

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS
SISTEMÁTICO DE FALLAS EN LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO
UTILIZADAS EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA CON SARTA
SELECTIVA EN CAMPO CASABE**

**MILTON JULIÁN GUALTEROS QUIROGA
OSCAR IVÁN ARIZA APARICIO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2016

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS
SISTEMÁTICO DE FALLAS EN LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO
UTILIZADAS EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA CON SARTA
SELECTIVA EN CAMPO CASABE**

**MILTON JULIÁN GUALTEROS QUIROGA
OSCAR IVÁN ARIZA APARICIO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero de Petróleos.**

Director

**ANÍBAL ORDOÑEZ RODRÍGUEZ
Ingeniero de Petróleos, M.Sc.**

Codirectores

**Nini Johanna Hernández Hernández
Ingeniera de Petróleos
Javier Darío Anaya Barrera
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios por hacer posible la realización de uno de los más grandes logros de mi vida. Por la vida, la salud, y por rodearme de grandes personas. Espero siga haciendo posible el cumplimiento de todos mis sueños, propósitos y metas.

A mis padres Milton y Gloria, por los valores, la paciencia, consejos y apoyo brindados durante todos estos años; todo lo que soy se lo debo a ustedes. Gracias por ese hogar tan hermoso que formaron, esto es por ustedes, para que siempre tengan presente que todos los esfuerzos que realizaron y realizan por mí y mis hermanos, tienen y tendrán fruto. Siempre buscamos enorgullecerlos cada día más.

A mis hermanos, por su compañía, apoyo y especialmente por alegrarme los días. A Nathis para que vea esto como una muestra de motivación, que nunca se dé por vencida y que su vida este llena de sueños cumplidos. A Pedro por su ayuda, ánimo y cariño durante todos estos años. A Cata por motivarme con sus sueños de Dubái; cada vez estamos más cerca.

A Paulita por su compañía, comprensión y amor. Por motivarme a ser cada día una mejor persona, y principalmente por generar tanta felicidad. Gracias por el apoyo brindado durante la práctica, es algo que siempre voy a valorar. Me encanta verla feliz y orgullosa por mis logros y éxitos, acá va otro mi pollo.

A mis amigos del colegio por su eterna amistad, los consejos, el apoyo incondicional y por la fiesta. Espero reunirnos en unos años siendo profesionales, como un día dijimos.

A mis amigos de la universidad "UIS 2011 BENDECIDOS", por ser un excelente grupo de trabajo, excelentes personas, estudiantes y seguramente excelentes profesionales.

A Milucita por ser parte de mi familia y llenar la casa de alegría.

Finalmente a todas las personas y miembros de mi familia que confiaron en mí. Este es el primero de muchos logros que vienen. El comienzo de una vida prospera.

Julian Gualteros Q.

DEDICATORIA

Este logro alcanzado es dedicado a:

A Dios, por brindarme la salud, sabiduría y fortaleza para superar cada obstáculo que se ha presentado en mi vida y por enfocarme hacia un camino correcto y exitoso. Gracias a sus bendiciones logré este sueño.

A mis padres, por su gran apoyo en todo momento; por formarme como una persona con buenos principios y valores. Gracias papá, gracias mamá, por participar en este logro.

A mis hermanas, que en todo momento han estado para lo que necesite y han sido muy importantes para esta etapa de mi vida.

A toda mi familia, por sus buenos deseos y ayuda constante.

A mi compañero y amigo de este proyecto, Julián Guasteros, por su apoyo en los momentos difíciles y por su compromiso en alcanzar esta meta.

A mis amigos, que fueron parte de esto por sus consejos y recomendaciones.

A Doki y Recco.

Gracias a todos

Oscar Iván Ariza A.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos los más sinceros agradecimientos a:

A la compañía **ECOPETROL S.A** por la oportunidad de permitirnos realizar práctica empresarial y realizar nuestro proyecto de grado en el Campo Casabe.

A la **UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER** por nuestra formación como personas y profesionales. Por otorgarnos la capacidad de afrontar el mundo laboral con excelentes bases y forjar en nosotros valores importantes como el liderazgo, recursividad y perseverancia.

Al director **ANIBAL ORDOÑEZ RODRIGUEZ** por tomar este proyecto y asesorarnos en el desarrollo de este.

A todos los ingenieros del **DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN** del Campo Casabe por brindarme asesoría, conocimiento, amistad, confianza y lo más importante por acogerme como un compañero más. Al Coordinador, el Ingeniero **ADRIAN CAMARGO**, por su colaboración y motivación.

A los integrantes del grupo de Inyección, específicamente a los ingenieros **NINI JOHANA HERNANDEZ**, **JAVIER DARIO ANAYA** y **CARLOS VILLA**, gracias a ellos la realización de este proyecto fue posible. Gracias por dedicar su tiempo, carisma, conocimientos, profesionalismo y experiencia. Gracias por su confianza, amistad y acogida como integrante en el grupo de inyección.

Al personal del taller de válvulas **WILMER GUZMAN** y **JOSE CONSTAIN** por permitirnos estar presentes en las inspecciones de válvulas, compartir su conocimiento y estar abiertos a los cambios realizados por la implementación de la metodología.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	19
1. GENERALIDADES.....	21
1.1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASABE	21
1.2. GENERALIDADES DE LA INYECCION SELECTIVA DE AGUA.....	27
2. VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO.....	30
2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	30
2.2. PARTES	32
2.3. TIPOS DE VÁLVULAS Y/O CONFIGURACIONES.....	37
2.4. PROBLEMAS OPERACIONALES ASOCIADOS A LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO	39
2.5. MOTIVOS DE CAMBIO DE UNA VALVULA REGULADORA DE FLUJO	40
3. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS SISTEMÁTICO DE FALLAS EN LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO.....	44
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	45
4. RESULTADOS.....	52
5. CONCLUSIONES	105

6. RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXOS	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del Campo Casabe.....	21
Figura 2. Columna Estratigráfica del Campo Casabe	24
Figura 3. División por bloques del Campo Casabe.....	25
Figura 4. Bloques de producción del Campo Casabe	25
Figura 5. Diagrama de Inyección Selectiva.....	28
Figura 6. Esquema del ensamblaje de una sarta de inyección selectiva para un pozo en el Campo Casabe.....	29
Figura 7. Flujo de agua a través del Regulador en una Válvula Reguladora de Flujo.....	31
Figura 8. Diferencial mínimo de presión en el regulador de una Válvula Reguladora de Flujo.....	31
Figura 9. Cuerpo de pesca de una Válvula Reguladora de Flujo.....	33
Figura 10. Cuerpo dinámico de una Válvula Reguladora de Flujo.....	34
Figura 11. Cuerpo de anclaje de una Válvula Reguladora de Flujo.....	36
Figura 12. Nomenclatura de una Válvula Reguladora de Flujo	36
Figura 13. Nomenclatura de una Válvula Dummy	37
Figura 14. Válvula con serial 137, retirada del mandril 6 del CSBE 1289, donde se evidencia erosión en el conjunto dinámico (orificio, vástago y el asiento).....	53
Figura 15. Base de Datos Utilizada Anteriormente para el Almacenamiento de las Inspecciones de Válvulas.	56
Figura 16. Esquema de Interacción de Grupos en el Cambio de las Válvulas	57
Figura 17. Esquema del Proceso Utilizado para Realizar Cambios de Válvulas.....	57
Figura 18. Base de Datos Antigua utilizada para el Almacenamiento de Inspecciones - Modificada	60
Figura 19. Validación de la Configuración Pozo – Mandril en la Nueva Base de Datos de Almacenamiento de la Información del Taller de Válvulas	62
Figura 20. Evidencia del uso de la base de datos elaborada para el almacenamiento de los resultados de las inspecciones de válvulas, manual de la base de datos y capacitaciones realizadas al personal del taller de válvulas	63

