

PROPUESTA DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL EN LA GESTIÓN DE TI
APLICADO EN EL GRUPO DE GEOMECÁNICA Y PERFORACIÓN DE LA
GERENCIA DE PERFORACIÓN DE ECOPETROL CON BASE EN MARCOS DE
REFERENCIA DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL

JAVIER EDUARDO GELVIS VEGA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN GESTIÓN, APLICACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE
BUCARAMANGA
2020

PROPUESTA DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL EN LA GESTIÓN DE TI
APLICADO EN EL GRUPO DE GEOMECÁNICA Y PERFORACIÓN DE LA
GERENCIA DE PERFORACIÓN DE ECOPETROL CON BASE EN MARCOS DE
REFERENCIA DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL

JAVIER EDUARDO GELVIS VEGA

Trabajo de grado para optar por el título de MAGISTER EN GESTIÓN,
APLICACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE

DIRECTOR: SEBASTIÁN ROA PRADA (UNAB)
CODIRECTOR: CLAUDIA ISABEL CÁCERES BECERRA (UNAB)
ASESOR EMPRESARIAL: HERNAN DARIO MANTILLA HERNANDEZ
(ECOPETROL-ICP)

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN GESTIÓN, APLICACIÓN Y DESARROLLO DE SOFTWARE
BUCARAMANGA
2020

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, 25 de septiembre de 2020

A Paola, mi esposa, a Natalia, mi hija, por ser mi motor fundamental, por su paciencia, comprensión y apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Nestor Saavedra por permitirme realizar este proyecto.

Al Ingeniero Hernán Mantilla por todo su constante apoyo, dedicación y colaboración.

A los Ingenieros Sebastian Roa y Claudia Cáceres por la dirección del proyecto.

Al Ingeniero Andrés Garcia, de VDI, por toda su colaboración y acompañamiento al proyecto.

A los Ingenieros Carlos Reyes, Luz Angela Bohórquez y Yardly Rocío Ordóñez que colaboraron con el desarrollo de proyectos relacionados.

RESUMEN

En el grupo de geomecánica del ICP se cuenta con una serie de desarrollos de herramientas software que permiten monitorear la perforación de pozos petroleros en tiempo real. Estos desarrollos se realizaban mediante el levantamiento de requerimientos software funcionales y no funcionales. Sin embargo, estas metodologías presentaban limitaciones asociadas con los lineamientos de la Vicepresidencia Digital de Ecopetrol, tales como mantenimiento, adopción en tecnologías para desarrollo y crecimiento de las herramientas actuales.

La arquitectura empresarial permitió armonizar los componentes tecnológicos del grupo de geomecánica del ICP definiendo un norte acorde con los objetivos y estrategias, haciendo posible enfocar los desarrollos tecnológicos a las necesidades del grupo, brindando herramientas donde los expertos gestionan la información adquirida y así, después de analizar dicha información, cuentan con criterios que les permite aplicar acciones en pro de mejorar los tiempos de perforación y planeación de pozos futuros.

Este trabajo desarrolló un marco conceptual de arquitectura empresarial enfocado en optimización del flujo de información para apoyar la toma de decisiones estratégicas, generando una hoja de ruta de desarrollo de herramientas software que faciliten la gestión de información para el grupo de geomecánica del ICP.

En el diseño de la arquitectura empresarial se trabajó con las seis primeras fases de la metodología ADM que proporciona TOGAF. Habiendo definido la hoja de ruta, se seleccionaron las primeras acciones y se desarrolló un piloto de software que permite identificar operaciones durante la perforación y realizar el monitoreo en tiempo real de variables captadas a través de sensores de taladros mediante el protocolo WITSML. La herramienta piloto desarrollada fue ejecutada en un ambiente de pruebas realizando la recepción en tiempo real de datos de 4 pozos petroleros donde los resultados muestran la efectividad de la herramienta en la detección de operaciones en tiempo real.

PALABRAS CLAVE: Arquitectura Empresarial, TOGAF, Gestión de Información, Desarrollo de software.

ABSTRACT

In Ecopetrol-ICP, the geomechanics group has developed some software tools for real time drilling monitoring. These software developments were based on the specification of functional and nonfunctional requirements. However, this methodology had limitations related to the software development guidelines of Ecopetrol's digital vice-presidency, such as software maintenance, development technology adoption and software scalability.

Thanks to enterprise architecture, it was possible to harmonize the technological components of the geomechanics group by defining a north star according to the objectives and strategies, making possible to focus the technological developments to the group's needs; offering tools for the experts to manage the acquired information and based on it, have criteria to perform actions to reduce drilling time and assist with future well planning.

With this work a conceptual Enterprise architecture was focused on the optimization of information flow to support strategic decision-making, creating a software development roadmap to ease IT management for ICP's geomechanics research group.

In the design of enterprise architecture with TOGAF, the first six phases of the ADM cycle were implemented. Based on the roadmap, the first actions were selected and a software pilot was developed; this pilot allows the user to identify drilling operations and perform real time monitoring of variables captured through hole sensors using the WITSML protocol. The pilot was run in a testing environment performing data reception from 4 oil wells in real time, where the results show the tool effectiveness in the detection of operations in real time.

KEYWORDS: Enterprise architecture, TOGAF, IT management, software development.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 19 |
| 1. GENERALIDADES | 21 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 21 |
| 1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 22 |
| 1.3 OBJETIVOS | 23 |
| 1.3.1 Objetivo General | 23 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 23 |
| 1.4 LIMITACIONES Y ALCANCE | 23 |
| 1.4.1 Limitaciones | 23 |
| 1.4.2 Alcance | 24 |
| 1.5 SUPUESTOS..... | 24 |
| 1.6 JUSTIFICACIÓN..... | 24 |
| 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO TEÓRICO | 26 |
| 2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 26 |
| 2.1.1 Arquitectura Empresarial en Ecopetrol..... | 26 |
| 2.1.2 Perforación y estándares..... | 28 |
| 2.2 MARCO TEÓRICO..... | 37 |
| 2.2.1 Marcos de Referencia de Arquitectura Empresarial | 37 |
| 2.2.2 Perforación | 43 |
| 2.2.3 Marco legal y normativo | 45 |
| 3. DISEÑO METODOLÓGICO..... | 46 |
| 3.1 PLAN DE ACTIVIDADES | 48 |
| 4. PROPUESTA DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL | 52 |
| 4.1 FASE PRELIMINAR..... | 54 |
| 4.1.1 Descripción general del grupo | 54 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.2 Áreas impactadas..... | 57 |
| 4.1.3 Alcance de la propuesta de arquitectura | 58 |
| 4.1.4 Principios de Arquitectura..... | 59 |
| 4.1.5 Modelo organizativo para arquitectura empresarial..... | 63 |
| 4.1.6 Solicitud del trabajo de arquitectura | 63 |
| 4.2 FASE A: VISIÓN DE ARQUITECTURA..... | 64 |
| 4.2.1 Establecer el proyecto de arquitectura | 64 |
| 4.2.2 Partes interesadas (Stakeholders) | 64 |
| 4.2.3 Impulsores y Objetivos de negocio..... | 68 |
| 4.2.4 Evaluar capacidades | 71 |
| 4.2.5 Evaluar la preparación para la transformación del negocio..... | 71 |
| 4.2.6 Alcance de la arquitectura | 77 |
| 4.2.7 Declaración de trabajo de arquitectura..... | 77 |
| 4.3 FASE B: ARQUITECTURA DE NEGOCIO | 78 |
| 4.3.1 Desarrollo de la línea base de la arquitectura de negocio..... | 78 |
| 4.3.2 Descripción de la línea base de arquitectura de negocio | 81 |
| 4.3.3 Desarrollo de la arquitectura de negocio objetivo..... | 82 |
| 4.3.4 Descripción de la arquitectura de negocio objetivo | 86 |
| 4.3.5 Análisis de brechas | 87 |
| 4.4 FASE C: ARQUITECTURA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN | 89 |
| 4.4.1 Descripción de la línea base de arquitectura de información | 89 |
| 4.4.2 Descripción de la arquitectura de información objetivo | 95 |
| 4.4.3 Análisis de brechas | 100 |
| 4.5 FASE D: ARQUITECTURA TECNOLÓGICA..... | 102 |
| 4.5.1 Desarrollo de la línea base de la arquitectura de tecnología..... | 102 |
| 4.5.2 Descripción de la línea base de arquitectura de tecnología | 103 |
| 4.5.3 Arquitectura de tecnología objetivo | 104 |
| 4.5.4 Descripción de la arquitectura de tecnología objetivo | 104 |
| 4.5.5 Análisis de brechas | 106 |
| 4.6 FASE E: OPORTUNIDADES Y SOLUCIONES | 107 |

| | |
|--|-----|
| 4.6.1 Relación de Proyectos..... | 107 |
| 4.6.2 Hoja de Ruta | 117 |
| 5. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE BUENAS PRÁCTICAS | 120 |
| 6. IMPLEMENTACIÓN DEL PILOTO DE SOFTWARE | 131 |
| 6.1 DESCRIPCIÓN DEL PILOTO DE SOFTWARE | 131 |
| 6.2 RELACIÓN DE PROYECTOS SELECCIONADOS DE LA HOJA DE RUTA | 132 |
| 6.3 METODOLOGÍA DE DESARROLLO | 133 |
| 6.4 PARTICIPANTES DEL PILOTO DE SOFTWARE | 137 |
| 6.5 CRONOGRAMA GENERAL DEL PILOTO SOFTWARE | 137 |
| 6.6 ACTIVIDADES GENERALES DEL PILOTO DE SOFTWARE | 137 |
| 6.7 TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE DESARROLLO | 141 |
| 6.8 DETALLE DEL DESARROLLO DEL PILOTO DE SOFTWARE | 142 |
| 6.8.1 Módulo captura de información WITSML | 142 |
| 6.8.2 Módulo almacenamiento en frío | 147 |
| 6.8.3 Módulo almacenamiento en caliente..... | 158 |
| 6.8.4 Módulo visualización en tiempo real | 162 |
| 6.8.5 Módulo visualización de históricos..... | 164 |
| 6.9 LECCIONES APRENDIDAS | 166 |
| 6.10 APLICACIÓN DE LINEAMIENTOS EN LA HOJA DE RUTA | 168 |
| 6.11 PRESUPUESTOS GENERALES DEL PILOTO SOFTWARE | 169 |
| 7. CONCLUSIONES | 173 |
| 8. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO | 176 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 178 |

LISTA DE TABLAS

Pág.

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Sistemas desarrollados por empresas del sector petrolero | 31 |
| Tabla 2. Actividades a realizar por cada objetivo..... | 49 |
| Tabla 3. Marco de Referencia de Arquitectura Empresarial Adaptado | 52 |
| Tabla 4. Áreas de Conocimiento y Actividades del grupo de perforación del ICP .. | 55 |
| Tabla 5. Integrantes del grupo de perforación | 56 |
| Tabla 6. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Negocio..... | 60 |
| Tabla 7. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Datos | 61 |
| Tabla 8. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Aplicación | 62 |
| Tabla 9. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Tecnología | 62 |
| Tabla 10. Necesidades de los roles del grupo de perforación del ICP..... | 64 |
| Tabla 11. Matriz Poder Interés..... | 67 |
| Tabla 12. Matriz Poder de Interés ejercicio de arquitectura empresarial | 67 |
| Tabla 13. Estrategias a adoptar para los roles del grupo de perforación del ICP .. | 67 |
| Tabla 14. Impulsores de negocio | 68 |
| Tabla 15. Tabla de Valores de Probabilidad | 73 |
| Tabla 16. Tabla de Valores de Impacto | 73 |
| Tabla 17. Tabla para la evaluación de riesgos ejercicio arquitectura empresarial. | 74 |
| Tabla 18. Dimensiones alcance de la arquitectura | 77 |
| Tabla 19. Etapas actuales del proceso continuo de la geomecánica..... | 78 |
| Tabla 20. Nomenclatura de Roles de la matriz de responsabilidades | 80 |
| Tabla 21. Matriz RACI procesos AS-IS de negocio. | 81 |
| Tabla 22. Actualización de etapas del proceso continuo de la geomecánica | 83 |
| Tabla 23. Matriz de responsabilidades del proceso objetivo..... | 86 |
| Tabla 24. Brechas entre las arquitecturas de negocios actual y destino | 88 |
| Tabla 25. Información de aplicaciones..... | 92 |
| Tabla 26. Información de aplicaciones – proceso de negocio | 93 |
| Tabla 27. Interacción de los componentes de aplicación..... | 94 |
| Tabla 28. Información de aplicaciones – Bases de datos | 94 |
| Tabla 29. Interacción de los componentes de aplicación..... | 98 |
| Tabla 30. Información de aplicaciones – proceso de negocio | 99 |
| Tabla 31. Información de aplicaciones – Bases de datos | 99 |
| Tabla 32. Brechas entre las arquitecturas de sistemas de información actual y destino | 100 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 33. Brecha entre las arquitecturas tecnológica actual y destino | 106 |
| Tabla 34. Relación y descripción de proyectos..... | 107 |
| Tabla 35. Relación de proyectos indicando plazo y aproximada duración..... | 110 |
| Tabla 36. Relación de proyectos y brechas identificadas. | 111 |
| Tabla 37. Relación de proyectos y brechas identificadas. | 114 |
| Tabla 38. Matriz de responsabilidades de roles en proyectos de la hoja de ruta. | 115 |
| Tabla 39. Relación de proyectos asociados a los objetivos estratégicos..... | 116 |
| Tabla 40. Relación de proyectos seleccionados de la hoja de ruta | 118 |
| Tabla 41. Hoja de Ruta de implementación año 2020 | 118 |
| Tabla 42. Hoja de Ruta para implementación de proyectos años 2021-2025..... | 119 |
| Tabla 43. Propuesta de Lineamiento de buenas practicas | 122 |
| Tabla 44. Relación de proyectos seleccionados de la hoja de ruta | 132 |
| Tabla 45. Roles en SCRUM. Encargados en el piloto de software | 134 |
| Tabla 46. Participantes del piloto de software | 137 |
| Tabla 47. Actividades de EcoAGE WEB - Captura de información WITSML..... | 138 |
| Tabla 48. Actividades de EcoAGE WEB - Almacenamiento en frio | 138 |
| Tabla 49. Actividades de EcoAGE WEB - Almacenamiento en caliente | 139 |
| Tabla 50. Actividades de EcoAGE WEB - Visualización en tiempo real | 140 |
| Tabla 51. Actividades de EcoAGE WEB –Visualización de históricos | 140 |
| Tabla 52. Resumen de pruebas de integración aplicación de telemetría..... | 146 |
| Tabla 53. Tablas de rendimiento del IoT..... | 148 |
| Tabla 54: Descripción de los componentes de la base de datos en Frio | 156 |
| Tabla 55. Aplicación de lineamientos en proyectos de la hoja de ruta..... | 169 |
| Tabla 56. Presupuesto general para el piloto de software | 169 |
| Tabla 57. Presupuesto EcoAGE WEB - Captura de información WITSML..... | 170 |
| Tabla 58. Presupuesto EcoAGE WEB - Almacenamiento en frio | 170 |
| Tabla 59. Presupuesto EcoAGE WEB - Almacenamiento en caliente | 171 |
| Tabla 60. Presupuesto EcoAGE WEB - Visualización en tiempo real | 171 |
| Tabla 61. Presupuesto EcoAGE WEB –Visualización de históricos | 171 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Árbol del problema..... | 22 |
| Figura 2. Estrategia en gestión de información..... | 27 |
| Figura 3. Taladros para lectura de información en tiempo real (diagramación). | 28 |
| Figura 4. Logo WITSML..... | 30 |
| Figura 5. Marco de trabajo de Zachman | 39 |
| Figura 6. Architecture Development Cycle..... | 42 |
| Figura 7. Esquema de un equipo de perforación | 43 |
| Figura 8. Perforación direccional | 44 |
| Figura 9. Brocas para perforación..... | 44 |
| Figura 10. Etapas del desarrollo del proyecto..... | 46 |
| Figura 11. Ejecución del ejercicio de Arquitectura Empresarial | 54 |
| Figura 12. Etapas actuales del proceso continuo de la geomecánica | 57 |
| Figura 13. Fases ADM de TOGAF | 58 |
| Figura 14. Principios Arquitectura Empresarial | 59 |
| Figura 15. Organigrama del grupo de perforación del ICP | 66 |
| Figura 16. Diagrama motivacional del ejercicio de arquitectura empresarial | 70 |
| Figura 17. AS-IS de negocio | 82 |
| Figura 18. TO-BE de negocio. | 87 |
| Figura 19. Modelo de datos de EcoAGE..... | 90 |
| Figura 20. Modelo de datos de EcoDRILL | 91 |
| Figura 21. AS-IS fase de aplicación..... | 94 |
| Figura 22. Configuración de la salida de datos en caliente con Cosmos DB..... | 95 |
| Figura 23. Modelo de datos de EcoAGE WEB Versión 1.0 para datos históricos . | 96 |
| Figura 24. Estructura de almacenamiento en frío en un Data Lake | 96 |
| Figura 25. Bloques o componentes de EcoAGE WEB..... | 97 |
| Figura 26. Bloques o componentes en detalle de EcoAGE WEB | 97 |
| Figura 27. TO-BE fase de aplicación | 98 |
| Figura 28. AS-IS capa de tecnología | 104 |
| Figura 29. Componentes de la arquitectura tecnológica objetivo..... | 105 |
| Figura 30. Principios de Arquitectura Empresarial | 120 |
| Figura 31. Tecnologías y herramientas de desarrollo aplicaciones web | 130 |
| Figura 32. Tecnologías y herramientas de desarrollo aplicaciones web con analítica de datos..... | 130 |

| | |
|--|-----|
| Figura 33. Azure DevOps - Configuración del proyecto..... | 133 |
| Figura 34. Azure DevOps - Selección de la metodología de desarrollo SCRUM..... | 134 |
| Figura 35. Azure DEVOPS - Descripción del proyecto e integrantes..... | 135 |
| Figura 36. Azure DEVOPS - Product Backlog | 135 |
| Figura 37. Azure DEVOPS - Sprints del proyecto..... | 136 |
| Figura 38. Azure DEVOPS - Repositorio de código fuente..... | 136 |
| Figura 39. Tecnologías y herramientas de desarrollo aplicaciones web..... | 141 |
| Figura 40. Dispositivo, Telemetría y Conectividad..... | 142 |
| Figura 41. Formulario de configuración WITSML/WITS0..... | 143 |
| Figura 42. Vista de trabajo de Stream Analytics | 144 |
| Figura 43. Archivo de datos del Blob Storage..... | 145 |
| Figura 44. Almacenamiento en Frio - Manejo de datos | 147 |
| Figura 45. Comunicación con el IoT desde un taladro..... | 150 |
| Figura 46. Consideraciones en la configuración del servicio de IoT Hub..... | 150 |
| Figura 47. Métrica de un taladro durante 1 hora de funcionamiento..... | 151 |
| Figura 48. Azure Stream Analytics. Entradas-Salidas | 152 |
| Figura 49. Inicio de un trabajo de Stream Analytics..... | 153 |
| Figura 50. Configuración de la salida en frío al Blob Storage | 154 |
| Figura 51. Estructura de almacenamiento en frío | 155 |
| Figura 52. Métricas del Blob Storage..... | 156 |
| Figura 53: Diseño relacional para datos históricos | 158 |
| Figura 54. Procesamiento y transformación de información en caliente..... | 159 |
| Figura 55. Trabajo de Stream Analytics..... | 159 |
| Figura 56. Configuración de la salida en caliente con Cosmos DB..... | 162 |
| Figura 57. Aplicación / interfaz visualización en tiempo real..... | 163 |
| Figura 58. Interfaz de visualización de operaciones en tiempo real..... | 163 |
| Figura 59. Aplicación / Interfaz – Visualización de datos históricos..... | 164 |
| Figura 60. Interfaz de visualización de operaciones en históricos | 165 |

ANEXOS

Anexo A. Marco de Referencia de Arquitectura Adaptado

Anexo B. Modelo de organización de la Arquitectura Empresarial

Anexo C. Solicitud de Trabajo de Arquitectura

Anexo D. Declaración de Trabajo de Arquitectura

Anexo E. Principios de la arquitectura

Anexo F. Declaraciones refinadas de los principios de negocio, objetivos de negocio, y los conductores

Anexo G. Definición de arquitectura empresarial

Anexo H. Definición de Arquitectura de negocio

Anexo I. Definición de Arquitectura de datos y aplicación

Anexo J. Definición de Arquitectura Tecnológica

Anexo K. Hoja de ruta de Arquitectura (*ROADMAP*)

Anexo L. Lineamientos de Buenas Prácticas

Anexo M. Código Fuente de los proyectos seleccionados

Anexo N. Actividades-*Product Backlog*

Anexo O. Acta de aceptación del proyecto

Anexo P. Manual Técnico EcoAGE WEB

Anexo Q. Manual de Usuario EcoAGE WEB

GLOSARIO

AE: Véase Arquitectura Empresarial.

APLICACIONES: Son programas de computador que están diseñados con capacidades lógicas y matemáticas para procesar información. El término Aplicación se utiliza para agrupar un conjunto de programas que responden a requerimientos particulares del negocio o área de negocio.

ARCHIMATE: El lenguaje de modelado *Archimate* permite representar la Arquitectura Empresarial de una organización bajo tres diferentes perspectivas: negocio, sistemas y tecnología. El lenguaje *Archimate* sirve para diseñar Arquitecturas Empresariales que faciliten la adopción de tecnología en las empresas, vinculando los procesos de negocio con los activos tecnológicos.

ARQUITECTURA DE NEGOCIOS: Es la arquitectura donde se identifica la línea base y la arquitectura final respecto al negocio.

ARQUITECTURA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN: Es la arquitectura donde se identifica la línea base y la arquitectura final respecto a los sistemas de información y datos.

ARQUITECTURA DE TECNOLOGÍA: Es la arquitectura donde se identifica la línea base y la arquitectura final respecto a la infraestructura tecnológica.

ARQUITECTURA EMPRESARIAL: "... la arquitectura empresarial se puede definir de dos posibles formas dependiendo del contexto en que se utilice, la primera a través de una descripción formal de un sistema o un plan detallado de un sistema en cuanto a sus componentes para guiar su implementación; o la segunda es con una estructura de componentes, sus interrelaciones, y los principios y guías que gobiernan su diseño y evolución en el tiempo" (The Open Group, 2019) .

AS-IS: Proceso tal como está. Es la definición de la situación actual del proceso.

DEVOPS: es un acrónimo de las palabras en inglés *Development* y *Operations*, que se refiere a una forma de desarrollo de software que se centra en la comunicación, colaboración e integración entre desarrolladores de software y los profesionales de

sistemas en las tecnologías de información. Es la unión de personas, procesos y productos que permite entregas de valor continuas a los clientes de software.

ECOAGE: es un aplicativo desarrollado en C# con una base de datos en Microsoft Access® antecesor de ECODRILL que mantiene una conexión con los taladros mediante el protocolo WITS0, el cual es unidireccional en donde el servidor es quien envía al receptor.

ECODRILL: es un aplicativo del Instituto Colombiano del Petróleo ICP - Ecopetrol, desarrollado en el lenguaje de programación C# que ha tenido diferentes etapas de trabajo y responde a las necesidades técnicas del equipo de Geomecánica del ICP.

FRAMEWORK: Un marco de trabajo de arquitectura es una herramienta que se puede utilizar para el desarrollo de una amplia gama de diferentes arquitecturas. Dando buenas prácticas para una metodología.

IoT: (Por sus siglas en inglés: *Internet Of Things*) Agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de una red (privada o Internet), donde los dispositivos podrían ser visibles e interaccionar.

MinTIC: Sigla en español (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) que hace referencia a uno de los ministerios en Colombia.

MNEMÓNICOS: un mnemónico o nemónico es una palabra que sustituye a un código de operación (lenguaje de máquina), con lo cual resulta más fácil la programación, es de aquí de donde se aplica el concepto de lenguaje ensamblador.

SISTEMA DE INFORMACIÓN: Es un sistema orientado al tratamiento y administración de datos e información, organizado y listo para su uso posterior, generados para cubrir una necesidad o un objetivo.

STAKEHOLDER (INTERESADO): personas u organizaciones afectadas por las actividades y las decisiones de una empresa.

TELEMETRÍA: es la medición o registro de procesos y eventos producidos a distancia o remotamente desde un dispositivo conectado a Internet.

TO-BE: Está definiendo el futuro de la situación del proceso, es decir, donde se quiere llegar

TOGAF: Sigla en inglés de “*The Open Group Architecture Framework*” que hace al marco de referencia de Arquitectura Empresarial que proporciona un enfoque para el diseño, planificación, implementación y gobierno de una arquitectura empresarial.

WITSML: (Por sus siglas en inglés, *Wellsite Information Transfer Standard Markup Language*), Es un estándar para transmitir datos del sitio del pozo desde la plataforma a diferentes partes interesadas en la industria del petróleo y el gas.

WITS0: (Por sus siglas en inglés *Wellsite Information Transfer Standard Level 0*) es un protocolo específico para la transferencia de datos de perforación relacionados con la plataforma. Al ser de capa cero describe las especificaciones de transferencia en código ASCII.

INTRODUCCIÓN

Un alto porcentaje del petróleo producido a nivel mundial proviene de campos de petróleo en un estado maduro y constituyen una oportunidad para suplir la necesidad energética mundial creciente.

La volatilidad de los precios del petróleo introduce una gran incertidumbre en el desarrollo de las actividades productivas de las empresas petroleras. Dado que los precios del petróleo son determinados por factores de oferta y demanda en el mercado mundial, es necesario que las empresas petroleras aumenten la eficiencia de sus procesos continuamente para poderse ajustar, y mantenerse activos en el negocio, incluso en las condiciones económicas más desfavorables. Los procesos productivos de la industria petrolera, como por ejemplo la perforación, dependen de una gran cantidad de variables. En algunos casos es posible que no se tenga a disposición toda la información de las variables de proceso, en otros casos se puede llegar a contar con parte de la información. Entonces, se vuelve muy importante poder aprovechar esa información, procesarla, y extraer conocimiento que pueda ser usado como apoyo en la toma de decisiones que mejoren la ejecución de procesos y la competitividad de la empresa.

Para Ecopetrol es muy importante mantener las herramientas de análisis y las bases de datos de información de perforación actualizadas y poder realizar las tareas de análisis de datos con información de alta calidad, cumpliendo con los lineamientos definidos por la Vicepresidencia Digital de Ecopetrol (VDI).

El presente proyecto tiene como finalidad suministrar un marco conceptual de arquitectura empresarial enfocado en optimización del flujo de información para apoyar la toma de decisiones estratégicas, generando una hoja de ruta de desarrollo de herramientas software que faciliten la gestión de información para el grupo de geomecánica del ICP.

El documento se encuentra organizado de la siguiente manera.

En el capítulo 1, se presenta el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos propuestos en este proyecto.

El capítulo 2 incluye la revisión bibliográfica y el marco teórico relacionado a la temática del proyecto.

El capítulo 3 presenta la metodología propuesta para el desarrollo del trabajo.

El capítulo 4 detalla la propuesta de arquitectura empresarial, indicando los entregables y artefactos construidos.

El capítulo 5 detalla la propuesta de lineamientos de buenas prácticas, generados a partir del ejercicio de arquitectura empresarial y del análisis de sus principios.

El capítulo 6 presenta la información relacionada a la implementación del piloto de software como primera transformación digital en la organización basado en el análisis de oportunidades y soluciones, aplicando los lineamientos de buenas prácticas establecidos.

1. GENERALIDADES

En este capítulo se realiza una descripción del problema y se plantea su solución, identificando los objetivos que se cumplirán con el desarrollo del proyecto.

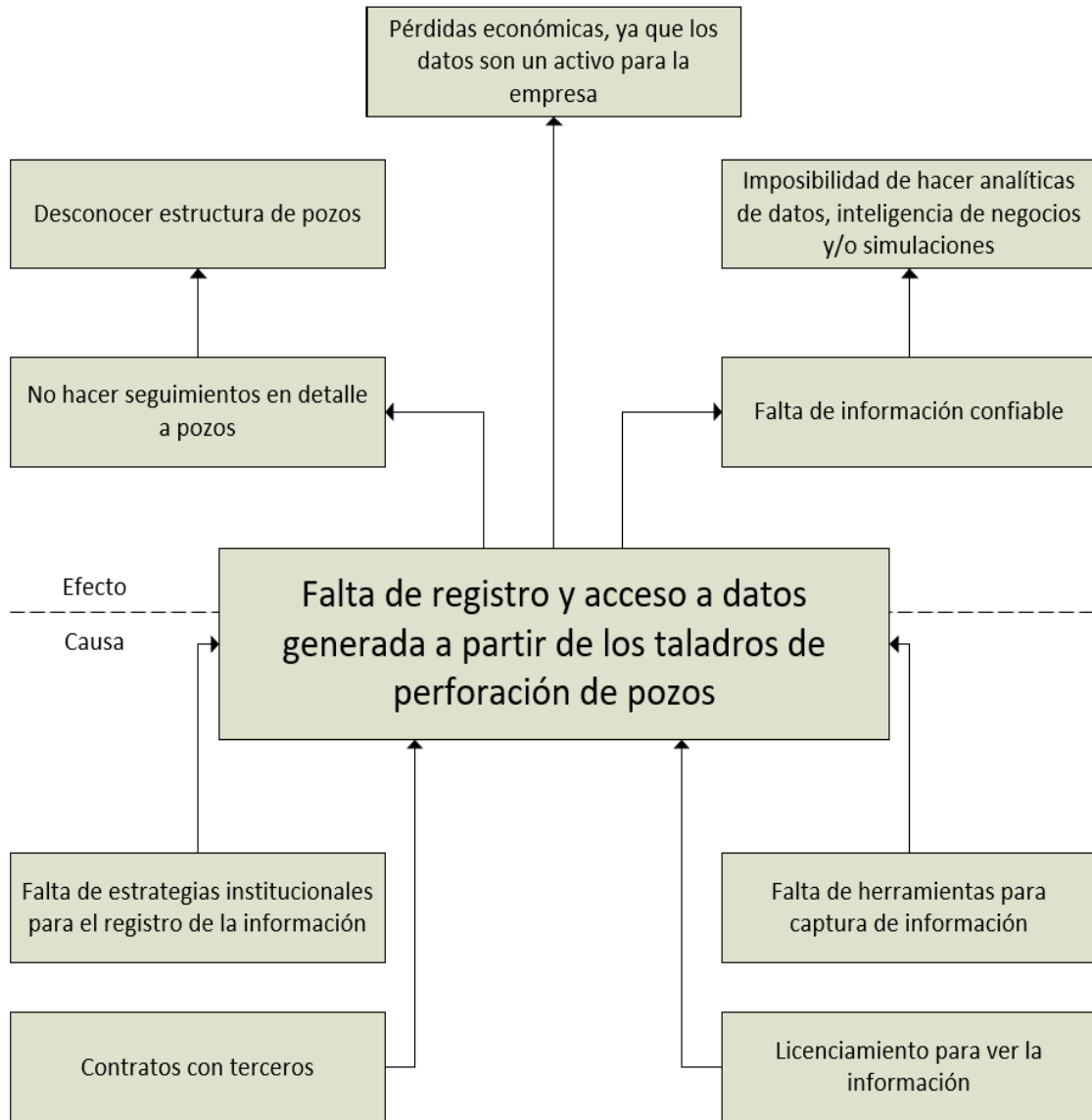
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se requiere hacer una inversión en un proyecto de perforación de pozos petroleros, es necesario cuestionarse sobre los elementos que afectarán el inicio, desarrollo y culminación de manera exitosa del proyecto a realizar. La volatilidad en los precios internacionales del petróleo puede generar periodos de precios bajos donde se reduce el margen de ganancia. Contar con datos de perforación de pozos permite hacer seguimiento en detalle de los proyectos y evaluar en tiempo real la rentabilidad generada por los mismos.

Actualmente, Ecopetrol recibe información desde estaciones de monitoreos ubicadas en cercanías a los pozos perforados a una sala de monitoreo llamada sala RTO. Allí se presenta, en tiempo real y de forma visual, la información relacionada a la perforación de pozos. Ecopetrol se encuentra perforando aproximadamente 25 pozos, pero en la sala RTO solo visualiza información de 6 pozos. La gerencia de perforación del ICP ha presentado dificultades para acceder a la base de datos de históricos, ya que esta información, al momento, es gestionada por un tercero, así como la posibilidad de acceder a la información en tiempo real.

Considerando lo anterior, en un mundo cambiante, la falta de herramientas propias para adquisición y procesamiento de los datos para generar conocimiento que sirva de apoyo en la toma de decisiones puede generar incertidumbre en los procesos que se realizan, todo esto derivado por la falta de información confiable en las variables de proceso y que pueden llevar a mayores costos.

Figura 1. *Árbol del problema*



Fuente: Elaboración propia del autor.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Se puede optimizar el flujo de información y apoyar la toma de decisiones estratégicas, mediante la implementación de un marco de referencia de Arquitectura Empresarial y alineado a las tecnologías de información, dentro del grupo de geomecánica y perforación de la gerencia de perforación de Ecopetrol?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Elaborar la propuesta de arquitectura empresarial en la gestión de TI para el grupo de geomecánica y perforación de la gerencia de perforación de Ecopetrol con base en el marco de referencia TOGAF buscando mejorar los procesos internos que permitan optimizar el flujo de información a través de las TIC.

1.3.2 Objetivos Específicos

- O1. Realizar un reconocimiento de los procesos y actividades ejecutadas por el grupo de geomecánica y perforación de la Gerencia de Perforación de Ecopetrol-ICP para definir la línea base con la que cuenta.
- O2. Definir lineamientos de buenas prácticas para resolver necesidades de organización de procesos, de información, de bases de datos y de estándares.
- O3. Identificar las oportunidades de mejora mediante el análisis de brechas de la Arquitectura (*AS-IS*, *TO-BE*) en el grupo de geomecánica y perforación de la Gerencia de Perforación con base en el marco de referencia TOGAF.
- O4. Implementar un piloto de software como primera transformación digital basada en el análisis de oportunidades y soluciones, aplicando lineamientos de buenas prácticas.

1.4 LIMITACIONES Y ALCANCE

1.4.1 Limitaciones

En la elaboración del presente trabajo se tienen limitaciones de acceso a información confidencial a cargo de dependencias diferentes al área en la que se adelanta el trabajo.

Se cuenta con datos históricos que pueden permitir tener una visión del rendimiento actual del equipo de trabajo y proyectar la demanda futura con exactitud.

Se hará entrega del diseño de la arquitectura empresarial y en el tiempo disponible se plantea el desarrollo de un piloto de solución software específica.

La posible implementación de la(s) solución(es) planteadas queda sujeta a una evaluación de viabilidad a realizar por parte de la Organización.

1.4.2 Alcance

La implementación del marco de referencia de Arquitectura Empresarial se realiza en el grupo de geomecánica y perforación de la gerencia de perforación de Ecopetrol. Se elabora un modelo de Arquitectura Empresarial con base en los lineamientos de TOGAF, siguiendo la metodología ADM en las fases preliminar, A, B, C, D, y E. Se representa el estado actual del proceso y el estado objetivo propuesto, se realiza el análisis de brechas y se plantean los proyectos que permitirán optimizar el flujo de información y apoyar la toma de decisiones estratégicas, todo esto aplicando el uso de buenas prácticas de análisis, diseño y desarrollo de software.

1.5 SUPUESTOS

A través de un ejercicio de arquitectura empresarial es posible conocer y optimizar el flujo de información para el apoyo de toma de decisiones estratégicas, soportado en los procesos de desarrollo y mantenimiento de herramientas software construidas en el Grupo de Perforación y Completamiento del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), y proponer un proceso objetivo, que apoye de forma eficiente los objetivos estratégicos del grupo.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El objetivo de toda empresa es aumentar su valor y garantizar su permanencia. Analizar los proyectos permite conocer la rentabilidad generada por los mismos para calcular la magnitud de su aporte al objetivo básico financiero de la empresa.

Dentro del plan estratégico de Ecopetrol está la optimización de tiempos de perforación con el fin de disminuir los costos en los proyectos. En la planeación de un pozo, inicialmente se desarrolla un proceso multidisciplinario para alcanzar el

objetivo en la zona de interés (yacimientos) donde desde la geomecánica se realizan actividades tales como el modelo geomecánico *predrilling* para establecer la ventana de estabilidad de lodo y establecimiento de trayectorias que ayudan a la estabilidad del pozo.

Así mismo, la Vicepresidencia Digital de Ecopetrol (VDI) impulsa la estandarización y alineación de los desarrollos tecnológicos a realizarse en cada una de las dependencias de Ecopetrol.

Actualmente se cuenta con herramientas desarrolladas *in-house* que permiten la visualización de registros, simulador de viajes en 3D, MSE, torque, arrastre, cálculos hidráulicos y recepción de parámetros vía estándares WITS0 y WITSML.

El establecer lineamientos basados en marcos de referencia de arquitectura empresarial y la definición de la hoja de ruta teniendo como guía la optimización y gestión de la base de datos, además de la migración a la nube de las herramientas, todo esto alineado a las especificaciones dadas por VDI, le permitirá a la gerencia de perforación y completamiento de Ecopetrol:

1. Realimentación de lecciones aprendidas en función de la data histórica.
2. Hacer estudios predictivos y prescriptivos teniendo en cuenta la información de los pozos.
3. Establecimiento de nuevas metodologías para la optimización de procesos de perforación.

Por lo anterior, para Ecopetrol es muy importante mantener las herramientas de análisis y las bases de datos de información de perforación actualizadas, de esta forma se mantiene el repositorio y se pueden realizar las tareas de análisis de datos que apoyan la planeación de campañas de perforación con información de alta calidad, y cumpliendo con los lineamientos definidos por la Vicepresidencia Digital de Ecopetrol (VDI).

El presente proyecto tiene como finalidad suministrar un marco conceptual de arquitectura empresarial enfocado en optimización del flujo de información para apoyar la toma de decisiones estratégicas, generando una hoja de ruta de desarrollo de herramientas software que faciliten la gestión de información para el grupo de geomecánica del ICP.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y MARCO TEÓRICO

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

“La constante evolución de la sociedad y el avance del país hacia una economía digital caracterizada por factores como el conocimiento, la digitalización de la información, la interconexión y la innovación” (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2018, p.6) han impulsado a que al interior del Estado se implementen estrategias que permitan a las entidades públicas satisfacer necesidades y resolver problemáticas a través del aprovechamiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones, a fin de mejorar la calidad de los servicios que se prestan a los ciudadanos (MINTIC, 2018)

La política de gobierno digital emprendida en los últimos años por el Estado colombiano tiene por objeto fundamental la “generación de valor público en un entorno de confianza digital” (MINTIC, 2018, p.14) buscando que las entidades usen la tecnología para apoyar la resolución de problemas reales.

2.1.1 Arquitectura Empresarial en Ecopetrol

En el año 2007, Ecopetrol adopta el modelo COSO para la gestión de control interno, el cual es un documento que contiene las principales directivas para la implantación, gestión y control de un sistema de control (Otero, 2016).

En el año 2008, la DTI (Dirección de Tecnología de Información), hoy VDI, decide adoptar COBIT, como marco para la implementación del sistema de gestión de tecnologías de información, integrando los esfuerzos de iniciativas en curso, relacionadas con el Diseño e implementación de Servicios (ITIL), la Gestión por Procesos, Control Interno y cumplimiento de regulaciones nacionales e internacionales.

DTI eligió COBIT como el marco de gobierno de TI adecuado para integrar un sistema de gestión de TI, basado en las siguientes características de COBIT.

Inicialmente la DTI de Ecopetrol define los lineamientos, procesos y objetivos de control a implementar, seguido de una identificación de recursos internos que

apoyarían la implementación del sistema y los recursos asignados a contratar a los consultores externos.

A lo largo del año 2010 y de acuerdo con las medidas de corrección y auditorías realizadas se logra confirmar el nivel 3 de madurez de los procesos de gestión de tecnología de información bajo la metodología COBIT.

El 19 de diciembre de 2015, el comité de arquitectura formuló la estrategia en gestión de información con los siguientes objetivos (Vicepresidencia Digital - Ecopetrol, 2019):

Figura 2. Estrategia en gestión de información

| | | | |
|-------------------------------------|---------------------|--|--|
| VISION | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ La información es un activo de la organización ▪ Información Confiable, Segura y Oportuna | |
| GOBIERNO | ORGANIZACION | Junta Directiva – Presidencia – CAE ⁽¹⁾ / STA ⁽²⁾ / responsables por proceso | Areas Funcionales / DTI / UTI |
| PROCESOS Y CAPACIDADES | | Datos E&P – Documental - Datos Maestros – Calidad de información | Analítica de Información Business Intelligence / Hub |
| ARQUITECTURA Y SEGURIDAD | | Arquitectura de Información | Servicios de TI |
| | | Seguridad y Privacidad de la Información | |

Fuente: Comité de Arquitectura Empresarial – 2015-11-19 (Vicepresidencia Digital - Ecopetrol, 2019)

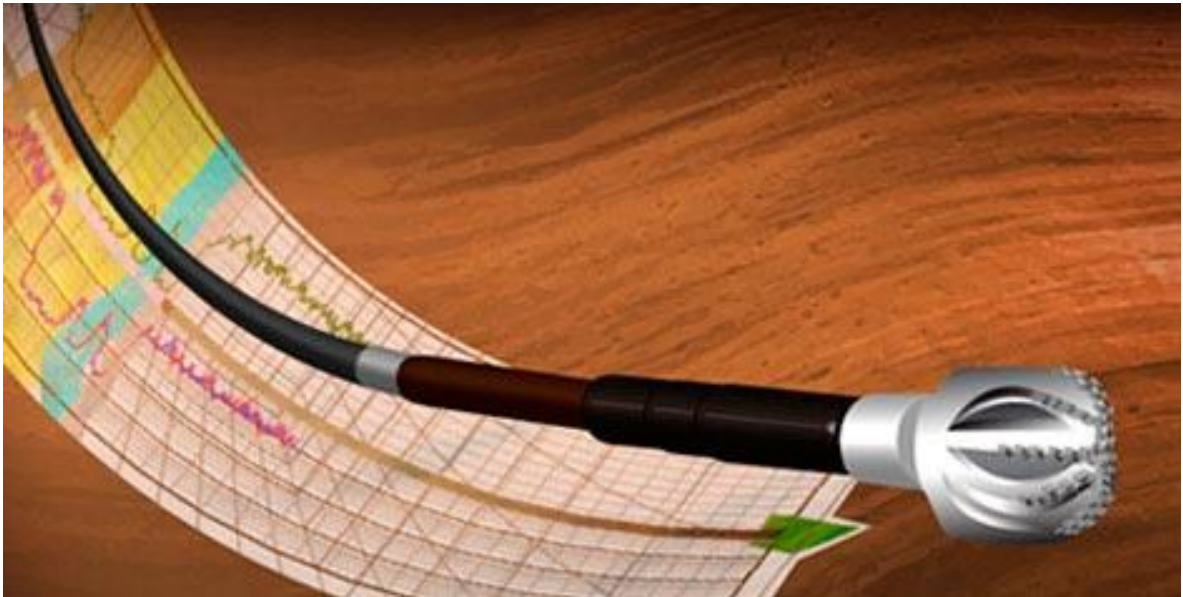
- **Visión:** La información declarada como un activo en la organización cumpliendo con los atributos de calidad de la información. Esta información debe estar integrada en un único modelo de información y soportada en sistemas de información adecuados para tal fin.
- **Gobierno y organización:** Las áreas de Ecopetrol empoderadas en el manejo de la información con definiciones claras sobre su responsabilidad sobre la misma
- **Procesos y capacidades:** La calidad de la información y su clasificación asegurada desde los procesos de negocio que generan o modifican dicha

información. Esto a través de definiciones de roles tal como lo son: Ejecutivos de proceso, dueños de proceso, responsables de la información, administradores de datos maestros, arquitectos de información.

