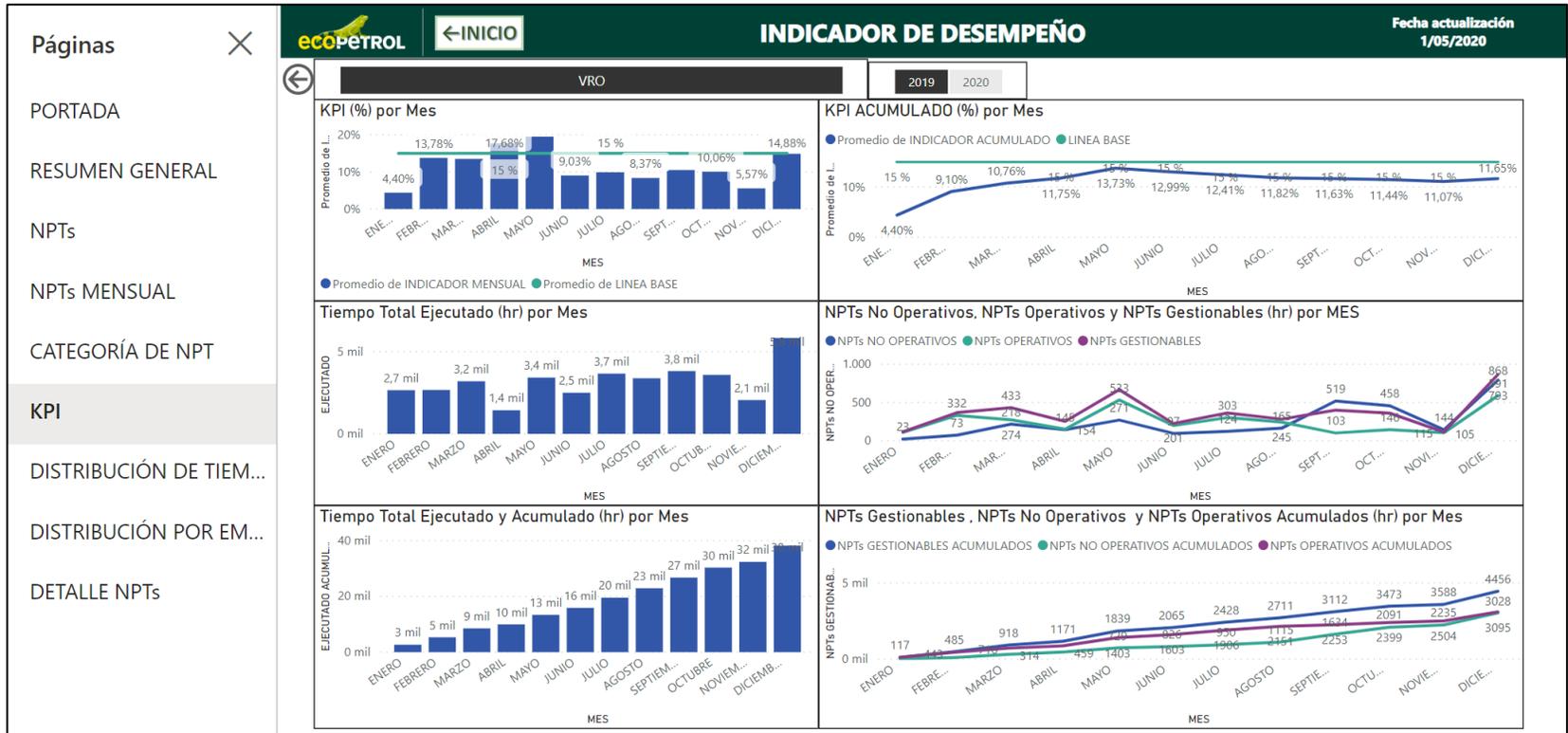
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 45. CATEGORIA NPTs informe Power BI 2019 sin filtros.