Figura 21. Programa de Slick Line Modificado..... 101

Figura 22. Etiqueta de Entrega de Válvulas al Taller de Válvulas..... 102

Figura 23. Nueva Interacción de los Grupos en el Proceso de Cambios de las Válvulas103

Figura 24. Nuevo Flujo de Trabajo en el Proceso de Cambio de Válvulas..... 104

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Resultado de Inspección de las Válvulas de material 440C Según el Motivo de Cambio, años 2014 - 2015	78
Gráfica 2. Resultado de Inspección de las Válvulas de material 174 - PH Según el Motivo de Cambio, años 2014 - 2015	79
Gráfica 3. Resultado de Inspección de las Válvulas de material Carburo de Tungsteno (CT) Según el Motivo de Cambio años, 2014 - 2015	79
Gráfica 4. Análisis Estadístico Mensual de las Válvulas años 2014 – 2015.....	83
Gráfica 5. Criticidad de los Bloques	86
Gráfica 6. Índice de Falla en los Bloques de Trabajo del Campo Casabe.....	86
Gráfica 7. Diferencia Normalizada en los Bloques de Trabajo del Campo Casabe	87
Gráfica 8. Promedio de Intervenciones anuales a Mandriles - Superior a tres (3)	88
Gráfica 9. Promedio de Intervenciones Anuales a Mandriles.	89
Gráfica 10. Número de Intervenciones en Arenas para cada Bloque.....	91
Gráfica 11. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques I – II	92
Gráfica 12. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques III – IV y V.....	93
Gráfica 13. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques VI	94
Gráfica 14. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques VII – VIII.....	95
Gráfica 15. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Campos CBES – PBLA	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las arenas y capas del Campo Casabe.....	25
Tabla 2. Propiedades Petrofísicas del Campo Casabe.....	26
Tabla 3. Propiedades de los Fluidos del Campo Casabe.....	26
Tabla 4. Caudal Según Combinación Orificio - Resorte para una Válvula W-15RLIB.....	35
Tabla 5. Rangos Máximos de Inyectividad del Campo Casabe.....	42
Tabla 6. Válvulas Inspeccionadas por Recomendación de Ingeniería años 2014 - 2015 .	66
Tabla 7. Válvulas Inspeccionadas por Mantenimiento años 2014 - 2015.....	67
Tabla 8. Estadística de las Válvulas Dummy Según el Motivo de Cambio años 2014 - 2015.....	68
Tabla 9. Estadística de las Válvulas de Circulación de Flujo Según el Motivo de Cambio años 2014 - 2015.....	69
Tabla 10. Total de Válvulas Inspeccionadas, años 2014 – 2015. Resultados Discretizados Según el Material, Motivo de Cambio y Tipo de Válvula.	69
Tabla 11. Resumen de Inspecciones por Bloque y Material para los años 2014 – 2015 ..	72
Tabla 12. Arenas Erosionadas por Bloques, años 2014 - 2015.....	73
Tabla 13. Runtime de las Válvulas Según el Material, años 2014 - 2015.....	74
Tabla 14. Resumen de Inspecciones Enero de 2015.....	75
Tabla 15. Resultado de Inspecciones por Bloques para Enero de 2015.....	75
Tabla 16. Base de Datos para la Extracción de la Información al software MySip, Avocet.	77
Tabla 17. Total de Válvulas Inspeccionadas Abril de 2015.....	81
Tabla 18. Total de Válvulas Inspeccionadas, Mayo de 2015.....	82
Tabla 19. Resultado de las Inspecciones por Bloques, Mayo de 2015.....	84
Tabla 20. Válvulas en Buen Estado con Motivo de Cambio Sobrecaudal y Runtime menor a 3 meses años 2014 – 2015.....	85
Tabla 21. Pozos y Mandriles Críticos Según el Promedio de Intervenciones Anuales.....	88
Tabla 22. Válvulas Erosionadas con Motivo de Cambio Sobrecaudal según el Runtime año 2015.....	98

Tabla 23. Válvulas Críticas Inspeccionadas año 2015 98

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Manual Para la Base de Datos del Taller de Válvulas Reguladoras de Flujo del Campo Casabe.....	110
Anexo B. Manual para la Base de Datos de Estadística y Exportación de la Información	122

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS SISTEMÁTICO DE FALLAS EN LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO UTILIZADAS EN EL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA CON SARTA SELECTIVA EN CAMPO CASABE§.

AUTORES: MILTON JULIAN GUALTEROS QUIROGA
OSCAR IVAN ARIZA APARICIO**

PALABRAS CLAVES: Campo Casabe, Inyección selectiva de agua, Perfiles de Inyección, Trazadores, Backflow, Crossflow, Sandblasting, Válvulas Reguladoras de Flujo, Slick Line, Flujo de Trabajo.

DESCRIPCIÓN:

En este trabajo de grado se planteó el desarrollo de una metodología, con base en la información obtenida a partir del análisis del flujo de trabajo de los cambios de las Válvulas Reguladoras de Flujo del Campo Casabe en los últimos años. La metodología busca proporcionar un análisis estadístico de forma sistemática, con el fin de reducir el número de intervenciones y cambios de válvulas en los pozos inyectoros e identificar bloques, arenas y mandriles críticos. Igualmente la metodología busca garantizar la confiabilidad de la información y el flujo de trabajo para asegurar la continuidad de esta.

En primer lugar se presentó una descripción del Campo en estudio y sus generalidades, profundizando en el sistema de inyección con sarta selectiva, específicamente en las Válvulas Reguladoras de Flujo.

Se definió un proceso de trabajo para la implementación de bases de datos, para el almacenamiento y el análisis de la información; a través de su previa identificación, recopilación, organización y centralización. Igualmente se creó una variable llamada índice de falla para la comparación de la criticidad de los bloques.

De los resultados obtenidos a partir de la aplicación se concluyó que las arenas con mayor número de intervenciones son: A2, A2i, A1b. Igualmente se detectó que en la actualidad los pozos más críticos son CSBE 0733, PBLA 0011, CSBE 1212 y los campos más críticos son Casabe Sur y Peñas Blancas (CBES-PBLA), con un índice de falla de 0,7.

§ Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela Ingeniería de Petróleos. Director: M.Sc. Aníbal Ordoñez Rodríguez. Co-Directores: Ing. Nini Johanna Hernández Hernández, Ing. Javier Darío Anaya Barrera

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF A METHODOLOGY FOR SYSTEMATIC ANALYSIS IN FAILURES OF FLOW REGULATORS VALVES USED IN THE SELECTIVE WATERFLOODING SYSTEM OF CASABE FIELD³

AUTHORS: MILTON JULIAN GUALTEROS QUIROGA
OSCAR IVAN ARIZA APARICIO**

KEYWORDS: Casabe Field, Selective Waterflooding, Injection Logging Tests, Tracers, Backflow, Crossflow, Whorehole, Sandblasting, Flow Regulators Valves, Slick Line, Workflow.

DESCRIPTION

Through this dissertation, the development of a methodology was proposed based on the information obtained from workflow analysis of the changes in the flow regulator valves in Casabe Field in recent years. The methodology aims to provide a statistical analysis in a systematic form in order to reduce the numbers of interventions and changes of the flow regulator valves in the injection wells and identify the critical production blocks, sands and mandrels. Also, the methodology seeks to ensure the reliability of the information and assurance processes to ensure the continuity of this.

First, a description of the field in study and its generalities was presented, making emphasis on the selective Waterflooding system, specifically in the flow regulator valves.

A working process was defined for the implementation of databases for storage and analysis of the information; through its previous identification, collection, organization and centralization. In the same order, we created a variable called "failure index" for the comparison of the criticality of the production blocks.