- Arquitectura y seguridad de la información: Definiciones asociadas con el modelo de información de Ecopetrol y la forma como se alimenta dicho modelo y se visualizan consultas al mismo modelo. Estos modelos se administran y actualizan a través de la arquitectura objetivo y las prácticas de calidad y seguridad de la información.

2.1.2 Perforación y estándares

Figura 3. Taladros para lectura de información en tiempo real (diagramación).



Fuente: Tomado de (WORLD ENERGY TRADE, 04)

La manera más eficaz de verificar la existencia de hidrocarburos es realizando la perforación de un pozo en el sitio de investigación geológica. Debe tenerse en cuenta que el proceso de perforación implica altas inversiones de capital. Los pozos antes de ser perforados, se les realizan estudios teóricos y de simulación en procesos sísmicos y de yacimientos, entre otros. Iniciada la perforación, los sensores de los taladros envían la información obtenida (Profundidad vs Tiempo, Radio del pozo, Litología, Operaciones realizadas en cada tiempo y profundidad,

Datos de desviación y trayectoria, Registro de eventos, Curva Velocidad de perforación, etc.) a una unidad central de recepción de información (estación de monitoreo).

Los avances tecnológicos, la caída de los costos de la digitalización y la creciente conectividad de los dispositivos brindan una oportunidad real a las empresas petroleras y de gas del segmento producción (*UpStream*) de mejorar procesos aprovechando el potencial de la transformación digital. El declive de los precios hasta cotas más bajas y la baja de los beneficios de explotación han generado un incentivo adicional y una necesidad, para que las empresas recorten millones de sus costos de explotación y logren que su base de activos sea más inteligente y eficiente (Centro para Soluciones de Energía de Deloitte, 2018).

El principal interés en el análisis de los datos de perforación aparece como necesidad de:

- Realizar validaciones entre los modelos y estudios teóricos contra mediciones de sensores cuando se realiza la perforación.
- Tomar decisiones en tiempo real durante la perforación.
- Obtener información para planear nuevos pozos.
- Determinar parámetros óptimos para la perforación.
- Predecir y ajustar modelos geo-mecánicos.

Teniendo en cuenta los masivos volúmenes de datos y la continua recepción e interpretación, los archivos en formato LAS (texto tabulado) describen únicamente estructuras de datos lineales y no es aplicable a estructuras jerárquicas complejas. Es de destacar que cada proveedor que utiliza el formato de texto LAS implementa sus propias estructuras de almacenamiento, incompatibles con otras bases de datos.

Para la transmisión de datos desde el sitio de la plataforma a las oficinas de compañías, integradores y operadores de servicios de campos petroleros la tecnología de referencia de la industria es el estándar WITSML. También se utiliza para compartir información entre socios, proveedores y agencias gubernamentales.

WITSML es un estándar abierto, no patentado (Energistics, 2019), disponible para descarga gratuita desde el sitio web de Energistics. Por lo tanto, cualquier organización que planifique el uso y la implementación de un cliente o un servidor WITSML puede tener acceso a él. WITSML no especifica cómo se deben almacenar

los datos. Es solo un formato de intercambio, transmitido a través de un servicio web. WITSML utiliza SOAP (Protocolo simple de acceso a objetos) como protocolo de transporte. Es independiente de la plataforma y los sistemas operativos de servidores y clientes, lo que le otorga una alta interoperabilidad y una gran portabilidad.

Figura 4. Logo WITSML



Fuente: Tomado de (Energistics, 2019)

WITS0 (Especificación de Transferencia de Información de Pozos) es otra especificación para gestión de información de perforación. El objetivo de cada uno de estos estándares es esencialmente el mismo, la capacidad de transferir fácilmente los datos de perforación.

WITS0 es un estándar de la industria de mediados de los años 80 que utiliza un formato de archivo binario para transferir datos de perforación de pozos. WITSML se basa en la web y se basa en tecnología XML, que es independiente de la plataforma y del lenguaje.

Todavía pueden existir algunas implementaciones de WITS, pero todos los nuevos desarrollos deben hacerse usando WITSML.

En el mundo, diferentes compañías petroleras (aproximadamente 30) han desarrollado sus sistemas para transmisión de información de perforación para ser registradas en sus propias bases de datos (*Baker Hughes, CoreLogiQ, Geologix, Halliburton, Kongsberg, Navita Origo Solutions, PDS Group, Petrolink, Richfit Information Technology Co., Ltd., Schlumberger, TDE Thonhauser Data Engineering GmbH, Weatherford, Wellcoms, DigiDrill, HRH Gravitas, Independent Data Services, Interactive Network Technologies, Laversab, Lios (Photonics), Navita Origo, OFI India, Pason, Perfomix, Petris Technology, PetroDAQ, Polaris Guidance, Radmond, Smith International, Tech Mahindra*) (Energistics, 2019).

Tabla 1. Sistemas desarrollados por empresas del sector petrolero

| Empresa | Aplicación | Fecha de Certificación | Versión |
|--|--|--------------------------------------|----------------|
| <i>DigiDrill</i> | <i>LiveLog/WITSML™</i> | <i>Certified Jun 2017</i> | 1.3.1 |
| <i>Geologix</i> | <i>GEO Software Suite v5.70.xx</i> | <i>Self-Certified Mar 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Geologix</i> | <i>Wellstore v1.00.00</i> | <i>Certified Feb 2010</i> | 1.3.1 |
| <i>Halliburton</i> | <i>DecisionSpace v5000.9.2.10</i> | <i>Certified March 2017</i> | 1.3.1 |
| <i>Halliburton</i> | <i>OpenWire v2003.0.8.1</i> | <i>Self-Certified May 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>HRH Gravitas</i> | <i>Gravitas v2.0</i> | <i>Self-Certified Nov 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Independent Data Services</i> | <i>DataNet2</i> | <i>Self-Certified Jul 2009</i> | 1.3.1 |
| <i>Interactive Network Technologies</i> | <i>Enterprise Wellbore Viewer v3.0</i> | <i>Self-Certified April 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Knowledge Systems now Halliburton</i> | <i>Drillworks ConnectML v1.3.1</i> | <i>Self-Certified Oct 2007</i> | 1.3.1 |
| <i>Kongsberg</i> | <i>Discovery Portal v1.2</i> | <i>Self-Certified Feb 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Kongsberg</i> | <i>Discovery Wells v3.4</i> | <i>Self-Certified Feb 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Kongsberg</i> | <i>Discovery Web™ v1.16</i> | <i>Self-Certified Feb 2010</i> | 1.3.1 |
| <i>Kongsberg</i> | <i>SiteCom v2007R1</i> | <i>Self-Certified Feb 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Laversab</i> | <i>WITSML™ Server</i> | <i>Self-Certified Mar 2019</i> | 1.3.1 |
| <i>Lios (Photonics)</i> | <i>DTS WITSML™ Data Interface v1.0</i> | <i>Self-Certified Feb 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Navita Origo</i> | <i>Navita WITSML™ Server</i> | <i>Certified Aug 2017</i> | 1.3.1 |

| Empresa | Aplicación | Fecha de Certificación | Versión |
|--------------------------|---|--------------------------------------|----------------|
| <i>OFI India</i> | <i>WellDataNub v1.0</i> | <i>Certified May 2013</i> | 1.3.1 |
| <i>Pason</i> | <i>WITSML™ Service v2.1</i> | <i>Self-Certified Nov 2010</i> | 1.3.1 |
| <i>PDS Group</i> | <i>PDS WITSML™ Studio Store v2018.1</i> | <i>Certified May 2018</i> | 1.3.1 |
| <i>Perfomix</i> | <i>PetroField Genie, v1.5</i> | <i>Self-Certified March 2010</i> | 1.3.1 |
| <i>Perfomix</i> | <i>PetroGistics Server, v1.8</i> | <i>Self-Certified March 2010</i> | 1.3.1 |
| <i>Petris Technology</i> | <i>PetrisWINDS DrillNET v1.1</i> | <i>Self-Certified Nov 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Petris Technology</i> | <i>PetrisWINDS Recall Version N/A</i> | <i>Self-Certified Nov 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>Acquisition System v5</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>Data Studio v1.1</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>Drilling Control System v1</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>Drilling Guidance v1</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>Realtime Viewer v1</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>WITSML™ Console v1</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>WITSML™ Store Linux v1</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>PetroDAQ</i> | <i>WITSML™ Store Windows v1</i> | <i>Self-Certified July 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>Petrolink</i> | <i>PowerCollect v1.0</i> | <i>Self-Certified June 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Petrolink</i> | <i>PowerStore v1.0</i> | <i>Self-Certified June 2008</i> | 1.3.1 |

| Empresa | Aplicación | Fecha de Certificación | Versión |
|----------------------------|---|---------------------------------------|----------------|
| <i>Petrolink</i> | <i>PowerSwitch v1.0</i> | <i>Self-Certified June 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Petrolink</i> | <i>PowerView v1.0</i> | <i>Self-Certified June 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Petrolink</i> | <i>Saudi Aramco DRTDH v1.0</i> | <i>Self-Certified June 2009</i> | 1.3.1 |
| <i>Polaris Guidance</i> | <i>Remote Drilling System v2.5</i> | <i>Self-Certified August 2012</i> | 1.3.1 |
| <i>Radmond</i> | <i>RWEP v1.1.0.121</i> | <i>Certified June 2015</i> | 1.3.1 |
| <i>Schlumberger</i> | <i>InterACT v8.1</i> | <i>Certified June 2015</i> | 1.3.1 |
| <i>Smith International</i> | <i>WITSML™ Store/Services v1.0</i> | <i>Self-Certified May 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Smith International</i> | <i>Yield Point Realtime</i> | <i>Self-Certified May 2008</i> | 1.3.1 |
| <i>Tech Mahindra</i> | <i>WITSML™ Server v1.0.0.3</i> | <i>Certified September 2015</i> | 1.3.1 |
| <i>Wellcoms</i> | <i>Wellcoms WITSML™ Server v1.3</i> | <i>Certified May 2018</i> | 1.3.1 |
| <i>Baker Hughes</i> | <i>PetroSocial Drilling Data Hub v2.5.0.1</i> | <i>Passed 2014-10-10;</i> | 1.4.1 |
| <i>CoreLogiq</i> | <i>CoreLogiq WITSML™ Store 1.0</i> | <i>Passed 2019-09-26;</i> | 1.4.1 |
| <i>Geologix</i> | <i>Geologix WellStore 1411 v2.00.18</i> | <i>Passed 2014-09-17;</i> | 1.4.1 |
| <i>Halliburton</i> | <i>DecisionSpace for WITSML™ v5000.9.6.10</i> | <i>Passed 2015-03-16;</i> | 1.4.1 |
| <i>Kongsberg</i> | <i>SiteCom Store v9.12.4.22</i> | <i>Passed 2015-05-22;</i> | 1.4.1 |
| <i>Navita Solutions</i> | <i>Origo Navita v1.4.1.1 WITSML™ Server, v3.0.0</i> | <i>Passed 2019-06-24;</i> | 1.4.1 |

| Empresa | Aplicación | Fecha de Certificación | Versión |
|---|---|-------------------------------|----------------|
| <i>PDS Group</i> | <i>PDS WITSML™ Studio Store v2018.1.18122 New objects added</i> | <i>Passed 2018-01-01;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>Petrolink</i> | <i>PetroVault 2.0 Server v2.2</i> | <i>Passed 2014-09-17;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>Petrolink</i> | <i>Petrovault Secure Cloud v3.0</i> | <i>Passed 2015-10-13;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>Richfit Information Technology Co., Ltd.</i> | <i>EPAI-WITSML™ Server V1.0.0</i> | <i>Passed 2016-05-19;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>Schlumberger</i> | <i>InterACT 8.3</i> | <i>Passed 2015-08-11;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>TDE Thonhauser Data Engineering GmbH</i> | <i>proNova WITSML™ Store 4.7</i> | <i>Passed 2017-10-18;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>Weatherford</i> | <i>Weatherford WITSML™ Server v2.3.3</i> | <i>Passed 2014-09-17;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>Wellcoms</i> | <i>Wellcoms WITSML™ Server 1.4</i> | <i>Passed 2018-08-15;</i> | <i>1.4.1</i> |
| <i>ROGTEC (Rusia)</i> | <i>Wellook</i> | | |

Fuente: Tomado de (Energistics, 2019)

El seguimiento con tecnologías en tiempo real para la optimización de la perforación ha evolucionado de un simple monitoreo de la operación remota para saber el estado del pozo a la detección y prevención de eventos operativos indeseados más allá de la broca. Empresas como PEMEX y *Saudi Aramco* son líderes en la adopción del estándar de WITSML.

Caso Pemex (Rodriguez, Villalobos, Leon, & Perez, 2012)

Pemex cuenta con varias compañías importantes de servicios, software y compañías más pequeñas presentes en los sitios de perforación manejando los

datos que se generan. Cada compañía de servicio tenía su propia estructura de datos y aplicaciones de visualización. Como resultado, los usuarios copiaban o volvían a escribir los datos desde la aplicación de un proveedor a otro con el fin de juntar la información para realizar el análisis.

Para reducir el esfuerzo manual involucrado, Pemex implementó una solución con base WITSML. Los datos ahora ingresan a un único repositorio de datos WITSML provenientes de todos sus proveedores. Se les adicionan valores de referencia comunes durante el proceso de carga. Esto eliminó aplicaciones específicas de proveedores, lo cual resolvió los datos duplicados y mejoró la calidad de los datos. El trabajo manual realizado para resolver las diferencias se eliminó.

Caso Saudi Aramco (Al Khudiri , James, & Curtis, 2013) (Kashif & Khudiri, 2017).

Saudi Aramco la conforman compañías de servicios múltiples y software involucradas en el proceso de perforación. Cada una de estas compañías de servicios tiene su propia infraestructura de software y herramientas de visualización. Como inconveniente, hay falta de contenido coherente y no tienen formatos estándar. No hay conexión entre los datos de tiempo real y los repositorios de datos históricos.

Saudi Aramco implementó una solución basada en WITSML. Los datos ingresan a un repositorio WITSML desde todos los proveedores participantes en un proyecto de perforación. Al registrar los datos estos son almacenados y se les aplican valores de referencia. El repositorio de datos históricos se trasladó a un repositorio de datos WITSML. Los datos históricos validados mejoraron la calidad de tiempo real de los datos. El análisis integrado ha reducido la repetición del trabajo y la reclasificación de los datos lo cual libera tiempo para que es asignado a procesos importantes del trabajo.

Caso Rusia

En Rusia, con la llegada del campo petrolífero “digital”, uno de los elementos principales del sistema de gestión interactiva de los campos de petróleo y gas es la aplicación tecnológica *Wellook*, basada en el uso de los estándares internacionales más modernos, que incluyen el estándar de intercambio abierto de datos WITSML de Energistics (Vladimir Turchaninov, Zakharova, & Hubbard, 2013).

Welllook es un sistema de monitoreo de operaciones de pozos en línea y soporte de información para la construcción de pozos. Los convertidores de datos en tiempo real de *Welllook* se desarrollaron e implementaron en unidades de mud logging de diferentes proveedores, que trabajan en el territorio de la antigua URSS. Los datos entrantes y salientes se comunican en formato WITSML.

Caso Ecopetrol – ICP

Para dar apoyo a los procesos relacionados a la perforación de pozos, la gerencia de perforación y completamiento del ICP ha desarrollado dos herramientas, EcoAGE y ecoDRILL.

EcoAGE nace como necesidad de una herramienta con capacidades de realizar modelado geomecánica, con el fin de planificar la perforación de pozos petroleros. El equipo de trabajo de geomecánica de Ecopetrol desarrolló la herramienta para el análisis geo-mecánico de estabilidad de pozo EcoAGE, un software que se alimenta de datos de registros de pozos, historias de perforación, estudios de muestras de roca de pozos análogos y análisis realizados en el laboratorio de mecánica de rocas del ICP.

La especificación WITS0 se implementa en EcoAGE con el fin apoyar la toma de decisiones por parte de expertos en geo-mecánica cuando se realiza monitoreo en tiempo real de parámetros de perforación provenientes de sensores de pozos. EcoDRILL nace en el 2017 como la necesidad de tener una herramienta que apoye en el proceso de ejecución de perforación de pozos petroleros.

El estándar WITSML (*Wellsite Information Transfer Standard Markup Language*), con el fin de solventar las dificultades propias de la especificación WITS0, se implementa en ecoDRILL como un cliente que obtiene la data proveniente de servidores WITSML y aprovechando las ventajas propias del estándar WITSML, se diseñan e implementan algoritmos para determinar operaciones en tiempo real.

EcoAGE y ecoDRILL son desarrollos *in-house* y en el momento presentan inconvenientes para ser utilizados en un entorno de producción debido a licenciamiento de componentes y alineamiento a los requerimientos dados por la Vicepresidencia Digital de Ecopetrol.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marcos de Referencia de Arquitectura Empresarial

Un ejercicio de Arquitectura Empresarial explica de manera detallada cómo los elementos de TI de una empresa, los sistemas de información, la estructura organizacional, los procesos y el talento humano se integran y trabajan de forma conjunta e integral.

La Arquitectura Empresarial da como resultado no solo un diagnóstico de la situación tecnológica actual de la organización, sino que además entrega parámetros a seguir para que todas las áreas logren alinearse.

Se describen los marcos de referencia o *framework* de Arquitectura Empresarial más conocidos.

2.2.1.1 Marco de Arquitectura Empresarial de Zachman. El concepto de Arquitectura Empresarial tiene origen en el año de 1987 con la publicación del artículo de John A. Zachman en el Diario *IBM Systems*, "Un marco para la arquitectura de sistemas de información" (Zachman International, s.f.), donde el autor establece tanto el desafío como la visión de la Arquitectura Empresarial, que sirvió para orientarla durante los siguientes años y hasta hoy.

Zachman consideraba que el éxito de una empresa dependía de sus sistemas de información, los cuales requieren de una orientación y organización para gestionarlos eficientemente. La perspectiva de un enfoque en la arquitectura de sistemas es lo que Zachman originalmente describió como una arquitectura de sistemas de información, que evolucionó al concepto de un marco de Arquitectura Empresarial como se conoce hoy en día.

John Zachman basado en prácticas de arquitectura e ingeniería tradicionales introdujo el *Zachman Framework*, este marco es una estructura bidimensional para clasificar y organizar los elementos de una empresa.

El *framework* contiene seis filas y seis columnas que producen 36 celdas o aspectos. El eje vertical proporciona perspectivas de la arquitectura. El eje horizontal una clasificación de los diferentes artefactos.

Las filas están compuestas por:

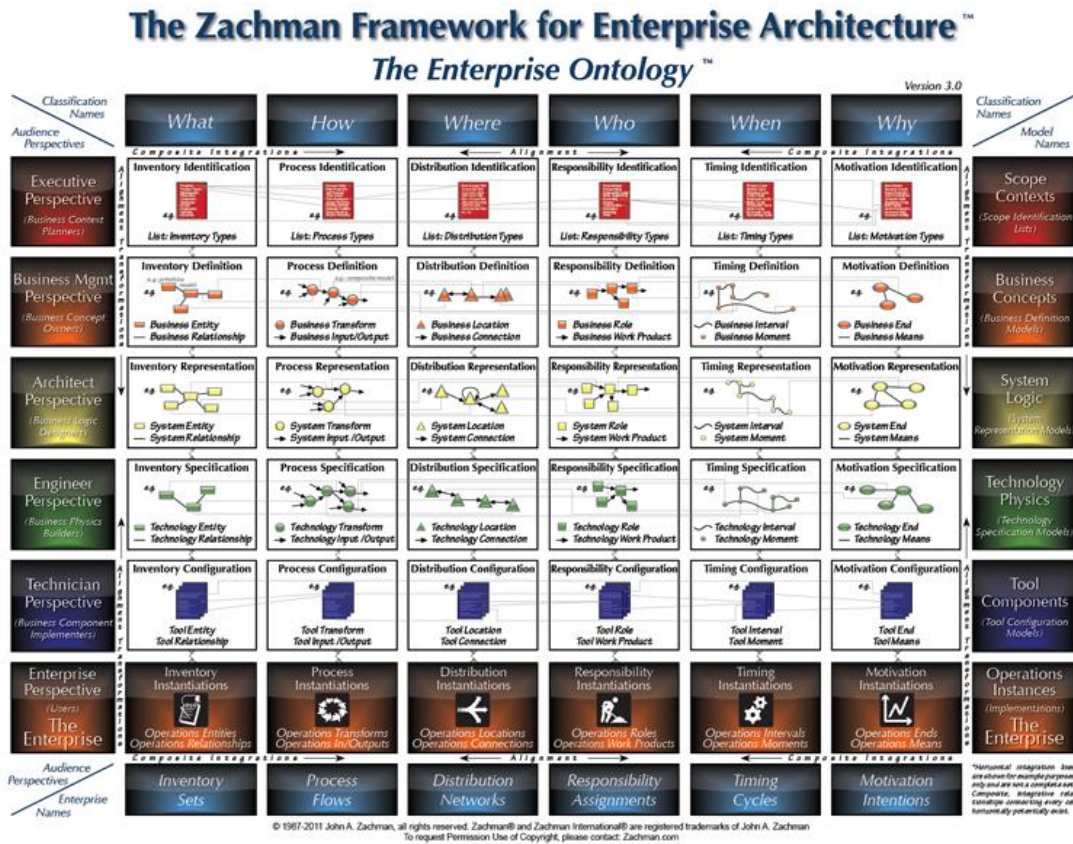
- Alcance/planeador: Se ocupa del contexto de la empresa, de su entorno competitivo, de los aspectos internos y externos que influyen en su competitividad, del posicionamiento de sus productos y servicios. Esta perspectiva cubre los componentes del nivel estratégico.
- Modelo de negocio/propietario: Se interesa en la operación del negocio mediante modelos de procesos, flujos de trabajo y planes de negocio que le permitan controlar la operación de la empresa. Esta perspectiva se centra en el proceso de negocio, por lo que constituye en buena medida el nivel de procesos.
- Modelo de sistema/diseñador: Tiene que ver con la especificación de los planos conceptuales de los sistemas de información que se requieren para soportar la operación de los procesos.
- Modelo de tecnología/constructor: Se encarga del ensamblado y fabricación de los diversos componentes de los sistemas de información de acuerdo con las restricciones de la tecnología utilizada.
- Componentes/contratista o implementador: Trabaja en la fabricación de los componentes de acuerdo con las especificaciones del constructor.
- Sistema trabajado.

Las columnas se componen de:

- ¿Qué?: Se refiere Los datos, sus relaciones y significados
- ¿Cómo?: Hace alusión a Los procesos y funciones de la empresa
- ¿Dónde?: Indica la ubicación, que comprende red, tecnologías, distribución y localización de procesos, funciones y sistemas
- ¿Quién?: Tiene que ver con las personas que forman parte de la compañía, considerando aspectos que van desde la seguridad y roles hasta la organización de la compañía y los flujos de trabajo existentes
- ¿Cuándo?: Determina el tiempo representando ciclos, estructuras de proceso, de control y eventos de negocio
- ¿Por qué?: Se refiere a las motivaciones en los diferentes segmentos de la compañía: objetivos de negocio, planes estratégicos, diseño y especificación de reglas, etc.

En la Figura 5 se muestra el esquema general del marco de referencia de AE propuesto por Zachman:

Figura 5. Marco de trabajo de Zachman



Fuente: Tomado de (Zachman International, s.f.)

2.2.1.2 TOGAF. "... la arquitectura empresarial se puede definir de dos posibles formas dependiendo del contexto en que se utilice, la primera a través de una descripción formal de un sistema o un plan detallado de un sistema en cuanto a sus componentes para guiar su implementación; o la segunda es con una estructura de componentes, sus interrelaciones, y los principios y guías que gobiernan su diseño y evolución en el tiempo" (The Open Group, 2019).

TOGAF es una de las metodologías más populares para desarrollar AE, que permite Planificar, Diseñar, Evaluar e Implementar la Arquitectura Empresarial de información en una organización.

TOGAF es un *Framework* de Arquitectura Empresarial que proporciona los métodos y herramientas para ayudar en la aceptación, la producción, uso y mantenimiento

de una arquitectura empresarial. Se basa en un modelo de proceso iterativo con el apoyo de mejores prácticas y un conjunto reutilizable de los activos de la arquitectura existente (The Open Group, 2019). Se basa en una plataforma descriptiva que utiliza una serie de modelos para entender la estructura de los procesos de cualquier organización.

Se describe el proceso de desarrollo cíclico de TOGAF denominado *Architecture Development Method* (ADM).

El ADM incluye el *Framework* de arquitectura, donde se desarrollan los contenidos, la transición, y regulación de la realización de arquitecturas. Todas estas actividades se llevan a cabo dentro de un ciclo iterativo de definición de la arquitectura y la realización continua que permite a las organizaciones a transformar las empresas de una manera controlada en respuesta a los objetivos de negocio y oportunidades. (The Open Group, 2019)

TOGAF plantea en calidad de Método de Desarrollo de la Arquitectura (ADM) las siguientes fases que se describen a continuación (Véase *Figura 6. Architecture Development Cycle*):

- FASE PRELIMINAR

Esta fase contribuye a establecer la definición de la empresa y el contexto en el cual se desarrollan sus actividades.

- FASE A: VISIÓN DE LA ARQUITECTURA

La elaboración de esta fase permitirá conocer los requerimientos de la arquitectura empresarial.

- FASE B: ARQUITECTURA DE NEGOCIO

En esta fase se complementa la visión de la arquitectura y sus requerimientos, además define la estructura organizacional de la empresa, los requerimientos del negocio, los interesados y sus preocupaciones, además de los riesgos que pueden alterar el desarrollo normal de los procesos de negocio de la empresa.

En esta fase también se puede encontrar una versión inicial del marco de referencia que será tenido en cuenta en el desarrollo de la arquitectura.

- FASE C: ARQUITECTURA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN

En esta fase se definen los aspectos fundamentales en los sistemas de información, estos están distribuidos en tipos de información de alta importancia en la empresa junto a sus sistemas de aplicación que los procesan y las relaciones entre cada uno y el ambiente, al igual que los procesos que gobiernan su diseño y evolución.

- FASE D: ARQUITECTURA TECNOLÓGICA

En esta fase se especifica como el sistema de información recibirá soporte por medio de un componente, tanto basado en Hardware como en Software, al igual que la comunicación y relación con el negocio.

- FASE E: OPORTUNIDADES Y SOLUCIONES

Permite complementar el diseño de la arquitectura tecnológica, evaluando las prioridades que deben ser tenidas en cuenta en la realización de esta.

- FASE F: PLANEACIÓN DE MIGRACIONES

Se desarrolla un plan de implementación y migración detallado, además, permite complementar y evaluar la arquitectura tecnológica, teniendo en cuenta los procesos del negocio.

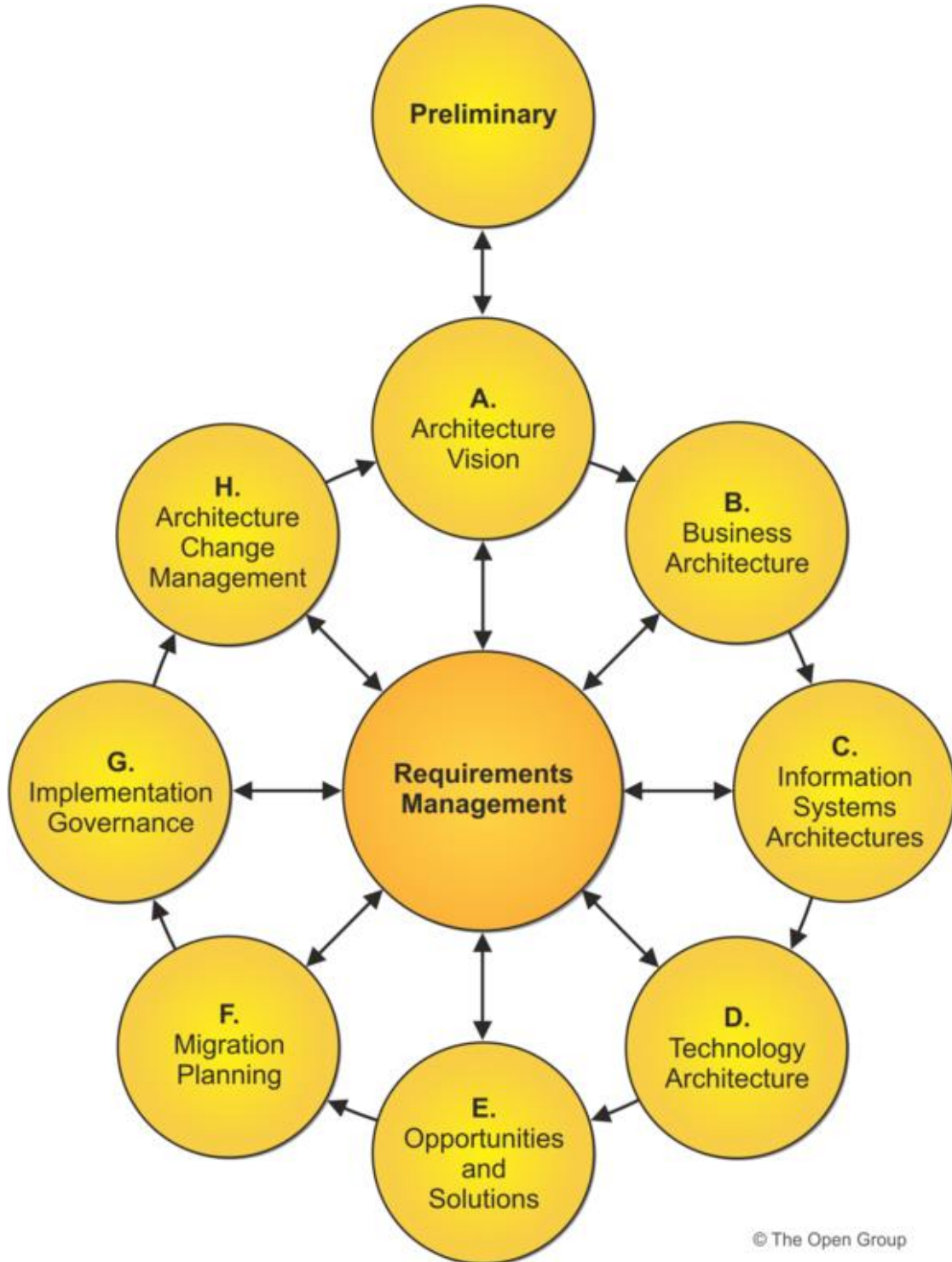
- FASE G: GOBERNABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN

En esta fase se provee una supervisión arquitectónica de la implementación, se define limitaciones existentes en los proyectos de implementación, los contratos de arquitectura, se monitorea el trabajo de implementación y se estima el valor de negocios.

- FASE H: GESTIÓN DE LA ARQUITECTURA DE CAMBIO

Permite realizar las pruebas necesarias para verificar el correcto funcionamiento de la arquitectura y gestionar los cambios que sean pertinentes realizar.

Figura 6. Architecture Development Cycle.



Fuente: Tomado de (The Open Group, 2019)

2.2.2 Perforación

Figura 7. Esquema de un equipo de perforación

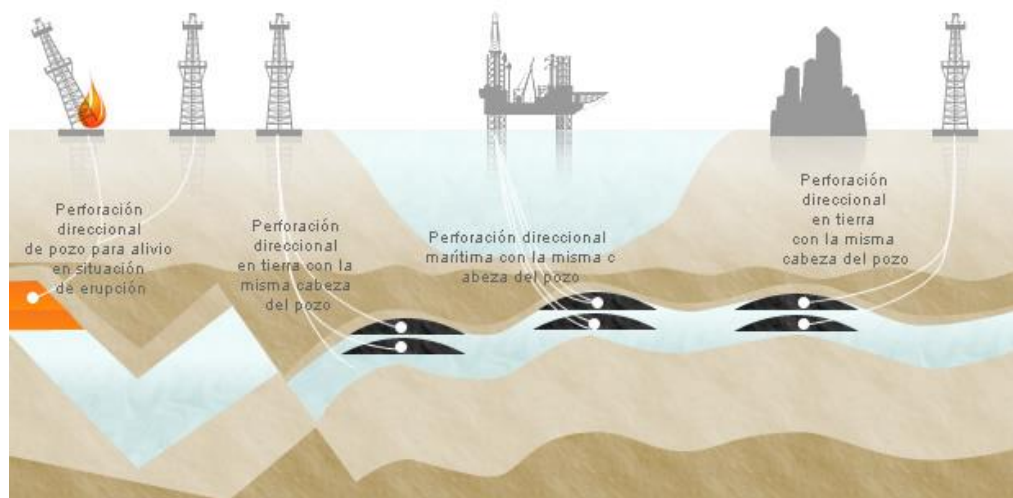


Fuente: Tomado de (Osinergmin)

La perforación de un pozo es una operación compleja. Las rocas se perforan usando un taladro rotativo. Se trata de una estructura de metal muy resistente, equipado con dientes de acero o una corona de diamantes industriales. Los taladros se eligen de acuerdo con la dureza de la roca a perforar, el diámetro del agujero que se pretende abrir y la profundidad que se desea lograr.

La perforación es un proceso que consiste en hacer un agujero mediante la rotación de la sarta de perforación y la aplicación de una fuerza de empuje en el fondo. La perforación rotatoria consiste en realizar un agujero por medio de un movimiento rotatorio y una fuerza de empuje del taladro sobre la roca, convirtiéndola en recortes. El movimiento rotatorio se puede generar y aplicar en la superficie a través de una máquina rotatoria y se transmite por medio de la sarta de perforación (MOORE, 1986).

Figura 8. Perforación direccional



Fuente: Tomado de (GALP)

En los taladros modernos, se han instalado sensores que permiten obtener y transmitir información de Profundidad vs Tiempo, Radio del pozo, Litología, Operaciones realizadas en cada tiempo y profundidad, Datos de desviación y trayectoria, Registro de eventos, Curva Velocidad de perforación, etc.

Figura 9. Brocas para perforación.



Fuente: Tomado de (Osinegmin)

2.2.3 Marco legal y normativo

El marco legal y normativo considera el cumplimiento de la Ley 1273 del 2009 (CONGRESO DE COLOMBIA, 2009), por medio de la cual se modifica el Código Penal, se crea un nuevo bien jurídico tutelado - denominado "de la protección de la información y de los datos"- y se preservan integralmente los sistemas que utilicen las tecnologías de la información y las comunicaciones, entre otras disposiciones, y donde se relaciona:

- Artículo 269A: Acceso abusivo a un sistema informático.
- Artículo 269B: Obstaculización ilegítima de sistema informático o red de telecomunicación.
- Artículo 269C: Interceptación de datos informáticos
- Artículo 269D: Daño informático.
- Artículo 269E: Uso de software malicioso.
- Artículo 269F: Violación de datos personales.
- Artículo 269G: Suplantación de sitios web para capturar datos personales.
- Artículo 269H: Circunstancias de agravación punitiva.
- Artículo 269I: Hurto por medios informáticos y semejantes.
- Artículo 269J: Transferencia no consentida de activos.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

La Arquitectura Empresarial es una metodología que se basa en una visión integral de la organización que permite alinear los procesos, datos, sistemas de información e infraestructura tecnológica con los objetivos estratégicos del negocio.

La pertinencia de este proyecto se deriva de la necesidad de lograr la alineación entre servicios del negocio y servicios de TI, lo cual permitirá unificar los principios para la implementación de las herramientas para la mejorar de procesos y optimizar el flujo de información a través de las TIC.

Figura 10. Etapas del desarrollo del proyecto



Fuente: Elaboración propia del autor

Para el proceso de desarrollo de este proyecto se establecen tres etapas como punto de referencia, detalladas a continuación:

- Etapa Preparatoria, para el sustento teórico del proyecto y de la Arquitectura Empresarial, recolección de información y revisión de aspectos generales para cada fase de la arquitectura empresarial siguiendo el marco de referencia TOGAF.
- Etapa de Desarrollo, comprende el trabajo que se realiza con el fin de construir la Arquitectura Empresarial.
- Etapa de Implementación, comprende la construcción del piloto basado en los requerimientos definidos en el análisis de oportunidades y soluciones, aplicando lineamientos de buenas prácticas.

Las fases relacionadas en la etapa de desarrollo de la arquitectura empresarial se ejecutan cíclicamente a través de cada uno de los tres dominios de arquitectura (negocio, arquitectura de sistemas de información y arquitectura tecnológica) y permiten asegurar que los requerimientos se aborden adecuadamente.

En la etapa de desarrollo de la arquitectura se abordará el Marco de Referencia de Arquitectura Empresarial TOGAF.

TOGAF logra descomponer una empresa de tal manera que sus procesos son descritos y manejados de forma rigurosa y ordenada, y se puede implementar en cualquier industria sin importar su tamaño, labor o producto.

Con el fin de elaborar la arquitectura empresarial se utiliza el marco de referencia TOGAF, el cual plantea en calidad de Método de Desarrollo de la Arquitectura (ADM) las siguientes fases que se describen a continuación:

- Fase Preliminar
- Fase A: Visión de la Arquitectura
- Fase B: Arquitectura de Negocio
- Fase C: Arquitectura de Sistemas de Información
- Fase D: Arquitectura Tecnológica
- Fase E: Oportunidades y Soluciones
- Fase F: Planeación de Migraciones
- Fase G: Gobernabilidad de la Implementación
- Fase H: Gestión de la Arquitectura de Cambio

Para el actual proyecto, se trabajarán las fases Preliminar, A, B, C, D y E.

Una institución cuenta con una Arquitectura Empresarial cuando ha desarrollado un conjunto de ejercicios o proyectos, siguiendo la práctica estratégica antes mencionada; además que ha logrado diseñar un mapa de ruta de transformación de TI. Los artefactos creados durante un ejercicio o proyecto de arquitectura empresarial se almacenan en un repositorio e incluyen, entre otros, una descripción detallada de la arquitectura empresarial actual, de la arquitectura empresarial objetivo, un análisis de brecha y un mapa de ruta para lograr llegar a la meta.

3.1 PLAN DE ACTIVIDADES

A continuación, se presentan las actividades y documentos entregables a realizar en cada etapa del desarrollo del proyecto (Véase Figura 10).