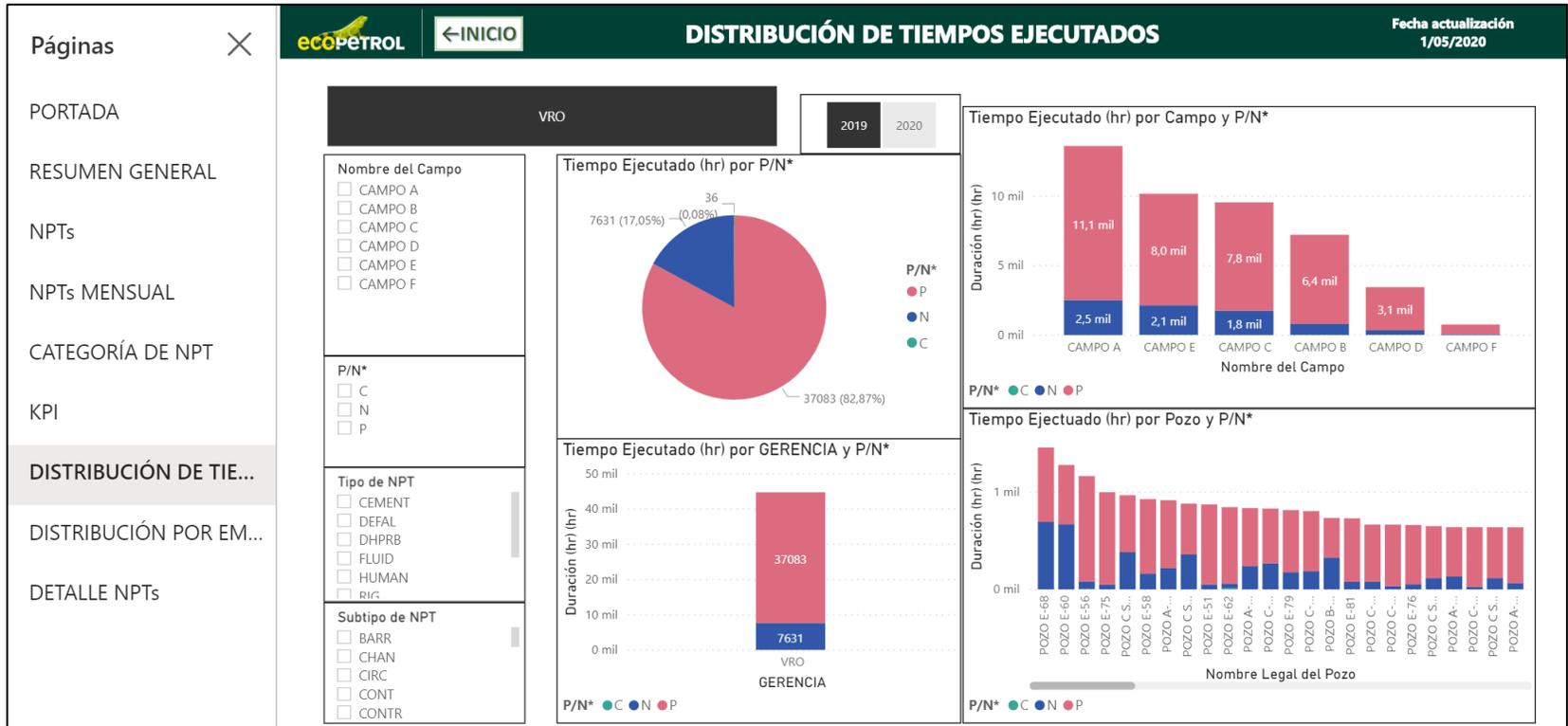
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 46. KPI informe Power BI 2019 sin filtros.