From the results obtained from the application of the methodology, it was concluded that the sands with the highest number of interventions are: A2, A2i and A1b. It was also found that the most critical wells are CSBE 0733, PBLA 0011 and CSBE 1212, and the most critical group of blocks is Casabe Sur (CBES) – Peñas Blancas (PBLA), with an failure index of 0,7.

³ Work of degree

** Faculty of Physical-Chemistry Engineering. Petroleum Engineering School. Director: M.Sc. Aníbal Ordoñez Rodríguez. Co-Directors: Eng. Nini Johanna Hernández Hernández, Eng. Javier Darío Anaya Barrera

INTRODUCCIÓN

El Campo Casabe es un Campo maduro con potencial de hidrocarburos considerable. En la actualidad el Campo utiliza un mecanismo de inyección selectiva de agua para contrarrestar el depletamiento del campo, y por consecuente la caída de la producción. Las Válvulas Reguladoras de Flujo son las encargadas de proporcionar el caudal, determinado previamente en las pruebas de inyectividad, con el cuál se va a inyectar agua en los estratos donde se extraerá el crudo. El funcionamiento de estas válvulas proporciona el empuje necesario para desplazar el crudo y así, mantener o incrementar la producción del Campo.

Sin embargo, en los últimos años el campo Casabe ha visto su producción afectada en gran medida por las constantes fallas de las Válvulas Reguladoras de Flujo. Las fallas de las válvulas incrementan o disminuyen la inyección de agua. El incremento del caudal genera un mayor arrastre en la arena, aumentando la producción de agua, lodo y sedimentos, esto trae problemas tanto en fondo como en superficie; por otro lado, la reducción del caudal afecta de forma negativa la producción, ya que no se obtiene el empuje necesario para lograr un barrido vertical eficiente. Las fallas de estas válvulas en el Campo Casabe están generando gran preocupación a Ecopetrol y Schlumberger, por el número de trabajos de intervención que se realizan en los pozos inyectoros y el impacto que estas fallas tienen en la producción del campo.

Este proyecto se enfoca en la implementación de una metodología de análisis estadístico cualitativo, basada en la cuantificación y análisis de fallas de las Válvulas Reguladoras de Flujo utilizadas en el sistema de inyección en los diferentes bloques del Campo Casabe. Esto con el propósito de generar una base de datos para obtener sistemáticamente el análisis de los resultados de las inspecciones de las

válvulas y reducir el número de intervenciones y cambios de válvulas en los pozos inyectoros e identificar los bloques, arenas y mandriles más críticos.

El proyecto plantea en primer lugar una descripción del Campo en estudio y sus generalidades, profundizando en el sistema de inyección empleado, específicamente en las Válvulas Reguladoras de Flujo.

Seguido a lo anterior, se define un proceso de trabajo para la identificación, recopilación, organización, centralización, modificación y análisis de la información involucrada en el flujo de trabajo de los cambios de las Válvulas Reguladoras de Flujo del Campo, para determinar falencias en la información con el fin de implementar la metodología.

Posteriormente se desarrolla la aplicación de la metodología propuesta en los pozos inyectoros de agua con sarta selectiva del Campo, generando bases de datos para el almacenamiento y análisis estadístico de los resultados obtenidos. Finalmente se presentan conclusiones más allá de lo operativo y se recomiendan soluciones parciales y temporales a este problema.

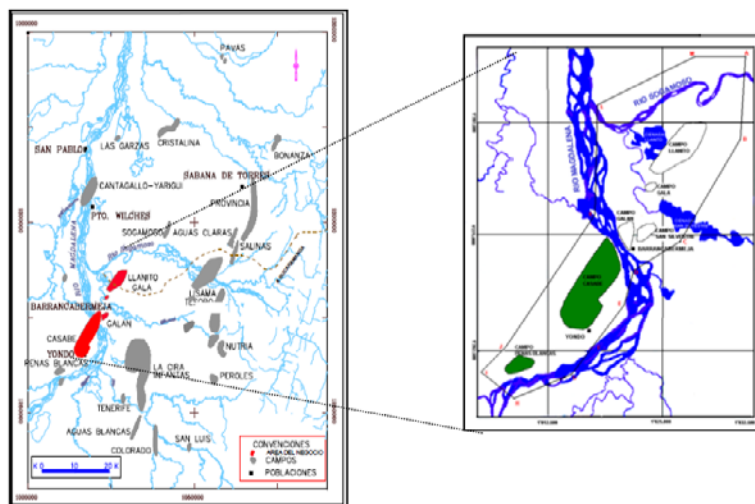
1. GENERALIDADES

En este capítulo se da a conocer la ubicación, propiedades petrofísicas, geología de las formaciones, división geográfica, producción, sistemas de levantamiento utilizados, entre otras generalidades del campo Casabe. Igualmente se provee información sobre la inyección de agua con sarta selectiva, método de recobro utilizado en el Campo, con el ánimo de realizar una introducción a las válvulas reguladoras de flujo.

1.1. GENERALIDADES DEL CAMPO CASABE

El Campo Casabe es un campo maduro, con una extensión de 117 Km² ubicado a 350 Km al norte de Bogotá en medio de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (VMM) en el municipio de Yondó (Departamento de Antioquia), frente a la ciudad de Barrancabermeja (Departamento de Santander) (Ver Figura 1).

Figura 1. Localización geográfica del Campo Casabe



Fuente: ALIANZA CASABE, Schlumberger – ECOPEPETROL S.A.

En el año 1941 la Compañía Shell de Colombia descubrió el Campo Casabe perforando el pozo CSBE-1, en las arenas A1, sin embargo, este empezó su producción oficial hasta junio de 1945. Para 1958 el campo alcanzó su desarrollo completo con 448 pozos perforados, de los cuales diez (10) resultaron ser secos.

Las reservas estimadas oficiales de aceite en sitio son de 1750MMBbl, según una revisión del volumen en sitio mediante un modelo detallado del Campo y utilizando sísmica 3D, el cual fue hecho en el 2008. La tasa máxima de producción del Campo se alcanzó en 1954 con 46000 BOPD proveniente de 414 pozos; producción que en ese entonces correspondía aproximadamente al 26% de la producción anual de Colombia.¹

Durante este periodo los mecanismos de producción fueron flujo natural y el empuje de un acuífero débil, los cuales se mantuvieron hasta finales de los 70's, logrando un factor de recobro primario del 13% con una tasa de declinación considerable.

En el año 1969 la operación del Campo Casabe fue entregada a la Gerencia Regional Magdalena Medio de ECOPETROL. En 1979 ECOPETROL inició la explotación secundaria del campo mediante la implementación de pilotos de inyección de agua dulce proveniente de la Formación la Mesa; estrategia que se expandió a todo el campo a partir de 1985 mediante patrones de cinco puntos. La inyección se inició en el sector norte (Bloques VI, VII y VIII) en Junio de 1985, y en el sector sur (Bloques I, II, III, IV y V) en Diciembre de 1988. Para este proyecto de recuperación secundaria mediante inyección de agua se perforaron 591 pozos (productores e inyectores). Con la implementación de este plan de inyección se logró incrementar la producción significativamente en relación a la declinación que tenía el Campo en esa época, sin embargo la existencia de complejidades

¹ MAYORGA, Diana. Evaluación de prácticas operacionales para reducir las fallas en tubería de producción por efecto de la inyección de agua en el Campo Casabe. Trabajo de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga. UIS, 2011. P. 21.

estructurales, lutitas hinchables, areniscas heterogéneas y petróleos viscosos, los resultados no fueron los esperados ya que el agua irrumpió de forma prematura en los pozos productores y trajo consigo una gran variedad de factores inesperados como: alto porcentaje de arena en los pozos, falla de los equipos de fondo, y baja efectividad del proceso de inyección.