A. Etapa Preparatoria

1. Realizar la investigación previa para el sustento teórico del proyecto y de la Arquitectura Empresarial.
2. Realizar el anteproyecto
3. Realizar la recolección de información
4. Realizar la revisión de aspectos generales para cada fase de la arquitectura empresarial siguiendo el marco de referencia TOGAF
 - Realizar revisión de herramientas y tecnologías relacionadas a la fase de arquitectura de sistemas de información en el entorno de Ecopetrol
 - Realizar revisión de herramientas y tecnologías relacionadas a la fase de arquitectura tecnológica en el entorno de Ecopetrol

B. Etapa de Desarrollo

1. Fase Preliminar
 - Construir el documento del modelo de organización de la Arquitectura Empresarial.
2. Fase A: Visión de arquitectura
 - Construir el documento de declaración de arquitectura
 - Construir el documento de Principios de la arquitectura
 - Construir el documento de declaraciones refinadas de los principios de negocio, objetivos de negocio, y los conductores de negocios
3. Fase B: Arquitectura de negocio
 - Construir el documento de definición de arquitectura.
 - Construir el documento de Arquitectura de negocio destino

4. Fase C: Arquitectura de Datos y Aplicación
 - Construir el documento de Arquitectura de datos y aplicación destino
 5. Fase D: Arquitectura de Infraestructura/Tecnología
 - Construir el documento de Arquitectura de Infraestructura/Tecnología
 6. Fase E: Oportunidades y Soluciones
 - Construir el documento de la hoja de ruta de Arquitectura (*ROADMAP*)
- C. Etapa de Implementación
1. Seleccionar la(s) actividades a implementar
 2. Implementar un piloto de software
 3. Realizar las pruebas del piloto
 4. Realizar la puesta en marcha del piloto

En la Tabla 2 se presentan las relaciones entre los objetivos específicos definidos para el proyecto y las actividades y documentos entregables a realizar en cada etapa del desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Actividades a realizar por cada objetivo

| Objetivo específico | Actividad |
|--|--|
| Realizar un reconocimiento de los procesos y actividades ejecutadas por el grupo de geomecánica y perforación de la Gerencia de Perforación de Ecopetrol-ICP para definir la línea base con la que cuenta. | B. Etapa de Desarrollo 1.Fase Preliminar: Construir el documento del modelo de organización de la Arquitectura Empresarial. 2.Fase A - Visión de arquitectura Construir el documento de declaración de arquitectura Construir el documento de Principios de la arquitectura Construir el documento de declaraciones refinadas de los principios de negocio, objetivos de negocio, y los conductores de negocios |

| Objetivo específico | Actividad |
|--|---|
| <p>Definir lineamientos de buenas prácticas para resolver necesidades de organización de procesos, de información, de bases de datos y de estándares.</p> | <p>A. Etapa Preparatoria 4.Realizar la revisión de aspectos generales para cada fase de la arquitectura empresarial siguiendo el marco de referencia TOGAF *Realizar revisión de herramientas y tecnologías relacionadas a la fase de arquitectura de sistemas de información en el entorno de Ecopetrol *Realizar revisión de herramientas y tecnologías relacionadas a la fase de arquitectura tecnológica en el entorno de Ecopetrol</p> <p>B. Etapa de Desarrollo 5.Fase B - Arquitectura de negocio Construir el documento de definición de arquitectura. Construir el documento de Arquitectura de negocio destino</p> <p>7.Fase C - Arquitectura de Datos y Aplicación Construir el documento de Arquitectura de datos y aplicación destino</p> <p>8.Fase D: Arquitectura de Infraestructura / Tecnología Construir el documento de Arquitectura de Infraestructura / Tecnología</p> |
| <p>Identificar las oportunidades de mejora mediante el análisis de brechas de la Arquitectura (AS-IS, TO-BE) en el grupo de geomecánica y perforación de la Gerencia de Perforación con base en el marco de referencia TOGAF</p> | <p>B. Etapa de Desarrollo 5.Fase B: Arquitectura de negocio Construir el documento de definición de arquitectura. Construir el documento de Arquitectura de negocio destino</p> <p>7.Fase C: Arquitectura de Datos y Aplicación Construir el documento de Arquitectura de datos y aplicación destino</p> <p>8.Fase D: Arquitectura de Infraestructura / Tecnología Construir el documento de Arquitectura de Infraestructura / Tecnología</p> <p>9.Fase E: Oportunidades y Soluciones Construir el documento de la hoja de ruta de Arquitectura (ROADMAP)</p> |

| Objetivo específico | Actividad |
|--|---|
| Implementar un piloto de software como primera transformación digital basada en el análisis de oportunidades y soluciones, aplicando lineamientos de buenas prácticas. | <p>B. Etapa de Desarrollo</p> 9.Fase E: Oportunidades y Soluciones Construir el documento de la hoja de ruta de Arquitectura (<i>ROADMAP</i>) <p>C. Etapa de Implementación</p> 1.Seleccionar la(s) actividades a implementar 2.Implementar un piloto de software 3.Realizar las pruebas del piloto 4.Realizar la puesta en marcha del piloto |

Fuente: Elaboración propia del autor

4. PROPUESTA DE ARQUITECTURA EMPRESARIAL

La arquitectura empresarial consiste en la organización fundamental de un sistema o entidad, basada en sus componentes, relaciones entre ellos y el entorno, y los principios que gobiernan su diseño y evolución. Definición según la ISO/IEC 42010:2007

- Debe ser entendible por todos los usuarios implicados
- Debe ser accesible y conocida por toda la organización
- Es usable, es decir, debe facilitar la toma de decisiones cuando se prepara un cambio o un nuevo proyecto
- Es modificable, ya que las organizaciones cambian, la arquitectura debe evolucionar del mismo modo.

Este documento contiene toda la información relevante de la propuesta de arquitectura empresarial y como referencia para generar los documentos de evidencia en cada fase de la metodología, se utilizaron las plantillas definidas por TOGAF (TOGAF, 2019).

En la Tabla 3 se muestran las fases que se aplicaron en el desarrollo del proyecto, detallando los documentos a trabajar en cada fase, como marco de referencia de arquitectura empresarial adaptado.

Tabla 3. Marco de Referencia de Arquitectura Empresarial Adaptado

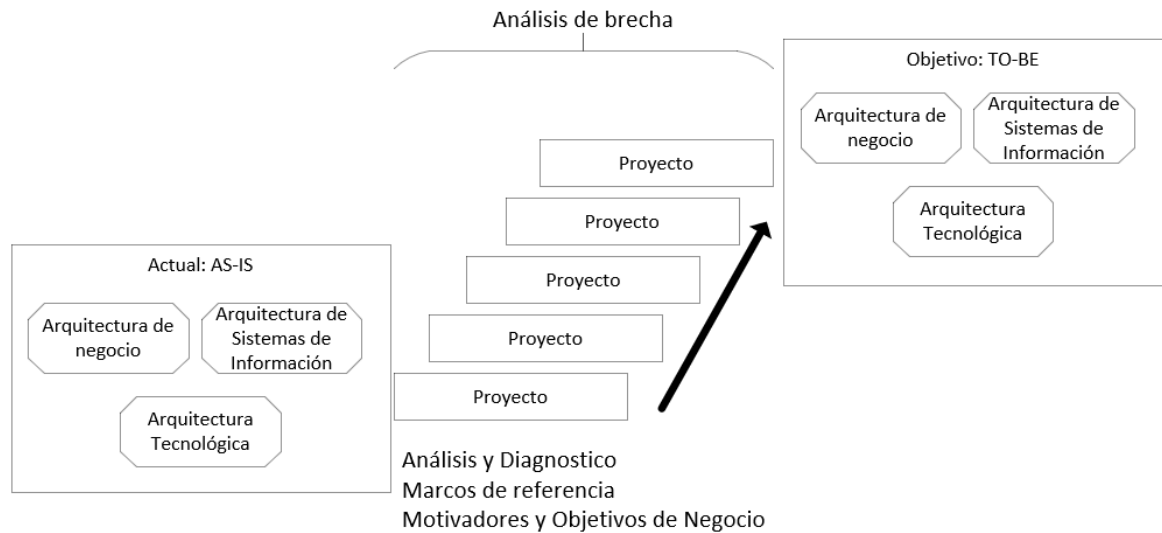
| Aplica | Fases | Documentos Entregables |
|---------------|-----------------------------------|--|
| SI | Fase Preliminar | <ul style="list-style-type: none"> • Marco de Referencia de Arquitectura Adaptado • Modelo de organización de la Arquitectura Empresarial - <i>Organizational Model for Enterprise Architecture</i> • Solicitud de Trabajo de Arquitectura - <i>Request for Architecture Work</i> |
| SI | Fase A: Visión de la Arquitectura | <ul style="list-style-type: none"> • Declaración de Trabajo de Arquitectura - <i>Statement of Architecture Work</i> • Principios de la arquitectura - <i>Architecture Principles</i> |

| Aplica | Fases | Documentos Entregables |
|---------------|--|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Declaraciones refinadas de los principios de negocio, objetivos de negocio, y los conductores - <i>Business Principles - Goals - Drivers</i> |
| SI | Fase B: Arquitectura de Negocio | <ul style="list-style-type: none"> • Definición de arquitectura - <i>Architecture Definition</i> • Arquitectura de negocio - <i>Architecture Definition</i> |
| SI | Fase C: Arquitectura de Sistemas de Información | <ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura de datos y aplicación - <i>Architecture Definition</i> |
| SI | Fase D: Arquitectura Tecnológica | <ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura Tecnológica - <i>Architecture Definition</i> |
| SI | Fase E: Oportunidades y Soluciones | <ul style="list-style-type: none"> • Hoja de ruta de Arquitectura (<i>ROADMAP</i>) |
| NO | Fase F: Planeación de Migraciones | No aplica |
| NO | Fase G: Implementación de la Gobernanza | No aplica |
| NO | Fase H: Gestión de la Arquitectura de Cambio | No aplica |

Fuente: Elaboración propia del autor

Para complementar la información, Véase el Anexo A. Marco de Referencia de Arquitectura Adaptado.

Figura 11. Ejecución del ejercicio de Arquitectura Empresarial



Fuente: Elaboración propia del autor

4.1 FASE PRELIMINAR

Esta fase se definen los principios generales y se identifica el modelo de la organización. Los entregables de esta fase son:

- El Modelo de organización de la Arquitectura Empresarial (*Organizational Model for Enterprise Architecture*)
- La Solicitud de Trabajo de Arquitectura (*Request for Architecture Work*)

4.1.1 Descripción general del grupo

El grupo de perforación del ICP pertenece al área de conocimiento de tecnologías de perforación y completamiento. El equipo de geomecánica nació en el año 2003 en el ICP. Debido a la estrecha relación entre el grupo de geomecánica con la gerencia de perforación de Ecopetrol, nació el grupo de perforación, en el cual se complementan las aplicaciones de geomecánica en el área de perforación.

Su campo de acción o áreas específicas de estudio se dividen en: área experimental y soporte tecnológico en lodos y cementos de perforación, soporte tecnológico geomecánica, área experimental de mecánica de rocas y área de integridad de

pozos, laboratorio de materiales. Los temas específicos de trabajo de cada área entre otros se identifican en la tabla a continuación.

Tabla 4. Áreas de Conocimiento y Actividades del grupo de perforación del ICP

| Área de conocimiento | Actividades |
|-----------------------------|---|
| Geomecánica | <ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento de estabilidad de pozo desde el laboratorio de RTOC como soporte a las perforaciones en diferentes partes del país. • Desarrollo y/o aplicación de metodologías de modelamiento geomecánico de estabilidad para las campañas de perforación de los campos de desarrollo y pozos exploratorios • Estudios de colapso de revestimiento y arenamiento de pozos para los campos de ECP • Desarrollo y/o aplicación de tecnologías de analítica de datos para el análisis de parámetros de perforación, análisis de fracturas críticamente estresadas, predicción de la calidad del hueco y análisis de arenamiento |
| Fluidos y cementos | <ul style="list-style-type: none"> • Validación de formulaciones de fluidos para las campañas de perforación • Verificación de calidad de productos suministrados • Evaluación de controladores de pérdida de circulación para lodos • Evaluación de controladores de pérdida de circulación para cementos. • Evaluación de nano productos como aditivos y nuevos materiales para lodos, cementos y píldoras • Evaluaciones de formulaciones de cementos suministradas por compañías contratistas para la campaña de perforación |
| Mecánica de Rocas | <ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de caracterización de mecánica de rocas y propiedades mecánicas |
| Integridad | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación y selección de materiales para completamiento de subsuelo. |

| Área de conocimiento | Actividades |
|-----------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de corrosividad y selección de tratamientos químicos para fluidos de completamiento y empaquetamiento. • Soporte en análisis de falla y caracterización de materiales de componentes fallados en operación. |

Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Misión: Formar investigadores y generar conocimiento científico que brinde soluciones tecnológicas en geomecánica aplicada a la estabilidad de pozo en yacimientos convencionales y no convencionales. La excelencia de nuestros resultados debe ser divulgados en publicaciones nacionales e internacionales, patentes y cursos, respetando la propiedad intelectual y la confidencialidad de la información.

Visión: En el año 2024 el Grupo de Perforación, será un referente a nivel nacional e internacional en lo que respecta a investigaciones y desarrollo de patentes geomecánica aplicada y a yacimientos no convencionales, adicionalmente brindará estrategias basadas en retroalimentaciones de situaciones análogas a la industria para solventar problemas de estabilidad de pozo.

Tabla 5. Integrantes del grupo de perforación

| Perfil | Funcionario / Contratista | Cantidad | Permanente / Asistente |
|---|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Director ICP | Funcionario | 1 | Asistente |
| Jefe Centro de Innovación y Tecnología | Funcionario | 1 | Asistente |
| Autoridad Técnica | Funcionario | 1 | Permanente |
| Ingeniero de Perforación y Completamiento | Funcionario | 9 | Permanente |
| Profesional de sistemas | Contratista | 4 | Permanente |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

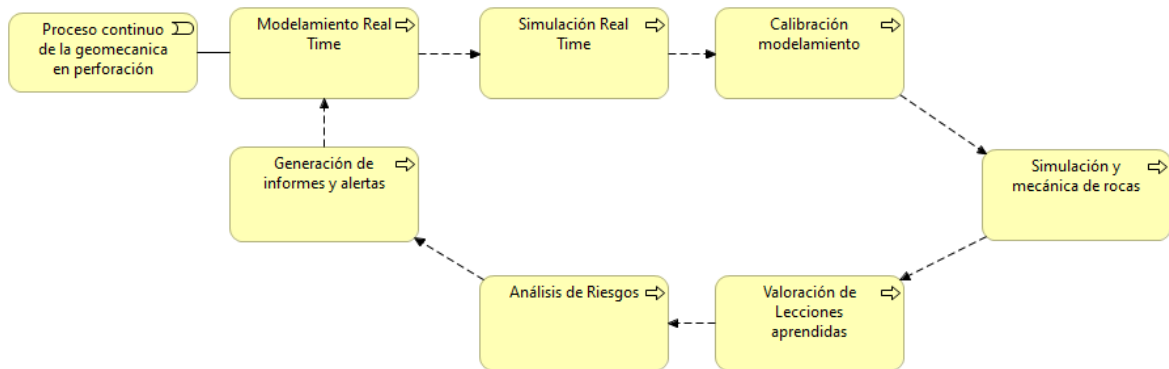
El equipo de trabajo está conformado por 10 profesionales, una autoridad técnica, 3 profesionales senior y 6 profesionales entre semi senior y junior.

Principios de arquitectura empresarial. El grupo de perforación no tiene principios de arquitectura empresarial, ni principios estratégicos.

A continuación, se presentan las etapas actuales del proceso continuo de la geomecánica en perforación:

- Modelamiento *Real Time*
- Simulación *Real Time*
- Calibración modelamiento
- Simulación y mecánica de rocas
- Valoración de Lecciones aprendidas
- Análisis de Riesgos
- Generación de informes y alertas

Figura 12. Etapas actuales del proceso continuo de la geomecánica



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.1.2 Áreas impactadas

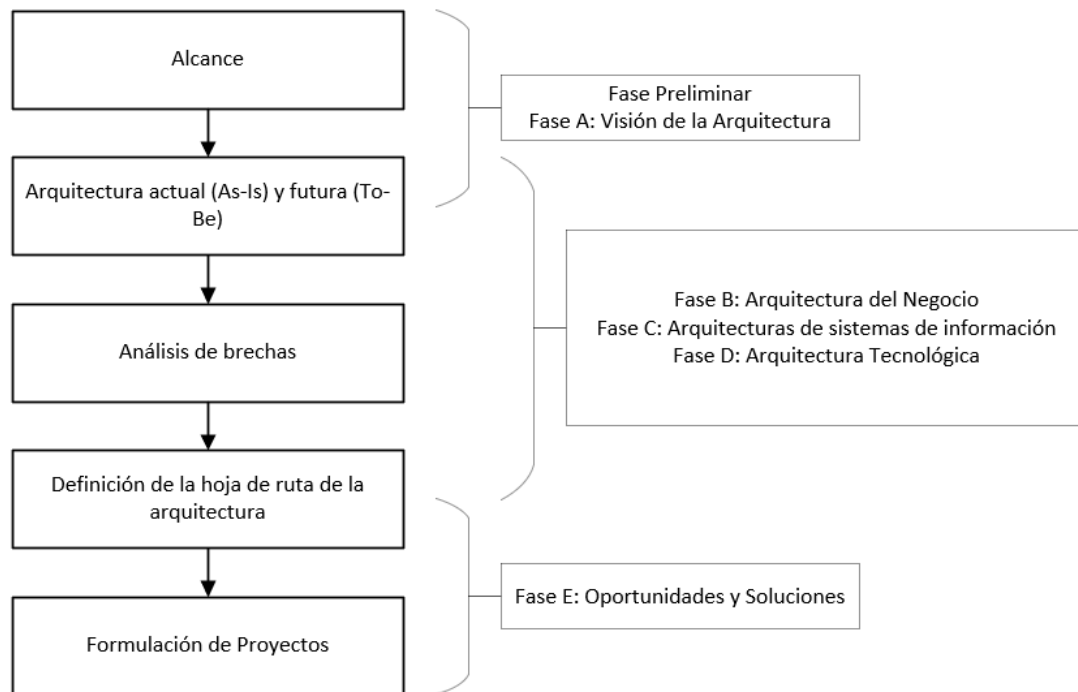
El impacto se evidencia cuando se realice la ejecución de las actividades que conforman los procesos y las personas que participan, en este caso son los funcionarios del grupo, contratistas encargados de los desarrollos y otros grupos y/o dependencias que hacen uso de los desarrollos implementados.

El ejercicio de arquitectura empresarial permite la identificación de oportunidades de mejora para optimizar el flujo de información y apoyar la toma de decisiones estratégicas en el Grupo de Perforación y Completamiento del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

4.1.3 Alcance de la propuesta de arquitectura

Teniendo en cuenta el Método de Desarrollo de Arquitectura (ADM) de TOGAF, el ejercicio cubre hasta la fase de oportunidades y soluciones (E: *Opportunities & Solutions*).

Figura 13. Fases ADM de TOGAF



Fuente: Elaboración propia del autor

Se inicia desarrollando la fase preliminar y la fase de visión de arquitectura (*Preliminar, A: Architecture Visión*), en las cuales se da inicio a la arquitectura empresarial.

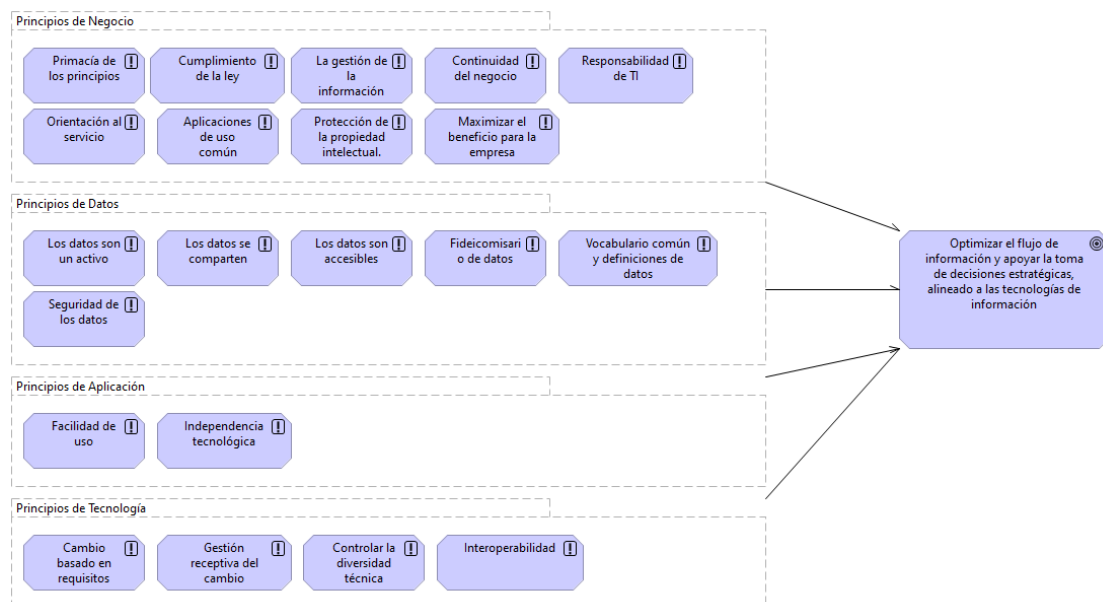
Posteriormente, en ciclos repetitivos, se ejecutan las fases de arquitectura de negocio, sistemas de información y tecnología (B: *Business Architecture*, C: *Information Systems Architectures - Data Architecture* y D: *Technology Architecture*) en las cuales se establece la línea base de arquitectura (*AS-IS Architecture*) y la arquitectura objetivo (*TO-BE Architecture*) para cada dominio.

Finalmente, se realiza el análisis de brechas y la generación de recomendaciones en cumplimiento de la fase de oportunidades y soluciones (E: *Opportunities & Solutions*).

4.1.4 Principios de Arquitectura

TOGAF (The Open Group, 2019) define los principios como reglas y pautas generales para el uso e implementación de todos los recursos y activos de TI en la organización que forman la base para la toma de decisiones futuras de TI.

Figura 14. Principios Arquitectura Empresarial



Fuente: Elaboración propia del autor

Teniendo en cuenta los principios recomendados por TOGAF se listan los principios para el ejercicio de Arquitectura Empresarial para la optimización del flujo de

información y apoyar la toma de decisiones estratégicas en el Grupo de Perforación y Completamiento del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

Tabla 6. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Negocio

| Principio | Descripción |
|---|--|
| PN01. Primacía de los principios | Estos principios de gestión de la información se aplican a todas las organizaciones de la empresa. |
| PN02. Maximizar el beneficio para la empresa | Las decisiones de gestión de la información se toman para proporcionar el máximo beneficio a la empresa en su conjunto. |
| PN03. La gestión de la información es asunto de todos | Todas las organizaciones de la empresa participan en las decisiones de gestión de la información necesarias para lograr los objetivos de negocio. |
| PN04. Continuidad del negocio | Las operaciones empresariales se mantienen a pesar de las interrupciones del sistema. |
| PN05. Aplicaciones de uso común | Se prefiere el desarrollo de aplicaciones utilizadas en toda la empresa al desarrollo de aplicaciones similares o duplicadas que solo se proporcionan a una organización en particular. |
| PN06. Orientación al servicio | La arquitectura se basa en un diseño de servicios que reflejan las actividades de negocio del mundo real que comprenden los procesos de negocio de la empresa. |
| PN07. Cumplimiento de la ley | Los procesos de gestión de la información empresarial cumplen con todas las leyes, políticas y normativas pertinentes. |
| PN08. Responsabilidad de TI | La organización de TI es responsable de poseer e implementar procesos e infraestructura de TI que permitan que las soluciones cumplan con los requisitos definidos por el usuario en cuanto a funcionalidad, niveles de servicio, costo y tiempo de entrega. |

| Principio | Descripción |
|---|--|
| PN09. Protección de la propiedad intelectual. | La propiedad intelectual (PI) de la empresa debe estar protegida. Esta protección debe reflejarse en la arquitectura, implementación y procesos de gobierno de TI. |

Fuente: Elaboración propia del autor. Tomado de (The Open Group, 2019)– Traducción realizada por el autor

Tabla 7. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Datos

| Principio | Descripción |
|---|---|
| PD01. Los datos son un activo | Los datos son un activo que tiene valor para la empresa y se administra en consecuencia. |
| PD02. Los datos se comparten | Los usuarios tienen acceso a los datos necesarios para el desempeño de sus funciones; por lo tanto, los datos se comparten entre las funciones y organizaciones empresariales. |
| PD03. Los datos son accesibles | Los datos son accesibles para que los usuarios realicen sus funciones. |
| PD04. Fideicomisario de datos | Cada elemento de datos tiene un administrador responsable de la calidad de los datos. |
| PD05. Vocabulario común y definiciones de datos | Los datos se definen de forma coherente en toda la empresa y las definiciones son comprensibles y están disponibles para todos los usuarios. |
| PD06. Seguridad de los datos | Los datos están protegidos contra el uso y la divulgación no autorizados. Además de los aspectos tradicionales de la clasificación de seguridad nacional, esto incluye, pero no se limita a, la protección de información pre-decisional, sensible, sensible a la selección de fuentes y patentada. |

Fuente: Elaboración propia del autor. Tomado de (The Open Group, 2019)– Traducción realizada por el autor

Tabla 8. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Aplicación

| Principio | Descripción |
|---------------------------------|--|
| PA01. Independencia tecnológica | Las aplicaciones son independientes de las opciones tecnológicas específicas y, por lo tanto, pueden operar en una variedad de plataformas tecnológicas. |
| PA02. Facilidad de uso | Las aplicaciones son fáciles de usar. La tecnología subyacente es transparente para los usuarios, por lo que pueden concentrarse en las tareas que tienen entre manos. |

Fuente: Elaboración propia del autor. Tomado de (The Open Group, 2019)– Traducción realizada por el autor

Tabla 9. Principios de Arquitectura Empresarial – Principios de Tecnología

| Principio | Descripción |
|---------------------------------------|--|
| PT01. Cambio basado en requisitos | Solo en respuesta a las necesidades comerciales se realizan cambios en las aplicaciones y la tecnología. |
| PT02. Gestión receptiva del cambio | Los cambios en el entorno de información empresarial se implementan de manera oportuna. |
| PT03. Controlar la diversidad técnica | La diversidad tecnológica se controla para minimizar el costo no trivial de mantener la experiencia y la conectividad entre múltiples entornos de procesamiento. |
| PT04. Interoperabilidad | El software y el hardware deben ajustarse a estándares definidos que promuevan la interoperabilidad de datos, aplicaciones y tecnología. |

Fuente: Elaboración propia del autor. Tomado de (The Open Group, 2019)– Traducción realizada por el autor

Para complementar la información, Véase el Anexo E. Principios de la arquitectura.

4.1.5 Modelo organizativo para arquitectura empresarial

Para que un marco de arquitectura se use con éxito, este debe estar respaldado por la organización, los roles y las responsabilidades dentro de la empresa. Es importante definir los límites entre los diferentes profesionales de la arquitectura empresarial y las relaciones de gobierno que se extienden a través de estos límites.

Se incluye la siguiente información

- Alcance de las organizaciones afectadas
- Brechas
- Roles y responsabilidades para los equipos de arquitectura
- Restricciones en el trabajo de arquitectura.
- Requerimientos presupuestarios

Para complementar la información, Véase el Anexo B. Modelo de organización de la Arquitectura Empresarial

4.1.6 Solicitud del trabajo de arquitectura

Como segundo resultado de la fase preliminar se creó la solicitud del trabajo de arquitectura (*Request for Architecture Work*). Con este documento se da inicio al ciclo de desarrollo de la arquitectura y se incluye la siguiente información:

- Resumen de la solicitud
- Patrocinadores
- Misión y visión de la organización
- Impulsores y objetivos de negocio
- Límites de tiempo
- Limitaciones organizativas
- Presupuesto y restricciones financieras
- Procesos actuales

Para complementar la información, Véase el Anexo C. Solicitud de Trabajo de Arquitectura.

4.2 FASE A: VISIÓN DE ARQUITECTURA

Constituye la fase del método de desarrollo de arquitectura ADM donde se preparan las siguientes fases a través de una representación general de las arquitecturas de línea base y objetivo.

4.2.1 Establecer el proyecto de arquitectura

La ejecución de los ciclos de ADM deberá ser realizada dentro del marco de trabajo de proyectos del grupo de perforación. Se realizó la labor de reconocimiento, soporte y aprobación del ejercicio de arquitectura empresarial por parte de Hernan Mantilla (Ingeniero de perforación y completamiento). Los integrantes del grupo de perforación del ICP garantizaron el apoyo, compromiso y soportes necesarios para la realización del presente ejercicio. Lo anterior fue clave a la hora de conseguir el apoyo de otros departamentos durante del ejercicio de arquitectura empresarial.

4.2.2 Partes interesadas (Stakeholders)

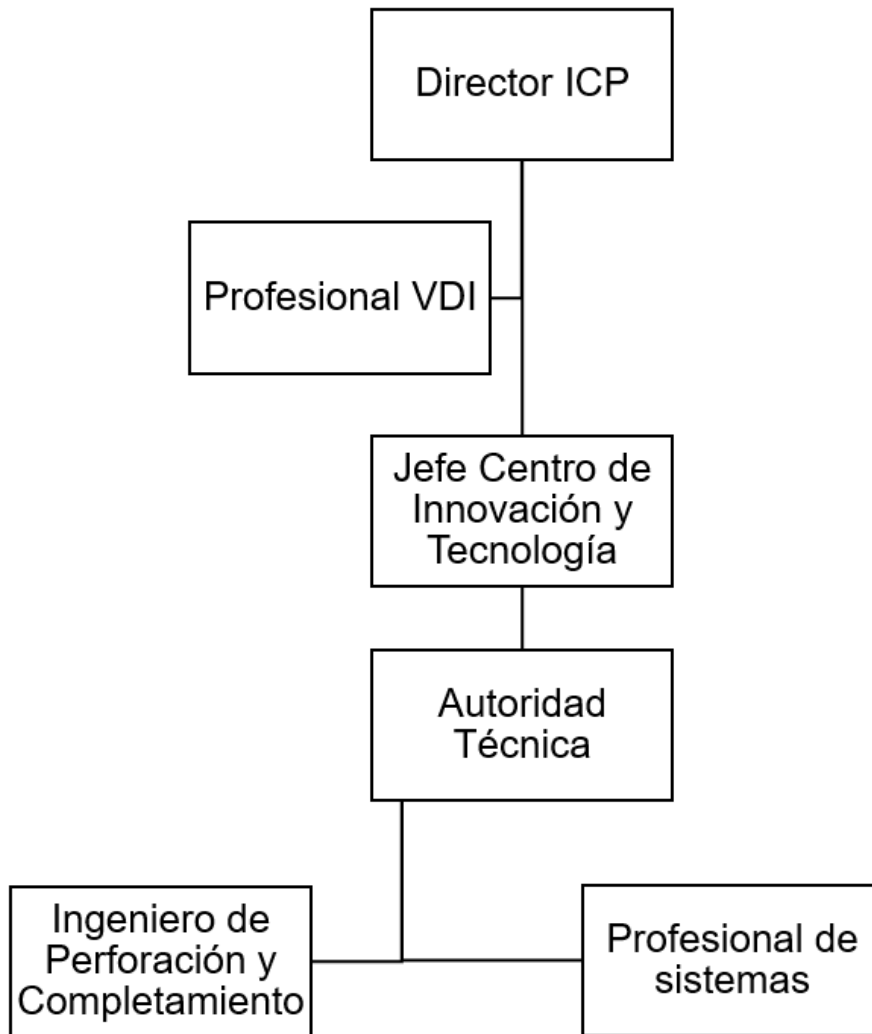
Tabla 10. Necesidades de los roles del grupo de perforación del ICP

| Rol | Necesidades |
|--|--|
| Director ICP | <ul style="list-style-type: none">• Contar con información real de la empresa para la toma de decisiones.• Fortalecer la investigación en el grupo, integrando sus procesos haciendo uso de las tecnologías de la información.• Fortalecer la Seguridad de la información. |
| Jefe Centro de Innovación y Tecnología | <ul style="list-style-type: none">• Contar con información real de la empresa para la toma de decisiones.• Fortalecer la investigación en el grupo, integrando sus procesos haciendo uso de las tecnologías de la información.• Fortalecer la Seguridad de la información. |
| Autoridad Técnica | <ul style="list-style-type: none">• Contar con información real de la empresa para la toma de decisiones. |

| Rol | Necesidades |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer la investigación en el grupo, integrando sus procesos haciendo uso de las tecnologías de la información. • Fortalecer la Seguridad de la información. |
| Ingeniero de Perforación y Completamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Integrar procesos haciendo uso de tecnologías de información. • Contar con información real de la empresa para la toma de decisiones. • No existe una herramienta que permita gestionar de forma completa un proyecto. • Cumplir con los lineamientos y políticas de la empresa • Establecer maestros de datos que unifique y consoliden la información transversal. • Asegurar las características que generan valor en la información en el grupo. • Asegurar que la información obtenida sea adecuada, oportuna, dinámica, fiable, eficaz y con calidad |
| Profesional VDI | <ul style="list-style-type: none"> • Contar con información real de la empresa para la toma de decisiones. • Fortalecer la Seguridad de la información. |
| Profesional de sistemas | <ul style="list-style-type: none"> • Cumplir con los lineamientos y políticas de la empresa • Establecer maestros de datos que unifique y consoliden la información transversal. • Fortalecer la Seguridad de la información. |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Figura 15. Organigrama del grupo de perforación del ICP



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación

TOGAF recomienda que se defina el grado de involucramiento de las partes interesadas construyendo una matriz de poder y permitirá determinar cuáles son las personas interesadas en el éxito del proyecto de arquitectura.

Tabla 11. Matriz Poder Interés

| | | Interés | |
|-------|------|----------------------|---------------------|
| | | Bajo | Alto |
| Poder | Alto | Mantener Satisfechos | Jugadores Clave |
| | Bajo | Mínimo Esfuerzo | Mantener Informados |

Fuente: Tomado y adaptado de (The Open Group, 2019)

Tabla 12. Matriz Poder de Interés ejercicio de arquitectura empresarial

| | | Interés | |
|-------|------|--|---|
| | | Bajo | Alto |
| Poder | Alto | <ul style="list-style-type: none"> • Director ICP • Jefe Centro de Innovación y Tecnología | <ul style="list-style-type: none"> • Autoridad Técnica • Ingeniero de Perforación y Completamiento • Profesional de sistemas |
| | Bajo | | <ul style="list-style-type: none"> • Profesional VDI |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 13. Estrategias a adoptar para los roles del grupo de perforación del ICP

| Rol | Estrategias |
|--|--|
| Director ICP | <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un plan de comunicaciones • Socializar los conceptos y beneficios asociados a la arquitectura empresarial • Diseñar estrategias de uso y apropiación • Comunicaciones para mejorar la información acerca del proyecto |
| Jefe Centro de Innovación y Tecnología | <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un plan de comunicaciones • Socializar los conceptos y beneficios asociados a la arquitectura empresarial • Diseñar estrategias de uso y apropiación • Comunicaciones para mejorar la información acerca del proyecto |
| Autoridad Técnica | <ul style="list-style-type: none"> • Estructurar los proyectos y presentarlos ante las directivas con el fin de buscar apoyo |

| Rol | Estrategias |
|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Documentar los beneficios esperados con el desarrollo de cada proyecto |
| Ingeniero de Perforación y Completamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Estructurar los proyectos y presentarlos ante las directivas con el fin de buscar apoyo. • Documentar los beneficios esperados con el desarrollo de cada proyecto. |
| Profesional VDI | <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un plan de comunicaciones • Comunicaciones para mejorar la información acerca del proyecto |
| Profesional de sistemas | <ul style="list-style-type: none"> • Estructurar los proyectos y presentarlos ante las directivas con el fin de buscar apoyo. • Documentar los beneficios esperados con el desarrollo de cada proyecto. |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.2.3 Impulsores y Objetivos de negocio

- Impulsores de negocio

Tabla 14. Impulsores de negocio

| Impulsores de Negocio | Descripción | Establecida por |
|--------------------------------|---|------------------------|
| Alineamiento a políticas de TI | Permite contar con desarrollos alineados a las políticas TI | Grupo de perforación |
| Gestión de información | Permite una gestión y explotación efectiva de la información a través de las TI y facilita el flujo de información (información oportuna y confiable) | Grupo de perforación |
| Automatización de procesos | Permite minimizar las tareas manuales en los diferentes procesos | Grupo de perforación |

| Impulsores de Negocio | Descripción | Establecida por |
|---|---|-----------------------------------|
| Guía Para la Arquitectura Digital Objetivo Ecopetrol | Guía Para la Arquitectura Digital Objetivo Ecopetrol | Vicepresidencia Digital Ecopetrol |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

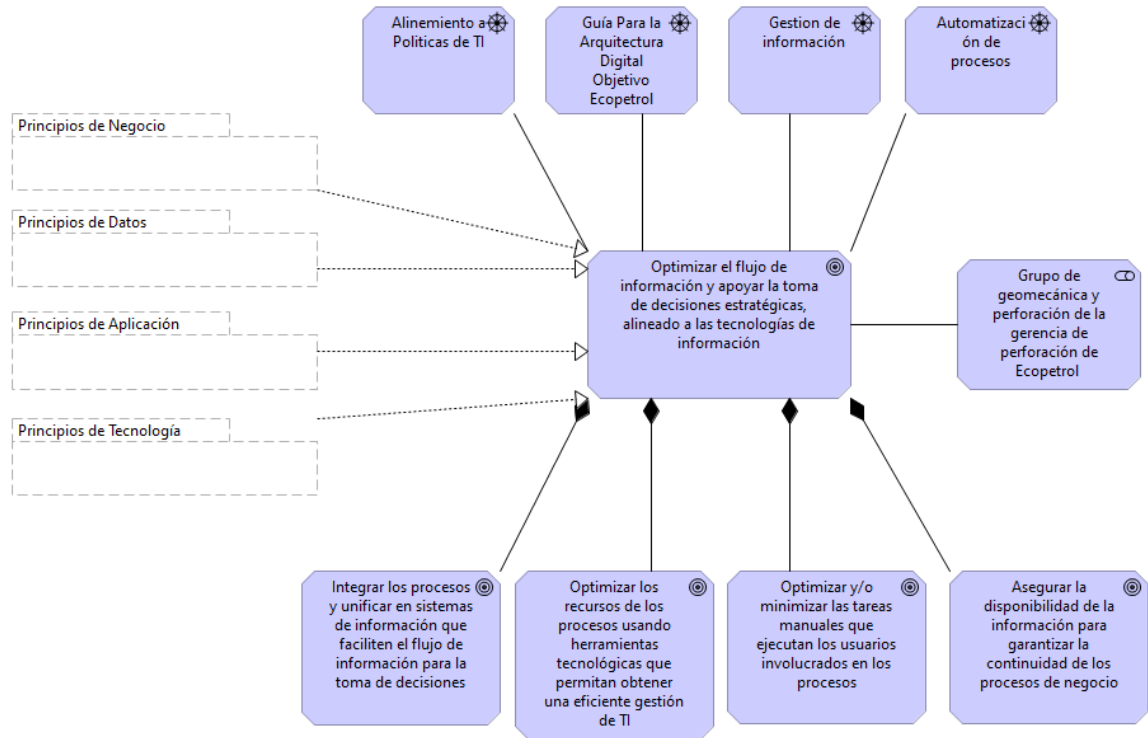
- Objetivos de negocio

En Ecopetrol, el comité de arquitectura formuló la estrategia en gestión de información con los siguientes objetivos (Vicepresidencia Digital - Ecopetrol, 2019):

- (OEE1) Visión: La información declarada como un activo en la organización cumpliendo con los atributos de calidad de la información. Esta información debe estar integrada en un único modelo de información y soportada en sistemas de información adecuados para tal fin.
- (OEE2) Gobierno y organización: Las áreas de Ecopetrol empoderadas en el manejo de la información con definiciones claras sobre su responsabilidad sobre la misma
- (OEE3) Procesos y capacidades: La calidad de la información y su clasificación asegurada desde los procesos de negocio que generan o modifican dicha información. Esto a través de definiciones de roles tal como lo son: Ejecutivos de proceso, dueños de proceso, responsables de la información, administradores de datos maestros, arquitectos de información.
- (OEE4) Arquitectura y seguridad de la información: Definiciones asociadas con el modelo de información de Ecopetrol y la forma como se alimenta dicho modelo y se visualizan consultas al mismo modelo. Estos modelos se administran y actualizan a través de la arquitectura objetivo y las prácticas de calidad y seguridad de la información.

Los objetivos que se determinaron en reunión con los integrantes del grupo de perforación y completamiento del ICP son los siguientes:

Figura 16. Diagrama motivacional del ejercicio de arquitectura empresarial



Fuente: Elaboración propia del autor

- (OEGF1) Integrar los procesos y unificar en sistemas de información que faciliten el flujo de información para la toma de decisiones.
- (OEGF2) Optimizar los recursos de los procesos usando herramientas tecnológicas que permitan obtener una eficiente gestión de TI.
- (OEGF3) Optimizar y/o minimizar las tareas manuales que ejecutan los usuarios involucrados en los procesos.
- (OEGF4) Asegurar la disponibilidad de la información para garantizar la continuidad de los procesos de negocio.

En el diagrama motivacional (Véase Figura 16) se establecen los conceptos motivacionales de la arquitectura empresarial que guían y restringen el diseño de la misma y están representadas por objetivos, principios, requisitos y restricciones que representan el resultado deseado (The Open Group, 2019).

Para complementar la información, Véase el Anexo F. Declaraciones refinadas de los principios de negocio, objetivos de negocio, y los conductores.

4.2.4 Evaluar capacidades

A continuación, se detalla las capacidades digitales (Véase (Ecopetrol, s.f.)) con las que cuenta Ecopetrol y podrán estar disponibles para proyectos realizados y apoyados por las diferentes áreas de Ecopetrol, todo esto con previa validación y autorización de Vicepresidencia Digital.

La cuarta revolución industrial trajo a todas las industrias nuevas herramientas que permiten generar nuevas soluciones y facilidades. La inteligencia artificial, internet de las cosas (*IoT*), *blockchain* y *big data*, entre otras, permiten desarrollar proyectos específicos en negocios que permitirán ahorros de tiempo y mayor productividad.

Los proyectos de la Agenda Digital se conectan con las tecnologías definidas en el Plan Nacional de Ciencia y Tecnología 2017-2022:

- Computación elástica
- *Big data*
- Inteligencia artificial
- Internet de las cosas
- Robótica
- *Blockchain*
- Analítica avanzada

Ecopetrol ya investiga, desarrolla y despliega dichas tecnologías en los diferentes segmentos del negocio. En Exploración y Yacimientos se está utilizando la computación elástica para entender mejor el subsuelo representado en información sísmica, esto disminuye los tiempos de análisis de días a minutos. De igual forma, en 2019, se crearon puestos virtuales que permiten la colaboración y el aprovechamiento del conocimiento en geología y geofísica en cualquier parte del mundo.

4.2.5 Evaluar la preparación para la transformación del negocio

Un punto importante para una transformación exitosa es tener en cuenta la preparación que presenta el grupo de perforación para aceptar los cambios, identificar los riesgos y definir las acciones para limitarlos a través de planes de implementación y migración.

TOGAF propone una serie de actividades para evaluar la preparación para la transformación del negocio, así:

- Determinar los factores de preparación que impactarán a la organización.
- Evaluar los factores de preparación
- Evaluar los riesgos para cada factor y las acciones de mitigación.

Para el ejercicio de arquitectura empresarial se consideraron relevantes los siguientes factores (The Open Group, 2019):

- Patrocinio y liderazgo: El liderazgo mantiene a todos comprometidos y enfocados en los objetivos estratégicos.
- Deseo, voluntad y resolución: Deseo de lograr los resultados, voluntad de aceptar el impacto de hacer el trabajo y resolución de seguir adelante y completar el esfuerzo.
- Necesidad: ¿Existe la necesidad de ejecutar el esfuerzo?
- Financiamiento: Existe una fuente clara de recursos para cubrir los gastos potenciales.
- Gobernanza: Capacidad de involucrar la participación y el apoyo de todas las partes interesadas con el objetivo de garantizar que se atienden los objetivos a alcanzar.
- Aproximación al modelo y viabilidad de la ejecución: la organización tiene experiencia en este tipo de proyectos.