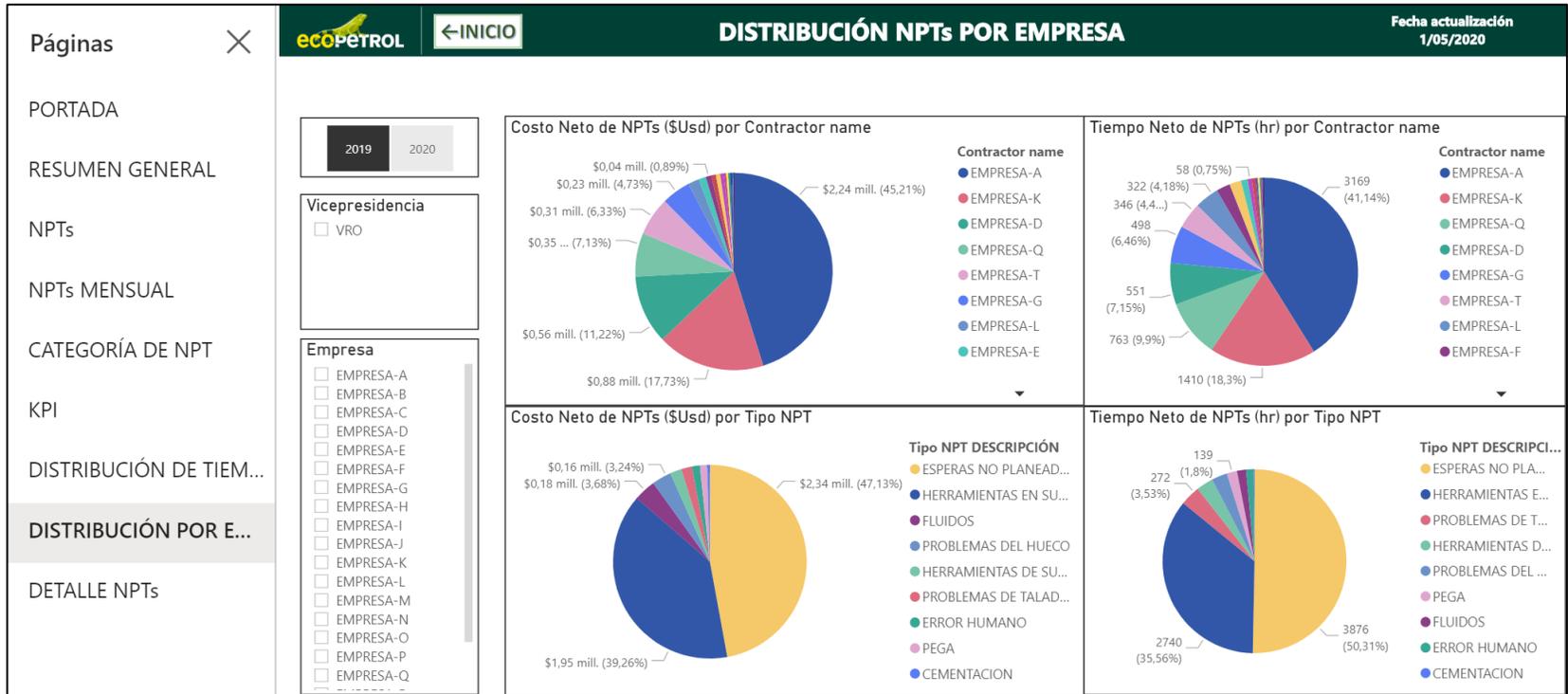
Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 47. DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS informe Power BI 2019 sin filtros.



Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 48. DISTRIBUCIÓN POR EMPRESA informe Power BI 2019 sin filtros.



Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.

Figura 49. DETALLE NPTs informe Power BI 2019 sin filtros.