Como una forma de contrarrestar estos problemas e incrementar la producción, se llevó a cabo una alianza con Schlumberger en el año 2004 con el objetivo de revitalizar el campo mediante la aplicación de métodos actualizados de manejo de yacimientos de alta complejidad. Por lo que se implementó y desarrolló un plan de inyección de agua con sarta selectiva, el cual se ha venido ejecutando desde el año 2007. Con esta técnica de inyección, mejoró la eficiencia de barrido vertical y se eliminó el problema de canalización de zonas que se venía presentando anteriormente con la inyección de agua continua. La implementación de esta técnica llevó a generar un incremento en la producción de más de 10.000 BOPD. Además, el factor de recobro final estimado aumentó, pasando de 16% a 22% del petróleo original en sitio (OOIP).² Actualmente el Campo produce aproximadamente 20.000 BOPD, que representa el 2% de la producción nacional.

Las formaciones productoras que conforman el Campo Casabe son: Colorado, Mugrosa y La Paz (Ver Figura 2). Estas formaciones fueron depositadas durante el Período Paleógeno y se encuentran a profundidades que oscilan entre los 670 y 1.700 metros (2.200 y 5.600 pies).

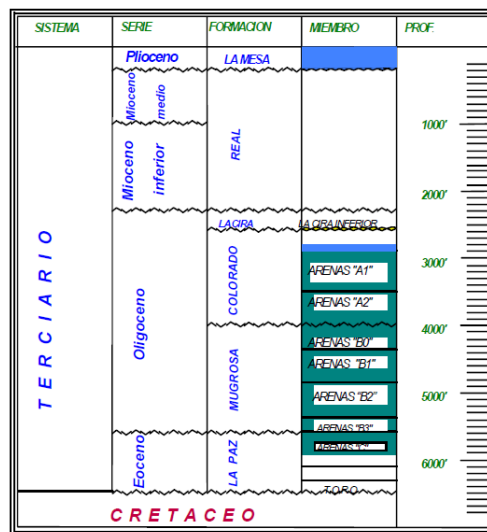
Las areniscas prospectivas del campo se clasifican en tres grupos principales: A (formación Colorado), B (formación Mugrosa) y C (formación La Paz), las cuales se

² AMAYA, Mauro, et, al. Casabe: Revitalización de un campo maduro. En: Oilfield Review. Primavera de 2010. Vol. 22, no. 1. p. 5.

subdividen en unidades operacionales,³ y estas a su vez, pueden llegar a ser hasta de tercer grado (ver Tabla 1).

La distribución de las fallas geológicas asociadas, perpendiculares a la falla principal, llevó a la división del campo en ocho bloques operativos. El bloque VI, que se encuentra localizado en el centro del Campo, corresponde al bloque con mayor volumen de reservas. Adicionalmente se encuentran los Campos Peñas Blancas a unos 7 Km y Casabe Sur a unos 4 Km en dirección Sur al Campo Casabe, los cuales tienen un menor desarrollo. Para tener un mejor control operativo del Campo, ECOPETROL S.A. agrupa los bloques de la siguiente manera: Bloque I y II; Bloque III, IV y V; Bloque VI; Bloque VII y VIII; Campo Casabe Sur y Campo Peñas Blancas. La división por bloques del Campo Casabe se muestra en la Figura 3 y 4 para el Campo Casabe.

Figura 2. Columna Estratigráfica del Campo Casabe



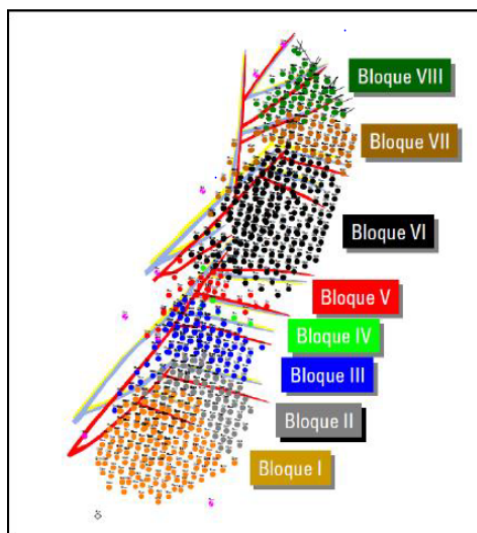
Fuente: ECOPETROL S.A.

³ CABEZAS, Yurgin y SALAZAR, Pedro. Evaluación técnico – económica para disminuir tiempos no productivos en pozos direccionales aplicación Campo Casabe. Trabajo de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga. UIS, 2015. P. 16.

Tabla 1. Clasificación de las arenas y capas del Campo Casabe.

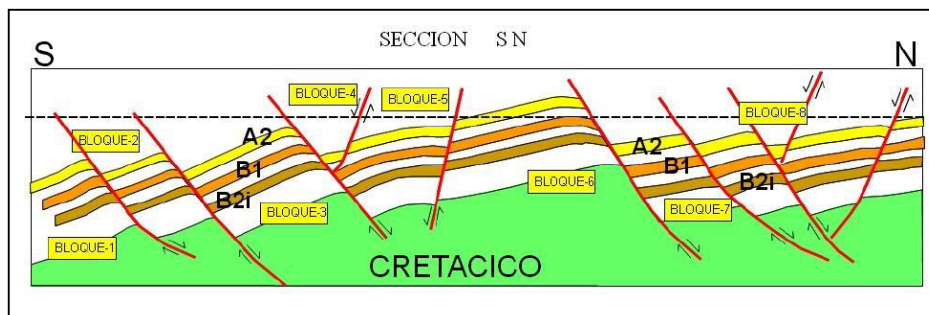
GRADO	ARENAS
Primero	A, B, C
Segundo	A0, A1, A2, A3, B0, B1, B2, B3
Tercero	A1a, A1b, A1c, A1d, A1e, A1f, A1g, A1h, A2i, A2g, A3b, B1b, B1i, B2b, B2c, B2d, B2e, B3i

Figura 3. División por bloques del Campo Casabe



Fuente: ECOPEPETROL S.A.

Figura 4. Bloques de producción del Campo Casabe



Fuente: Presentación Alianza Casabe en el Taller de Colapsos, Hotel Chicamocha, Bucaramanga, Colombia.

El Campo cuenta con tres yacimientos: el yacimiento A correspondiente a la Formación Colorado, el yacimiento B de la Formación Mugrosa y el yacimiento C de la Formación La Paz, sin embargo, los pozos productores fueron completados para producir en forma independiente de los yacimiento A o B y en algunos casos en forma conjunta de A y B o B y C.

Los parámetros petrofísicos y de fluidos promedio de cada una de las zonas productoras reflejan las características de las formaciones descritas anteriormente, las cuales se resumen en las Tablas 2 y 3:

Tabla 2. Propiedades Petrofísicas del Campo Casabe

PARAMETROS	CAMPO CASABE			
	FORMACIÓN COLORADO		FORMACIÓN MUGROSA	
Zonas Productoras	A1	A2	B1	B2
Área (Acres)	4570	3875	2030	2449
Profundidad Promedio (ft)	2600	2900	3900	4200
Espesor Neto (ft)	76	78	43	23
Porosidad Promedio (%)	24	24	25,5	25,5
Permeabilidad Promedio (mD)	225	225	385	385
Swi (%)	23	23	23	23
Tipo de Crudo	Asfaltenos			
Mecanismo de Producción	Inyección de Agua Selectiva			

Fuente: Base de Datos ECOPETROL S.A. Modificado por los Autores

Tabla 3. Propiedades de los Fluidos del Campo Casabe

PARAMETROS	CASABE	
	ZONA A	ZONA B
° API	19	20
Viscosidad cP a Pb	43	21
Factor Volumétrico Inicial	1,083	1,117
Factor Volumétrico	1,055	1,07
GOR (SCF/STB)	187	254
Presión de Saturación (psi)	1350	2200

Fuente: Base de Datos ECOPETROL S.A. Modificado por los Autores

En la actualidad, la producción promedio del Campo es de 19.200 BOPD a partir de 266 pozos: 159 pozos con bombeo por cavidades progresivas (PCP), 86 pozos con Bombeo Mecánico (BM) ,11 pozos con bombeo Electrosumergible (BES), 8 pozos con bombeo Electro-PCP y 2 pozos con flujo natural; con un BSW aproximado del 88%. También cuenta con 399 pozos inyectoros.