Una vez identificados los factores, se califica cada uno teniendo en cuenta la siguiente escala:

- Urgencia: Se necesita acción antes de que pueda comenzar una iniciativa de transformación.
- Estado de preparación: se califica como Bajo (requiere un trabajo sustancial antes de continuar), Regular (necesita algo de trabajo antes de continuar), Aceptable (existen algunos problemas de preparación); Bueno (existen problemas relativamente menores) o Alto (sin preparación).
- El grado de dificultad para corregir: Califica el esfuerzo requerido para superar cualquier problema identificado: No se necesita acción, Fácil, Moderado o Difícil.

Los factores se evalúan con respecto al riesgo, dando una estimación del impacto y su probabilidad; se establecen las acciones de mejora para mitigar los riesgos.

Tabla 15. Tabla de Valores de Probabilidad

| Nivel | Descriptor | Descripción |
|--------------|-------------------|---|
| 5 | Frecuente | Es probable que ocurra con mucha frecuencia y / o continuamente |
| 4 | Probable | Existe una probabilidad media (50%) de presentarse el evento |
| 3 | Ocasional | Ocurre esporádicamente |
| 2 | Rara vez | Remotamente posible y probablemente no ocurriría más de una vez en el curso de un ciclo de transformación |
| 1 | Improbable | Probablemente no ocurrirá durante el curso de un ciclo de transformación |

Fuente: Tomado y adaptado de (The Open Group, 2019)

El impacto podría evaluarse utilizando los siguientes criterios de ejemplo:

Tabla 16. Tabla de Valores de Impacto

| Nivel | Descriptor | Descripción |
|--------------|-------------------|--|
| 4 | Catastrófico | Infiere una pérdida financiera crítica que podría resultar en la quiebra de la organización |
| 3 | Critico | Infiere una pérdida financiera grave en más de una línea de negocio que conduce a una pérdida de productividad y a la ausencia de retorno de la inversión en TI. |
| 2 | Marginal | Infiere una pérdida financiera menor en una línea de negocio y un retorno de la inversión reducido en la inversión en TI |
| 1 | Insignificante | Infiere un impacto mínimo en la capacidad de una línea de negocio para ofrecer servicios y / o productos. |

Fuente: Tomado y adaptado de (The Open Group, 2019)

Los riesgos que fueron identificados respecto a la preparación que evidencia el grupo de perforación para aceptar los cambios propuestos con el ejercicio de arquitectura empresarial, son listados en la Tabla 17.

Tabla 17. Tabla para la evaluación de riesgos ejercicio arquitectura empresarial.

| Factor | Calificación | | | Riesgo | Impacto | Probabilidad | Mitigación |
|------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------------------|--|----------------|--------------|---|
| | Urgencia | Estado de Preparación | Grado de dificultad para corregir | | | | |
| Patrocinio y liderazgo | Urgencia | Bueno | Fácil | No incluir las directivas en la planificación | Insignificante | Probable | Formular proyectos y presentarlos ante las directivas Indicar los beneficios esperados con el desarrollo de cada proyecto Diseñar un plan de comunicaciones |
| Deseo, voluntad y resolución | Urgencia | Bueno | Fácil | No hay presupuesto para ejecutar proyectos | Insignificante | Probable | Indicar los beneficios esperados con el desarrollo de cada proyecto |
| Necesidad | Urgencia | Regular | Fácil | Los criterios de éxito no han sido comunicados | Insignificante | Ocasional | Diseñar un plan de comunicaciones |

| Factor | Calificación | | | Riesgo | Impacto | Probabilidad | Mitigación |
|----------------|--------------|-----------------------|-----------------------------------|---|----------|--------------|---|
| | Urgencia | Estado de Preparación | Grado de dificultad para corregir | | | | |
| Financiamiento | Urgencia | Bajo | Moderado | No hay claridad en la fuente de los recursos | Marginal | Probable | Formular proyectos y presentarlos ante las directivas |
| Financiamiento | Urgencia | Bajo | Moderado | Equivocarse en la selección y priorización de proyectos | Marginal | Improbable | Aplicar herramientas y procedimientos para la priorización de proyectos |
| Gobernanza | Urgencia | Regular | Moderado | Dificultad para apropiar los resultados del ejercicio de arquitectura | Marginal | Ocasional | Diseñar y aplicar estrategias de uso y apropiación Diseñar un plan de comunicaciones |

| Factor | Calificación | | | Riesgo | Impacto | Probabilidad | Mitigación |
|---|--------------|-----------------------|-----------------------------------|--|----------|--------------|--|
| | Urgencia | Estado de Preparación | Grado de dificultad para corregir | | | | |
| Aproximación al modelo y viabilidad de la ejecución | | Regular | Moderado | El grupo no tiene mucha experiencia en proyectos de arquitectura | Marginal | Frecuente | Socializar los conceptos y beneficios asociados a la arquitectura empresarial Diseñar un plan de comunicaciones |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación. Tomado y adaptado de (The Open Group, 2019)

4.2.6 Alcance de la arquitectura

Para delimitar el alcance del esfuerzo de arquitectura se establecen tres dimensiones (The Open Group, 2019), como se presenta en la Tabla 18:

Tabla 18. Dimensiones alcance de la arquitectura

| | |
|-------------|---|
| Amplitud | ¿Cuál es la extensión total de la organización? y que parte de esa extensión será cubierta por el esfuerzo de arquitectura. |
| Profundidad | ¿A nivel de detalle debe llegar el esfuerzo de arquitectura? |
| Dominios | Que dominios abarcará la arquitectura empresarial. |

Fuente: Tomado y adaptado de (The Open Group, 2019)

Amplitud: Cubrirá la necesidad de optimizar el flujo de información de los procesos relacionados a datos de perforación y completamiento del grupo de perforación del Instituto Colombiano del Petróleo.

Profundidad: Se ejecutará hasta la elaboración de una lista de proyectos con el posible orden de ejecución a fin de optimizar el flujo de información y apoyar la toma de decisiones estratégicas.

Dominios: Abarcará los 3 dominios de la arquitectura (arquitectura del negocio, arquitectura de sistemas de información y arquitectura de tecnología)

4.2.7 Declaración de trabajo de arquitectura

La Declaración de trabajo de arquitectura (*Statement of Architecture Work*) es un documento para establecer el alcance y el enfoque que se utilizó para completar un ciclo de desarrollo de la arquitectura (*The Open Group, 2019*).

Para complementar la información, Véase el Anexo D. Declaración de Trabajo de Arquitectura.

4.3 FASE B: ARQUITECTURA DE NEGOCIO

En esta fase del ciclo de arquitectura empresarial se identifican los principales procesos de negocio que sirven de base para el desarrollo de una arquitectura empresarial.

Para complementar la información, Véase Anexo G. Definición de arquitectura empresarial y Anexo H. Definición de Arquitectura de negocio.

4.3.1 Desarrollo de la línea base de la arquitectura de negocio

Se recolectó información a partir de documentos de presentaciones y reuniones para el reconocimiento del proceso de flujo de información en el grupo de perforación del ICP. El grupo indicó no poseer la información de los procesos en BPMN.

Se consultó a los actores principales acerca de las etapas y actividades realizadas por el grupo y se pudo establecer que la gestión de la información sigue un proceso de 7 etapas, de forma secuencial y cíclica:

Tabla 19. Etapas actuales del proceso continuo de la geomecánica

| Etapas | Detalle |
|----------------------------------|--|
| Modelamiento <i>Real Time</i> | <ol style="list-style-type: none">1. Establecer conexión2. Recibir datos3. Ejecutar modelos analíticos4. Calibrar resultados5. Graficar y comprar resultados <i>Real time</i> vs planeados6. Elaborar recomendaciones con los datos del modelo. |
| Simulación <i>Real Time</i> | <ol style="list-style-type: none">1. Establecer conexión2. Recibir datos3. Ejecutar modelos de simulación (mse, torque y arrastre, presión de poro)4. Comparar resultados simulados con reales5. Elaborar recomendaciones con la comparación de datos reales y simulados |

| Etapas | Detalle |
|------------------------------------|--|
| Calibración modelamiento | <ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilar, auditoria de información nueva adquirida 2. Incorporar nueva información a los flujos de trabajo del modelamiento 3. Realizar el modelamiento, ejecutar modelos analíticos 4. Ajustar el modelo, ecuaciones, coeficientes, correlaciones en función de la nueva data adquirida en el pozo y a eventos ocurridos 5. Divulgar el nuevo modelo actualizado |
| Simulación y mecánica de rocas | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la adquisición de muestras de roca o corazones del pozo 2. Seleccionar las muestras adecuadas para ensayos de mecánica de rocas en función del modelo geomecánico y de facies 2. Realizar ensayos de caracterización geomecánica, propiedades mecánicas y de resistencia 3. Incorporar resultados de ensayos al modelo geomecánico 4. Ajustar o calibrar el modelo geomecánico (cambios en correlaciones, coeficientes, tendencias) a la nueva data experimental de laboratorio 5. Socializar el nuevo modelo calibrado y ajustado |
| Valoración de Lecciones aprendidas | <ol style="list-style-type: none"> 1. Con la data adquirida en el <i>real time</i>, elaborar análisis de eventos 2. Comparar e integrar el modelo geomecánico con el análisis de eventos durante la perforación 3. Identificar si los eventos ocurridos tienen relación con el modelo geomecánico para ajustar el modelo 4. Documentar las diferencias entre los eventos y el modelo geomecánico para elaborar lecciones aprendidas o ajustes para los siguientes pozos a perforar |
| Análisis de Riesgos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilar información de pozos de correlación 2. A partir de información de pozos de correlación, hacer análisis de eventos geomecánico 3. Establecer criticidad y nivel de frecuencia de eventos de los pozos <i>offset</i> 4. Con la data de eventos identificar riesgos para ubicarlos en matriz de impacto y probabilidad de ocurrencia |

| Etapas | Detalle |
|----------------------------------|---|
| | 5. Con la matriz documentar los riesgos y socializarlos |
| Generación de informes y alertas | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la correcta carga de información automática con conexión remota 2. Cargar información adicional al software 3. Integrar información multifuente y disciplina al software 4. Visualizar la información integrada 5. Analizar y relacionar la información con los riesgos previamente identificados 6. Identificar posible materialización de riesgos con la automática visualización de la información integrada 7. Documentar relacionamiento de cambios en los parámetros y data que pueda materializar un evento 8. Elaborar informe y alerta con las evidencias del posible cambio y materialización de riesgo |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 20. Nomenclatura de Roles de la matriz de responsabilidades

| Nomenclatura | Rol | Responsabilidad |
|---------------------|-----------------------------|--|
| R | Responsable de la ejecución | Ejecutar la tarea |
| A | Responsable del proceso | Velar por que la tarea se cumpla |
| C | Consultado | Debe ser consultado para realizar la tarea |
| I | Informado | Debe ser informado de la realización de la tarea |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 21. Matriz RACI procesos AS-IS de negocio.

| | Director ICP | Jefe Centro de Innovación y Tecnología | Autoridad Técnica | Ingeniero de Perforación y Completamiento |
|------------------------------------|---------------------|---|--------------------------|--|
| Modelamiento <i>Real Time</i> | I | I | CI | RA |
| Simulación <i>Real Time</i> | I | I | CI | RA |
| Calibración modelamiento | I | I | CI | RA |
| Simulación y mecánica de rocas | I | I | CI | RA |
| Valoración de Lecciones aprendidas | I | I | CI | RA |
| Análisis de Riesgos | I | I | CI | RA |
| Generación de informes y alertas | I | I | CI | RA |

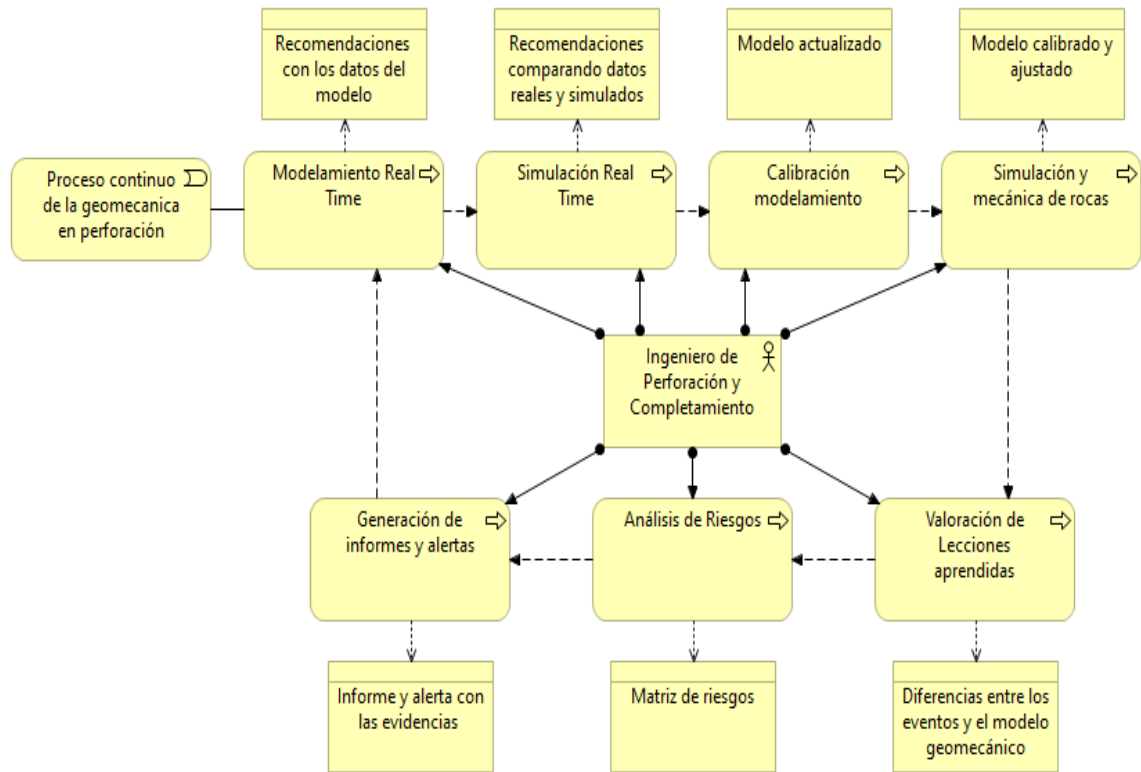
Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.3.2 Descripción de la línea base de arquitectura de negocio

La línea base de arquitectura de negocio es la representación del proceso actual del proceso continuo de la geomecánica en perforación, al relacionar las actividades, los roles y los objetos de negocio identificados en la etapa de recolección de información.

En la Figura 17 se presenta la información de los procesos identificados en el grupo de perforación de Ecopetrol ICP, indicando la secuencia de procesos, flujo de información e interacción con los usuarios, así como las salidas de cada proceso.

Figura 17. AS-IS de negocio



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.3.3 Desarrollo de la arquitectura de negocio objetivo

Se definirá como deben ser modificados los componentes actuales y cuál será su estado final para poder alcanzar los objetivos propuestos. A continuación, se enumeran los cambios necesarios.

- Flujo de información: Contar con las herramientas que permitan la recolección de información en forma veraz y segura.
- Automatización de tareas repetitivas: se deberá modificar o desarrollar las herramientas que ayuden a que la dependencia a otras áreas sea la mínima.
- Repositorio de información: Es necesario la implementación de un repositorio para ubicar la información recolectada, así como documentar las lecciones aprendidas de implementaciones previas.

Proceso de negocio objetivo

Las propuestas de mejora para la optimización del proceso actual de proceso continuo de la geomecánica en perforación incluyen una etapa de recolección de información teniendo en cuenta los diferentes protocolos gestionados (*rawdata*, WIST0, WITSML, WITSML ajustados, documentos de texto y/o estructurados) y su posterior almacenamiento en bases de datos centralizadas para trabajo en tiempo real o manejo de históricos. A su vez, al estar centralizada la información se realizarán trabajos de analítica de datos a medida que se incremente la cantidad de información registrada.

El proceso completo se presenta a continuación, en el cual se detallan las actualizaciones sobre el proceso actual.

Tabla 22. Actualización de etapas del proceso continuo de la geomecánica

| Etapas | Detalle |
|----------------------------------|---|
| Recolección de la información | <ol style="list-style-type: none">1. Establecer conexión2. Recibir datos3. Validar datos4. Ajustar datos5. Enviar datos |
| Almacenamiento de la información | <ol style="list-style-type: none">1. Establecer conexión2. Recibir datos3. Validar datos4. Ajustar datos5. Seleccionar ubicación de destino y registrar datos |
| Modelamiento <i>Real Time</i> | <ol style="list-style-type: none">1. Seleccionar datos2. Ejecutar modelos analíticos3. Calibrar resultados4. Graficar y comprar resultados <i>Real time</i> vs planeados5. Elaborar recomendaciones con los datos del modelo. |
| Simulación <i>Real Time</i> | <ol style="list-style-type: none">1. Recibir data2. Ejecutar modelos de simulación (mse, torque y arrastre, presión de poro)3. Comparar resultados simulados con reales |

| Etapas | Detalle |
|------------------------------------|--|
| | 4. Elaborar recomendaciones con la comparación de datos reales y simulados |
| Calibración modelamiento | <ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilar, auditoria de información nueva adquirida 2. Incorporar nueva información a los flujos de trabajo del modelamiento 3. Realizar el modelamiento, ejecutar modelos analíticos 4. Ajustar el modelo, ecuaciones, coeficientes, correlaciones en función de la nueva data adquirida en el pozo y a eventos ocurridos 5. Divulgar el nuevo modelo actualizado |
| Simulación y mecánica de rocas | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la adquisición de muestras de roca o corazones del pozo 2. Seleccionar las muestras adecuadas para ensayos de mecánica de rocas en función del modelo geomecánico y de facies 3. Realizar ensayos de caracterización geomecánica, propiedades mecánicas y de resistencia 4. Incorporar resultados de ensayos al modelo geomecánico 5. Ajustar o calibrar el modelo geomecánico (cambios en correlaciones, coeficientes, tendencias) a la nueva data experimental de laboratorio 6. Socializar el nuevo modelo calibrado y ajustado |
| Valoración de Lecciones aprendidas | <ol style="list-style-type: none"> 1. Con la data adquirida en el <i>real time</i>, elaborar análisis de eventos 2. Comparar e integrar el modelo geomecánico con el análisis de eventos durante la perforación 3. Identificar si los eventos ocurridos tienen relación con el modelo geomecánico para ajustar el modelo 4. Documentar las diferencias entre los eventos y el modelo geomecánico para elaborar lecciones aprendidas o ajustes para los siguientes pozos a perforar |

| Etapas | Detalle |
|----------------------------------|---|
| Análisis de Riesgos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilar información de pozos de correlación 2. A partir de información de pozos de correlación, hacer análisis de eventos geomecánico 3. Establecer criticidad y nivel de frecuencia de eventos de los pozos <i>offset</i> 4. Con la data de eventos identificar riesgos para ubicarlos en matriz de impacto y probabilidad de ocurrencia 5. Con la matriz documentar los riesgos y socializarlos |
| Generación de informes y alertas | <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la correcta carga de información automática con conexión remota 2. Cargar información adicional al software 3. Integrar información multifuente y disciplina al software 4. Visualizar la información integrada 5. Analizar y relacionar la información con los riesgos previamente identificados 6. Identificar posible materialización de riesgos con la automática visualización de la información integrada 7. Documentar relacionamiento de cambios en los parámetros y data que pueda materializar un evento 8. Elaborar informe y alerta con las evidencias del posible cambio y materialización de riesgo |
| Analítica de datos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de herramientas y métodos de analítica de datos 2. Conocimiento y entendimiento del modelo de negocio 3. Establecer conexión 4. Selección y adquisición de los datos 5. Preparación y validación de los datos 6. Construcción de modelos (prototipos) 7. Validación y evaluación 8. Generación de reportes y visualización de resultados |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Roles del proceso objetivo

Al modificar la estructura del proceso continuo de la geomecánica en perforación implica la asignación de nuevos roles y la modificación de tareas para los roles

existentes. Los roles se relacionan en la matriz de responsabilidades del proceso indicados en la Tabla 23.

Tabla 23. Matriz de responsabilidades del proceso objetivo

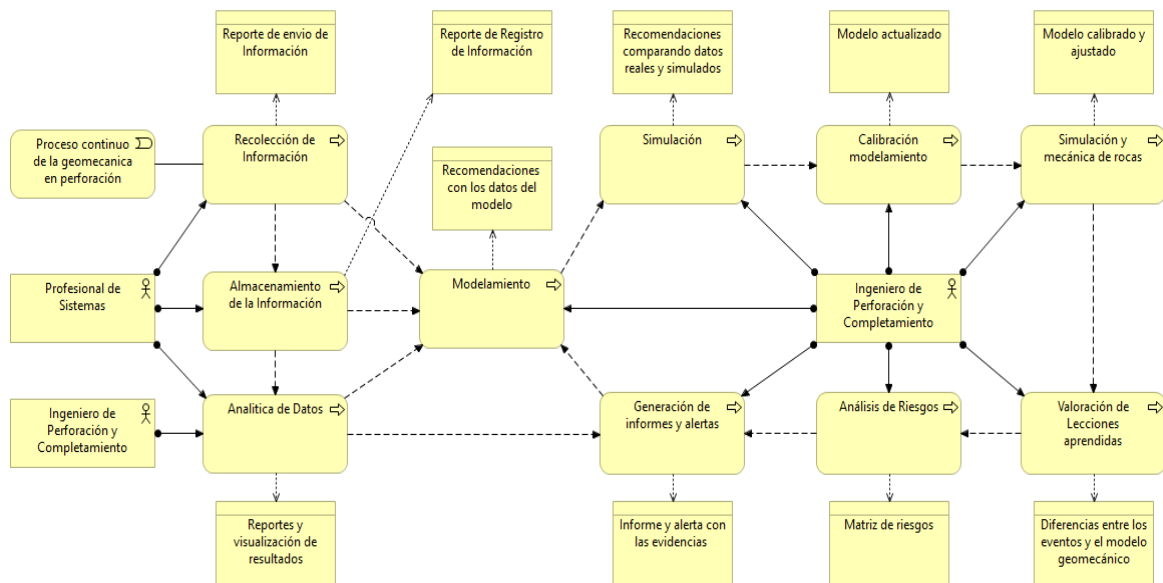
| | Director ICP | Jefe Centro de Innovación y Tecnología | Autoridad Técnica | Ingeniero de Perforación y Completamiento | Profesional VDI | Profesional de sistemas |
|------------------------------------|--------------|--|-------------------|---|-----------------|-------------------------|
| Recolección de la información | I | I | CI | RA | C | R |
| Almacenamiento de la información | I | I | CI | RA | C | R |
| Modelamiento <i>Real Time</i> | I | I | CI | RA | | R |
| Simulación <i>Real Time</i> | I | I | CI | RA | | R |
| Calibración modelamiento | I | I | CI | RA | | R |
| Simulación y mecánica de rocas | I | I | CI | RA | | R |
| Valoración de Lecciones aprendidas | I | I | CI | RA | | R |
| Análisis de Riesgos | I | I | CI | RA | | R |
| Generación de informes y alertas | I | I | CI | RA | | R |
| Analítica de datos | I | I | CI | RA | C | R |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.3.4 Descripción de la arquitectura de negocio objetivo

En la Figura 18, se presenta la vista de negocio del proceso objetivo donde se visualiza la información de los procesos identificados en el grupo de perforación de Ecopetrol ICP, indicando la secuencia de procesos, flujo de información e interacción con los usuarios, así como las salidas de cada proceso.

Figura 18. TO-BE de negocio.



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.3.5 Análisis de brechas

El análisis de brechas es el mecanismo para seleccionar el camino más apropiado para pasar del estado actual a un estado objetivo. La transición entre la arquitectura de línea base y la arquitectura objetivo en un ejercicio de arquitectura consiste en establecer los elementos nuevos, los elementos que han sido modificados y/o eliminados y los elementos que permanecen sin alteraciones.

La Tabla 24 presenta la descripción de la brecha entre las arquitecturas de negocios actual (AS-IS) y destino (TO-BE). Esta diferencia, o delta, define el alcance del trabajo que se debe realizar para pasar de la arquitectura empresarial actual a la de destino.

Tabla 24. Brechas entre las arquitecturas de negocios actual y destino

| Arquitectura Objetivo | Recolección de la información | Almacenamiento de la información | Modelamiento Real Time | Simulación Real Time | Calibración modelamiento | Simulación y mecánica de rocas | Valoración de Lecciones aprendidas | Análisis de Riesgos | Generación de informes y alertas | Analítica de datos |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------|
| Arquitectura de línea base | | | | | | | | | | |
| Modelamiento Real Time | | | Mejorar | | | | | | | |
| Simulación Real Time | | | | Mejorar | | | | | | |
| Calibración modelamiento | | | | | Mantener | | | | | |
| Simulación y mecánica de rocas | | | | | | Mantener | | | | |
| Valoración de Lecciones aprendidas | | | | | | | Mantener | | | |
| Análisis de Riesgos | | | | | | | | Mantener | | |
| Generación de informes y alertas | | | | | | | | | Mantener | |
| Acción | Nuevo | Nuevo | | | | | | | | Nuevo |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Teniendo en cuenta la información contenida en la Tabla 24 se establecen los siguientes ajustes al proceso actual:

GAP N1:

Se debe contar con un sistema de información transversal, centralizado y accesible desde cualquier sitio de conexión de la intranet de ICP. Los sistemas de información se describirán en detalle en la fase de aplicaciones.

GAP N2:

Recolección de la información: Permitir la recolección de información en forma clara, segura, veraz y concisa teniendo en cuenta los diferentes protocolos gestionados.

GAP N3:

Almacenamiento de la información: Crear repositorios para ubicar la información recolectada y centralizada para trabajo en tiempo real y manejo de históricos, así como documentar las lecciones aprendidas de implementaciones previas.

GAP N4:

Analítica de datos: Realizar trabajos de analítica de datos a medida que se incremente la cantidad de información registrada en las bases de datos centralizadas.

GAP N5:

Modelamiento y simulación. Mejora funcional para permitir la selección de información ya sea suministrada en tiempo real o recuperación de históricos.

4.4 FASE C: ARQUITECTURA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN

En esta fase se indica la forma en que los sistemas de información guiarán la consecución de los objetivos planteados en la visión de arquitectura. Para complementar la información, Véase Anexo G. Definición de arquitectura empresarial y Anexo I. Definición de Arquitectura de datos.

4.4.1 Descripción de la línea base de arquitectura de información

A continuación, se presenta la información relacionada con la arquitectura de línea base de información:

- Aplicaciones

El proceso actual de gestión de información para el proceso continuo de la geomecánica en perforación esta soportado por 2 aplicaciones desarrolladas internamente (EcoAGE y ecoDRILL) y varias aplicaciones de proveedores externos.

Tabla 25. Información de aplicaciones.

| | Nombre | Desarrollador | Descripción |
|---|--|--------------------------|--|
| 1 | EcoAGE | Ecopetrol ICP | El Software de Análisis Geomecánico de Estabilidad de Pozos EcoAGE permite el acceso remoto y en tiempo real a lo que sucede durante la perforación de un pozo en campo, un mecanismo que facilita la toma de decisiones y actuar predictivamente. |
| 2 | EcoDRILL | Ecopetrol ICP - Numérica | EcoDRILL es una herramienta que facilita la visualización, integración y el análisis de información crítica de las operaciones perforación en tiempo real. |
| 3 | <i>Schlumberger Petrel</i> | Schlumberger | Petrel es una solución de software integrado que le permite resolver todos sus problemas del subsuelo desde la interpretación sísmica a través de la simulación de yacimientos. Petrel elimina los problemas de comunicación que existen entre los diferentes paquetes de software y disciplinas técnicas asociadas. Todos los procesos de trabajo en Petrel contribuyen a desarrollar y perfeccionar el mismo modelo de la tierra volumétrica, estática a dinámica. |
| 4 | <i>Techlog Wellbore Software Platform Techlog Geomechanics</i> | Schlumberger | El módulo <i>Techlog Wellbore Stability</i> permite a los usuarios desarrollar aún más la comprensión obtenida del análisis en el módulo <i>Techlog Pore Pressure Prediction</i> al tener en cuenta los estados de tensión in situ alrededor del pozo. |

| | Nombre | Desarrollador | Descripción |
|---|-----------------------------------|----------------------|--|
| 5 | Software <i>MTS TestSuite™ TW</i> | MTS | El software <i>MTS TestSuite TW</i> permite realizar ensayos mecánicos repetibles y precisos de materiales, componentes y productos terminados. Proporciona la versatilidad necesaria para hacer frente a requisitos de ensayo únicos y complejos, junto con la facilidad de operación requerida para ensayos eficientes de control/aseguramiento de la calidad. |

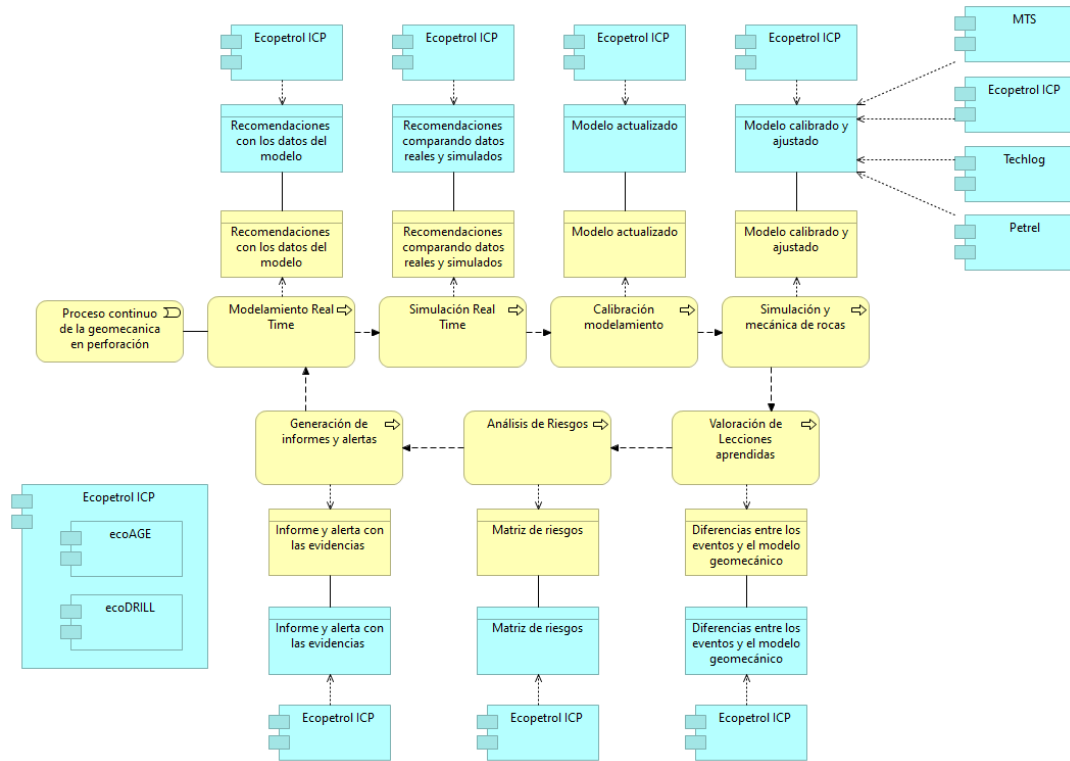
Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Tabla 26. Información de aplicaciones – proceso de negocio

| | EcoAGE | ecoDRILL | Petrel | Techlog | MTS |
|------------------------------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|------------|
| Modelamiento <i>Real Time</i> | X | X | | | |
| Simulación <i>Real Time</i> | X | X | | | |
| Calibración modelamiento | X | X | | | |
| Simulación y mecánica de rocas | X | X | X | X | X |
| Valoración de Lecciones aprendidas | X | X | | | |
| Análisis de Riesgos | X | X | | | |
| Generación de informes y alertas | X | X | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Figura 21. AS-IS fase de aplicación.



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 27. Interacción de los componentes de aplicación

| | EcoAGE | ecoDRILL | Petrel | Techlog | MTS |
|----------|---------------|-----------------|---------------|----------------|------------|
| EcoAGE | | X | X | X | X |
| ecoDRILL | X | | X | X | X |
| Petrel | | | | | |
| Techlog | | | | | |
| MTS | | | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 28. Información de aplicaciones – Bases de datos

| | BD EcoAGE | BD ecoDRILL | Petrel | Techlog | MTS |
|----------|------------------|--------------------|---------------|----------------|------------|
| EcoAGE | X | | | | |
| ecoDRILL | | X | | | |

| | BD EcoAGE | BD ecoDRILL | Petrel | Techlog | MTS |
|---------|-----------|-------------|--------|---------|-----|
| Petrel | | | X | | |
| Techlog | | | | X | |
| MTS | | | | | X |

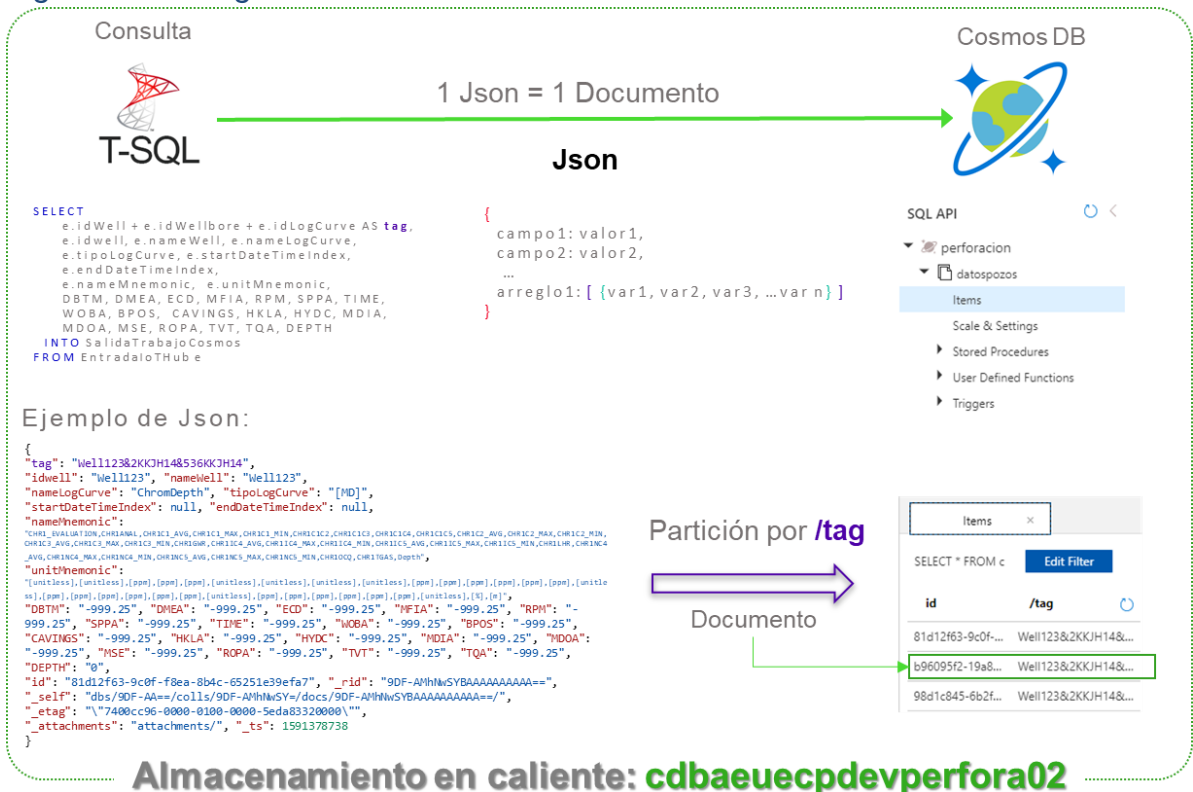
Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.4.2 Descripción de la arquitectura de información objetivo

A continuación, se presenta la información relacionada con la arquitectura objetivo de información, detallando la estructura de datos y las aplicaciones.

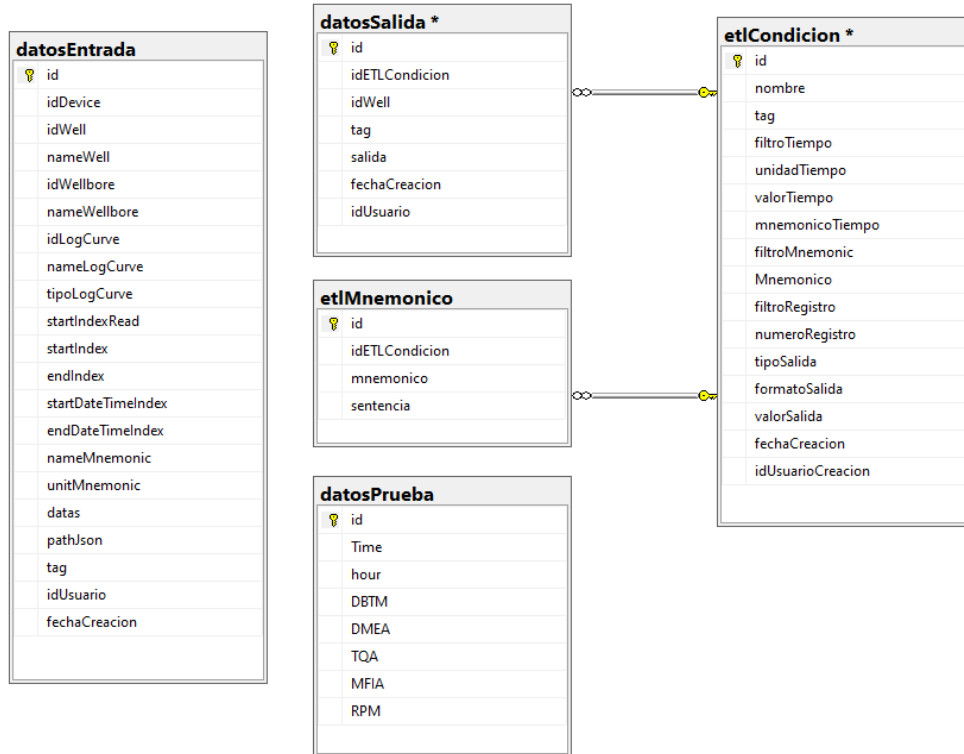
- Estructura de Datos

Figura 22. Configuración de la salida de datos en caliente con Cosmos DB



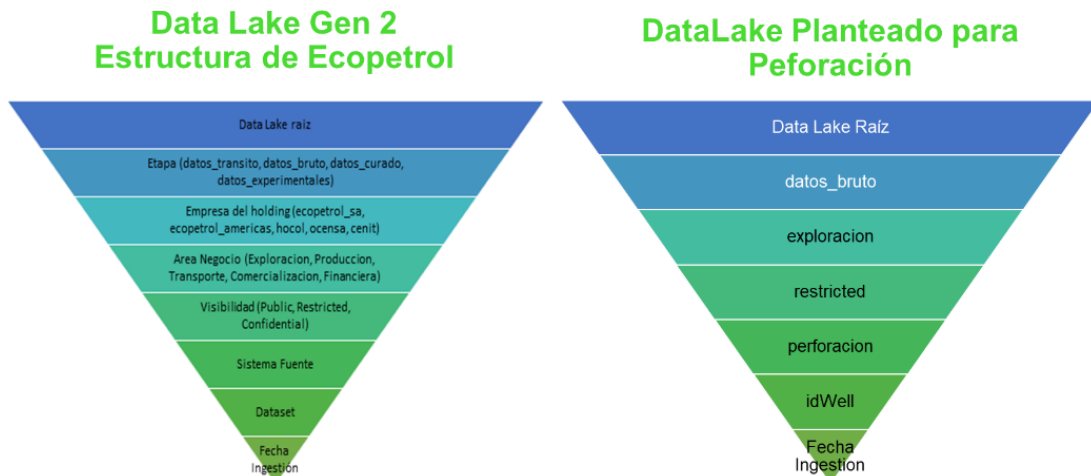
Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Figura 23. Modelo de datos de EcoAGE WEB Versión 1.0 para datos históricos



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Figura 24. Estructura de almacenamiento en frío en un Data Lake

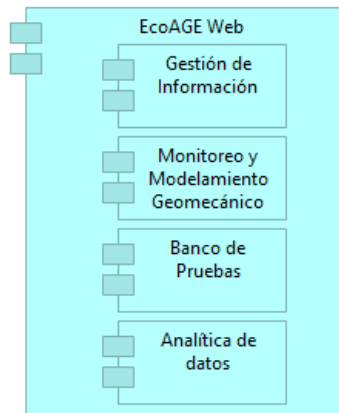


Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

- Aplicaciones

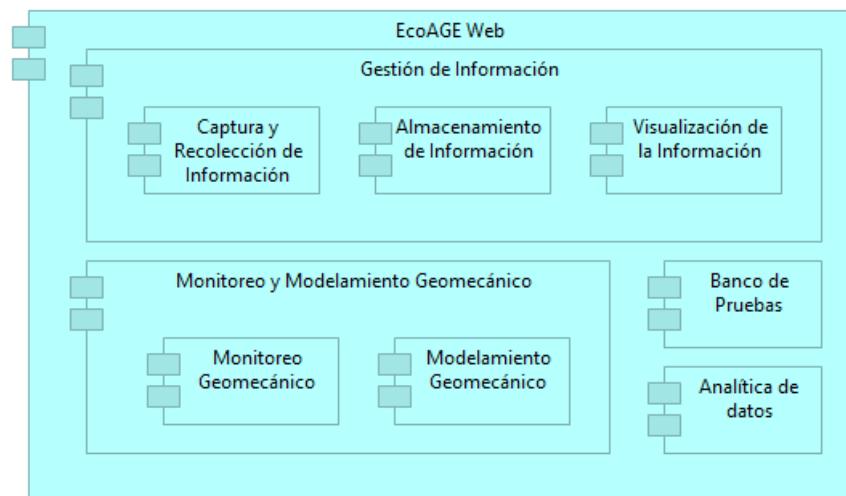
EcoAGE WEB será un sistema compuesto por varios componentes de aplicación como se presenta en la Figura 25 y en la Figura 26.