Páginas		ecOPETROL		← INICIO		DETALLE NPT		Fecha actualización 1/05/2020					
PORTADA		Vicepresidencia ■ VRO		Campo <input type="checkbox"/> CAMPO A <input type="checkbox"/> CAMPO B <input type="checkbox"/> CAMPO C <input type="checkbox"/> CAMPO D <input type="checkbox"/> CAMPO E <input type="checkbox"/> CAMPO F		Pozo <input type="checkbox"/> POZO A 180 <input type="checkbox"/> POZO A- 340 <input type="checkbox"/> POZO A-184 <input type="checkbox"/> POZO A-193 <input type="checkbox"/> POZO A-194 <input type="checkbox"/> POZO A-196 <input type="checkbox"/> POZO A-304 <input type="checkbox"/> POZO A-323		Tipo NPT DESCRIPCIÓN <input type="checkbox"/> CEMENTACION <input type="checkbox"/> ERROR HUMANO <input type="checkbox"/> ESPERAS NO PLANEADAS <input type="checkbox"/> FLUIDOS <input type="checkbox"/> HERRAMIENTAS DE SUPERFICIE <input type="checkbox"/> HERRAMIENTAS EN SUBSUELO <input type="checkbox"/> PEGA <input type="checkbox"/> PROBLEMAS DE TALADRO		Operation type <input type="checkbox"/> CEMENTING <input type="checkbox"/> CIRCULATING <input type="checkbox"/> COILED TUBING <input type="checkbox"/> COMPLETION - BEAM PUMP <input type="checkbox"/> COMPLETION - ESP <input type="checkbox"/> COMPLETION - HYDRAULIC PU... <input type="checkbox"/> DOWNTIME <input type="checkbox"/> DOWNTIME MOVILIZACION		Subtipo de NPT <input type="checkbox"/> BARR <input type="checkbox"/> CHAN <input type="checkbox"/> CIRC <input type="checkbox"/> CONT <input type="checkbox"/> COTR <input type="checkbox"/> CRAN <input type="checkbox"/> CSCR <input type="checkbox"/> CSGR	
RESUMEN GENERAL		2019 2020											
NPTs													
NPTs MENSUAL													
CATEGORÍA DE NPT													
KPI													
DISTRIBUCIÓN DE TIEM...													
DISTRIBUCIÓN POR EM...													
DETALLE NPTs													
Pozo	Title	Tipo de NPT	Net time (hr)	Total net cost (\$)	npt_learnings								
POZO E-68	PROBÓ INTEGRIDAD DE SECCIÓN B-PRIMA CON 2000 PSI. OK. REALIZO PRUEBA DE ADMISIBILIDAD DE FORMACIÓN T2 CON 500 PSI, OBSERVANDO AUMENTO DE PRESIÓN EN MISMO DELTA DE 420 PSI EN LOS 2 SENSORES. SE REALIZARON DIFERENTES PRUEBAS OBTENIENDO EL MISMO RESULTADO. SE REALIZÓ CONFERENCIA CON EL GRUPO DE INGENIERÍA Y SE DETERMINÓ SACAR LA SARTA DE COMPLETAMIENTO PARA EVALUAR CAUSA. SE INICIA OPERACIÓN CONTINGENTE POR COMUNICACIÓN DE SARTA DUAL EN PRUEBA DE ADMISIÓN.	DEFAL	294,00	\$339.182,66	SE RECOMIENDA SIEMPRE IDENTIFICAR FICHAS TECNICAS DE ELE ASEGURAR SARTA DE MANERA ADECUADA.								
POZO C SW-80	EMPAQUES SCHLUMBERGER PRESENTARON PROBLEMAS AL ASENTAR. NO LOGRA ENGANCHAR EMPAQUE	WAIT	676,00	\$251.930,17	EMPAQUES SCHLUMBERGER PRESENTARON PROBLEMAS AL ASE ENGANCHAR EMPAQUE								
POZO A-335	OPERACION NO PLANEADA DEBIDO A TAPÓN BRIDGE PLUG NO EVIDENCIÓ ASENTAMIENTO ADECUADAMENTE.	DEFAL	183,00	\$240.607,22									
POZO C-186	TENSIONÓ CON 120 KLB Y MANIOBRÓ SARTA CON SET DE EMPAQUES PARA LEVANTAR Y ESPACIAR SIN EXITO. BOMBEO 183 BLS POR ANULAR A 3,5 BPM Y 200 PSI. APAGÓ BOMBA Y SE MANTUVO LA PRESIÓN. SE EVIDENCIÓ BHA SENTADO. INICIO PULLING BHA DE INYECCION SELECTIVA. BAJO NUEVAMENTE SARTA DE INYECCION SELECTIVA. SENTO HANGER, REALIZÓ CORRELACIÓN, PESCO TEST TOOL.	DEFAL	205,00	\$234.467,83									
POZO E-60	FALLA EN EL EMPAQUE RTTS	DEFAL	534,50	\$222.530,17	EN INVESTIGACIÓN.								
POZO B-189	TUBERIA 4-1/2" WTS-6 CON ANILLOS DE CEMENTO. QUEBRÓ TUBERIA 4-1/2" WTS-6. ARMÓ Y BAJO BHA #9 CON JUNK MILL 5-3/4" Y TUBERIA DP	FLUID	116,50	\$181.485,40	BAJO INVESTIGACION								
Total			7.703,00	\$4.957.032,18									

Fuente: elaboración propia, con base en. Power BI.