El Campo Casabe posee cuatro estaciones de recolección, Casabe Sur una y Peñas Blancas otra, para un total de seis (6) estaciones de recolección. El Campo también tiene una estación de bombeo y tres plantas de inyección de agua, una para cada campo, cuenta con un centro de generación eléctrica con una capacidad de 1.6 Megavatios.⁴

1.2. GENERALIDADES DE LA INYECCIÓN SELECTIVA DE AGUA

La inyección de agua con sarta selectiva es un método de recobro secundario, que ha demostrado ser una solución potencial al problema de yacimientos heterogéneos, aumentando significativamente la producción en los Campos donde se ha implementado y evitando un temprano depletamiento.

Existen determinadas zonas donde las características de los estratos y las variaciones en las permeabilidades en las capas de estos, favorecen la canalización del agua de inyección impidiendo que se dé un barrido vertical uniforme. Para estas situaciones, la mejor solución es implementar un sistema de inyección selectiva, la cual que tiene como función aislar cada zona e impartir a cada una de estas, por separado, la tasa de inyección óptima; logrando invadir zonas que antes no eran contactadas y desplazadas por el agua de inyección.

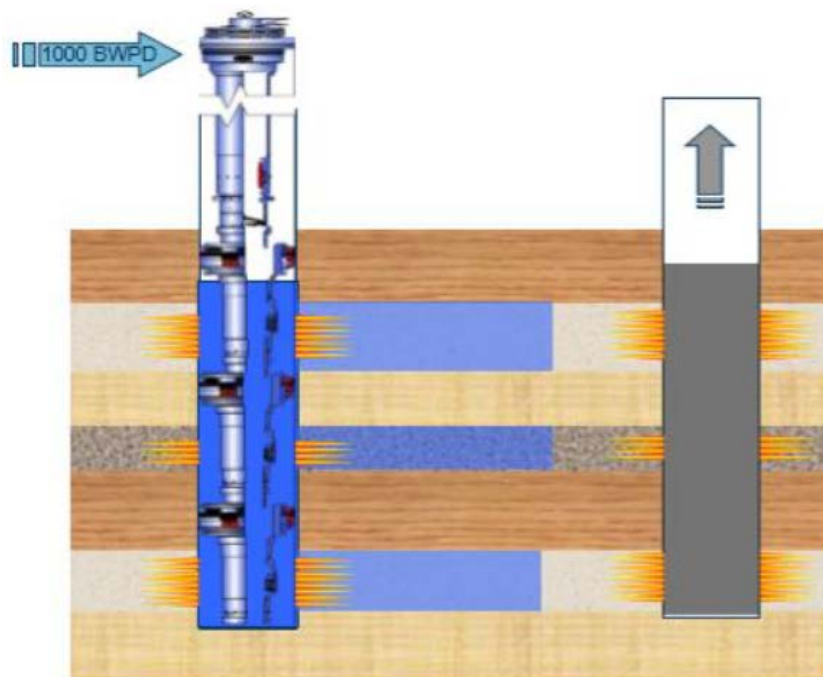
La función principal de la inyección de agua con sarta selectiva es controlar volúmenes exactos de inyección con una menor caída de presión. Esto permite que

⁴ ECOPETROL S.A. Gerencia Regional del Magdalena Medio - Campo Casabe.

el agua que es inyectada, penetre por la misma sarta de inyección diferentes zonas. Generalmente, el costo de un completamiento de inyección selectiva es aproximadamente seis veces mayor que un completamiento convencional, excluyendo el costo adicional por tiempo de taladro y problemas de producción.

El modelo de completamiento de inyección selectiva consiste de una sarta con empaques ubicados en profundidad y mandriles de bolsillo entre dichos empaques, donde Válvulas Reguladoras de Flujo son ubicadas para controlar selectivamente el perfil de inyección en cada arena individual, con el fin de obtener un barrido vertical más eficiente. En la Figura 5 se observa el proceso de inyección selectiva y en la Figura 6, la configuración de una sarta de inyección selectiva, como la utilizada en el Campo Casabe.

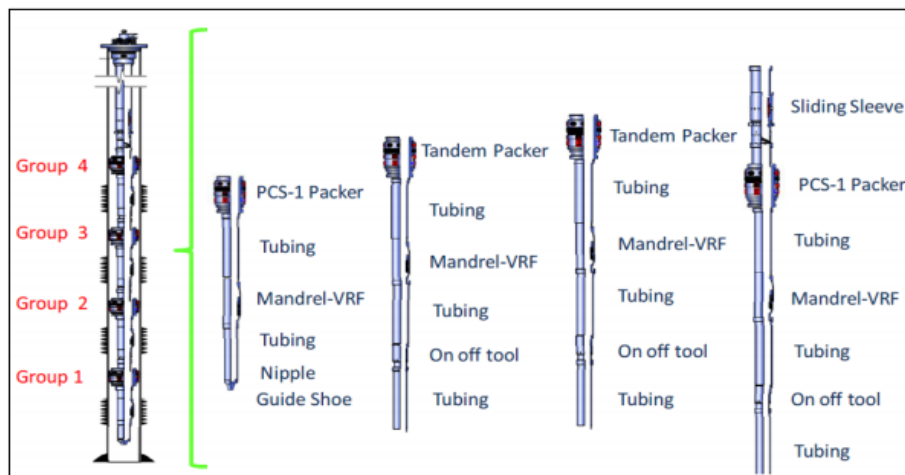
Figura 5. Diagrama de Inyección Selectiva



Fuente: MORENO, Andrés. Metodología para la evaluación técnica en proyectos de inyección de agua con sartas selectivas, aplicado a la fase piloto en Campo Tibú. Trabajo de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga. UIS, 2011. P. 32.

El éxito de la operación está ligado casi que en su totalidad a la calidad de las herramientas con las cuales se lleva a cabo, razón por la cual se debe conocer con tener certeza la compañía que es contratada para prestar los servicios y calidad de cada instrumento.⁵

Figura 6. Esquema del ensamblaje de una sarta de inyección selectiva para un pozo en el Campo Casabe



Fuente: OLARTE, Paola, et. Al. World's First Fracturing – Stimulation Application Through Selective – Injection Completion: Casabe Field. SPE 138860. P. 2.

El número de mandriles a emplear con su respectiva válvula reguladora de flujo, así como su ubicación en profundidad son diseñados de acuerdo a las necesidades de inyección y a la distribución estratigráfica del yacimiento.

⁵ GOMEZ. Mónica y PINILLA John. Metodología para establecer los procesos de recopilación, interpretación y análisis de Step Rate Test (SRT) en el Campo Casabe. Trabajo de grado Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga. UIS, 2015. P. 47.

2. VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO

Las Válvulas Reguladoras de Flujo han sido desarrolladas para su utilización en las instalaciones de inyección de agua con sarta selectiva. Este tipo de válvulas permite el control del caudal de fluido ingresado en cada zona.