Figura 25. Bloques o componentes de EcoAGE WEB



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

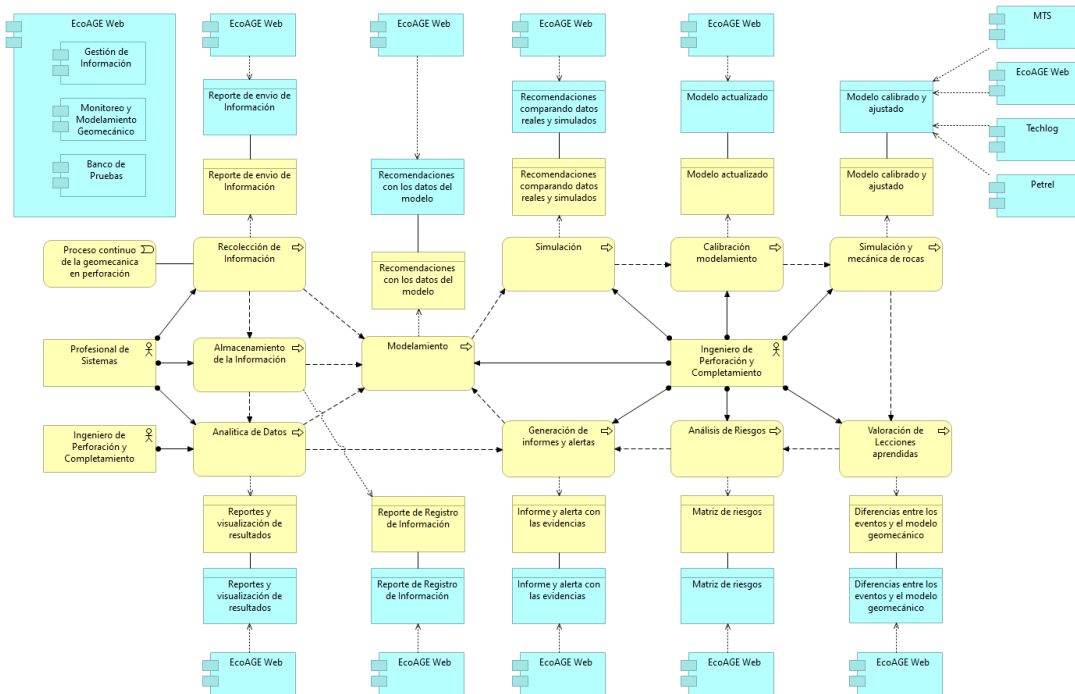
Figura 26. Bloques o componentes en detalle de EcoAGE WEB



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

- Gestión de información
 - Captura y recolección de información
 - Almacenamiento de información
 - Visualización de la información
- Monitoreo y modelamiento geomecánico
 - Monitoreo geomecánico
 - Modelamiento geomecánico
- Banco de pruebas
- Analítica de datos

Figura 27. TO-BE fase de aplicación



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 29. Interacción de los componentes de aplicación

| | EcoAGE WEB | Petrel | Techlog | MTS |
|------------|------------|--------|---------|-----|
| EcoAGE WEB | | X | X | X |
| Petrel | | | | |

| | EcoAGE WEB | Petrel | Techlog | MTS |
|---------|-------------------|---------------|----------------|------------|
| Techlog | | | | |
| MTS | | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 30. Información de aplicaciones – proceso de negocio

| | EcoAGE WEB | Petrel | Techlog | MTS |
|------------------------------------|-------------------|---------------|----------------|------------|
| Recolección de la información | X | | | |
| Almacenamiento de la información | X | | | |
| Modelamiento <i>Real Time</i> | X | | | |
| Simulación <i>Real Time</i> | X | | | |
| Calibración modelamiento | X | | | |
| Simulación y mecánica de rocas | X | X | X | X |
| Valoración de Lecciones aprendidas | X | | | |
| Análisis de Riesgos | X | | | |
| Generación de informes y alertas | X | | | |
| Analítica de datos | X | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 31. Información de aplicaciones – Bases de datos

| | BD EcoAGE WEB | Petrel | Techlog | MTS |
|------------|----------------------|---------------|----------------|------------|
| EcoAGE WEB | X | | | |
| Petrel | | X | | |
| Techlog | | | X | |
| MTS | | | | X |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.4.3 Análisis de brechas

Se analizan las brechas de sistemas de información confrontando las actividades de la línea base de arquitectura con las planteadas en la arquitectura objetivo.

Tabla 32. Brechas entre las arquitecturas de sistemas de información actual y destino

| Arquitectura Objetivo Arquitectura de línea base | Acción | EcoAGE WEB | EcoAGE Mobile | Petrel | Techlog | MTS |
|---|---------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------|------------|
| EcoAGE | Eliminar | | | | | |
| ecoDRILL | Eliminar | | | | | |
| Petrel | | | | Mantener | | |
| Techlog | | | | | Mantener | |
| MTS | | | | | | Mantener |
| Acción | | Nuevo | Nuevo | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

La Tabla 32 presenta la descripción de la brecha entre las arquitecturas de sistemas de información actual (*AS-IS*) y destino (*TO-BE*). Esta diferencia, o delta, define el alcance del trabajo que se debe realizar para pasar de la arquitectura empresarial actual a la de destino.

Teniendo en cuenta la información contenida en la Tabla 32 se establecen los siguientes ajustes al proceso actual:

GAP S1:

Crear un componente de aplicación que permita la recolección de información en forma clara, segura, veraz y concisa teniendo en cuenta los diferentes protocolos gestionados (*rawdata*, *WIST0*, *WITSML*, *WITSML* ajustados, documentos de texto y/o estructurados).

GAP S2:

Crear un componente de aplicación que permita la gestión de los repositorios donde se ubica la información recolectada para trabajo en tiempo real y manejo de históricos.

GAP S3:

Crear un componente de aplicación que permita la gestión de los repositorios donde se ubica la información de la documentación de las lecciones aprendidas de implementaciones previas.

GAP S4:

Crear un componente de aplicación que permita la visualización de la información ya sea en tiempo real o con recuperación de datos históricos desde los repositorios.

GAP S5:

Crear un componente de aplicación que permita desarrollar los flujos de trabajo de modelamiento geomecánico usando tecnología de la cuarta revolución industrial.

GAP S6:

Crear un componente de aplicación que permita desarrollar los flujos de trabajo de monitoreo geomecánico en tiempo real usando tecnología de la cuarta revolución industrial.

GAP S7:

Crear un componente de aplicación que permita desarrollar los flujos de trabajo de análisis y cálculos de propiedades mecánicas a partir de datos experimentales usando tecnología de la cuarta revolución industrial.

GAP S8:

Crear un componente de aplicación que permita gestionar la información registrada en el banco de pruebas de flujo de fluidos y cortes de perforación.

GAP S9:

Crear un componente de aplicación que permita gestionar la información registrada en el gemelo digital del banco de pruebas de flujo de fluidos y cortes de perforación.

GAP S10:

Desarrollar la aplicación para que se integre con servicios *Cloud*.

GAP S11:

Una vez finalizado los primeros módulos de EcoAGE WEB, retirar del listado de aplicaciones a EcoAGE y ecoDRILL ya que será reemplazado por el nuevo desarrollo EcoAGE WEB, y evitar aplicaciones redundantes.

GAP S12:

Crear un componente de aplicación que permita la gestión de la información de los monitoreos geomecánicos

GAP S13:

Crear un componente de aplicación que permita la gestión de la información de los datos experimentales

4.5 FASE D: ARQUITECTURA TECNOLÓGICA

En esta fase se busca asociar componentes de la arquitectura de aplicaciones con los componentes de tecnología representados en software y hardware. Para complementar la información, Véase Anexo G. Definición de arquitectura empresarial y aplicación y Anexo J. Definición de Arquitectura Tecnológica.

4.5.1 Desarrollo de la línea base de la arquitectura de tecnología

Teniendo en cuenta los sistemas identificados y que existe cierto nivel de reserva frente a la información, no fue posible acceder al máximo detalle de la infraestructura tecnológica que soporta dichos sistemas.

- Servidores

Al ser aplicaciones de escritorio, no cuentan con servidores para la publicación de aplicaciones.

- Bases de Datos

EcoAGE utiliza a Access como base de datos.

En ecoDRILL, se cuenta con acceso a un clúster de base de datos en SQL SERVER 2012, cuyo servidor tiene la siguiente configuración:

- Procesador de 8 núcleos
- Memoria RAM 16 Gb

- Tamaño asignado 2000 Mb

- Sistemas Operativos

Al ser aplicaciones de escritorio, el sistema operativo es Windows 10 Professional.

A continuación, se presentan las necesidades identificadas en la arquitectura de tecnología a nivel general para EcoAGE y EcoDRILL:

- Desarrollo de software

- No se conocen todas las herramientas de desarrollo.
- No se siguen los lineamientos establecidos por la Vicepresidencia Digital de Ecopetrol.

- Backup

- No se identifican planes de continuidad y contingencia.

- Base de datos

- Bases de datos en Access lo que no permite gestionar la información de forma centralizada.

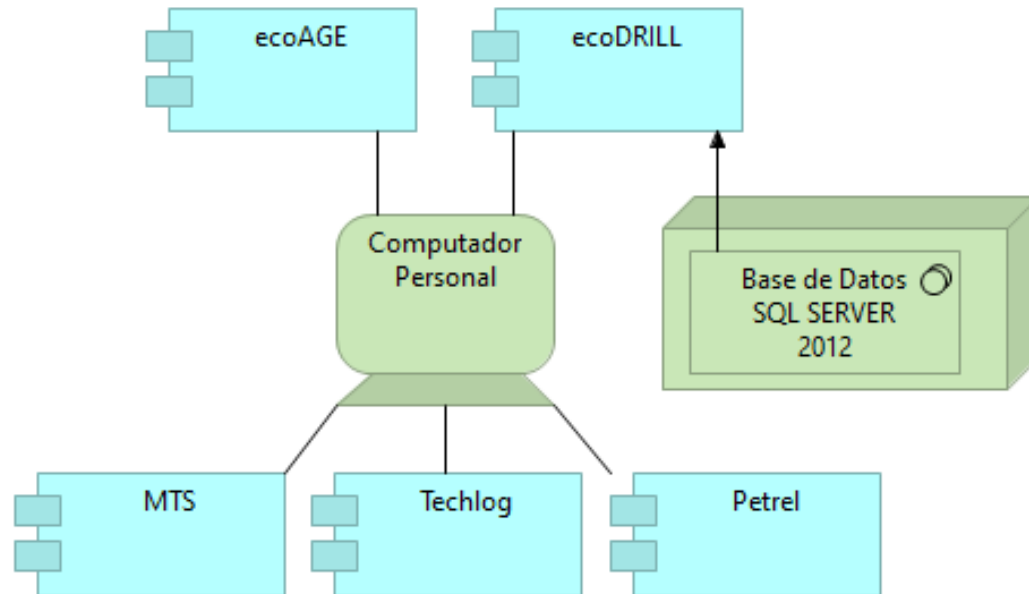
- Servidor de aplicaciones

- Aplicaciones desarrolladas como aplicaciones de escritorio lo que no permite gestionar de forma adecuada el control de versiones, tanto de la aplicación como de la información de la base de datos local.

4.5.2 Descripción de la línea base de arquitectura de tecnología

La línea base de arquitectura de tecnología es una representación de la infraestructura tecnológica actual de los sistemas de información que hacen parte del proceso continuo de la geomecánica en perforación.

Figura 28. AS-IS capa de tecnología



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.5.3 Arquitectura de tecnología objetivo

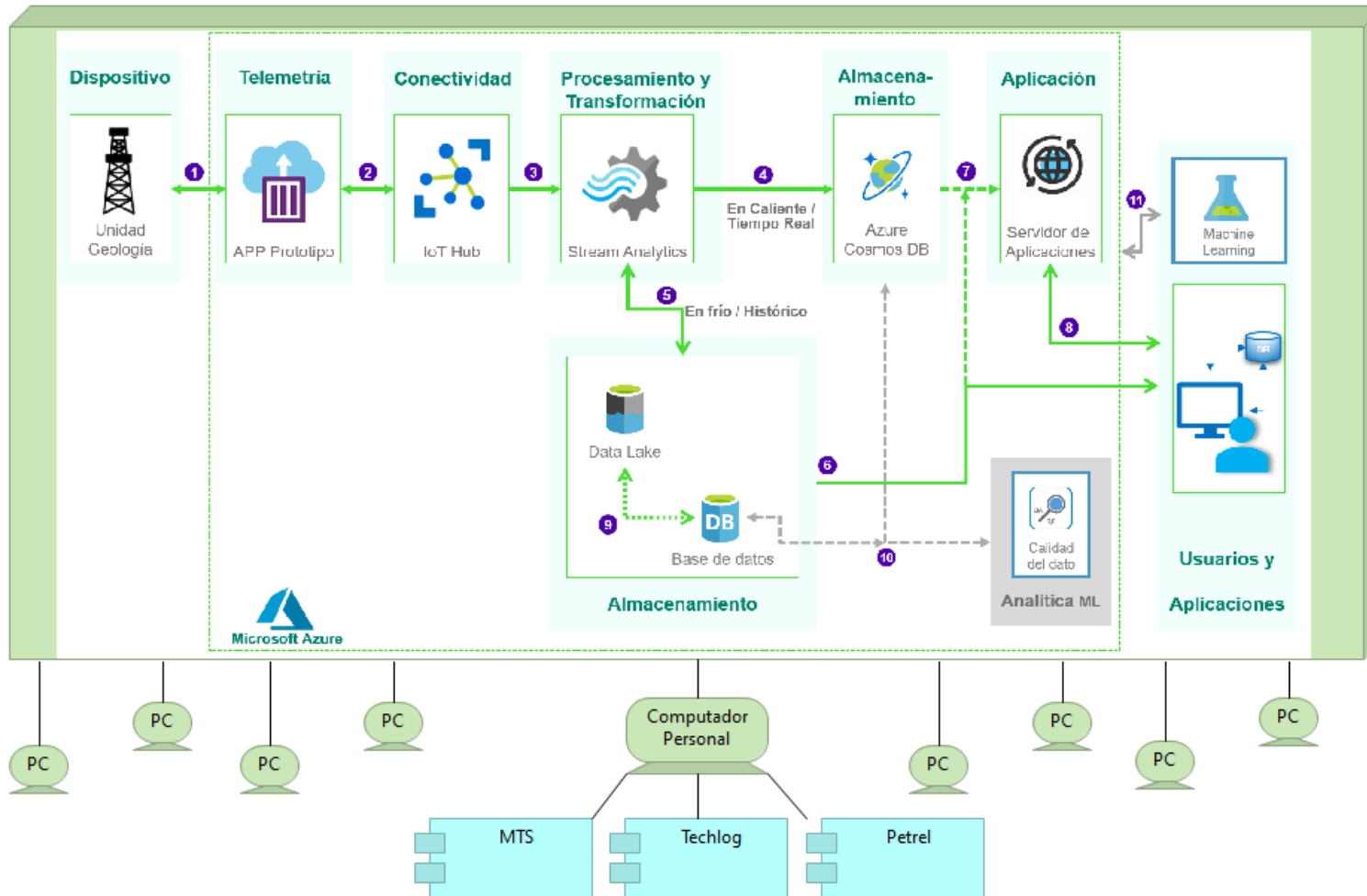
La arquitectura de tecnología actualizada pretende contar con la infraestructura necesaria para que soporte en los sistemas de información, nuevos módulos orientados a:

- Disminuir los reprocesos originados al registrar la misma información en diferentes aplicativos y equipos de trabajo.
- Permitir generar mayor valor a la información obtenida por el Grupo.

4.5.4 Descripción de la arquitectura de tecnología objetivo

A continuación, se presenta la vista de la arquitectura de tecnología objetivo.

Figura 29. Componentes de la arquitectura tecnológica objetivo



Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

- Restricciones
 - Los productos obtenidos deben ser propiedad de la empresa, tanto en los códigos fuente como en los requerimientos, lo que permitirá modificaciones y/o ajustes en un futuro.
 - El sistema debe poder consultarse y administrarse desde la intranet.

4.5.5 Análisis de brechas

Se analizan las brechas de tecnología confrontando los ítems de la línea base de arquitectura con las planteadas en la arquitectura objetivo.

Tabla 33. Brecha entre las arquitecturas tecnológica actual y destino

| Arquitectura Objetivo | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------|------------|
| Arquitectura de línea base | Acción | EcoAGE WEB | EcoAGE Mobile | Petrel | Techlog | MTS |
| EcoAGE | Eliminar | | | | | |
| ecoDRILL | Eliminar | | | | | |
| Petrel | | | | Mantener | | |
| Techlog | | | | | Mantener | |
| MTS | | | | | | Mantener |
| Acción | | Nuevo | Nuevo | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

La Tabla 33 presenta la descripción de la brecha entre las arquitecturas de tecnología actual (*AS-IS*) y destino (*TO-BE*). Esta diferencia, o delta, define el alcance del trabajo que se debe realizar para pasar de la arquitectura empresarial actual a la de destino.

Teniendo en cuenta la información contenida en la Tabla 33 se establecen los siguientes ajustes al proceso actual:

GAP T1:

Se ha construido una propuesta de arquitectura tecnológica que comprende servicios de Cloud Computing de Azure, de manera que facilite la agilidad y colaboración entre procesos y entregables.

GAP T2:

Para el desarrollo de los componentes de aplicación, se debe seguir los lineamientos definidos por la Vicepresidencia Digital (VDI) y que son presentados en 5. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE BUENAS PRÁCTICAS.

4.6 FASE E: OPORTUNIDADES Y SOLUCIONES

Teniendo en cuenta las brechas identificadas en cada una de las fases anteriores (fase de arquitectura de negocio, fase de arquitectura de sistemas de información y fase de arquitectura de tecnología), estas son agrupadas en iniciativas o proyectos que están orientadas para conseguir los objetivos planteados en la visión de arquitectura.

4.6.1 Relación de Proyectos

Con el análisis de brechas y el acompañamiento del grupo de perforación de Ecopetrol ICP se generan varias iniciativas y/o propuestas de mejora.

A continuación, se listan los diferentes proyectos identificados presentando una pequeña descripción de cada módulo. Cada uno de estos módulos hacen parte de un nuevo sistema, denominado “EcoAGE WEB”, en donde se integrarán todos los desarrollos a realizarse dentro del grupo de perforación, creando así, una SUITE especializada.

Tabla 34. Relación y descripción de proyectos

| ID | Sistema | Módulo | Descripción |
|-----------|----------------|--------------------------------------|--|
| P1 | EcoAGE WEB | Módulo captura de información WITSML | Desarrollo de esquema de conexión WITSML teniendo en cuenta fuentes de origen estándar a Energistics |

| ID | Sistema | Módulo | Descripción |
|-----------|----------------|-------------------------------------|---|
| P2 | | Módulo almacenamiento en frío | Almacenamiento de información WITSML teniendo en cuenta fuentes de origen estándar a Energistics para manejo en frío |
| P3 | | Módulo almacenamiento en caliente | Almacenamiento de información WITSML teniendo en cuenta fuentes de origen estándar a Energistics para manejo en caliente |
| P4 | | Módulo visualización en tiempo real | Visualizador de datos WITSML teniendo en cuenta fuentes de origen estándar a Energistics en tiempo real |
| P5 | | Módulo visualización de históricos | Visualizador de datos históricos WITSML teniendo en cuenta fuentes de origen estándar a Energistics |
| P6 | | Módulo monitoreo geo mecánico | Migración e Integración de módulos de perforación (torque y arrastre, MSE, hidráulica, etc.) de suite aplicativo de monitoreo geo mecánico EcoDRILL V1 a versión EcoAGE WEB |
| P7 | | Módulo visualización de curvas | Optimización de funcionalidades de visualización de curvas de perforación de EcoAGE WEB |
| P8 | | Módulo datos experimentales | Creación de base de datos unificada de datos experimentales geomecánicos para EcoAGE WEB |
| P9 | | Módulo IoT Edge | Desarrollo de esquemas de conexión WITS0 y WITSML usando IoT <i>EDGE</i> (Infraestructura Ecopetrol) e integración a EcoAGE WEB |
| P10 | | Módulo banco de pruebas | Diseño, ingeniería de detalle de la automatización e instrumentación del banco de pruebas de flujo de fluidos y cortes de perforación. |

| ID | Sistema | Módulo | Descripción |
|-----|-------------------------|---|---|
| P11 | | Módulo gemelo digital banco de pruebas | Diseño y construcción de gemelo digital del banco de pruebas de flujo de fluidos y cortes de perforación. |
| P12 | | Módulo captura de información WITSML no estándar | Desarrollo de esquema de conexión WITSML teniendo en cuenta fuentes de origen no estándar a Energistics |
| P13 | | Módulo captura de información WITS0 | Desarrollo de esquema de conexión WITS0 |
| P14 | | Módulo flujos de trabajo de modelamiento geo mecánico | Aplicación y/o desarrollo de tecnología de la cuarta revolución industrial (robótica, la inteligencia artificial (IA), las cadenas de bloques (<i>blockchain</i>), la nanotecnología, el internet de las cosas, computación cuántica, etc.) para desarrollar los flujos de trabajo de modelamiento geo mecánico |
| P15 | | Módulo flujos de trabajo de monitoreo geo mecánico en tiempo real | Aplicación y/o desarrollo de tecnología de la cuarta revolución industrial (robótica, la inteligencia artificial (IA), las cadenas de bloques (<i>blockchain</i>), la nanotecnología, el internet de las cosas, computación cuántica, etc.) para desarrollar los flujos de trabajo de monitoreo geo mecánico en tiempo real |
| P16 | | Módulo flujos de trabajo de análisis de datos experimentales | Aplicación y/o desarrollo de tecnología de la cuarta revolución industrial (robótica, la inteligencia artificial (IA), las cadenas de bloques (<i>blockchain</i>), la nanotecnología, el internet de las cosas, computación cuántica, etc.) para desarrollar los flujos de trabajo de análisis y cálculos de propiedades mecánicas a partir de datos experimentales |
| P17 | EcoAGE <i>Mobile</i> | Módulo operaciones de perforación | Desarrollo de herramienta <i>Mobile</i> que facilite la visualización de información |

| ID | Sistema | Módulo | Descripción |
|----|---------|--------|--|
| | | | crítica de las operaciones perforación, que esté disponible las 24 horas del día para ser consultada por equipos de trabajo de empresas operadoras y de compañías de servicios especializados, y de esta manera facilite la toma oportuna de decisiones. |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 35. Relación de proyectos indicando plazo y aproximada duración.

| ID | Sistema | Nombre | Estado | Plazo | Duración (meses) |
|-----|---------------|--|--------|---------|------------------|
| P1 | EcoAGE WEB | Módulo captura de información WITSML | Mejora | Corto | 4 |
| P2 | | Módulo almacenamiento en frío | Mejora | Corto | 2 |
| P3 | | Módulo almacenamiento en caliente | Mejora | Corto | 2 |
| P4 | | Módulo visualización en tiempo real | Mejora | Corto | 2 |
| P5 | | Módulo visualización de históricos | Mejora | Corto | 2 |
| P6 | | Módulo monitoreo geo mecánico | Nuevo | Mediano | 12 |
| P7 | | Módulo visualización de curvas | Mejora | Mediano | 12 |
| P8 | | Módulo datos experimentales | Nuevo | Mediano | 12 |
| P9 | | Módulo IoT <i>Edge</i> | Nuevo | Mediano | 12 |
| P10 | | Módulo banco de pruebas | Nuevo | Mediano | 12 |
| P11 | | Módulo gemelo digital banco de pruebas | Nuevo | Mediano | 12 |

| ID | Sistema | Nombre | Estado | Plazo | Duración (meses) |
|-----|---------------|---|--------|---------|------------------|
| P12 | | Módulo captura de información WITSML no estándar | Nuevo | Corto | 6 |
| P13 | | Módulo captura de información WITSO | Mejora | Corto | 6 |
| P14 | | Módulo flujos de trabajo de modelamiento geo mecánico | Nuevo | Mediano | 12 |
| P15 | | Módulo flujos de trabajo de monitoreo geo mecánico en tiempo real | Nuevo | Mediano | 12 |
| P16 | | Módulo flujos de trabajo de análisis de datos experimentales | Nuevo | Largo | 24 |
| P17 | EcoAGE Mobile | Módulo operaciones de perforación | Nuevo | Largo | 24 |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 36. Relación de proyectos y brechas identificadas.

| ID | Sistema | Nombre del proyecto | Brecha asociada |
|----|------------|--------------------------------------|--|
| P1 | EcoAGE WEB | Módulo captura de información WITSML | GAP N1, GAP N2, GAP S1, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P2 | | Módulo almacenamiento en frío | GAP N1, GAP N3, GAP S2, GAP S3, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P3 | | Módulo almacenamiento en caliente | GAP N1, GAP N3, GAP S2, GAP S3, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |

| ID | Sistema | Nombre del proyecto | Brecha asociada |
|-----|---------|--|--|
| P4 | | Módulo visualización en tiempo real | GAP N1, GAP N5, GAP S4, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P5 | | Módulo visualización de históricos | GAP N1, GAP N5, GAP S4, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P6 | | Módulo monitoreo geomecánico | GAP N1, GAP N5, GAP S12, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P7 | | Módulo visualización de curvas | GAP N1, GAP N5, GAP S4, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P8 | | Módulo datos experimentales | GAP N1, GAP N5, GAP S13, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P9 | | Módulo IoT <i>Edge</i> | GAP N1, GAP N2, GAP S1, GAP S3, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P10 | | Módulo banco de pruebas | GAP N1, GAP N3, GAP S8, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P11 | | Módulo gemelo digital banco de pruebas | GAP N1, GAP N3, GAP S9, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |

| ID | Sistema | Nombre del proyecto | Brecha asociada |
|-----|-------------------------|--|--|
| P12 | | Módulo captura de información WITSML no estándar | GAP N1, GAP N2, GAP S1, GAP S3, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P13 | | Módulo captura de información WITS0 | GAP N1, GAP N2, GAP S1, GAP S3, GAP S10, GAP S11, GAP T1, GAP T2 |
| P14 | | Módulo flujos de trabajo de modelamiento geomecánico | GAP N1, GAP N4, GAP S5, GAP S10, GAP T1, GAP T2 |
| P15 | | Módulo flujos de trabajo de monitoreo geomecánico en tiempo real | GAP N1, GAP N4, GAP S6, GAP S10, GAP S12, GAP T1, GAP T2 |
| P16 | | Módulo flujos de trabajo de análisis de datos experimentales | GAP N1, GAP N4, GAP S7, GAP S10, GAP S13, GAP T1, GAP T2 |
| P17 | EcoAGE <i>Mobile</i> | Módulo operaciones de perforación | GAP N1, GAP N5, GAP S4, GAP S10, GAP T1, GAP T2 |

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 37. Relación de proyectos y brechas identificadas.

| ID Proyecto | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| GAP N1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP N2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP N3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP N4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP N5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S11 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP S13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP T1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GAP T2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor.

En la Tabla 38 se presenta la relación de proyectos indicando la responsabilidad de cada uno de los roles de los integrantes del grupo de perforación de Ecopetrol ICP

Tabla 38. Matriz de responsabilidades de roles en proyectos de la hoja de ruta

| | Director ICP | Jefe Centro de Innovación y Tecnología | Autoridad Técnica | Ingeniero de Perforación y Completamiento | Profesional VDI | Profesional de sistemas |
|-----|---------------------|---|--------------------------|--|------------------------|--------------------------------|
| P1 | I | I | CI | RA | C | R |
| P2 | I | I | CI | RA | C | R |
| P3 | I | I | CI | RA | C | R |
| P4 | I | I | CI | RA | C | R |
| P5 | I | I | CI | RA | C | R |
| P6 | I | I | CI | RA | C | R |
| P7 | I | I | CI | RA | C | R |
| P8 | I | I | CI | RA | C | R |
| P9 | I | I | CI | RA | C | R |
| P10 | I | I | CI | RA | C | R |
| P11 | I | I | CI | RA | C | R |
| P12 | I | I | CI | RA | C | R |
| P13 | I | I | CI | RA | C | R |
| P14 | I | I | CI | RA | C | R |
| P15 | I | I | CI | RA | C | R |
| P16 | I | I | CI | RA | C | R |
| P17 | I | I | CI | RA | C | R |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

Tabla 39. Relación de proyectos asociados a los objetivos estratégicos

| ID | Objetivos estratégicos Ecopetrol | Objetivos estratégicos del grupo de perforación y completamiento | Sistema | Nombre |
|-----|----------------------------------|--|------------|---|
| P1 | OEE1 | OEGF2 | EcoAGE WEB | Módulo captura de información WITSML |
| P2 | OEE4 | OEGF4 | | Módulo almacenamiento en frío |
| P3 | OEE4 | OEGF4 | | Módulo almacenamiento en caliente |
| P4 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | | Módulo visualización en tiempo real |
| P5 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | | Módulo visualización de históricos |
| P6 | OEE1 | OEGF2 | | Módulo monitoreo geo mecánico |
| P7 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | | Módulo visualización de curvas |
| P8 | OEE4 | OEGF4 | | Módulo datos experimentales |
| P9 | OEE1 | OEGF2 | | Módulo IoT <i>Edge</i> |
| P10 | OEE4 | OEGF4 | | Módulo banco de pruebas |
| P11 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | | Módulo gemelo digital banco de pruebas |
| P12 | OEE1 | OEGF2 | | Módulo captura de información WITSML no estándar |
| P13 | OEE1 | OEGF2 | | Módulo captura de información WITS0 |
| P14 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | | Módulo flujos de trabajo de modelamiento geo mecánico |

| ID | Objetivos estratégicos Ecopetrol | Objetivos estratégicos del grupo de perforación y completamiento | Sistema | Nombre |
|-----|----------------------------------|--|-------------------------|---|
| P15 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | | Módulo flujos de trabajo de monitoreo geo mecánico en tiempo real |
| P16 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | | Módulo flujos de trabajo de análisis de datos experimentales |
| P17 | OEE3 | OEGF1, OEGF3 | EcoAGE <i>Mobile</i> | Módulo operaciones de perforación |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

4.6.2 Hoja de Ruta

The Open Group (The Open Group, 2019) define la Hoja de ruta de la arquitectura como una lista de componentes y módulos en una línea de tiempo. Cada componente o módulo identifica un grupo lógico de cambios o requerimientos necesarios para realizar la Arquitectura de destino.

Con asesoría de integrantes del grupo de perforación, se establecen los proyectos a realizarse en el año 2020 y que harán parte del piloto de software.

Se contemplan los siguientes requerimientos generales en el desarrollo del piloto:

- Captura de información WITSML
- Almacenamiento de información en bases de datos centralizadas
- Visualización de la información

Teniendo en cuenta la hoja de ruta de proyectos y relacionándolos a los requerimientos generales se detalla la asociación de proyectos a cada requerimiento y la hoja de ruta de implementación del año 2020.

Tabla 40. Relación de proyectos seleccionados de la hoja de ruta

| Requerimiento General | ID | Nombre | |
|---|----|------------|--------------------------------------|
| Captura de información WITSML | 1 | EcoAGE WEB | Módulo captura de información WITSML |
| Almacenamiento de información en bases de datos centralizadas | 2 | | Módulo almacenamiento en frio |
| | 3 | | Módulo almacenamiento en caliente |
| Visualización de la información | 4 | | Módulo visualización en tiempo real |
| | 5 | | Módulo visualización de históricos |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 41. Hoja de Ruta de implementación año 2020

| ID | Nombre | 2020 | | | | | | | | | | | |
|----|--------------------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Módulo captura de información WITSML | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Módulo almacenamiento en frio | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Módulo almacenamiento en caliente | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Módulo visualización en tiempo real | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Módulo visualización de históricos | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación

Para complementar la información, Véase el Anexo K. Hoja de ruta de Arquitectura (ROADMAP).

Con asesoría de integrantes del grupo de perforación, se establecen los proyectos a realizarse entre los años 2021 y 2025. La hoja de ruta de estos proyectos se definió teniendo en cuenta el plazo y duración aproximada del proyecto.

Tabla 42. Hoja de Ruta para implementación de proyectos años 2021-2025

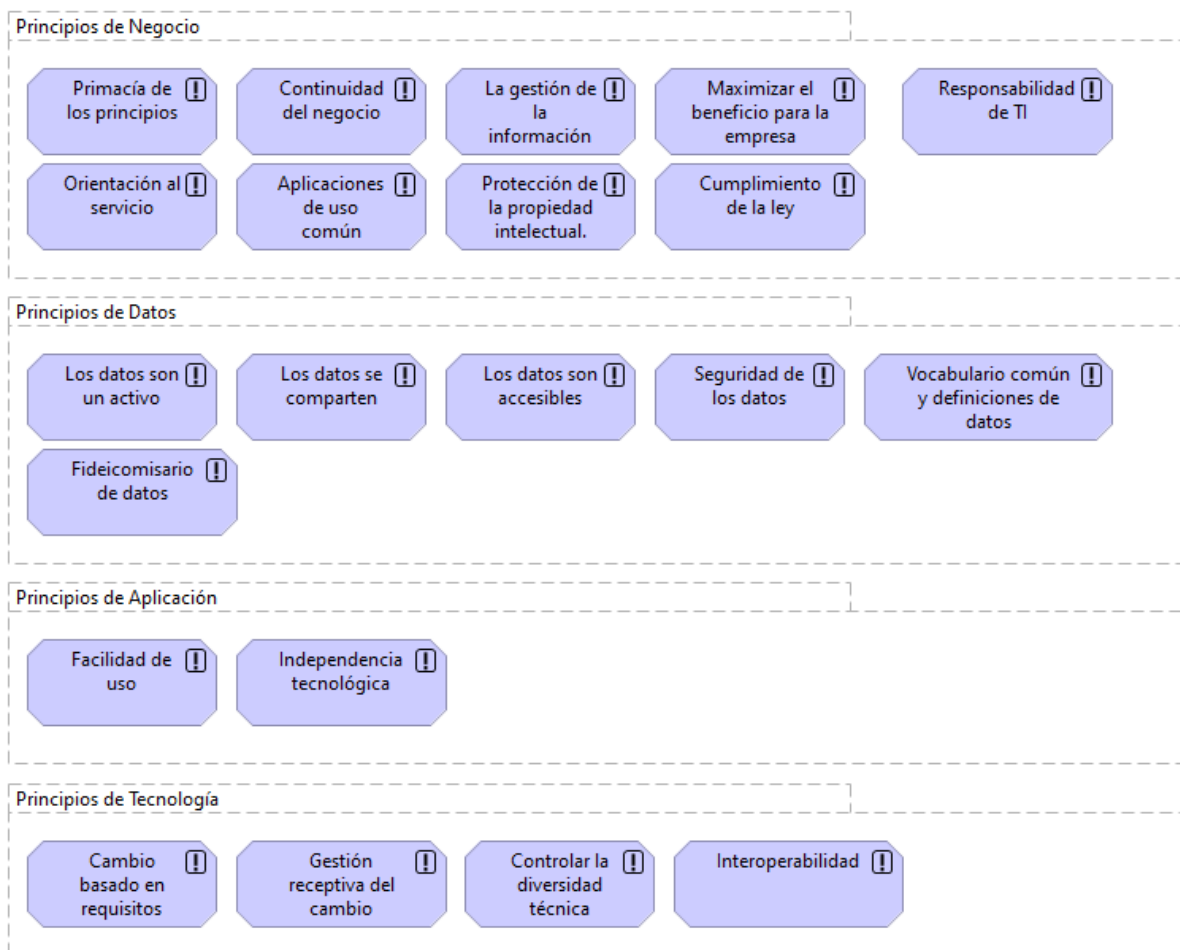
| ID | Nombre | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|----|---|------|------|------|------|------|
| 6 | Módulo monitoreo geo mecánico | ■ | ■ | | | |
| 7 | Módulo visualización de curvas | ■ | ■ | | | |
| 8 | Módulo datos experimentales | | ■ | ■ | | |
| 9 | Módulo IoT <i>Edge</i> | | ■ | ■ | | |
| 10 | Módulo banco de pruebas | ■ | ■ | | | |
| 11 | Módulo gemelo digital banco de pruebas | | ■ | ■ | | |
| 12 | Módulo captura de información WITSML no estándar | | ■ | | | |
| 13 | Módulo captura de información WITS0 | | ■ | | | |
| 14 | Módulo flujos de trabajo de modelamiento geo mecánico | | | ■ | ■ | |
| 15 | Módulo flujos de trabajo de monitoreo geo mecánico en tiempo real | | | ■ | ■ | |
| 16 | Módulo flujos de trabajo de análisis de datos experimentales | | | | ■ | ■ |
| 17 | Módulo operaciones de perforación | | | | ■ | ■ |

Fuente: Elaboración propia del autor con asesoría de integrantes del grupo de perforación.

5. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE BUENAS PRÁCTICAS

Contar con lineamientos que guíen el trabajo a ejecutar en los diferentes dominios de la arquitectura empresarial permite a los involucrados asegurar los niveles de calidad requeridos técnica y funcionalmente, además de garantizar desarrollos óptimos, estandarización y la unificación de criterios técnicos, facilita la supervisión y el seguimiento de los proyectos desarrollados tanto con externos o con el recurso humano de TI.

Figura 30. Principios de Arquitectura Empresarial



Fuente: Elaboración propia del autor

Como elementos de referencia para considerar los lineamientos de buenas prácticas, a nivel de los diferentes dominios de la arquitectura empresarial, se toman los principios de arquitectura empresarial (Véase *Figura 30*) como reglas y pautas

generales para el uso e implementación de todos los recursos y activos de TI en la organización.

La estandarización es la base para proponer los lineamientos de buenas prácticas que faciliten y fortalezcan la gestión de información, desarrollo e implantación de sistemas de información, acceso a la tecnología y seguridad, y a su vez, el mejoramiento en la eficiencia de la gestión de la organización. En el establecimiento de lineamientos se tiene en cuenta la metodología de desarrollo, la interoperabilidad e integración y la arquitectura basada en servicios.

Por buenas prácticas se entiende un conjunto coherente de acciones que han rendido buen o excelente servicio en un determinado contexto y que se espera que, en contextos similares, rindan equivalentes o mejores resultados.

El uso de buenas prácticas es fundamental para todas las etapas de desarrollo de un sistema o aplicación. A continuación, se describen las categorías de los estándares y lineamientos que son propuestos para el desarrollo de software, aplicando las buenas prácticas y usando herramientas tecnológicas, todo esto apoyados en los lineamientos establecidos por la Vicepresidencia Digital (VDI) de Ecopetrol, contemplando las necesidades establecidas en la definición de la arquitectura y en los proyectos planteados en la hoja de ruta.

Tabla 43. Propuesta de Lineamiento de buenas practicas

| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|-----------------|--|--|---|
| Infraestructura | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Maximizar el beneficio para la empresa • Continuidad del negocio • Orientación al servicio • Responsabilidad de TI • Protección de la propiedad intelectual • Los datos son un activo • Los datos se comparten • Los datos son accesibles • Fideicomisario de datos • Seguridad de los datos • Independencia tecnológica • Gestión receptiva del cambio • Controlar la diversidad técnica • Interoperabilidad | Usar una Plataforma de Recursos y Servicios como Microsoft Azure | Alojar las aplicaciones y tomar ventaja de las herramientas y soluciones de infraestructura que ofrece la nube aumenta la flexibilidad, escalabilidad y seguridad. Vicepresidencia Digital de Ecopetrol utiliza la Plataforma Azure para la integración de desarrollos. |

| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|---------------------------------------|--|--|---|
| Metodología de desarrollo de software | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Maximizar el beneficio para la empresa • Aplicaciones de uso común • Responsabilidad de TI • Protección de la propiedad intelectual • Los datos son un activo • Los datos son accesibles | Integrar prácticas DEVOPS | Integrar prácticas DevOps en el ciclo de producto para realizar despliegues continuos que permitan realizar pruebas automatizadas en todos los ambientes de manera rápida y segura. Usar paradigmas flexibles y adaptables a los cambios permite abordar integralmente el desarrollo de productos software adecuados a las necesidades de los usuarios, los recursos y las capacidades de los equipos de desarrollo maximizando la entrega de valor y minimizando los costos. |
| Metodología de desarrollo de software | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Maximizar el beneficio para la empresa • Aplicaciones de uso común • Orientación al servicio • Responsabilidad de TI • Los datos son un activo • Facilidad de uso • Cambio basado en requisitos • Gestión receptiva del cambio • Controlar la diversidad técnica | Usar una metodología de desarrollo ágil como SCRUM | Complemento a DEVOPS se propone el uso de SCRUM. Vicepresidencia Digital de Ecopetrol utiliza SCRUM como metodología de desarrollos ágiles. |

| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|---------------|--|--|--|
| Documentación | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Maximizar el beneficio para la empresa • La gestión de la información es asunto de todos • Protección de la propiedad intelectual • Los datos son un activo • Los datos se comparten • Los datos son accesibles • Fideicomisario de datos • Vocabulario común y definiciones de datos • Seguridad de los datos | <p>Establecer con el Patrocinador y el <i>Product Owner</i> el nivel de detalle de la documentación, teniendo en cuenta que esto no afecte el desarrollo del software.</p> | <p>El planteamiento en Scrum, como metodología ágil que es, se basa en el principio del Manifiesto Ágil que dice: 'Valorar más el software que funciona que la documentación exhaustiva'. Si se genera un documento debe ser porque es imprescindible y claramente útil para una actividad determinada. No todos los proyectos y equipos de desarrollo necesitan el mismo tipo de documentación.</p> |

| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|---------------------------------|---|---|--|
| Plan de pruebas | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Maximizar el beneficio para la empresa • Vocabulario común y definiciones de datos • Cambio basado en requisitos • Gestión receptiva del cambio • Controlar la diversidad técnica | Construir un plan de pruebas para verificar que las aplicaciones | <p>Construir un plan de pruebas para verificar que las aplicaciones desarrolladas cumplen con las necesidades establecidas por el usuario y con las debidas garantías de calidad. No todos los proyectos requieren realizar todos los tipos de pruebas. Se propone contemplar las siguientes pruebas, teniendo en cuenta el tamaño del proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pruebas Unitarias • Pruebas de Integración • Pruebas del Sistema • Pruebas Funcionales • Pruebas de Aceptación. |
| Entorno Integrado de Desarrollo | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Controlar la diversidad técnica | Usar un entorno de desarrollo libre como Microsoft Visual Studio Code | <p>Es un entorno de desarrollo que permite con diversos lenguajes de programación, admite gestionar propios atajos de teclado y refactorizar el código. Si se cuenta con licencia se propone trabajar con Microsoft Visual Studio Professional, ya que posee elementos integradores avanzados con la plataforma de servicios Azure.</p> |

| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|---|--|---|---|
| Ambientes de trabajo para bases de datos | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • La gestión de la información es asunto de todos • Continuidad del negocio • Los datos son un activo • Los datos se comparten • Los datos son accesibles • Fideicomisario de datos • Seguridad de los datos • Independencia tecnológica • Controlar la diversidad técnica | Contar con diferentes ambientes de trabajo para las bases de datos | <p>Al estar en un constante proceso de desarrollo, pruebas y publicaciones de estructuras de datos para aplicaciones, se propone contar con varios ambientes de trabajo para cada proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ambiente de Producción • Ambiente de Pruebas • Ambiente de Desarrollo |
| Ambientes de trabajo para sistemas de información | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Seguridad de los datos • Independencia tecnológica • Facilidad de uso • Controlar la diversidad técnica | Contar con diferentes ambientes de trabajo para los sistemas de información | <p>Al estar en un constante proceso de desarrollo, pruebas y publicaciones de funcionalidades de aplicaciones, se propone contar con varios ambientes de trabajo para cada proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ambiente de Producción • Ambiente de Pruebas • Ambiente de Desarrollo |

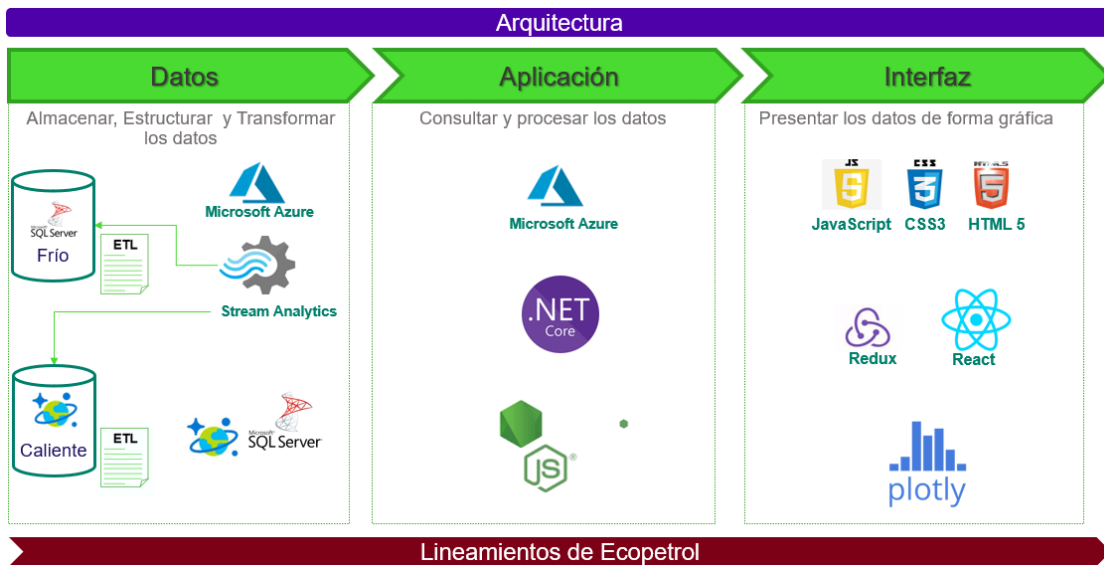
| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|--|--|---|---|
| Gestores de información o bases de datos | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Maximizar el beneficio para la empresa • La gestión de la información es asunto de todos • Protección de la propiedad intelectual • Los datos son un activo • Los datos se comparten • Los datos son accesibles • Fideicomisario de datos • Seguridad de los datos • Independencia tecnológica • Controlar la diversidad técnica • Interoperabilidad | Utilizar uno o varios gestores de bases de datos centralizado, de acuerdo a las necesidades del desarrollo y/o estructura de la información | <p>La mayoría de las aplicaciones debe almacenar datos; por lo tanto, independientemente de cómo se decida hospedar la aplicación en Azure, se propone considerar la posibilidad de usar uno o varios de los servicios de datos y almacenamiento propuestos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • SQL Server • Cosmos DB • Azure Storage • Table Storage • Azure BlobStorage • Azure DataLake |

| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|---|--|--|---|
| Lenguajes o tecnologías para el desarrollo del Backend y del Frontend | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Maximizar el beneficio para la empresa • Orientación al servicio • Independencia tecnológica • Facilidad de uso • Controlar la diversidad técnica • Interoperabilidad | Utilizar uno o varios lenguajes o tecnologías de desarrollo, de acuerdo a las necesidades del desarrollo | <p>Para el desarrollo de aplicaciones en la plataforma Azure, se propone la posibilidad de usar uno o varios de los lenguajes o tecnologías de desarrollo, todos multiplataforma, teniendo en cuenta los requerimientos de cada proyecto de desarrollo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Node.js • React.js • Plotly.js • Python • Django • C# .NET • HTML5, CSS3 y JavaScript |
| Nomenclatura Azure | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Vocabulario común y definiciones de datos • Interoperabilidad | Usar la nomenclatura para Servicios Azure | Vicepresidencia Digital de Ecopetrol utiliza la nomenclatura de Plataforma Azure con algunos ajustes. Para componentes no relacionados en la nomenclatura original de Azure, en común acuerdo con VDI, se estableció nomenclatura para algunos servicios. |
| Nomenclatura Programación | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Vocabulario común y definiciones de datos • Interoperabilidad | Usar la nomenclatura para Programación | Se establecen lineamientos mínimos en la escritura de scripts para la creación de elementos de bases de datos y en los documentos de códigos fuentes relacionados al <i>Backend</i> y <i>Frontend</i> . |

| Categoría | Principio de Arquitectura | Propuesta | Justificación |
|------------------------------------|--|---|--|
| Cumplimiento de requisitos legales | <ul style="list-style-type: none"> • Primacía de los principios • Cumplimiento de la ley • Protección de la propiedad intelectual | Cumplir los requisitos legales y velar por los derechos de propiedad intelectual. | Los funcionarios, contratistas, colaboradores y terceros deben cumplir con la legislación aplicable para el desarrollo y puesta en marcha de los sistemas de información. Los funcionarios, contratistas, colaboradores y terceros que presten servicios deben cumplir con la reglamentación de propiedad intelectual. |

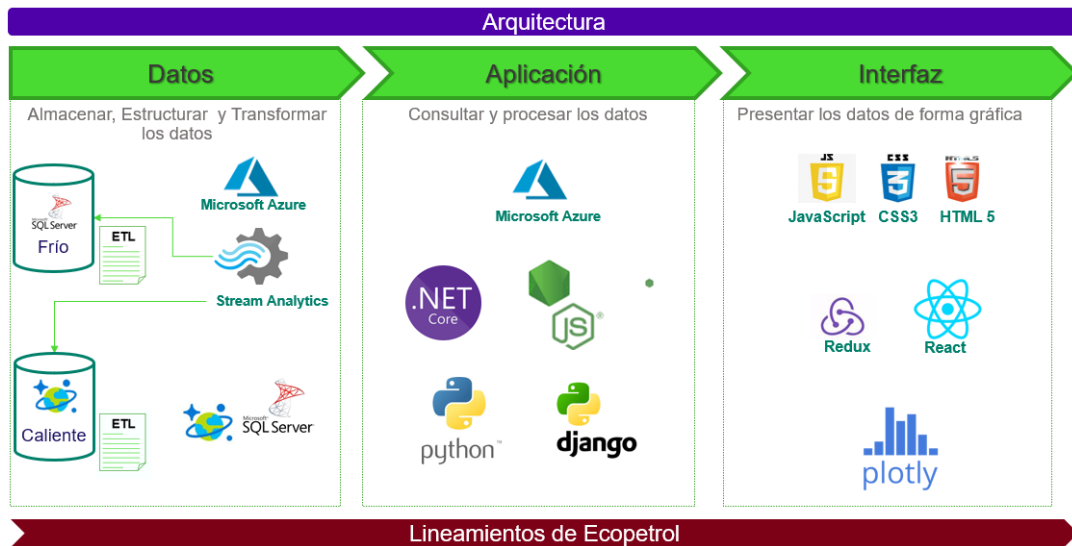
Fuente: Elaboración propia del autor

Figura 31. Tecnologías y herramientas de desarrollo aplicaciones web



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Figura 32. Tecnologías y herramientas de desarrollo aplicaciones web con analítica de datos



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Para complementar la información de lineamientos de buenas prácticas, Véase el Anexo L. Lineamientos de Buenas Prácticas.

6. IMPLEMENTACIÓN DEL PILOTO DE SOFTWARE

En este apartado se presenta el detalle de la implementación del piloto de software, donde considerando unos requerimientos generales se seleccionan los proyectos a realizar teniendo en cuenta la hoja de ruta definida en 4.6 FASE E: OPORTUNIDADES Y SOLUCIONES utilizando los lineamientos establecidos en 5. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE BUENAS PRÁCTICAS.

Para complementar la información, Véase el Anexo M. Código Fuente de los proyectos seleccionados, Anexo N. Actividades-*Product Backlog*, Anexo O. Acta de aceptación del proyecto, Anexo P. Manual Técnico EcoAGE WEB y Anexo Q. Manual de Usuario EcoAGE WEB.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL PILOTO DE SOFTWARE

Teniendo en cuenta el objetivo O4 Implementar un piloto de software como primera transformación digital basada en el análisis de oportunidades y soluciones, aplicando lineamientos de buenas prácticas, se requiere elaborar un piloto de software que permita realizar la gestión de información desde la captura de datos en la caseta de monitoreo hasta su visualización, ya sea en tiempo real o en históricos. Se contemplan los siguientes requerimientos generales en el desarrollo del piloto:

- Captura de información WITSML
- Almacenamiento de información en bases de datos centralizadas
- Visualización de la información

Teniendo en cuenta la hoja de ruta de proyectos y relacionándolos a los requerimientos generales se presenta la asociación de proyectos a cada requerimiento:

6.2 RELACIÓN DE PROYECTOS SELECCIONADOS DE LA HOJA DE RUTA

Tabla 44. Relación de proyectos seleccionados de la hoja de ruta

| Requerimiento General | ID | Nombre |
|---|-----------|---|
| Captura de información WITSML | 1 | EcoAGE WEB - Módulo captura de información WITSML |
| Almacenamiento de información en bases de datos centralizadas | 2 | EcoAGE WEB - Módulo almacenamiento en frío |
| | 3 | EcoAGE WEB - Módulo almacenamiento en caliente |
| Visualización de la información | 4 | EcoAGE WEB - Módulo visualización en tiempo real |
| | 5 | EcoAGE WEB - Módulo visualización de históricos |

Fuente: Elaboración propia del autor

Abordando los requerimientos generales y sus respectivos proyectos, con el grupo de desarrollo y el *Product Owner*, se definen las actividades que permiten establecer interrelaciones entre dichos requerimientos y se detallan a continuación:

- Analizar la arquitectura actual de la conexión a los taladros de perforación
- Analizar las nuevas arquitecturas de conexión de dispositivos para análisis en tiempo real en la industria *Oil&Gas* que se alinee con la estrategia empresarial.
- Crear y configurar los componentes de la arquitectura de software que permita la conexión en tiempo real e histórica de los datos de los taladros de perforación.
- Implementar un piloto de software funcional que permita la conexión a los taladros de perforación y la transmisión en tiempo real de los datos.
- Evaluar la arquitectura actual de la estructura de datos e interfaz de visualización de la aplicación.
- Definir los ajustes y/o requerimientos necesarios para la construcción de la base de datos y el desarrollo de la aplicación.
- Desarrollar los requerimientos identificados para la aplicación.
- Construir y ejecutar el plan de pruebas para la aplicación.

Estas actividades son la base para definir los ítems del *product backlog* para cada requerimiento general.

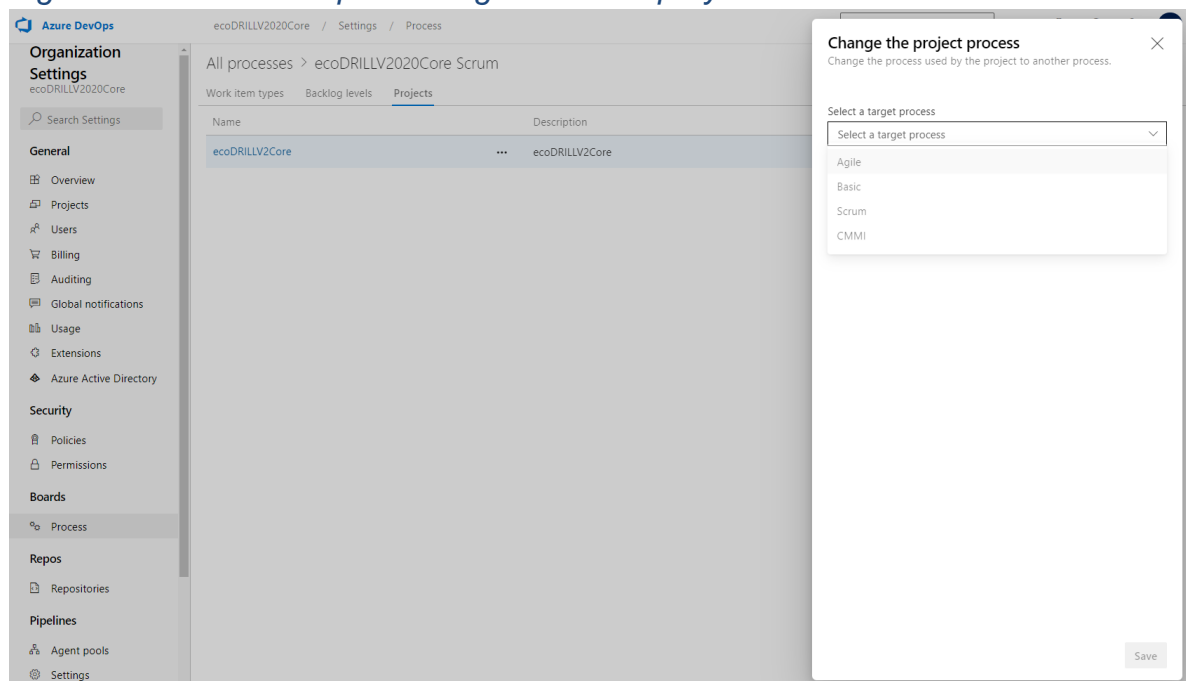
Para cada requerimiento general se desglosaron las actividades, llegando a un mejor nivel de detalle y que luego fueron incluidas en el respectivo *product backlog*.

6.3 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Microsoft Azure es una plataforma de servicios, de la cual el proyecto hizo uso de los mismos y como herramienta para trabajar DevOps se propone utilizar Azure DevOps, aprovechando la integración con la plataforma de servicios Azure.

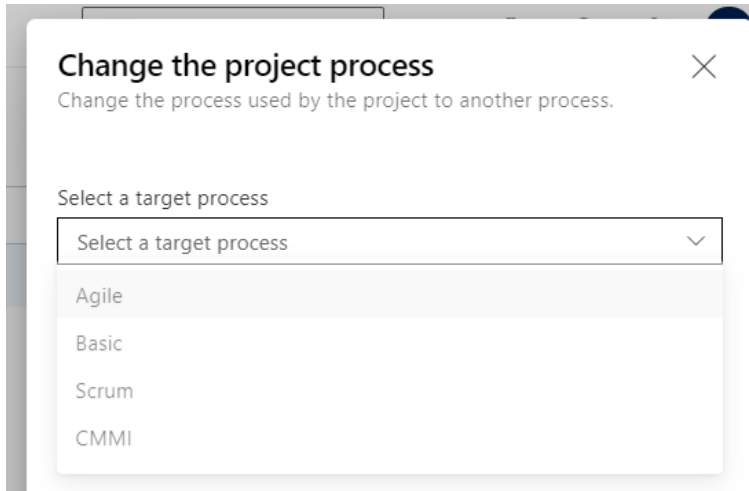
Para gestionar la información de integrantes, *product backlog*, Sprints y repositorio de código fuente del proyecto se ha configurado el sitio en Azure DevOps <https://dev.azure.com/ecoDRILLV2020Core>, enfocando en la metodología de desarrollo de software SCRUM, como se presenta en la Figura 33 y Figura 34.

Figura 33. Azure DevOps - Configuración del proyecto



Fuente: Elaboración propia del autor. Captura de pantalla de Azure DEVOPS del proyecto ecoDRILL2CORE, actualmente EcoAGE WEB.

Figura 34. Azure DevOps - Selección de la metodología de desarrollo SCRUM



Fuente: Elaboración propia del autor. Captura de pantalla de Azure DEVOPS del proyecto ecoDRILL2CORE, actualmente EcoAGE WEB.

En el desarrollo de este proyecto se trabajaron los diferentes eventos de la metodología SCRUM, que proporciona elementos como el trabajo en equipo de 5 profesionales y constante su comunicación. Se realizaron reuniones diarias entre 15 a 30 minutos en donde se exponen los avances, dificultades y/o logros alcanzados, y de igual manera se establecieron cronogramas detallados de trabajo para estimar los tiempos y recursos requeridos para cada uno de los componentes a realizar.

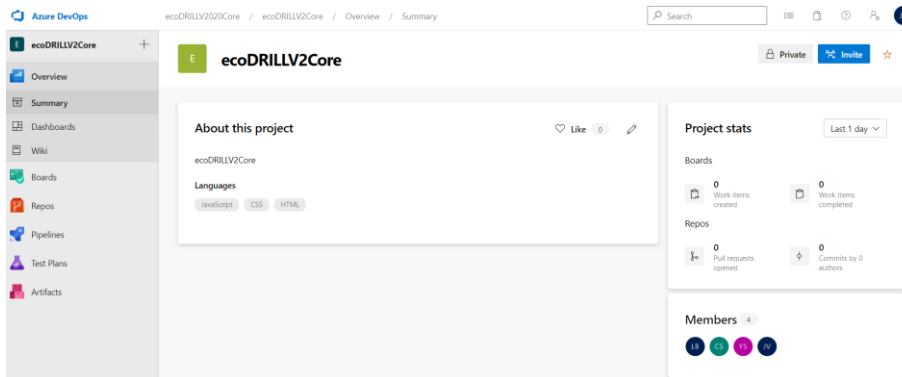
Tabla 45. Roles en SCRUM. Encargados en el piloto de software

| Rol | Encargado |
|---------------|--|
| Scrum Master | Líder Técnico |
| Product Owner | Experto Temático – Asesor Ecopetrol ICP – Líder del proyecto |
| Team | Ingenieros de sistemas (3) |

Fuente: Elaboración propia del autor

En Azure DevOps se configuró la información del proyecto y de los participantes del proyecto como se presenta en la imagen Figura 35.

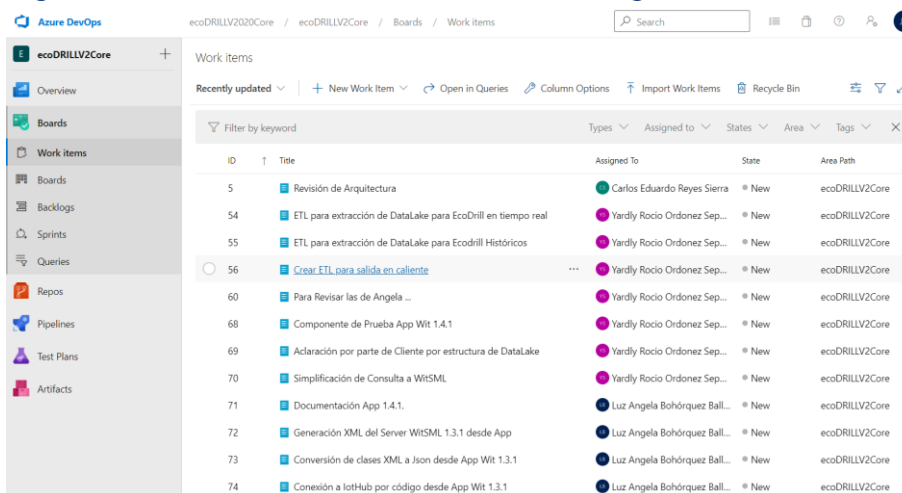
Figura 35. Azure DEVOPS - Descripción del proyecto e integrantes



Fuente: Elaboración propia del autor. Captura de pantalla de Azure DEVOPS del proyecto ecoDRILL2CORE, actualmente EcoAGE WEB.

En la opción “Boards/Backlogs” se ingresó el listado de actividades definidas en el *product backlog*, como se muestra en la Figura 36.

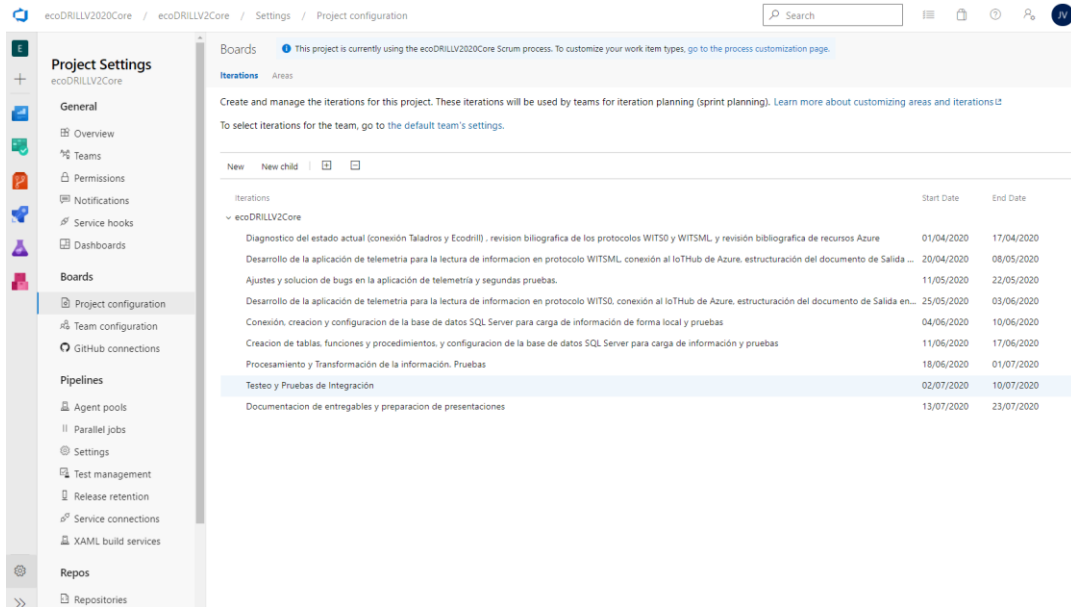
Figura 36. Azure DEVOPS - Product Backlog



Fuente: Elaboración propia del autor. Captura de pantalla de Azure DEVOPS del proyecto ecoDRILL2CORE, actualmente EcoAGE WEB.

Se crearon los diferentes *Sprints* (véase Figura 37) y se asignaron las correspondientes actividades a cada uno.

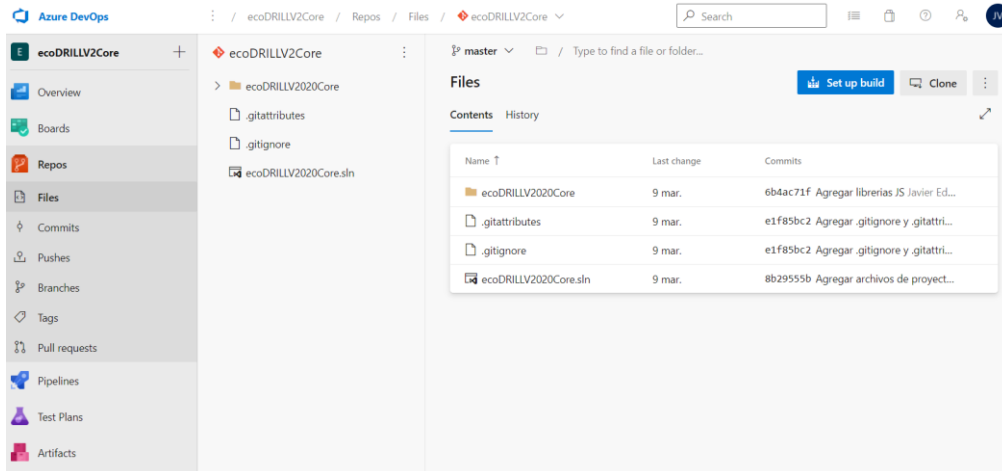
Figura 37. Azure DEVOPS - Sprints del proyecto



Fuente: Elaboración propia del autor. Captura de pantalla de Azure DEVOPS del proyecto ecoDRILL2CORE, actualmente EcoAGE WEB.

Los códigos fuente de las aplicaciones desarrolladas se subieron al repositorio de DevOps, como se presenta en la Figura 38.

Figura 38. Azure DEVOPS - Repositorio de código fuente



Fuente: Elaboración propia del autor. Captura de pantalla de Azure DEVOPS del proyecto ecoDRILL2CORE, actualmente EcoAGE WEB.

6.4 PARTICIPANTES DEL PILOTO DE SOFTWARE

Tabla 46. Participantes del piloto de software

| Participante | | Rol | Carga por proyecto | Proyectos |
|---------------------------------|-------------|-----------------------|--------------------|---------------|
| Hernan Dario Mantilla Hernández | | Product Owner | 0.25 | 1, 2, 3, 4, 5 |
| Javier Eduardo Gelvis Vega | | Scrum Master (SM) | 0.25 | 1, 2, 3, 4, 5 |
| Equipo de Desarrollo | Ingeniero 1 | Ingeniero de sistemas | 1.0 | 1 |
| | Ingeniero 2 | Ingeniero de sistemas | 1.0 | 2, 3 |
| | Ingeniero 3 | Ingeniero de sistemas | 1.0 | 4, 5 |

Fuente: Elaboración propia del autor

6.5 CRONOGRAMA GENERAL DEL PILOTO SOFTWARE

Con base en la hoja de ruta que se encuentra detallada en la Tabla 41. Hoja de Ruta de implementación año 2020, se realiza el desarrollo del piloto de software. Para la construcción del piloto se consideran los proyectos referenciados como P1, P2, P3, P4 y P5.

6.6 ACTIVIDADES GENERALES DEL PILOTO DE SOFTWARE

A continuación, se describen las actividades generales de cada uno de los proyectos que conforman el piloto de software.

Tabla 47. Actividades de EcoAGE WEB - Captura de información WITSML

| Actividad | | Horas | Horas SM |
|---|-----|------------|------------|
| Análisis - Diagnostico del estado actual (conexión Taladros y EcoAGE) | | 100 | 40 |
| Telemetría | | 300 | 60 |
| -Conexión App WITSML - 1.4.1 / 1.3.1 - JSON | 200 | | |
| -Conexión App WITS0 - JSON | 60 | | |
| -Conexión Base de datos Local | 40 | | |
| Almacenamiento | | 40 | |
| Procesamiento y Transformación | | 80 | 20 |
| Testeo y/o Pruebas de Integración | | 60 | 40 |
| Documentación | | 60 | |
| Total de Horas | | 640 | 160 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 48. Actividades de EcoAGE WEB - Almacenamiento en frío

| Actividad | | Horas | Horas SM |
|---|----|-------|----------|
| Análisis - Diagnóstico del estado actual (conexión Taladros y EcoAGE WEB) | | 40 | 10 |
| Conectividad | | 40 | 10 |
| -Documentación Azure | 10 | | |
| -Recepción de datos en Azure | 20 | | |
| -Instalaciones y Configuración | 10 | | |
| Almacenamiento en frío | | 80 | 20 |
| -Generalidades | 80 | | |
| Procesamiento y Transformación | | 140 | 40 |
| -Stream Analytics | 60 | | |
| -Creación de recursos Azure | 80 | | |
| Testeo y/o Pruebas de Integración | | 80 | 20 |
| Documentación | | 20 | |
| -Entregable | 10 | | |

| Actividad | | Horas | Horas SM |
|-----------------------|----|-------|----------|
| -Presentación técnica | 10 | | |
| Total de Horas | | 400 | 100 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 49. Actividades de EcoAGE WEB - Almacenamiento en caliente

| Actividad | | Horas | Horas SM |
|---|----|-------|----------|
| Análisis - Diagnóstico del estado actual (conexión Taladros y EcoAGE WEB) | | 40 | 10 |
| Conectividad | | 40 | 10 |
| -Documentación Azure | 10 | | |
| -Recepción de datos en Azure | 20 | | |
| -Instalaciones y Configuración | 10 | | |
| Almacenamiento en caliente | | 80 | 20 |
| -Generalidades | 40 | | |
| -Creación de recursos Azure | 40 | | |
| Testeo y/o Pruebas de Integración | | 60 | 20 |
| Documentación | | 20 | |
| -Entregable | 10 | | |
| -Presentación técnica | 10 | | |
| Total de Horas | | 240 | 60 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 50. Actividades de EcoAGE WEB - Visualización en tiempo real

| Actividad | | Horas | Horas SM |
|---|----|------------|-----------|
| Análisis - Diagnóstico del estado actual (Información en tiempo real) | | 40 | 10 |
| Contextualización y conocimiento de herramientas | | 60 | 10 |
| -Documentación Node.js (<i>Backend</i>) | 20 | | |
| -Documentación React.js (<i>Frontend</i>) | 20 | | |
| -Instalaciones y Configuración | 20 | | |
| Desarrollo <i>Backend</i> | | 80 | 20 |
| Desarrollo <i>Frontend</i> | | 80 | 20 |
| Testeo y/o Pruebas de Integración | | 40 | 20 |
| Documentación | | 20 | |
| -Presentación técnica | 10 | | |
| -Entregable | 10 | | |
| Total de Horas | | 320 | 80 |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 51. Actividades de EcoAGE WEB – Visualización de históricos

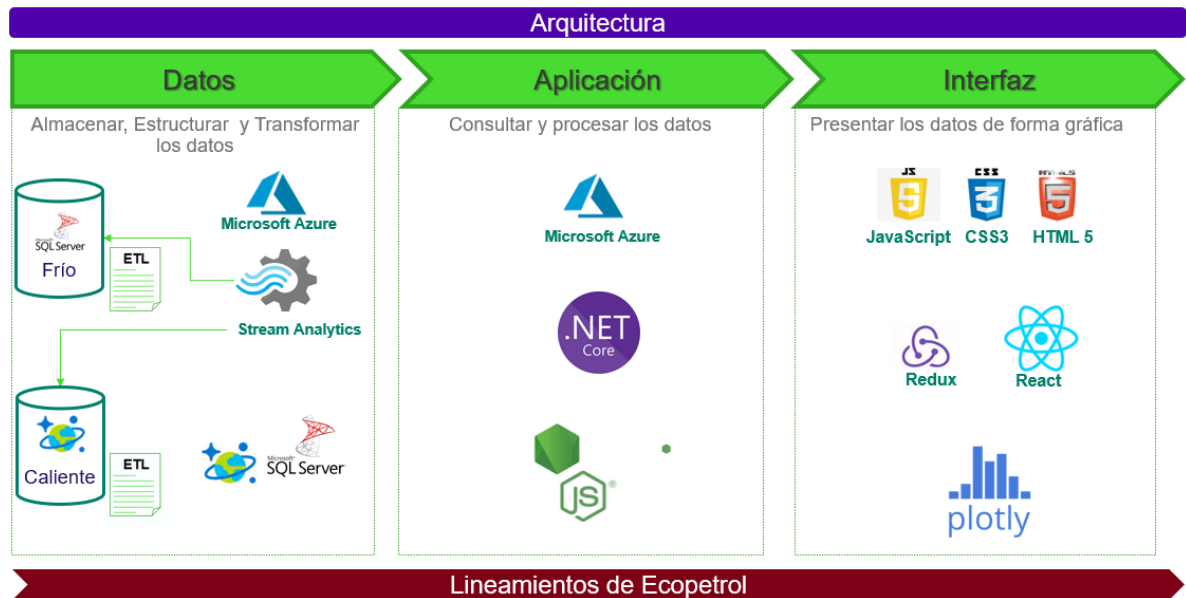
| Actividad | | Horas | Horas SM |
|--|----|-------|----------|
| Análisis - Diagnóstico del estado actual (Información de históricos) | | 40 | 10 |
| Contextualización y conocimiento de herramientas | | 60 | 10 |
| -Documentación Node.js (<i>Backend</i>) | 20 | | |
| -Documentación React.js (<i>Frontend</i>) | 20 | | |
| -Instalaciones y Configuración | 20 | | |
| Desarrollo <i>Backend</i> | | 80 | 20 |
| Desarrollo <i>Frontend</i> | | 80 | 20 |
| Testeo y/o Pruebas de Integración | | 40 | 20 |
| Documentación | | 20 | |
| -Presentación técnica | 10 | | |

| Actividad | | Horas | Horas SM |
|-----------------------|----|-------|----------|
| -Entregable | 10 | | |
| Total de Horas | | 320 | 80 |

Fuente: Elaboración propia del autor

6.7 TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS DE DESARROLLO

Figura 39. Tecnologías y herramientas de desarrollo aplicaciones web



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Como IDE se ha trabajado Visual Studio Code.

Para el *Backend*, se ha usado Node.js junto con SQL Server y CosmosDB.

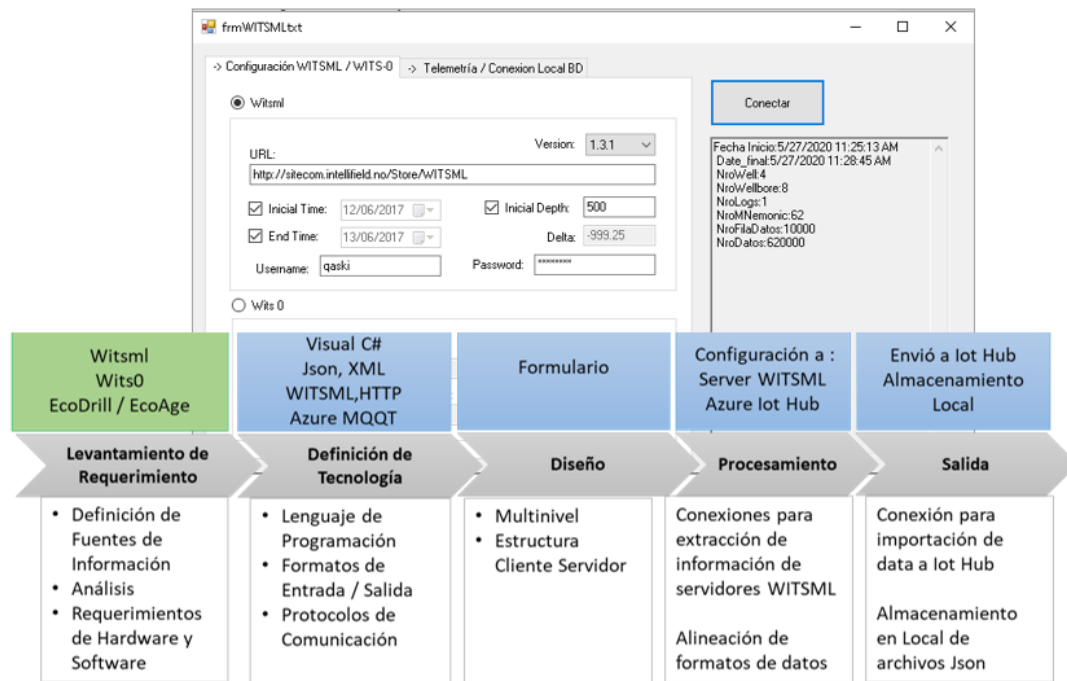
Para el *Frontend*, se ha usado la biblioteca React.js para la visualización del entorno de usuario y la librería Plotly.js para la visualización de curvas.

6.8 DETALLE DEL DESARROLLO DEL PILOTO DE SOFTWARE

Para ver el código fuente e información de las implementaciones de cada proyecto seleccionado de la hoja de ruta, véase los documentos de evidencia para detallar cada proyecto generado.

6.8.1 Módulo captura de información WITSML

Figura 40. Dispositivo, Telemetría y Conectividad



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Telemetría: tiene como objetivos permitir el ingreso de eventos físicos sucedidos en los taladros de perforación, así como controlar de manera remota el estado de los datos de enviados que permitan corregir errores y enviar la información.

La etapa está compuesta por un aplicativo desarrollado en C#, que su propósito es establecer la comunicación mediante los protocolos WITSML o WITS0 e importar la

información que se encuentra en las unidades de geología y enviarlas a la nube de Azure.

Su diseño está conformado por único formulario que tiene una pestaña de Configuración de los protocolos, en la cual se puede seleccionar el protocolo WITSML en las versiones 1.3.1 o 1.4.1, se digita la información correspondiente al servidor de datos que corresponde a la URL, nombre de usuario y contraseña estos dos últimos si son requeridos, y luego se asigna la fecha de consulta. Véase Figura 41)

Figura 41 Formulario de configuración WITSML/WITS0.

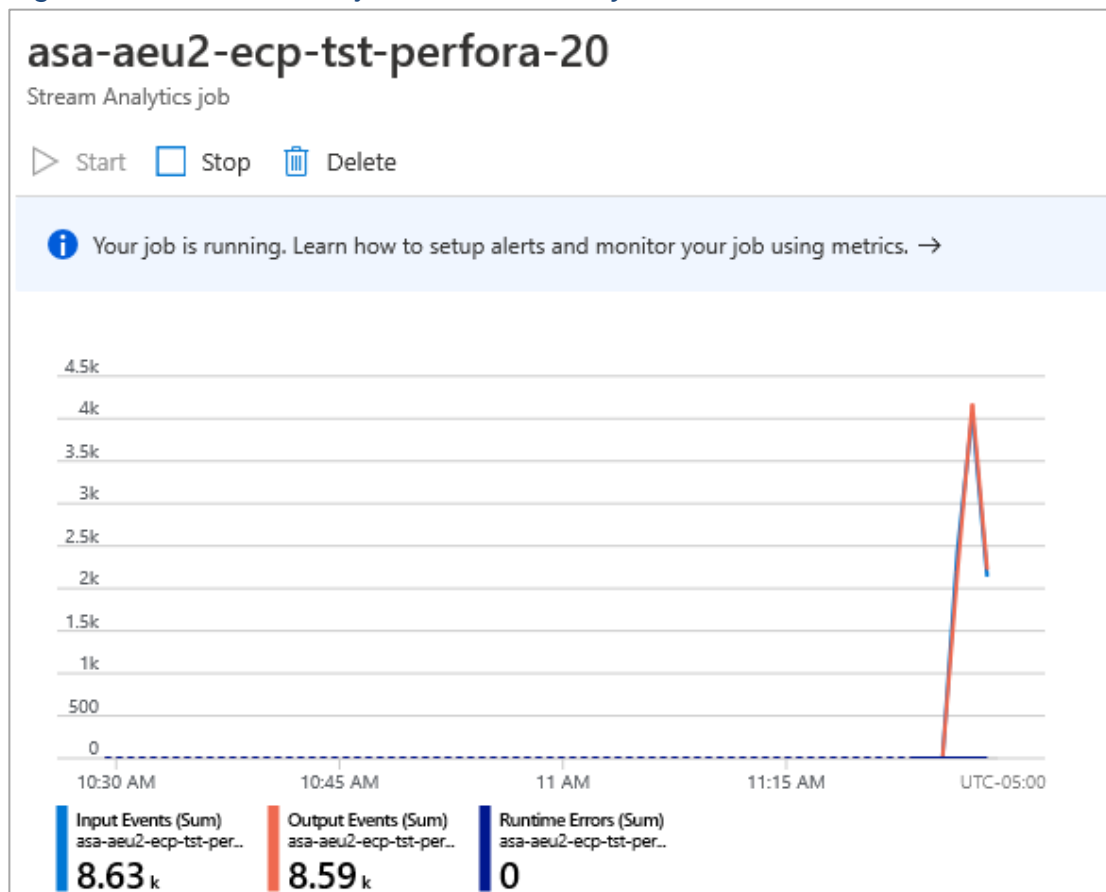
The screenshot shows a software window titled 'frmWITSMLtxt' with two tabs: 'Configuración WITSML / WITS-0' and 'Telemetría / Archivo Plano'. The 'Configuración WITSML / WITS-0' tab is active and contains two radio button options: 'Witsml' (selected) and 'Wits 0'. Under 'Witsml', there is a 'Version' dropdown set to '1.3.1', a 'URL' text box containing 'http://sitecom.intellifield.no/Store/WITSML', and a 'Conectar' button. Below these are several checked checkboxes: 'Inicial Time' (12/06/2017), 'End Time' (13/06/2017), 'Inicial Depth' (500), and 'Delta' (-999.25). There are also text boxes for 'Username' (qaski) and 'Password' (masked with asterisks). Under 'Wits 0', there are text boxes for 'IP', 'Port', 'Intervalo (s)', 'Field', and 'Well'. On the right side of the window, there is a scrollable area displaying the following data: 'Fecha Inicio: 5/27/2020 11:25:13 AM', 'Date_final: 5/27/2020 11:28:45 AM', 'NroWell: 4', 'NroWellbore: 8', 'NroLogs: 1', 'NroMNemonic: 62', 'NroFilaDatos: 10000', and 'NroDatos: 620000'.

Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

La segunda pestaña (Véase Figura 42) se encuentra la opción para habilitar el envío de la telemetría Azure, en donde se configura el *IoTUrl*, *Device Id* y *Device Key*, parámetros que son suministrados quienes configuran el dispositivo *IoT Hub* y *Stream Analytics* de la nube de Azure previamente. Si la opción de telemetría no se encuentra activa, el aplicativo guarda a nivel local en archivos planos formato.