El regulador de caudal se basa en la patente de Waterman de los años 50. El principio consiste en el uso de dos orificios en el regulador, uno de dimensiones fijas y otro cuyas dimensiones varían en proporción a la presión, este último orificio lo conforman un tubo de flujo y un resorte. El orificio variable es el encargado de mantener un caudal constante predeterminado, independiente a los cambios de presión que se presenten en el sistema o en el yacimiento.⁶

2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

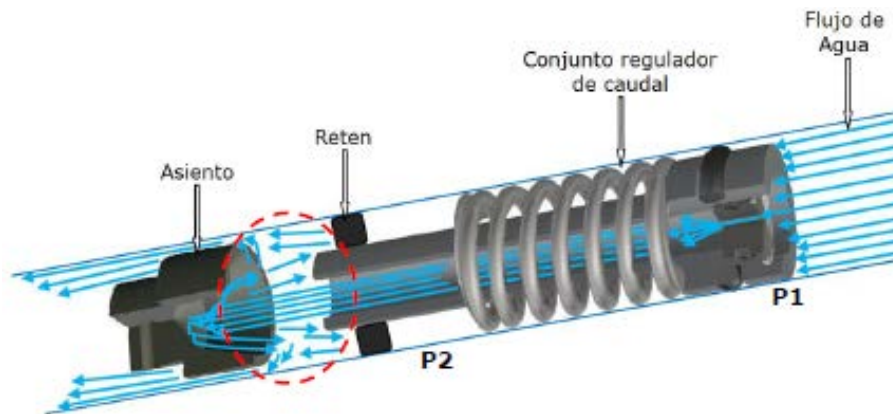
El regulador se calibra para un flujo determinado, cambiando solamente el orificio fijo y/o el cilindro. Los cambios en la presión de inyección o en el yacimiento pueden hacer que la caída de presión a través del orificio aumente. Cuando esto ocurre, la fuerza del resorte es superada y provoca una restricción por parte del vástago, en el orificio variable. La constante de recuperación del resorte le permite retornar a su forma original luego de contraerse, debido a esto se logra ampliar o reducir el orificio variable, manteniendo un caudal constante independientemente de cualquier cambio o variación en las presiones.

El regulador debe tener un diferencial mínimo de presión a través del mismo para proporcionar el funcionamiento de la válvula. El MPD (Minimum Pressure

⁶ PLATA, Nadya. Estandarización del Proceso de Reparación, Mantenimiento y Seguimiento de las Válvulas Reguladoras de Flujo para el Sistema de Inyección de Agua en el Campo Casabe. SCHLUMBERGER – COMPLETIONS SERVICES. 2010. P. 6.

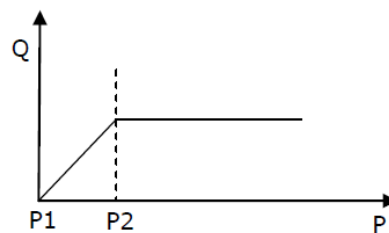
Differential) depende del tipo de regulador y diámetro del orificio fijo, además del fluido que pasa a través del mismo. En el caso de las válvulas reguladoras tipo W15-RLIB, usadas actualmente en el Campo Casabe, el diferencial mínimo es de 80 y el máximo de 180 psi (Ver Figura 8).⁷

Figura 7. Flujo de agua a través del Regulador en una Válvula Reguladora de Flujo



Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPETROL S.A.

Figura 8. Diferencial mínimo de presión en el regulador de una Válvula Reguladora de Flujo



$$DMP = P2 - P1$$

Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPETROL S.A.

⁷ PLATA, Nadya. Estandarización del Proceso de Reparación, Mantenimiento y Seguimiento de las Válvulas Reguladoras de Flujo para el Sistema de Inyección de Agua en el Campo Casabe. SCHLUMBERGER – COMPLETIONS SERVICES. 2010. P. 9 – 10.

2.2. PARTES

En la actualidad hay una gran variedad de empresas encargadas de fabricar Válvulas Reguladoras de Flujo, dentro de estas se encuentran Parko Services, Schlumberger Limited, Binning Oil Tools, entre otras. En la actualidad en el Campo Casabe el mayor porcentaje de válvulas reguladoras utilizadas son de tipo W15-RLIB fabricadas por Binning Oil Tools. Las partes y el funcionamiento de la válvula no varía según el fabricante, las variaciones se presentan en tamaño, materiales utilizados y calidad.

Las válvulas reguladoras se dividen en tres partes: Latch (cuerpo de pesca), cuerpo dinámico y cuerpo de anclaje:

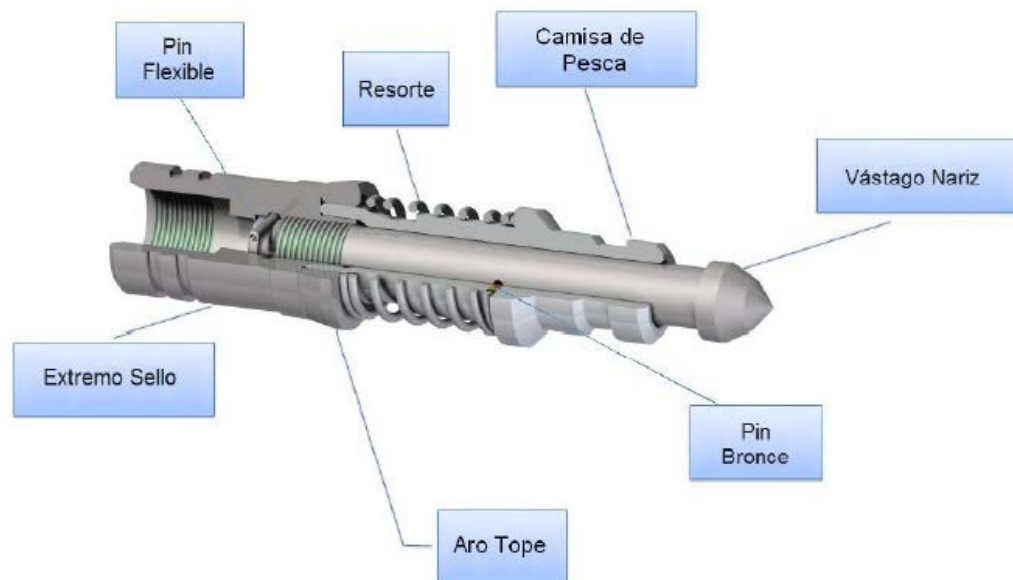
- **Latch o Cuerpo de Pesca:** Tiene como función principal la manipulación de la válvula, ya que se utiliza para bajarla y/o recuperarla, esta parte de la válvula le permite engancharse en la Running Tool, la cual, cuando asienta la válvula golpea con el cuerpo de pesca hasta fijarla en la camisa del mandril; al momento de recuperarla se proporcionan golpes leves entre el vástago nariz y el cuerpo de pesca con el fin de romper el pin de bronce y poder liberar el aro tope.⁸ (Ver Figura 9).
- **Cuerpo Dinámico:** Es la parte más importante de la válvula ya que es aquí donde se lleva a cabo la regulación del caudal, específicamente en el cilindro y su conjunto de partes. El caudal de agua que fluye por el orificio fijo genera una caída de presión y el empuje para desplazar el vástago y el orificio aguas abajo. El resorte trata de resistir este movimiento, al ser vencido reduce el área de salida del asiento y así mismo el caudal de salida. Por lo tanto, el caudal de agua que pasa por el regulador permanece constante según el tamaño del orificio fijo y la tensión del

⁸ MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPEPETROL S.A. P. 7.

resorte, independientemente de las variaciones de presión.⁹ En la Figura 10 se pueden observar todas las partes que conforman el cuerpo dinámico de las Válvulas Reguladoras de Flujo.