El envío de la información se hace acumulando 5 trazas de información para luego enviarlas a la nube de Azure, esto se estableció ya que por el flujo masivo de la información la aplicación tiende hacer un bloqueo de memoria debido a que simultáneamente está realizando 3 acciones la importación de datos de la fuente de origen es decir desde la unidad de geología, la transformación de la información en formato JSON y la exportación de los datos a la nube.

Figura 42. Vista de trabajo de Stream Analytics



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Una vez establecida la conexión de la importación de los datos se establece la conexión de la exportación de la información a la nube de Azure, este proceso se visualiza en la Figura 42 en donde se ve el rastreo de los paquetes de la información. La línea azul (*Input Events*) muestra los paquetes de la información en KB que llega del aplicativo C#, la línea anaranjada (*Output Events*) muestra los paquetes procesados para el envío posterior al *Blob Storage* o *Data Lake*. Si se llega a

encontrar algún error se reporte en *RunTime Errors*. En la Figura 43 se observa el archivo generado por el *Stream Analytics* donde guarda las trazas de formato JSON que fueron enviadas a la nube.

Figura 43. Archivo de datos del Blob Storage

```

{"idDevice":"DevIot20","idWell":"DEMOWELL02RT2-0","nameWell":"DemoWell02RT20","idWellbore":"5980b2f4-9df4-4317-819d-b929B","idLogCurve":"1767KLHP42","nameLogCurve":"GenTime","tipoLogCurve":"[DT]","version":"WITSML131","startIndexRead":"-999AM","nameMnemonic":"BIT_RPM_AVG,BIT_RPM_MAX,BITDEP,BLOCKCOMP,BST_STROKESUM,CASPR,CHOKE_HIGH,Depth,FLOWIN,FLOWOUT,FLOWOUTKES,LINEWEAR,MIN_2M,MIN_5FT,MOTOR_RPM,MRIN,MROUT,MTIN,MTOUT,MUDRETDEPTH,MWIN,MWOUT,OFFBOTTOM_TIME,ONBOTTOM_TIME,PIT_EQMD RPM,Time,TIME_DIST,TORQUE_AVG,TORQUE_MAX,TORQUE_MIN,TOTGAS,TOTGAS2,WOB_AVG,WOB_MAX,WOB_MIN","unitMnemonic":"[c/min],[c/m [unitless],[m],[min],[min],[c/min],[ohm.m],[ohm.m],[degC],[degC],[m],[sg],[sg],[h],[h],[sg],[m3],[sg],[bar],[m],[m/h],[ [%],[t],[t],[t]","datos":{"BIT_RPM_AVG":"2008-02-13T19:51:30.000Z","BIT_RPM_MAX":"0","BITDEP":"0","BLOCKCOMP":"391.55","BST_STROKESUM":"25.76","CASPR":"0","CHOKE_HIGH":"58.9","HKLID_MIN":"58.9","KILL_HIGH":"58.9","LAG_RSR_STKS":"0.89","LAG_TIME_RISER":"0","LAG_TIME_WELLHD":"0","LAG_WELLHD":"0","MTOUT":"-273.2","MUDRETDEPTH":"-273.2","MWIN":"0","MNOUT":"1.18","OFFBOTTOM_TIME":"1.18","ONBOTTOM_TIME":"0.7","PI TE1":"0","STRATE2":"0","STRATE3":"0","STRATE4":"0","STRATES":"0","STRATE6":"0","STRATESUM":"0","STROKESUM":"0","SURF_RPM :"-0.6","WOB_MAX":"-0.6","WOB_MIN":"-0.6"},"EventProcessedUtcTime":"2020-05-27T16:25:43.1568155Z","PartitionId":0,"Even {"MessageId":null,"CorrelationId":null,"ConnectionDeviceId":"DevIot20","ConnectionDeviceGenerationId":"63725501329674195 {"idDevice":"DevIot20","idWell":"DEMOWELL02RT2-0","nameWell":"DemoWell02RT20","idWellbore":"5980b2f4-9df4-4317-819d-b929B","idLogCurve":"1767KLHP42","nameLogCurve":"GenTime","tipoLogCurve":"[DT]","version":"WITSML131","startIndexRead":"-999AM","nameMnemonic":"BIT_RPM_AVG,BIT_RPM_MAX,BITDEP,BLOCKCOMP,BST_STROKESUM,CASPR,CHOKE_HIGH,Depth,FLOWIN,FLOWOUT,FLOWOUTKES,LINEWEAR,MIN_2M,MIN_5FT,MOTOR_RPM,MRIN,MROUT,MTIN,MTOUT,MUDRETDEPTH,MWIN,MWOUT,OFFBOTTOM_TIME,ONBOTTOM_TIME,PIT_EQMD RPM,Time,TIME_DIST,TORQUE_AVG,TORQUE_MAX,TORQUE_MIN,TOTGAS,TOTGAS2,WOB_AVG,WOB_MAX,WOB_MIN","unitMnemonic":"[c/min],[c/m [unitless],[m],[min],[min],[c/min],[ohm.m],[ohm.m],[degC],[degC],[m],[sg],[sg],[h],[h],[sg],[m3],[sg],[bar],[m],[m/h],[ [%],[t],[t],[t]","datos":{"BIT_RPM_AVG":"2008-02-

```

Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Pruebas de Integración

En el desarrollo del programa se realizaron diferencias tipos de pruebas como las unitarias y las de integración. Las pruebas unitarias buscaban asegurar que los procesos y/o funcionalidades del aplicativo de importación de datos WITSML se cumplieran. Las pruebas de integración aseguraban el comportamiento en conjunto con los diferentes componentes de la arquitectura se comunicarán adecuadamente para garantizar así el funcionamiento general del aplicativo.

En la Tabla 52 se muestra el resumen generado de las pruebas de integración, se realizaron pruebas en los protocolos WITSML 1.3.1, WITSML 1.4.1 y WITS0 en dos entornos el primero importando la información del origen de un servidor público (<http://sitecom.intellifield.no/Store/WITSML>) el cual contaba con el protocolo WITSML en las dos versiones, las pruebas de WITS0 se realizaron con un simulador denominado EM WITS Simulador.

Tabla 52. Resumen de pruebas de integración aplicación de telemetría

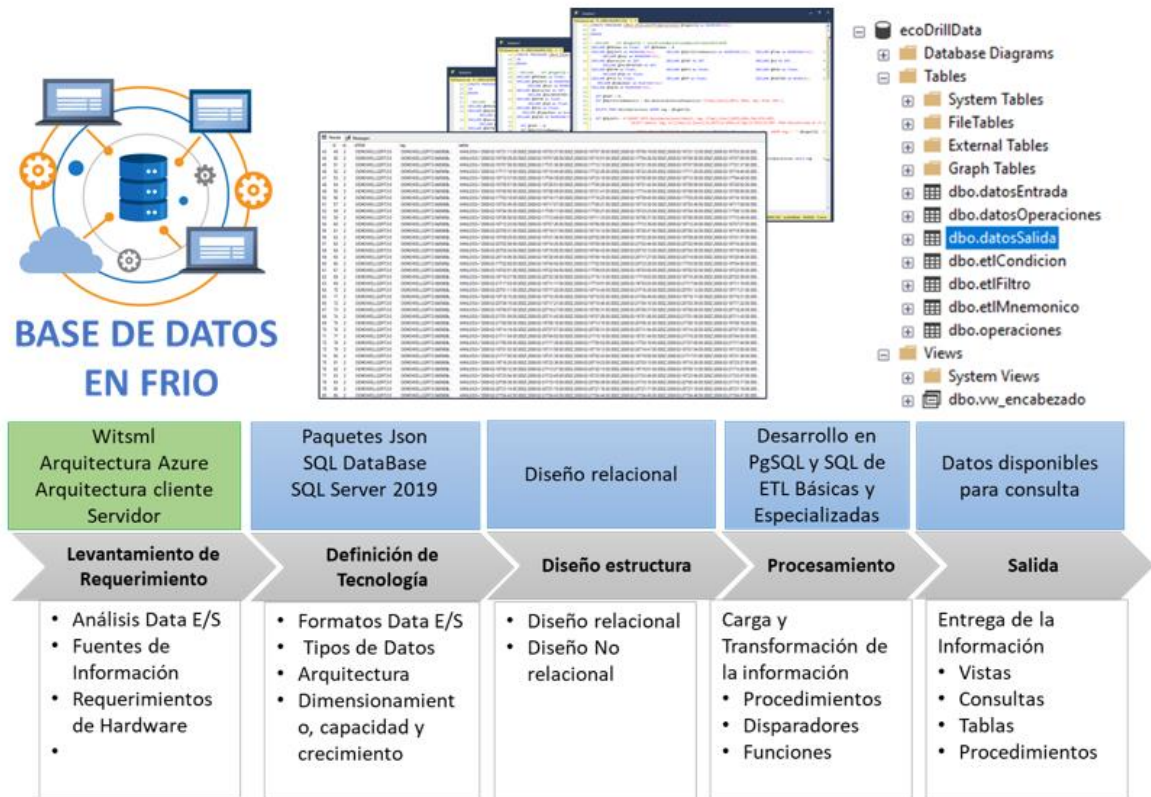
| DESCRIPCIÓN | Entorno | WITSML 1.3.1 | WITSML 1.4.1 | WITS0 |
|--|----------------|---|---------------------|--------------|
| Conexión con Servidor de datos de origen | Público | Funciona | Funciona | Funciona |
| | Corporativo | HB: Funciona con vector de mnemónicos manuales CG: No Funciona | N/A | Pendiente |
| Generación de archivo local JSON | Público | Funciona | Funciona | Funciona |
| | Corporativo | HB: Funciona CG: No Funciona | N/A | Pendiente |
| Exportación de tramas JSON a IoT Hub de Azure | Público | Funciona | Funciona | Funciona |
| | Corporativo | No funciona | N/A | Pendiente |
| Generación de datos en formato texto | Público | Funciona | | Funciona |
| | Corporativo | Funciona | N/A | Pendiente |
| Exportación de archivo JSON a IoT Hub de Azure | Pública | Funciona | Funciona | Funciona |
| | Corporativo | HB: Funciona CG: No Funciona | N/A | Pendiente |

Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

El segundo entorno es el corporativo el cual se realizó a través de la red de Ecopetrol solo se logró hacer pruebas en la versión 1.3.1 del WITSML ya que actualmente los pozos están configurados en dicha versión. Se obtuvieron cinco direcciones IP o URL suministradas por los diferentes proveedores del servicio, como conclusión general se puede decir que en el entorno con el origen de datos de Halliburton se logra obtener los datos sin embargo hay que hacer un proceso manual ya que el esquema de datos que utilizan no es el estandarizado lo cual dificulta tener automáticamente el nombre de los mnemónicos lo que hizo realizar una adaptación para que manualmente se coloque el vector de mnemónicos y acceder a la información, sin embargo es un proceso que no se recomienda ya que implica una acción manual y se evidencio a lo largo de las pruebas que el número de mnemónicos puede cambiar de un día a otro en un pozo.

6.8.2 Módulo almacenamiento en frío

Figura 44. Almacenamiento en Frio - Manejo de datos



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

- **Conectividad:** Utiliza los servicios de un IoT *Hub* cuyo objetivo principal es controlar y monitorear dispositivos mediante el uso de mensajes y/o eventos.
- **Procesamiento y Transformación:** Utiliza el servicio de *Stream Analytics*, servicio en tiempo real diseñado para cargas de trabajo críticas dentro de una compañía. Crea una canalización sin el uso de servidores dedicados y permite personalizar la ingesta de datos y la réplica en frío o en caliente de los mismos.
- **Almacenamiento:** Primariamente usa el servicio de *Data Lake* que es un entorno de datos compartidos y almacenados en su formato original que comprende múltiples repositorios y aprovecha tecnologías de *big data*. Secundariamente

hay una base de datos que una vez transformada servirá como fuente de consulta de algunos clientes de esta arquitectura. Para el almacenamiento en caliente también se cuenta con el uso de una base de datos orientada al documento.

Conectividad

La conectividad es realizada entre el aplicativo de telemetría y el servicio de IoT *Hub* de Azure. Entre las características más significativas se tienen:

- Nombre de IoT *Hub* debe ser único
- Hasta 10 millones de dispositivos (*Device*), cada dispositivo tiene un nombre único con una cadena de conexión única.
- Conserva mensajes hasta por 7 días
- Mensajes de dispositivo a nube, máximo 256 Kb
- Pueden agruparse por lotes aplicado por Id de dispositivo
- Nombre de almacenamiento debe ser único
- Protocolos de comunicación: HTTP/ MQTT / AMQP
- Ingesta de telemetría
- Es escalable, cuando se quiera se puede mejorar la configuración
- Los costos son por uso de las unidades de *streaming* (SU), las mejores prácticas recomiendan que el porcentaje de uso de estas unidades esté por debajo del 80% para asegurar una buena respuesta.
- Las características de configuración específicas al IoT *Hub* están consignadas en la Tabla 53 y también está los topes diarios de envío, así como la capacidad de procesamiento sostenido por unidad o dispositivo.

Tabla 53. Tablas de rendimiento del IoT

| Básico | Estándar | Velocidad de envío sostenida | Capacidad de procesamiento |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Sólo envía mensajes | Envía y recibe mensajes | | |
| <i>B1</i> | S1 | < 400 mil eventos/día | 1.5 GB/día/unidad |
| <i>B2</i> | S2 | < 6 millones eventos/día | 22.8 GB/día/unidad |

| Básico | Estándar | Velocidad de envío sostenida | Capacidad de procesamiento |
|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Sólo envía mensajes | Envía y recibe mensajes | | |
| B3 | S3 | < 300 millones eventos/día | 1144.4 GB/día/unidad |

Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Para seleccionar el tipo de servicio es fundamental conocer el número de mensajes diarios que va a recibir el IoT *Hub*. En el caso de este proyecto el prototipo para un taladro de la compañía se hizo el siguiente análisis:

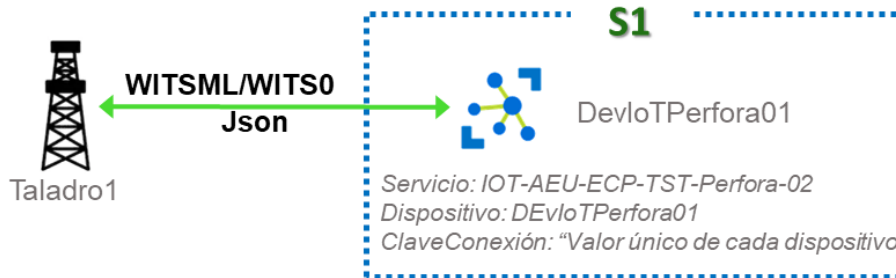
- El servicio puede requerir enviar y/o recibir mensajes
- La transmisión de mensajes es cada tres (3) segundos
- El cálculo de mensajes diarios: $1/3 * 60 * 60 * 24 = 28.800$ mensajes/día
- Por ende, un IoT *Hub* estándar S1 cubre lo requerido para un taladro.
- Para conocer el máximo número de pozos que puede transmitir bajo la configuración S1 las cuentas serían:
 - $400.000/28.800 = 13.89$ pozos
- En promedio el tiempo de perforación de un taladro es de 30 días
 - Mensualmente: $1/3 * 60 * 60 * 24 * 30 = 864.000$ mensajes/mes
 - Este dato cobra relevancia para el almacenamiento en frío y en caliente.
- Si en algún momento los mensajes enviados de los taladros son inferiores a 3 segundos es necesario revisar las consideraciones planteadas anteriormente.

Otro aspecto totalmente relevante es el nombre del servicio por defecto es: IOT-AEU-ECP-TST-Perfora-02 y este puede tener hasta un millón de dispositivos conectados. Cada dispositivo debe tener un nombre único: DevIoTPerfora01 es el nombre asignado al primer taladro y se aconseja enumerar en consecutivo los siguientes taladros que se vayan a conectar.

La comunicación que se establece entre el aplicativo de telemetría y el servicio de internet de las cosas de Azure se hace entre un taladro y un único dispositivo (device). Se requieren tres elementos para la comunicación efectiva: el nombre del servicio, el nombre del dispositivo y la clave de conexión del dispositivo (La Figura 45 ilustra la forma). Los dispositivos deben usarse con un único taladro mientras

dure el proceso de perforación de un pozo y quedarán libres para otro taladro una vez se finalice.

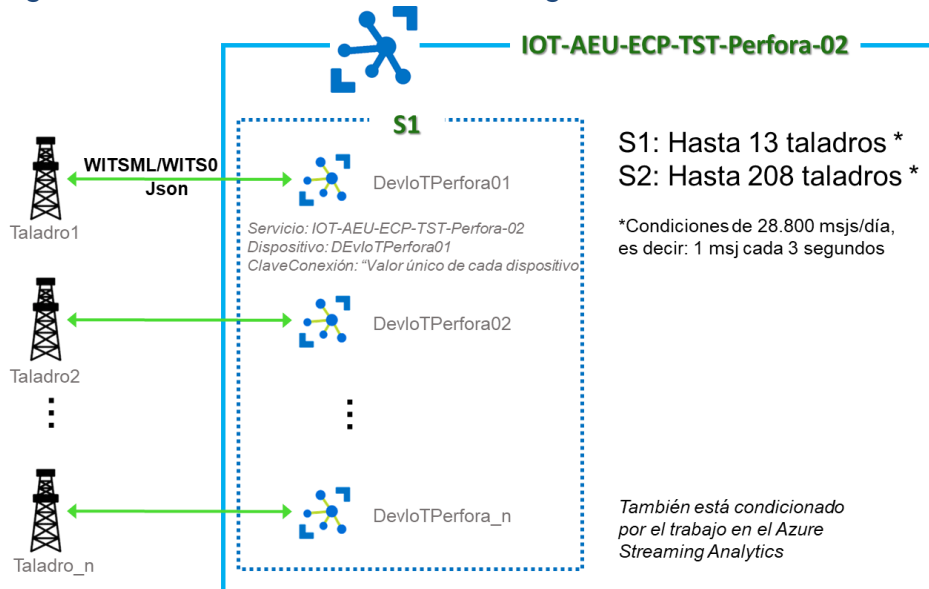
Figura 45. Comunicación con el IoT desde un taladro



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Cuando se pase de 400 mil mensajes por día deberá escalarse el tipo de servicio de IoT Hub a S2 para que el servicio sea óptimo, en la Figura 46 se muestra un esquema de cómo sería la conexión de múltiples taladros y cómo se debe escalar el servicio según la cantidad de mensajes enviados diariamente.

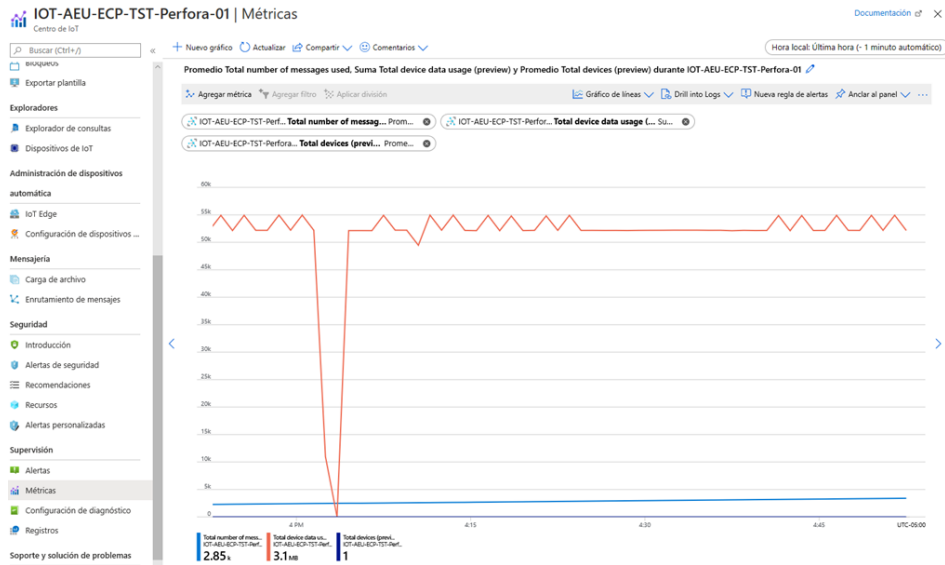
Figura 46. Consideraciones en la configuración del servicio de IoT Hub



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

En la Figura 47, se observa un taladro conectado al dispositivo DevloTPerfora01, el pico inferior muestra una parada en el envío de datos al servicio de IoT y muestra que el paquete de datos enviados está entre 50Kb y 55Kb. Estas gráficas deben establecerse en las métricas del servicio, donde se les puede hacer un seguimiento para revisar si el servicio trabaja adecuadamente.

Figura 47. Métrica de un taladro durante 1 hora de funcionamiento

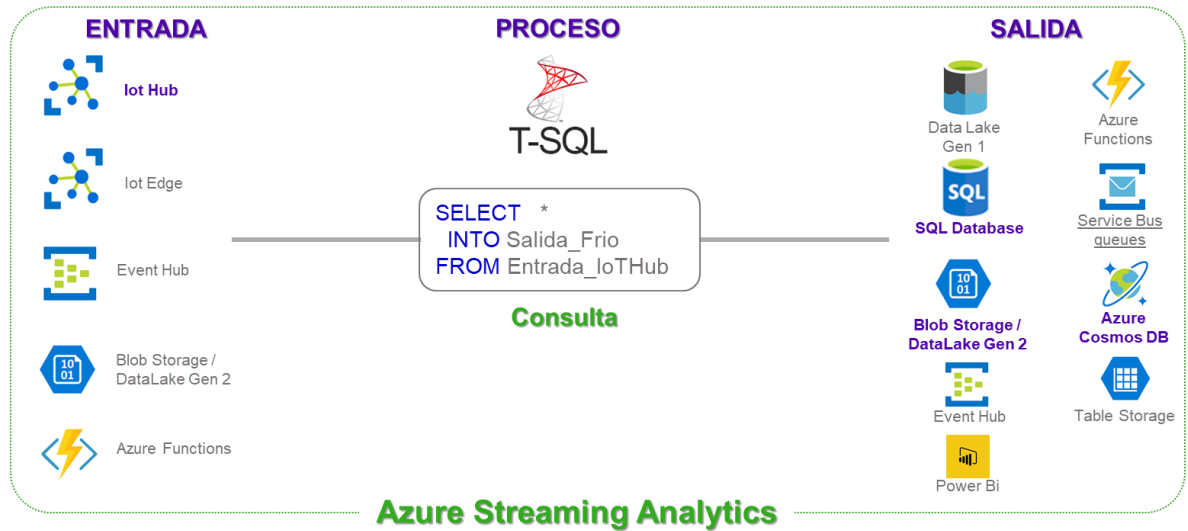


Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Procesamiento y Transformación

El procesamiento de la información inicia con la configuración del *Stream Analytics* donde recibe unos eventos en ingesta, los procesa y los entrega a una salida en frío y/o en caliente. En la Figura 48 se observa las opciones actuales que tiene Azure para la ingesta y salida. En el caso de este proyecto la ingesta proviene únicamente de un servicio de IoT *Hub* y tiene diferentes salidas que están asociadas a los objetivos que se necesitaban cumplir en el proyecto.

Figura 48. Azure Stream Analytics. Entradas-Salidas



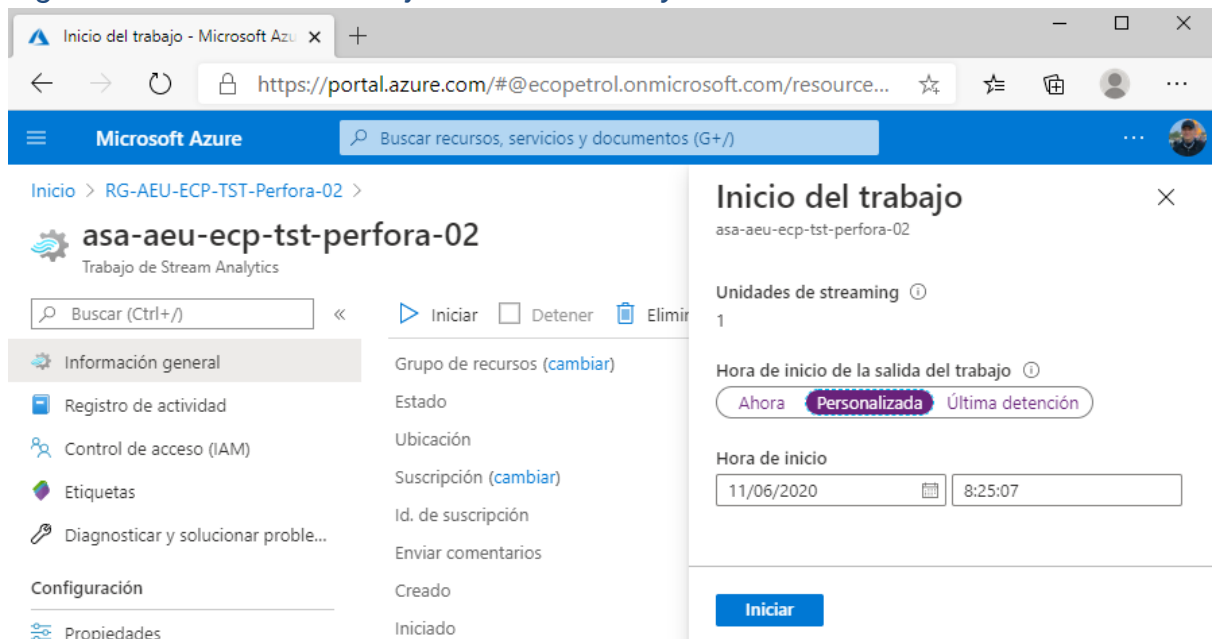
Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Para cumplir los objetivos la labor se dividió en dos fases: una primera cumplida en el mes de marzo donde se aseguró que la recepción de datos desde el IoT Hub se lograba almacenar de forma automática y una segunda parte donde la información recibida se envía para uso de un cliente o usuario final. En la primera parte se usó como almacenamiento un *Blob Storage* por motivos de licenciamiento (Debe pasarse a un *Data Lake Gen 2*, una vez esté en ambiente de desarrollo). En la segunda parte se utilizaron dos formas de “almacenar” la información por un lado para los datos en caliente o tiempo real se utilizó Cosmos DB y para los datos en frío o históricos se utilizó SQL DB.

Una vez se establecieron claramente las fases se procedió a configurar el *Stream Analytics* a través de lo que se denomina trabajo dentro de Azure que es todo el proceso de configuración y puesta en marcha del servicio.

Cada trabajo consta de una configuración, un inicio de servicio, un seguimiento a métricas y una finalización. Para el caso de perforación se debe iniciar el servicio antes de empezar a transmitir, para que el seguimiento a métricas sea más sencillo de realizar, es importante aclarar que el servicio de IoT es independiente y permite tener los datos en cola hasta por siete (7) días. El trabajo se puede iniciar o reiniciar en la fecha y hora que sea requerido, en el tiempo actual o desde la última detención hecha del trabajo, la Figura 49 visualiza las tres opciones para iniciar un trabajo. La opción por defecto es Ahora.

Figura 49. Inicio de un trabajo de Stream Analytics.



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

La configuración de un trabajo está en las tres partes principales que la conforman: la entrada, el proceso o consulta, y las salidas.

Almacenamiento en Frio (Históricos)

La primera parte del almacenamiento recibe los datos provenientes del IoT *Hub* y los almacena en un archivo compuesto por filas de JSON en la estructura de carpetas creadas para ello. El *Blob Storage* recibe los datos y los almacena en una carpeta que fue configurada previamente en el trabajo de *Stream*; en la Figura 50 se muestra el camino completo creado dentro del *Blob Storage*.

En el proyecto actual se trabaja con *Blob Storage* y no con *Data Lake gen v2* por motivos de accesibilidad por licenciamiento de Azure. Sin embargo, los dos servicios se comportan de forma muy similar y para efectos del proyecto es aceptable el uso de este servicio.

Figura 50. Configuración de la salida en frío al Blob Storage



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

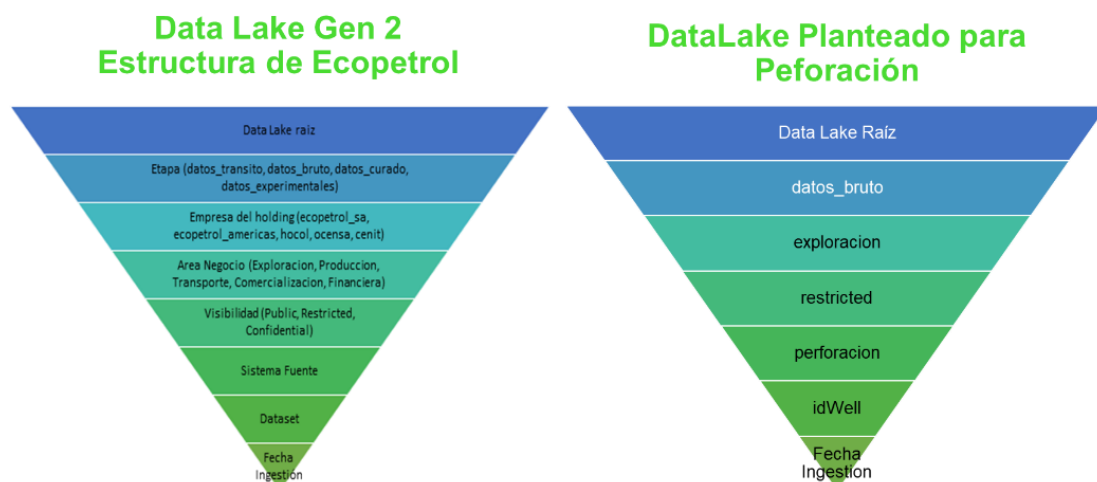
Cuando se esté en forma de desarrollo e implementación en la compañía deberá utilizarse *Data Lake gen v2* porque ya existe un servicio de este tipo configurado para fines similares a los de este proyecto. Las características generales del servicio de *Data Lake* son:

- Escala masiva
- Seguridad y protección en contra de pérdida accidental de datos
- Optimizado para un desempeño máximo
- Modelo en la nube
- Sin límites en el tamaño del almacenamiento de datos
- Niveles de manejo de costos
- Operaciones de sistema de archivos para optimizar transacciones por completamiento de trabajos
- Optimizado para *Spark* y *Hadoop*. Altamente integrado con Azure
- Múltiples ubicaciones mundialmente
- Permite ingesta simplificada en un solo almacén de datos.

Volviendo al servicio implementado con *Blob Storage*, después de nombrar el servicio se le asocia un sitio de almacenamiento llamado container, que está disponible para almacenar cualquier ingesta recibida a través del trabajo de *Stream Analytics*. La estructura de las carpetas donde se almacena finalmente los datos provenientes de la ingesta, son configurados en la creación de la salida del trabajo.

La estructura de la Figura 51, cumple las políticas de seguridad y de tratamiento de información de la compañía.

Figura 51. Estructura de almacenamiento en frío

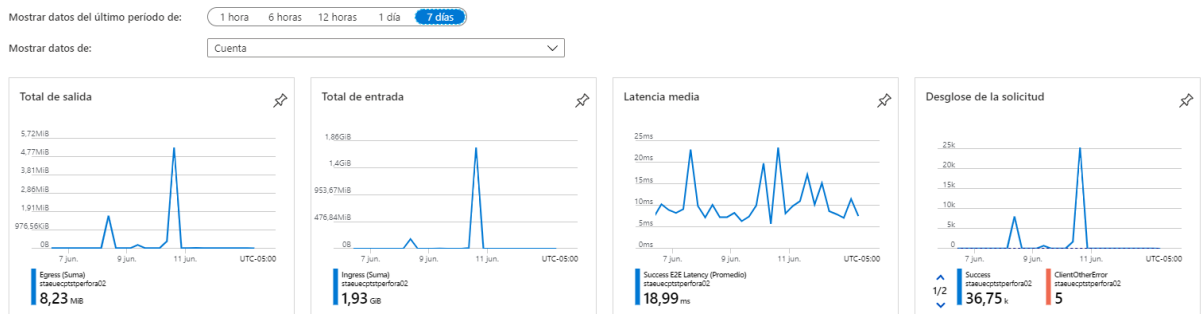


Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

La ingesta de datos desde el trabajo de *streaming* es de cada tres segundos y por cada ingesta se recibe un archivo JSON que es depositado en el *Blob Storage* por filas, de tal forma, que una fila del archivo almacenado corresponde a un dato de entrada en un momento determinado.

El seguimiento que se puede hacer al servicio dentro de Azure está dentro de las métricas disponibles que pueden ser supervisadas por horas o días. Se puede hacer seguimiento a las entradas y salidas, así como a la latencia media del servicio (Véase Figura 52). Para administrar, gestionar y acceder a los datos de la base de datos SQL DB es importante configurar los puertos IP de los equipos para que ingresen al *Firewall*.

Figura 52. Métricas del Blob Storage



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Base de datos

Las bases de datos seleccionadas para el almacenamiento de los históricos es SQL Server 2019 esta permite una relación directa con SQL Database que es una versión del motor elegido para trabajo en la nube de Microsoft Azure. Su propósito fundamental es adicional de almacenar o guardar la información organizada tiene la función de transformar la información en el formato adecuado de las aplicaciones o usuarios que lo requiera. Se diseñó un esquema sencillo que cubre con el propósito descrito. Compuesto por 5 tablas, 3 procedimientos, 1 vista y 1 función, elementos que articulados generan la información que se requiere. (Véase Figura 53).

En la Tabla 54 se describe el objeto de cada uno de los elementos de la base de datos.

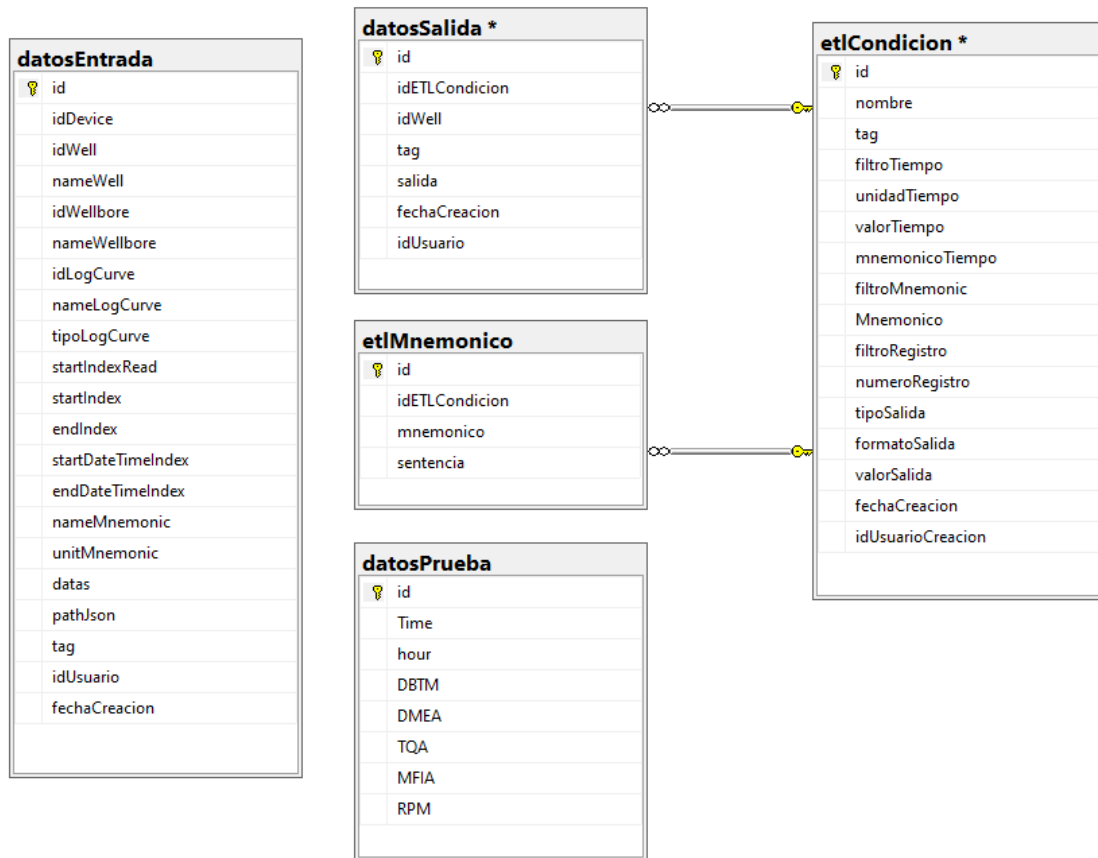
Tabla 54: Descripción de los componentes de la base de datos en Frio

| Nombre | Tipo | Descripción |
|--------------|-------|--|
| datosEntrada | Tabla | Almacena toda la información transmitida por el <i>Stream Analytics</i> , es una copia de las tramas de datos que llegan a la nube de Microsoft Azure. |

| Nombre | Tipo | Descripción |
|----------------------------|---------------|--|
| datosSalida | Tabla | Almacena los datos con el formato de salida requerido por los usuarios y/o aplicaciones cliente. |
| datosOperaciones | Tabla | Almacena de forma temporal los datos requeridos para hacer la ETL de Operaciones. |
| etlCondicion | Tabla | Almacena la configuración de filtros para hacer las ETL |
| etlMnemonico | Tabla | Almacena las consultas requeridas para la generación de datos de salida |
| arbol | Tabla | Guarda la estructura de <i>TreeView</i> para la interfaz gráfica de ecoDrill |
| vw_encabezado | Vista | Es una tabla que muestra los datos de encabezado |
| GenerarSentenciaMnemonicos | Función | Convierte el vector de mnemónico en una tabla |
| EjecutarETLCondiciones | Procedimiento | Proceso que transforma en el formato adecuado los datos vectorizados JSON y envía a ejecutar las condiciones configuradas previamente en la tabla ETLCondicion |
| EjecutarETLTag | Procedimiento | Proceso que ejecuta las ETL configuradas y que genera la tabla datosSalida |
| EjecutarETLOperaciones | Procedimiento | Proceso que ejecuta la ETL de Operaciones. |

Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Figura 53: Diseño relacional para datos históricos



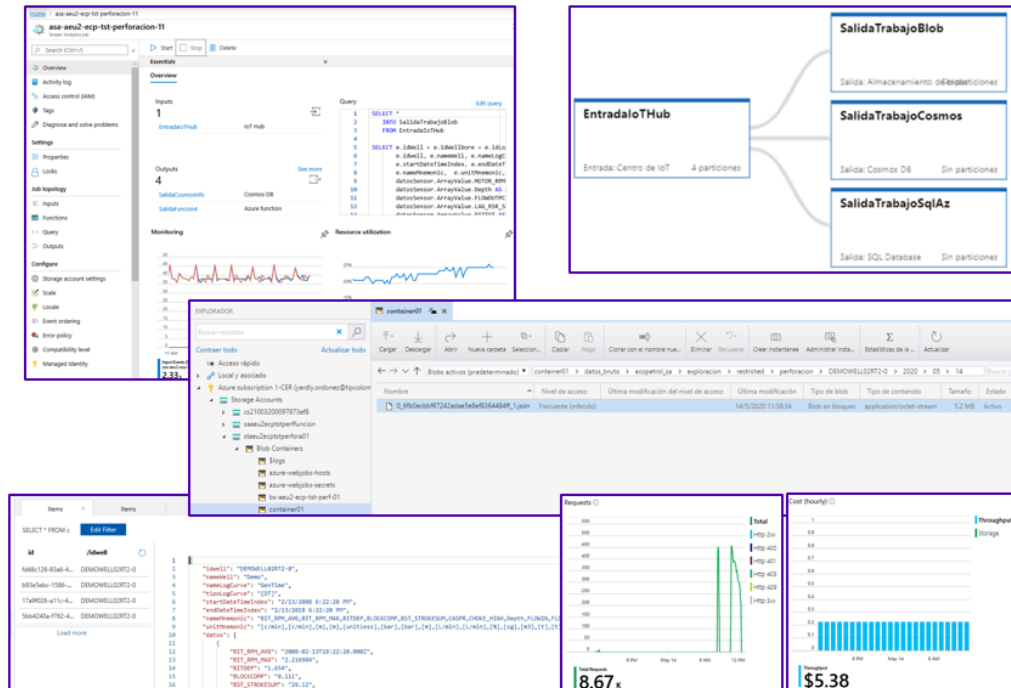
Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

6.8.3 Módulo almacenamiento en caliente

- **Conectividad:** Utiliza los servicios de un IoT *Hub* cuyo objetivo principal es controlar y monitorear dispositivos mediante el uso de mensajes y/o eventos.
- **Procesamiento y Transformación:** Utiliza el servicio de *Stream Analytics*, servicio en tiempo real diseñado para cargas de trabajo críticas dentro de una compañía. Crea una canalización sin el uso de servidores dedicados y permite personalizar la ingesta de datos y la réplica en frío o en caliente de los mismos.
- **Almacenamiento:** Primariamente usa el servicio de *Data Lake* que es un entorno de datos compartidos y almacenados en su formato original que comprende múltiples repositorios y aprovecha tecnologías de *big data*. Secundariamente hay una base de datos que una vez transformada servirá como fuente de consulta de algunos clientes de esta arquitectura. Para el almacenamiento en

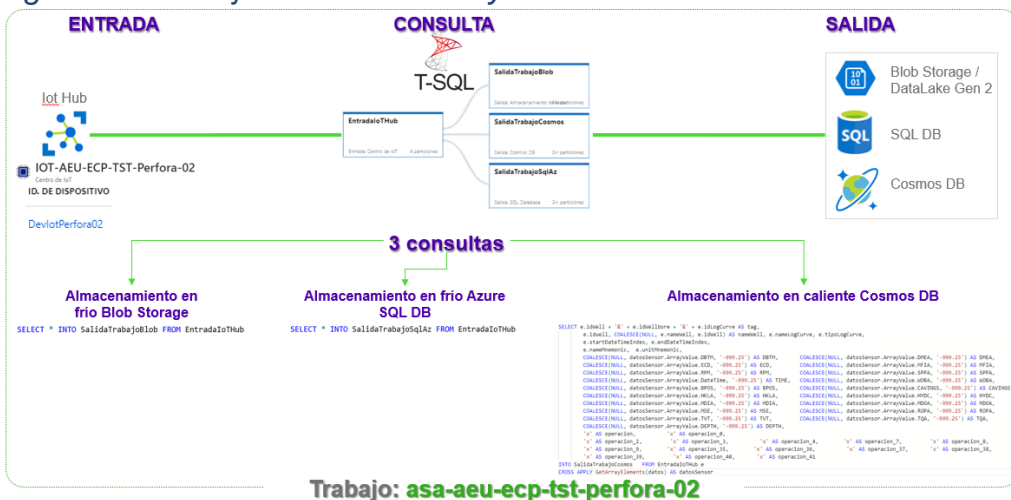
caliente también se cuenta con el uso de una base de datos orientada al documento.

Figura 54. Procesamiento y transformación de información en caliente



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Figura 55. Trabajo de Stream Analytics



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Almacenamiento en Caliente

El almacenamiento en caliente tiene como objetivo principal entregar datos en tiempo real a los clientes finales de los datos de perforación. Se optó por esta opción después de revisar las diferentes opciones que brindaba Azure *Stream Analytics* para las salidas de información.

Entre las características principales del manejo de documentos en Cosmos DB se tiene:

- Baja latencia garantizada en el percentil 99, en todo el mundo
- Varias opciones de coherencia definidas con precisión
- Sin administración de índices o esquemas
- Servicio de base de datos probado en el campo. Tiene diez años prestando servicios en aplicaciones como: incluyen Skype, Xbox, Office 365, Azure, etc.
- Ahorro considerable en TCO. Servicio totalmente administrado, no es preciso administrar y operar complejas implementaciones y actualizaciones del software de la base de datos, pagar el soporte técnico, las licencias o las operaciones ni tener que aprovisionar la base de datos para picos de cargas de trabajo.
- Desarrollo de aplicaciones en Cosmos DB mediante las API de software de código abierto (OSS) conocidas
- Distribución global inmediata
- Disponibilidad inmediata
- Escalabilidad elástica del rendimiento y almacenamiento en todo el mundo

La base de datos de Cosmos DB permite manejar diferentes modelos de datos representados por: documentos, grafos, tablas. Y se cuenta con aplicativos de software (API) especializados en cada tipo de modelo de dato. Los documentos pueden ser manejados con: SQL API, Cassandra y Mongo DB. Los grafos se manejan con Gremlin API, las tablas con Cassandra, Table y ETCD.

En el caso particular del proyecto se necesitaba manejar documentos con clave-valor que fueran representados como una unidad proveniente de la ingesta de JSON. Por ende, se seleccionó SQL API para manejar la información. Para utilizar símiles con la estructura de base de datos de SQL Server se puede afirmar que la colección son las tablas, un documento es una fila de una tabla, un campo es similar a una columna. Por esta razón, se exponen algunos conceptos importantes a la hora de manejar los datos en Cosmos DB con SQL API:

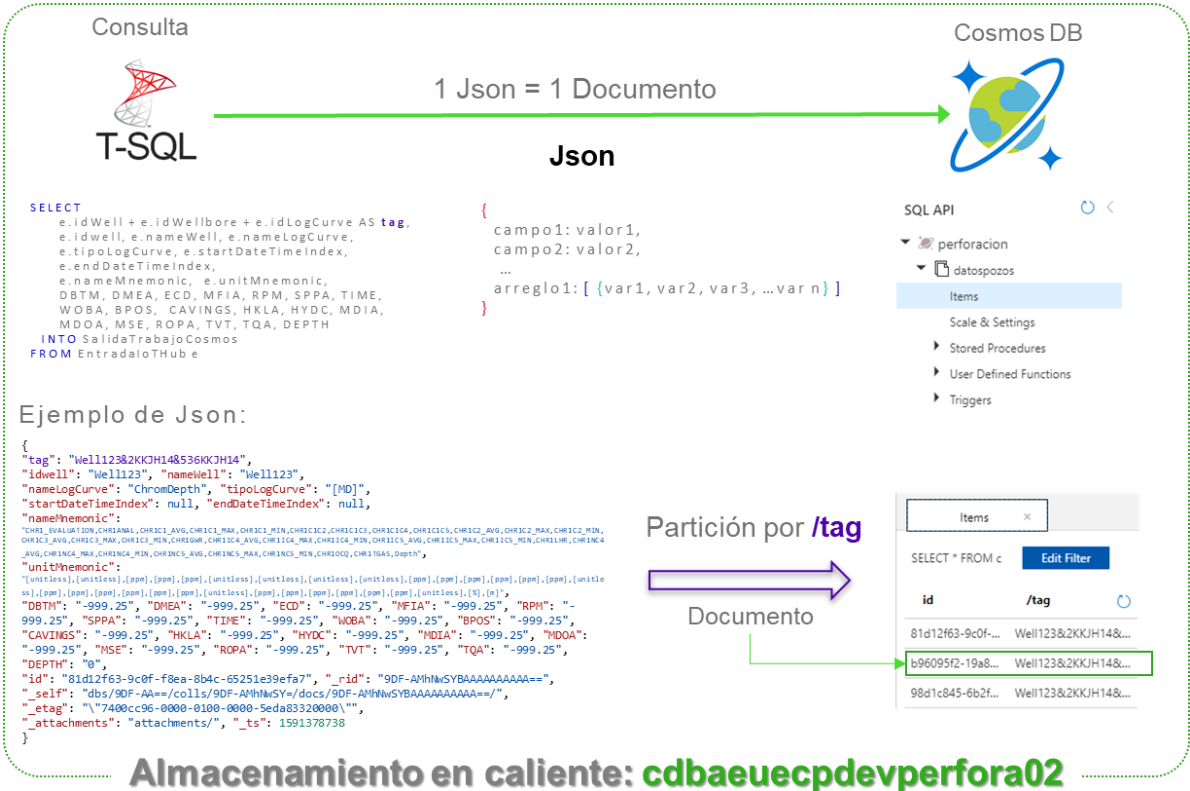
- Clave de partición: nombre de un campo del documento por el cual se hace único el documento. Ej: tag, idWell, id, etc.
- Partición: usadas para el escalamiento de contenedores individuales en una base de datos y así satisfacer su rendimiento. En su creación son divididas en subconjuntos llamados particiones lógicas.
- Contenedor o colección: es la unidad de escalabilidad para aprovisionar y almacenar. Es particionado de forma horizontal para que se pueda replicar entre varias regiones. Son distribuidos automáticamente por particiones lógicas basadas en la clave de partición. Equivale a una tabla en SQL Server.
- Partición lógica: creadas en función del valor de la clave de partición asociada a cada elemento de un contenedor. Todos los elementos de una partición lógica tienen el mismo valor de clave de partición. Además de una clave de partición que determina la partición lógica del elemento, cada elemento de un contenedor tiene también un id. de elemento (que es único dentro de una partición lógica). Al combinar la clave de partición y el id. del elemento se crea el índice del elemento, que los identifica de forma única. Es equivalente a un índice que ayuda a una búsqueda más rápida de los elementos.
- Disparador (*trigger*): Cosmos DB permite ser usado como origen, unión (*binding*) y fin de un disparador. Como origen cuando inicia un evento, como fin cuando se guarda dentro de la base de datos y como unión cuando sirve de dato asociado para realizar alguna labor con los datos.
- Estados (*lease*): Característica de la base de datos de Cosmos DB que mantiene una segunda colección para almacenar los estados de los documentos. En esta colección se tienen por ejemplo los documentos nuevos, los documentos con un valor específico de una variable, etc.
- RU (*Request Unit*): Son unidades de solicitud de las cuatro formas de acceder a un documento: lectura, escritura, actualización y borrado. Por defecto, toda base de datos de Cosmos es creada con 4 RU y por este valor se cobra por uso.

En este caso, cada JSON de ingesta del Stream Analytics es transformado en un documento dentro de Cosmos DB, utiliza un contenedor llamada datosEntrada y cada documento es almacenado por *tag* y luego indexado utilizando una partición a través del *tag* y el id autogenerado por Cosmos DB en un *lease*, como se ve en la *Figura 56*.

Las métricas asociadas al rendimiento de Cosmos DB por defecto tratan de hacerle seguimiento a las características más importantes que son: distribución geográfica, disponibilidad del dato, tráfico, uso de Rus (Véase *Figura 56*). En la gráfica se observa en qué ubicaciones geográficas se encuentran los documentos, cuál es el

promedio RU del último minuto. Un índice de almacenamiento. Y el tipo de respuesta de acceso a los datos por el protocolo HTTP. Los errores son tipos de respuesta 404 (No encontrado), o 5xx cuando no puede establecer comunicación con una base de datos inexistente.

Figura 56. Configuración de la salida en caliente con Cosmos DB

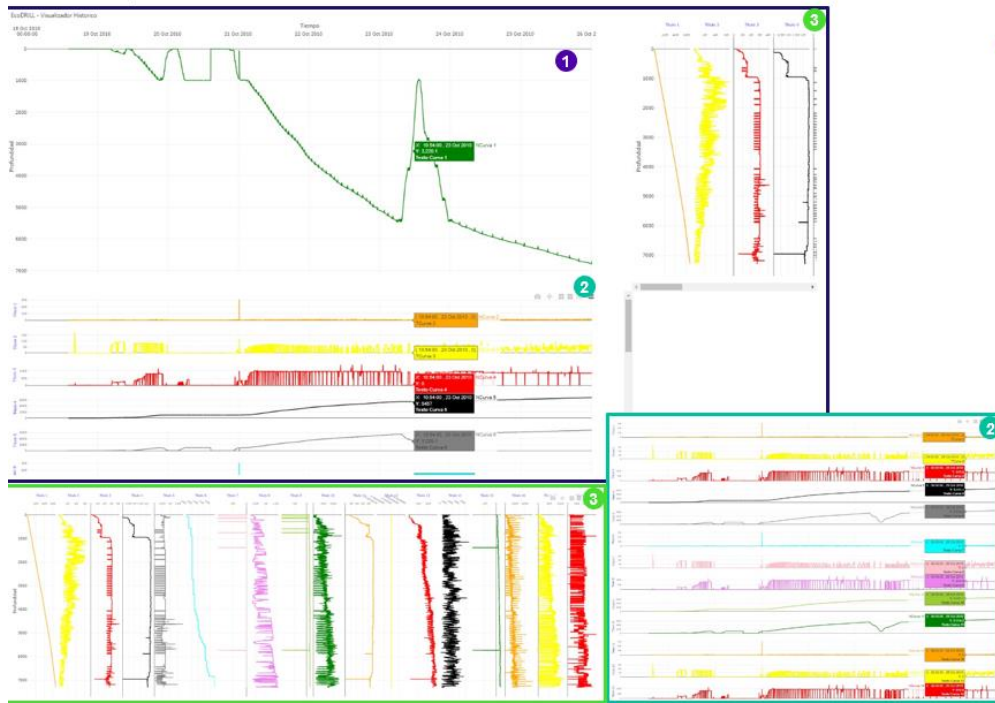


Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

6.8.4 Módulo visualización en tiempo real

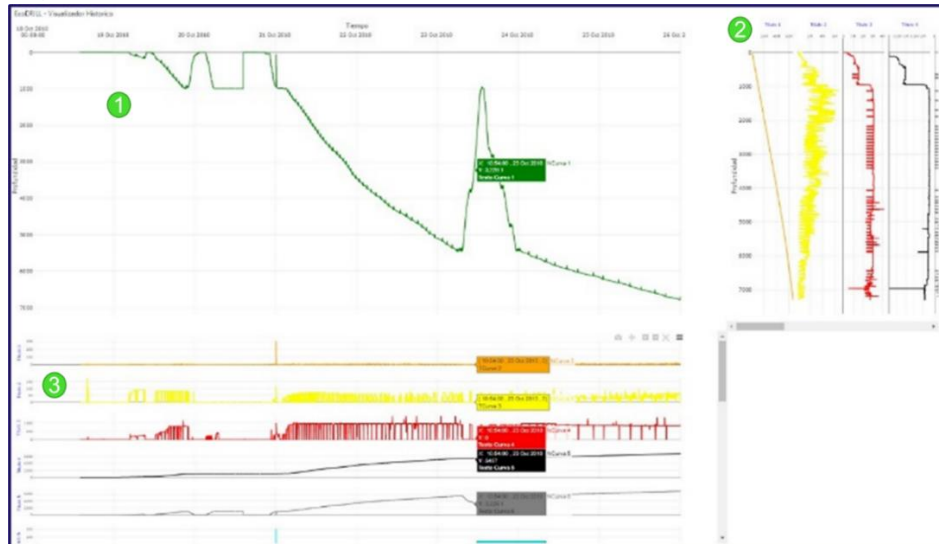
En la Figura 57 y Figura 58, se ilustra la interfaz del *plugin* de visualización de operaciones en tiempo real del protocolo WITMSL implementado en EcoAGE WEB.

Figura 57. Aplicación / interfaz visualización en tiempo real



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Figura 58. Interfaz de visualización de operaciones en tiempo real



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

En la Figura 58 se ilustra la interfaz gráfica mediante la cual los usuarios pueden visualizar la data recibida proveniente del protocolo WITSML para las versiones 1.3.1 y 1.4.1 de los taladros de perforación, las principales opciones de visualización son:

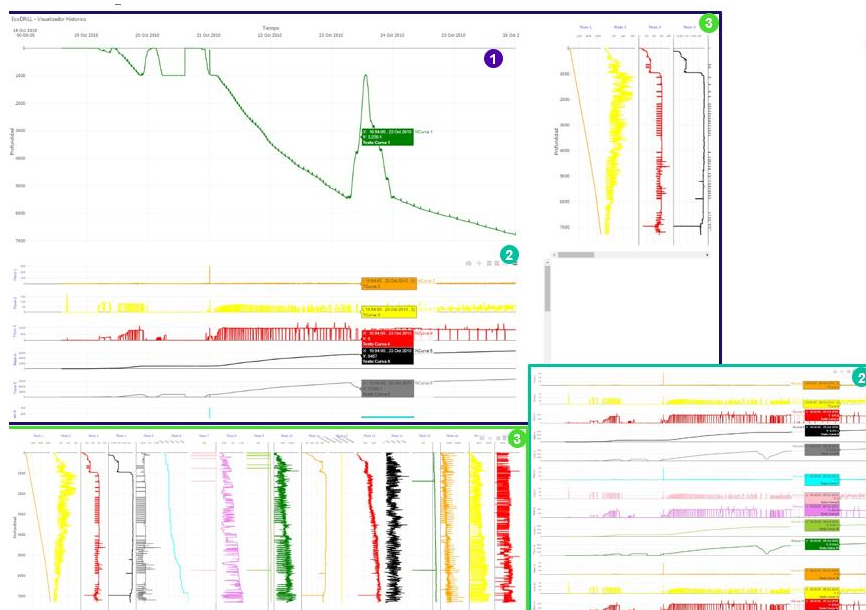
1. *Bit position*: es la curva del bit position que muestra la detección de 14 operaciones en tiempo real para la curva DBTM.
2. *Tracks* profundidad: el usuario puede visualizar curvas en profundidad provenientes de WITSML o del repositorio de información.
3. *Tracks* tiempo: el usuario puede visualizar curvas en tiempo provenientes del protocolo WITSML.
4. *Árbol de curvas*: el usuario puede observar las curvas presentes en el pozo y que provienen del protocolo WITSML.

Los elementos mencionados brindan, al usuario final la posibilidad de visualizar en tiempo real los datos provenientes de WITSML y tomar decisiones en tiempo real.

6.8.5 Módulo visualización de históricos

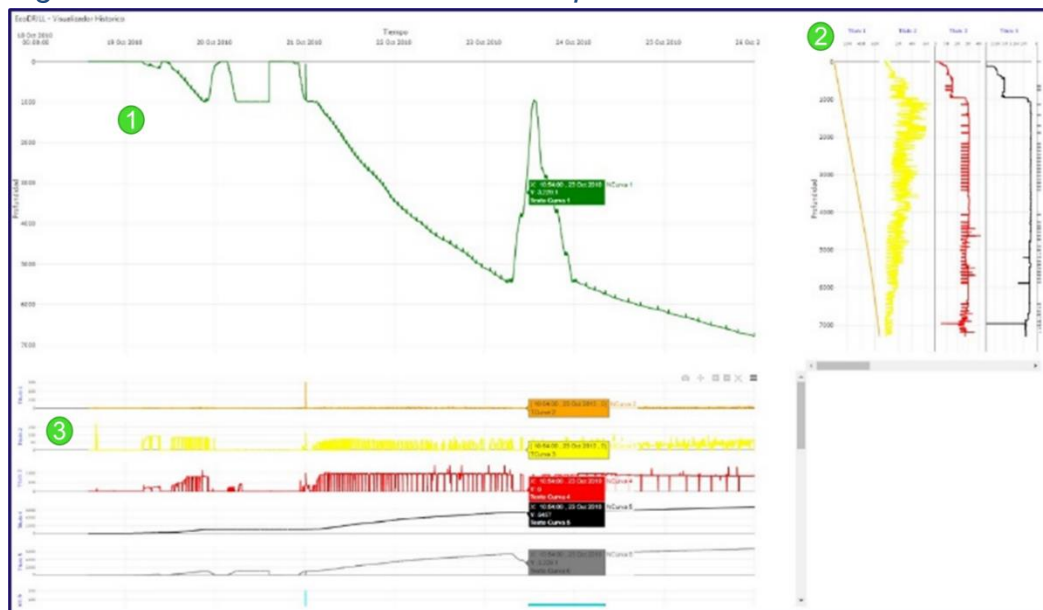
En la Figura 59 y Figura 60, se ilustra la interfaz del plugin de visualización de operaciones en históricos del protocolo WITMSL implementado en EcoAGE WEB.

Figura 59. Aplicación / Interfaz – Visualización de datos históricos



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

Figura 60. Interfaz de visualización de operaciones en históricos



Fuente: Información proporcionada por el grupo de perforación

En la Figura 60 se ilustra la interfaz gráfica mediante la cual los usuarios pueden visualizar la data recibida proveniente del protocolo WITSML para las versiones 1.3.1 y 1.4.1 de los taladros de perforación, las principales opciones de visualización son:

1. *Bit position*: es la curva del bit position que muestra la detección de 14 operaciones en tiempo real para la curva DBTM.
2. *Tracks profundidad*: el usuario puede visualizar curvas en profundidad provenientes de WITSML o del repositorio de información.
3. *Tracks tiempo*: el usuario puede visualizar curvas en tiempo provenientes del protocolo WITSML.
4. *Árbol de curvas*: el usuario puede observar las curvas presentes en el pozo y que provienen del protocolo WITSML.

Los elementos mencionados brindan, al usuario final la posibilidad de visualizar en históricos los datos provenientes de WITSML y tomar decisiones.

6.9 LECCIONES APRENDIDAS

Estandarización y Herramientas de Desarrollo

- Aunque se cuenta con aplicaciones desarrolladas *in-house*, no se contaba con un esquema de desarrollo estandarizado que le permitiera realizar seguimientos y valorar entregables. Además, para su ejecución se requiere de componentes software licenciados.
- Se estableció el conocimiento de los lineamientos de desarrollo establecidos por Vicepresidencia Digital para la implementación de aplicaciones software.
- Es conveniente tener un buen conocimiento de las herramientas a utilizarse en el desarrollo del proyecto.
- Antes de empezar un proyecto tecnológico es importante identificar el tipo de licenciamiento que involucra el desarrollo para garantizar el adecuado mantenimiento y/o adquisición de aplicaciones o herramientas.

Metodología de Desarrollo

- Comenzar a trabajar con metodologías ágiles supone un cambio muy drástico que requiere un proceso de socialización y entrenamiento, ya que no todos los integrantes del grupo están preparados. Es imprescindible avanzar paso a paso para no generar choque y falsas expectativas.
- Las metodologías ágiles permiten hacer algo diferente a lo inicialmente planteado y que aporte mucho más valor. La implementación de metodologías ágiles permite lograr fácilmente los objetivos, determinar cuándo hay desviaciones y tomar acciones a tiempo.
- Define primero la estructura global a alto nivel y a partir de ahí ve detallando todo en cada sprint.
- Contar con un equipo donde cada integrante se especialice en una temática da soporte a los demás integrantes del equipo.
- Aunque SCRUM no exige una documentación en detalle, durante el desarrollo del proyecto se trató de generar documentación de cada acción realizada.
- La realización de reuniones diarias, como lo pide SCRUM, permitió reconocer a tiempo detalles que no se contemplaron y realizar los ajustes correspondientes.
- Debe haber un control estricto sobre el cumplimiento de los hitos de desarrollo.

- Es muy importante la gestión, comunicación y apoyo del líder del proyecto (*Product Owner*).

General

- Se necesita definir al principio del proyecto una visión global de todo sin entrar en detalles (arquitectura e interfaz de usuario), para que después las piezas encajen bien.
- Para proyectos grandes, debes incluir tareas de análisis-definición de funcionalidades futuras entre las tareas de desarrollo.
- Se lograron todos los objetivos planteados en el desarrollo de las aplicaciones. Sin embargo, la implementación ha sido temporal ya que se depende de suscripciones de la plataforma Azure para su despliegue.
- En el desarrollo de cualquier proyecto software es necesario estar en comunicación constante con la Vicepresidencia Digital de Ecopetrol y seguir los lineamientos establecidos. Una comunicación eficiente con el grupo de VDI permitió mejorar los procesos de adquirir información, a partir de puntos comunes entre las partes involucradas.
- El asesoramiento informático debe ser un componente clave en el momento de realizar contrataciones de intercambio de datos, de generación de aplicaciones y en general de proyectos de tecnología.
- Si el desarrollo del proyecto es en la nube (Azure, Amazon, etc.) debe contarse con un ambiente de prueba corporativo que garantice el ciclo instalación, implementación, pruebas y entrega.

Piloto de Software

- Se detectaron alteraciones al estándar WITSML por parte del proveedor de datos.
- Se logró ejecutar el piloto de software desde la captura de información hasta su visualización, tanto en tiempo real como en históricos.
- Es importante garantizar el acceso a las fuentes de información en el entorno corporativo para validar a cabalidad el estándar de WITSML planteado como solución.

- Por practicidad la compañía evita hacer cambios tecnológicos (Cambio de WITS0 a WITSML) quedándose atrasados en cuanto a comunicaciones estandarizadas.
- El proceso de adquisición de datos involucra múltiples intermediarios (contratistas, cabina de mud logging, etc.) haciendo que la información llegue tarde e incluso no llegue.
- No hay un control adecuado sobre la información suministrada desde el campo (Caso réplica del servidor)

Aciertos del proyecto

- Equipo de trabajo coordinado y especializado.
- Definición en detalle del *Product Backlog*.
- Comunicación fluida entre los integrantes del equipo de trabajo de la metodología SCRUM (Patrocinador, *Product Owner*, *Scrum Master*, Equipo desarrollador)

6.10 APLICACIÓN DE LINEAMIENTOS EN LA HOJA DE RUTA

En la Tabla 55 se indican los lineamientos aplicados en cada uno de los proyectos seleccionados para desarrollar en el piloto de software.

Por ejemplo, para el proyecto 5, Módulo visualización de históricos, se indica que se usaron recursos de la plataforma Azure (App Service, SQL Database, etc.), se trabajó con DEVOPS y la metodología ágil SCRUM, entorno de desarrollo VS Code, contó con ambiente de desarrollo (Local) y de pruebas (Azure), obtuvo la información desde una base de datos SQL Database(Azure), para el Backend se usó Node.js, para el Frontend se usó React.js y Plotly.js, se siguieron las recomendaciones de manejar HTML5, CSS3 y JavaScript y se siguieron las recomendaciones relacionadas a nomenclatura, tanto para recursos de la plataforma Azure, como para la programación de código fuente.

Tabla 55. Aplicación de lineamientos en proyectos de la hoja de ruta

| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 |
|---------------------------------------|-------------------------------|----|----|----|----|----|
| Plataforma de servicios | Plataforma Azure | | | | | |
| Metodología de Desarrollo | DEVOPS | | | | | |
| | SCRUM | | | | | |
| Entorno Integrado de Desarrollo | Visual Studio Code | | | | | |
| | Visual Studio Professional | | | | | |
| Ambientes de Trabajo | Ambiente de Producción | | | | | |
| | Ambiente de Desarrollo | | | | | |
| | Ambiente de Pruebas | | | | | |
| Bases de datos | SQL Server | | | | | |
| | Cosmos DB | | | | | |
| | Azure Storage y Table Storage | | | | | |
| | Azure BlobStorage | | | | | |
| | Azure DataLake | | | | | |
| Lenguajes o tecnologías de desarrollo | Node.js | | | | | |
| | React.js | | | | | |
| | Plotly.js | | | | | |
| | Python | | | | | |
| | Django | | | | | |
| | C# .NET | | | | | |
| | HTML5, CSS3 y JavaScript | | | | | |
| Nomenclatura | Servicios Azure | | | | | |
| | Programación | | | | | |

Fuente: Elaboración propia del autor

6.11 PRESUPUESTOS GENERALES DEL PILOTO SOFTWARE

Tabla 56. Presupuesto general para el piloto de software

| Rubro | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|----------|---|-------------------|----------------|-------------|
| Personal | Experto Temático - Asesor Ecopetrol ICP | 4 meses * 0.25 | 8.000.000= | 8.000.000= |
| Personal | Líder Técnico – Scrum Master | 4 meses * 0.25 | 4.000.000= | 4.000.000= |

| Rubro | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|--------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Hardware | Computador | 4 unidad | 2.000.000= | 8.000.000= |
| Software | Suite Microsoft Office | 4 meses | 60.000= | 240.000= |
| Software | Microsoft Visual Studio Professional | 1 licencia | 2.400.000= | 2.400.000= |
| Software | Microsoft SQL Server 2019 Developer | 4 meses | 0= | 0= |
| Software | Plataforma de recursos Azure | 4 meses | 600.000= | 2.400.000= |
| Otros | Internet | 4 meses | 50.000= | 200.000= |
| Valor Total | | | | 25.240.000= |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 57. Presupuesto EcoAGE WEB - Captura de información WITSML

| Dedicación | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|--------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 0.25 | Experto Temático - Asesor Ecopetrol ICP | 4 meses | 8.000.000= | 8.000.000= |
| 0.25 | Líder Técnico – Scrum Master | 4 meses | 4.000.000= | 4.000.000= |
| 1.00 | Ingeniero de Sistemas | 4 meses | 4.000.000= | 16.000.000= |
| Valor Total | | | | 28.000.000= |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 58. Presupuesto EcoAGE WEB - Almacenamiento en frio

| Dedicación | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|-------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 0.25 | Experto Temático - Asesor Ecopetrol ICP | 2.5 meses | 8.000.000= | 5.000.000= |
| 0.25 | Líder Técnico – Scrum Master | 2.5 meses | 4.000.000= | 2.500.000= |
| 1.00 | Ingenieros de Sistemas | 2.5 meses | 4.000.000= | 10.000.000= |

| Dedicación | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|-------------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| | | | Valor Total | 17.500.000= |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 59. Presupuesto EcoAGE WEB - Almacenamiento en caliente

| Dedicación | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|-------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 0.25 | Experto Temático - Asesor Ecopetrol ICP | 1.5 meses | 8.000.000= | 3.000.000= |
| 0.25 | Líder Técnico – Scrum Master | 1.5 meses | 4.000.000= | 1.500.000= |
| 1.00 | Ingenieros de Sistemas | 1.5 meses | 4.000.000= | 6.000.000= |
| | | | Valor Total | 10.500.000= |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 60. Presupuesto EcoAGE WEB - Visualización en tiempo real

| Dedicación | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|-------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 0.25 | Experto Temático - Asesor Ecopetrol ICP | 2 meses | 8.000.000= | 4.000.000= |
| 0.25 | Líder Técnico – Scrum Master | 2 meses | 4.000.000= | 2.000.000= |
| 1.00 | Ingenieros de Sistemas | 2 meses | 4.000.000= | 8.000.000= |
| | | | Valor Total | 14.000.000= |

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 61. Presupuesto EcoAGE WEB –Visualización de históricos

| Dedicación | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|-------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 0.25 | Experto Temático - Asesor Ecopetrol ICP | 2 meses | 8.000.000= | 4.000.000= |

| Dedicación | Detalle | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
|--------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 0.25 | Líder Técnico – Scrum Master | 2 meses | 4.000.000= | 2.000.000= |
| 1.00 | Ingenieros de Sistemas | 2 meses | 4.000.000= | 8.000.000= |
| Valor Total | | | | 14.000.000= |

Fuente: Elaboración propia del autor

7. CONCLUSIONES

Se ha logrado realizar la descripción general del grupo, estableciendo los procesos y actividades que se ejecutan en el grupo de geomecánica y perforación de Ecopetrol-ICP, identificando los elementos de la línea base de la arquitectura. Para complementar la información, véase el Anexo C. Solicitud de Trabajo de Arquitectura. De esta manera se cumple con lo indicado en el objetivo específico O1.

Se ha elaborado una propuesta de ejercicio de arquitectura empresarial donde se describen los estándares y lineamientos (Véase 5. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS DE BUENAS PRÁCTICAS) que son propuestos para el desarrollo de software, aplicando las mejores prácticas y apoyados en los lineamientos establecidos por la Vicepresidencia Digital (VDI) de Ecopetrol, contemplando las necesidades establecidas en la definición de la arquitectura y en los proyectos planteados en la hoja de ruta. Para complementar la información, véase el Anexo L. Lineamientos de Buenas Prácticas. De esta manera se cumple con lo indicado en el objetivo específico O2.

En el ejercicio de arquitectura empresarial, se ha logrado identificar oportunidades y soluciones (Véase 4.6 FASE E: OPORTUNIDADES Y SOLUCIONES) basado en el análisis de GAPS existentes entre la situación actual del grupo y la situación objetivo a la que se espera llegar. Dicha identificación se ha realizado teniendo en cuenta las brechas en cada fase de arquitectura (Negocio Sistemas de Información, tecnológica) y los objetivos de negocio. Para complementar la información, véase el Anexo G. Definición de arquitectura y el Anexo K. Hoja de ruta de Arquitectura (*ROADMAP*). De esta manera se cumple con lo indicado en el objetivo específico O3.

Siguiendo los lineamientos de buenas prácticas planteados, se ha realizado el desarrollo de un piloto de software (Véase 6. IMPLEMENTACIÓN DEL PILOTO DE SOFTWARE) para la captura de información en formato WITSML, almacenamiento en base de datos centralizada y la visualización de la información correspondiente. De esta manera se cumple con lo indicado en el objetivo específico O4.

Resultó valioso ejecutar el ejercicio de arquitectura empresarial porque además de generar una solución inmediata a una necesidad específica, permitió identificar todos los aspectos de la organización que intervienen en la problemática.

Los principios de arquitectura son elementos que guían la evolución de la organización, no pueden verse como un documento. Conocer los principios ha permitido que las personas en el grupo entiendan y consideren criterios a tener en cuenta al plantear los proyectos y procesos, centrados en la misión y visión de la organización.

El análisis de brechas entre el estado actual y el estado objetivo en cada dominio de la arquitectura permitió tener criterios para definir claramente los proyectos propuestos en la hoja de ruta.

Para promover el aprovechamiento y uso efectivo de los sistemas de información, se debe trabajar en la usabilidad y la generación de confianza que garantice una mejor adopción de las herramientas tecnológicas.

Los proyectos propuestos en el presente ejercicio de arquitectura empresarial relacionados a la captura de información deben ser considerados como críticos, teniendo en cuenta la información que estos gestionarán y deben resguardarse bajo mecanismos de seguridad que garanticen la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información.

Se ha logrado implementar una primera solución alineada a los objetivos estratégicos y a los lineamientos de desarrollo de la organización, brindando información que garantiza integridad, confidencialidad y disponibilidad.

El piloto de software para establecer conexión con los taladros de perforación es exitoso, se está garantizando la adquisición y almacenamiento de los parámetros de perforación en tiempo real, de forma estable y continua en el tiempo en el entorno estándar del protocolo WITSML usando Microsoft Azure.

El servicio de Azure para el manejo de telemetría en tiempo real es adaptable y configurable. La latencia ofrecida entre los servicios es baja. La implementación depende de la suscripción de servicios que tenga Ecopetrol con Microsoft Azure.

El asesoramiento y acompañamiento de la Vicepresidencia Digital (VDI) de Ecopetrol en el ejercicio de arquitectura empresarial y en el desarrollo del proyecto de piloto de software, permitió el establecimiento de estándares y lineamientos de buenas prácticas para el grupo de perforación y la alineación del piloto de software a los estándares corporativos de la compañía.

La ventaja de implementar el piloto de software en la plataforma de servicios Azure permite acortar la brecha tecnológica, aprovechando los servicios y recursos que ofrece la nube como: agilidad, seguridad, tratamiento de datos en tiempo real y administración de costos en tiempo real. También permite la reutilización de componentes para la integración entre diferentes proyectos.

A través del motor de base de datos de SQL DB se logró crear una automatización de transformación, filtraje y entrega de datos históricos según sea requerido por el cliente final (Usuario o aplicación).

El servicio de *Stream Analytics* ofrece una variedad de formas para entregar de datos en tiempo real a un cliente final, sin embargo, la forma más rápida y segura de enviar estos datos es la integración de Cosmos DB y Azure *Functions*.

8. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Para todo proyecto (ejercicio de arquitectura empresarial o desarrollo de software) que involucre un cambio en la forma de trabajo del grupo es importante el apoyo de los directivos como factor crítico de éxito.

Concientizar a la directiva sobre la importancia de contar con una Arquitectura Empresarial que permita el alineamiento de los procesos de negocio con los objetivos de la organización. Actualmente, el grupo de perforación, se encuentra interesado en la implementación de la presente propuesta de solución que le permitirá mejorar sus procesos de negocio soportados en tecnología de información.

La arquitectura empresarial “permite mantener actualizada la estructura de información organizacional alineando procesos, datos, aplicaciones e infraestructura tecnológica en las cuatro dimensiones: negocios, datos, aplicaciones y tecnología”. Es por esto que se recomienda continuar con el ejercicio de arquitectura empresarial llevándolo hasta la Fase H: Gestión de la Arquitectura de Cambio realizando un proceso iterativo de mejora continua.

Se recomienda la validación y posterior implementación de la arquitectura diseñada, junto con el uso de buenas prácticas con el objeto de obtener mejoras significativas en los servicios y procesos, todo esto para disipar las brechas analizadas.

Se recomienda elaborar un plan detallado de implementación y migración sobre la hoja de ruta para el periodo 2021-2025 que presente a profundidad la ejecución de los proyectos que permita partir desde la arquitectura de la línea base hacia la arquitectura destino para poder realizar una adecuada estimación de recursos, costos, y evaluación de riesgos.

Contemplar el uso de herramientas *Cloud* (Infraestructura como servicio IAAS), para construir y ejecutar las aplicaciones de software especializado y que demanden altos recursos de procesamiento; dichas aplicaciones son utilizadas en actividades de extracción, procesamiento, recuperación y visualización de información, entre otras.

Se recomienda definir y construir los procesos necesarios para parametrizar y automatizar la creación de componentes y servicios de Azure requeridos en las soluciones a implementar.

Es importante mantener alineada la estructura de mnemónicos de los pozos de la compañía. Aunque no se midan, se debe garantizar que siempre permanezcan las mismas variables transmitidas mediante el protocolo WITSML.

Se está trabajando en la definición de un convenio de cooperación entre la UNAB y Ecopetrol-ICP y como elemento de partida en la ejecución del convenio, se consideran los proyectos definidos en la hoja de ruta de la tesis actual.

BIBLIOGRAFÍA

- Al Khudiri , M., James, J., & Curtis, J. (09 de Marzo de 2013). *Open standard protocol can improve real-time drilling surveillance*. Recuperado el 15 de 12 de 2019, de <https://www.hartenergy.com/exclusives/open-standard-protocol-can-improve-real-time-drilling-surveillance-19643>
- Centro para Soluciones de Energía de Deloitte. (Febrero de 2018). De los bytes a los barriles. La transformación digital en el segmento upstream del sector de los hidrocarburos. *Cuadernos de Energía*, 54. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019
- Coltabarria, Y. (s.f.). Perforacion De Pozos Petroleros. En Y. Coltabarria, *Perforacion De Pozos Petroleros* (pág. 170). Obtenido de <https://es.calameo.com/books/003667299fd9f953c1590>
- CONGRESO DE COLOMBIA. (2009). *Ley 1273 de 2009*. Bogotá. Recuperado el 20 de 12 de 2019, de https://www.mintic.gov.co/portal/604/articulos-3705_documento.pdf
- Ecopetrol. (03 de 06 de 2016). Manual de seguridad de la información. *PDO-M-011-Manual de seguridad de la información*. Bogotá: ECP.
- Ecopetrol. (02 de 06 de 2020). Instructivo para Arquitectura y Gobierno en Microsoft Azure - v2.0. *GDI-I-006 Instructivo para Arquitectura y Gobierno en Microsoft Azure - v2.0*. Bogotá: Ecopetrol.
- Ecopetrol. (s.f.). *Tecnología Digital*. Recuperado el 15 de 05 de 2020, de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/innovacion/tecnologia/Tecnolog%C3%ADa%20Digital>
- Energistics. (20 de Diciembre de 2019). *Energistics - WITSML Data Standards*. Obtenido de <https://www.energistics.org/portfolio/witsml-data-standards/>
- GALP. (s.f.). *Perforación*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de <https://www.galpenergia.com/ES/agalpenergia/Os-nossos-negocios/Exploracao-Producao/fundamentos-engenharia-petroleo/Paginas/Perforacion.aspx>
- Gervilla, M. (2017). POZOS PARA LA EXPLORACIÓN Y LA PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS. *CICLO DE CONFERENCIAS. ¿QUÉ SABES DE LOS HIDROCARBUROS?* Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019, de https://www.aciep.com/sites/default/files/multimedia/3_perforacion_mgervilla_abril17web.pdf
- Kashif, M., & Khudiri, M. (12 de Abril de 2017). *Customized real-time data solution improves efficiency, decision making*. Recuperado el 15 de Diciembre de

- 2019, de <https://www.offshore-mag.com/production/article/16755989/customized-realtime-data-solution-improves-efficiency-decision-making>
- Klein, S. (2017). *IoT Solutions in Microsoft's Azure IoT Suite: Data Acquisition and Analysis in the Real World*. Redmond, Washington, USA : APRESS. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de <https://link-springer-com.aure.unab.edu.co/content/pdf/10.1007%2F978-1-4842-2143-3.pdf>
- Microsoft. (2018). *Microsoft Azure IoT Reference Architecture*. Microsoft. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019, de http://download.microsoft.com/download/A/4/D/A4DAD253-BC21-41D3-B9D9-87D2AE6F0719/Microsoft_Azure_IoT_Reference_Architecture.pdf
- Microsoft. (20 de Diciembre de 2019). *Microsoft Docs - Documentación de Microsoft Azure*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/azure/>
- MOORE, P. L. (1986). *DRILLING PRACTICES MANUAL*. Tulsa, Oklahoma USA: PennWell Publishing Company. Recuperado el 20 de 12 de 2019
- Morar, M. (2017). *Robust Cloud Integration with Azure*. Packt Publishing. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de <http://search.ebscohost.com.aure.unab.edu.co/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1489533&lang=es&site=ehost-live>
- O'Regan, G. (2017). *Concise Guide to Software Engineering From Fundamentals to Application Methods*. Springer. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de <https://link-springer-com.aure.unab.edu.co/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-57750-0.pdf>
- OpenJS Foundation. (05 de 06 de 2015). *Node.JS*. Obtenido de Acerca de NodeJs: <https://nodejs.org/es/about/>
- Osinergmin. (s.f.). *Información General de la Actividad - Etapas de la Exploración*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1654.htm>
- Otero, N. (09 de junio de 2016). *Caso éxito COBIT – Ecopetrol S.A*. Obtenido de <https://nelsonotero.wordpress.com/2016/06/09/caso-exito-cobit-ecopetrol-s-a/>
- Rodriguez, J. D., Villalobos, R. L., Leon, A. A., & Perez, S. R. (Julio de 2012). How Pemex plugged the interoperability gap. *OE Offshore Engineer*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019, de <https://www.energistics.org/wp-content/uploads/2017/03/petrolink-pemex-article-offshore-engineer-july2012.pdf>
- SCRUMstudy. (2016). *Guía SBOK - Una guía para el CUERPO DE CONOCIMIENTO DE SCRUM*. SCRUMstudy™, una marca de VMEdU, Inc. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de

- <https://www.scrumstudy.com/SBOK/SCRUMstudy-SBOK-Guide-2016-spanish.pdf>
- Stackowiak, R. (2019). *Azure Internet of Things Revealed: Architecture and Fundamentals*. Elgin, IL, USA: APress. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019
- The Open Group. (20 de Diciembre de 2019). *The TOGAF® Standard, Version 9.2 HTML Edition*. Obtenido de <https://pubs.opengroup.org/architecture/togaf92-doc/arch/>
- TOGAF. (20 de Diciembre de 2019). *Architecture Deliverables*. Obtenido de https://pubs.opengroup.org/architecture/togaf92-doc/arch/chap32.html#tag_32
- Vicepresidencia Digital - Ecopetrol. (2019). *Planeación de TI - Guía Para la Arquitectura Digital Objetivo Ecopetrol*.
- Vladimir Turchaninov, Zakharova, N., & Hubbard, J. (Marzo de 2013). Los estándares de intercambio abierto de datos y las tecnologías de la comunicación. *first break volumen 31*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019
- WORLD ENERGY TRADE. (2019 de Octubre de 04). *Perforación inteligente: ya es posible aumentar la productividad de los pozos hasta un 30%*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2019, de <https://www.worldenergytrade.com/oil-gas/investigacion/perforacion-inteligente-ya-es-posible-aumentar-la-productividad-de-los-pozos-hasta-un-30>
- Zachman International. (s.f.). *The Official Home of Zachman International® and the Zachman Framework™*. Obtenido de <https://www.zachman.com/>