Existen dos tipos de resorte: rojo y amarillo, donde el amarillo presenta una dureza superior por lo que genera una mayor resistencia al movimiento del vástago, provocando así que este se mantenga mucho más alejado del asiento, y en consecuencia al existir mayor distancia entre ellos, se genera un caudal (Q) mayor. La combinación de diferentes resortes y orificios permite el ajuste del caudal necesario en cada válvula. La Tabla 4 señala las diferentes combinaciones y los caudales que se pueden obtener de cada una de ellas.¹⁰

Figura 9. Cuerpo de pesca de una Válvula Reguladora de Flujo

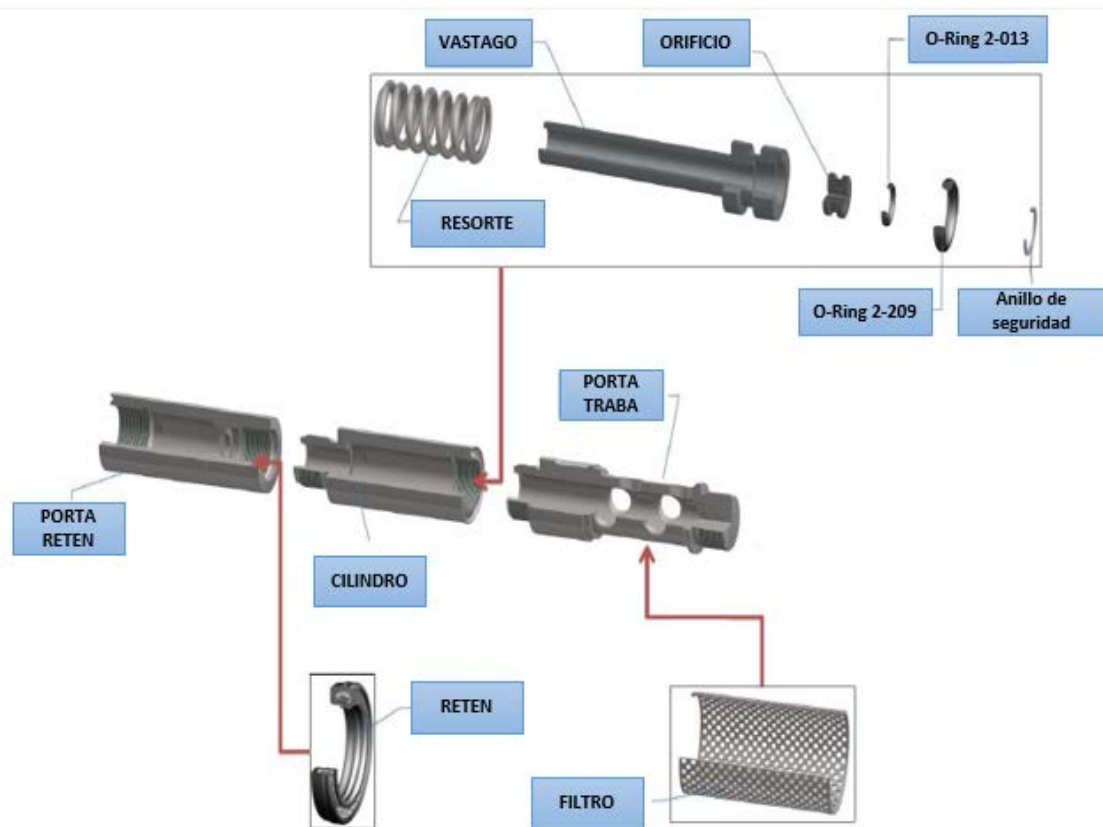


Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPEPETROL S.A.

⁹ MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPEPETROL S.A. P. 8

¹⁰ MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPEPETROL S.A. 2010. P. 8.

Figura 10. Cuerpo dinámico de una Válvula Reguladora de Flujo



Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPETROL S.A.

- **Cuerpo de Anclaje:** El cuerpo de anclaje es el encargado de asegurar la Válvula Reguladora de Flujo al mandril y para esto se utilizan los V-Packing. Así mismo, la nariz además de permitir la salida del agua de forma uniforme, sirve de guía al momento de ubicarla en el bolsillo del mandril y así brindar mayor eficiencia en la operación de anclaje.

En este tipo de configuración, ya que hay varios tipos, el asiento es el encargado de proporcionar un flujo laminar a la salida de la válvula, antes de llegar a esta pieza el flujo a través del vástago es de tipo turbulento. Con el tiempo se determinó que el anclaje realizado por la configuración de V-Packing (Ver Figura 11) era muy grande

y aumentaba las posibilidades de doblar o romper el Latch de la válvula y así mismo generar un pescado en el pozo. En la actualidad, generalmente se usan dos V-Packing en la parte más cercana de la nariz, seguidos del separador y los otros seis V-Packing.¹¹

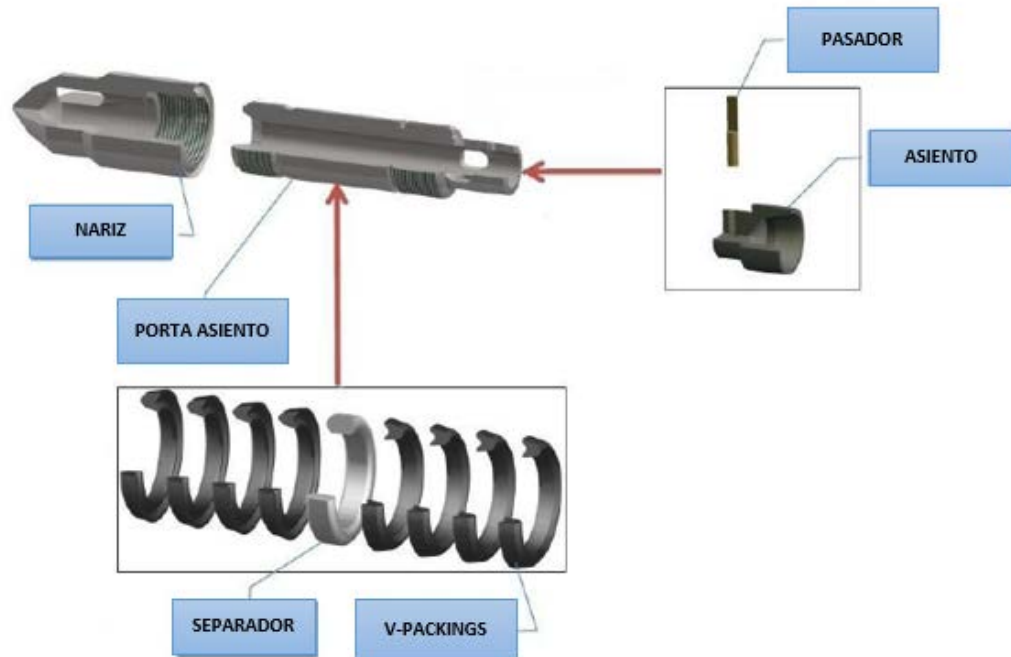
Tabla 4. Caudal Según Combinación Orificio - Resorte para una Válvula W-15RLIB

ORIFICIO	Q (BWPD)	FACTOR SEGURIDAD 10%		Q (BWPD)	FACTOR SEGURIDAD 10%	
	ROJO (R)	Q MIN	Q MAX	AMARILLO	Q MIN	Q MAX
2,00	57	51,3	62,7	138	124,2	151,8
2,25	88	79,2	96,8	176	158,4	193,6
2,50	113	101,7	124,3	214	192,6	235,4
2,75	132	118,8	145,2	233	209,7	256,3
3,00	151	135,9	166,1	258	232,2	283,8
3,25	170	153	187	283	254,7	311,3
3,50	189	170,1	207,9	308	277,2	338,8
3,75	214	192,6	235,4	352	316,8	387,2
4,00	245	220,5	269,5	421	378,9	463,1
4,25	289	260,1	317,9	465	418,5	511,5
4,50	315	283,5	346,5	547	492,3	601,7
4,75	340	306	374	642	577,8	706,2
5,00	409	368,1	449,9	755	679,5	830,5
5,25	459	413,1	504,9	937	843,3	1030,7
5,50	484	435,6	532,4	1006	905,4	1106,6
5,75	509	458,1	559,9	1082	973,8	1190,2
6,00	616	554,4	677,6	1170	1053	1287
6,25	679	611,1	746,9	1220	1098	1342
6,50	704	633,6	774,4	1296	1166,4	1425,6
6,75	730	657	803	1371	1233,9	1508,1
7,00	755	679,5	830,5	1415	1273,5	1556,5
7,25	767	690,3	843,7	1459	1313,1	1604,9
7,50	786	707,4	864,6	1503	1352,7	1653,3
7,75	837	753,3	920,7	1535	1381,5	1688,5
8,00	893	803,7	982,3	1566	1409,4	1722,6
8,25	931	837,9	1024,1	1780	1602	1958
8,50	937	843,3	1030,7	1805	1624,5	1985,5
8,75	950	855	1045	1837	1653,3	2020,7
9,00	1063	956,7	1169,3	1918	1726,2	2109,8

Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPETROL S.A.

¹¹ MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPETROL S.A. P. 10.

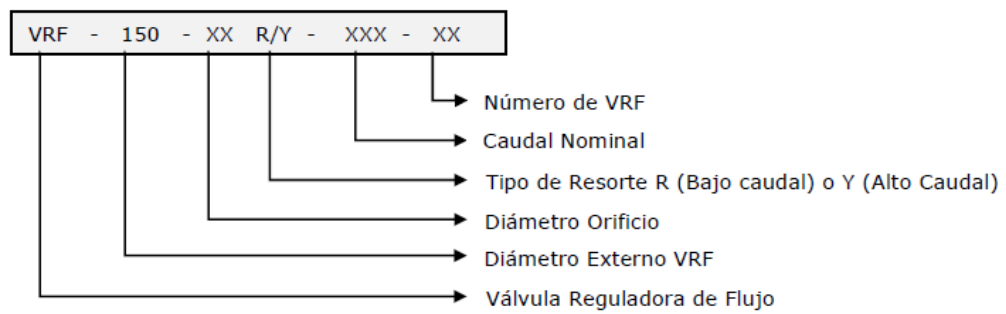
Figura 11. Cuerpo de anclaje de una Válvula Reguladora de Flujo



Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPEPETROL S.A.

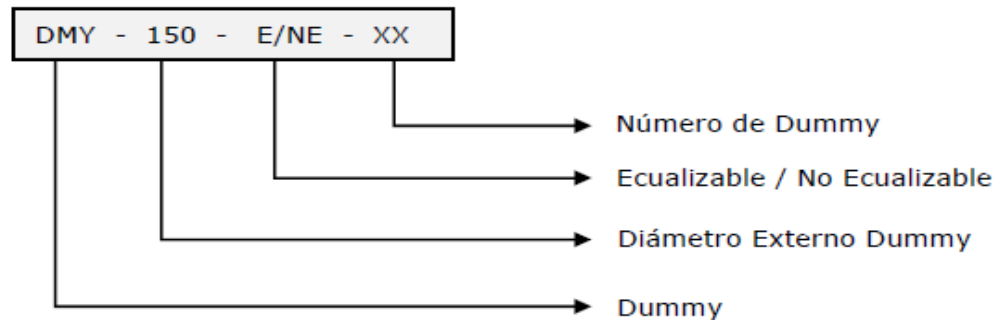
Para nombrar las Válvulas Reguladoras de Flujo y las válvulas Dummies se tiene en cuenta las nomenclaturas mostradas en la Figura 12 y 13.

Figura 12. Nomenclatura de una Válvula Reguladora de Flujo



Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPEPETROL S.A.

Figura 13. Nomenclatura de una Válvula Dummy



Fuente: MANRIQUE CÁRDENAS, Jorge Luis. Manual operativo de mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo, ECOPEPETROL S.A.

2.3. TIPOS DE VÁLVULAS Y/O CONFIGURACIONES

Existen diferentes tipos de válvulas las cuales varían según el fabricante o la configuración que tengan. Cuando se habla de configuración se hace referencia a la forma de ensamblaje y componentes internos utilizados para la regulación del caudal.

Las válvulas se clasifican en tres grupos dependiendo de su función: Válvulas Reguladoras de Flujo, Dummies, válvulas de circulación, y válvulas de orificio fijo (VOF).

- **Válvulas Reguladoras de Flujo:** Son aquellas que poseen conjunto dinámico y se encargan de mantener un caudal constante predeterminado independiente del cambio de presión en el pozo o en el yacimiento, las utilizadas en Campo Casabe son: VRF W15 y P15.

- **VRF W15:** Se le conoce así a la válvula reguladora de flujo W15 – RLIB diseñada, elaborada y comercializada por Binning Oil Tools, es la más utilizada en Campo Casabe, cuenta con un conjunto dinámico completo, con un sistema de control de caudal mediante orificios fijos intercambiables y

orificios variables según la configuración resorte – orificio. El diferencial mínimo requerido por estas válvulas es de 80 y el máximo 180 psi.

- **VOF:** También conocida como válvula de orificio fijo es una configuración o modificación realizada a la válvula VRF W15, su conjunto dinámico no cuenta con el asiento, por lo que mantiene un flujo turbulento. Una vez agrupado el orificio y el vástago, se ubican en el cilindro e ingresan totalmente al porta reten junto con el retenedor, contrario a la VRF W15 el cilindro se ubica en la parte superior del vástago para contrarrestar Backflow en este caso el cilindro no cumple ninguna función de regulación, y por lo tanto se anula el orificio variable.

El diseño de esta válvula es realizado por medio de Pipesim para determinar el orificio necesario para un determinado caudal en función del delta de presión. Se utilizan en zonas donde la formación no acepta los caudales de inyección deseados, permite la inyección de agua con mayor presión y con un régimen de flujo turbulento.

- **VRF P-15:** Las válvulas P-15 son Válvulas Reguladoras de Flujo elaboradas, diseñadas y distribuidas por Schlumberger, poseen la misma configuración que las válvulas W15 – RLIB, sin embargo estas válvulas y sus piezas son mucho más robustas, grandes, y resistentes a las zonas críticas por erosión, estas VRF son de mayor espesor que las W15 y también son diseñadas con aleación en carburo de tungsteno. El máximo caudal de regulación posible por este tipo de válvula es 1350 Bbls/día, el diferencial de presión mínimo requerido es aproximadamente 63 psi y el máximo 2500 psi.

- **Válvulas Dummies:** Son aquellas que no permiten el paso de fluido a la formación, estas válvulas son totalmente cerradas por lo que no poseen conjunto

dinámico y no permiten el ingreso de fluido debido a que actúan como un tapón con el propósito de aislar zonas y evitar canalizaciones.

- **Válvulas de Circulación (VCF):** También conocidas como Válvulas Full Open (VFO), no poseen conjunto dinámico. A diferencia de los Dummies, estas válvulas permiten inyectar fluido a la formación sin regulación. Estas válvulas son utilizadas para el proyecto EOR de inyección de polímeros.

2.4. PROBLEMAS OPERACIONALES ASOCIADOS A LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO

Uno de los principales problemas que está asociado a las constantes fallas de las Válvulas Reguladoras de Flujo (VRF) es la inestabilidad y confiabilidad del sistema de mantenimiento de presión debido a las variaciones presentes en la red asociada al sistema de electricidad nacional, lo que provoca fluctuaciones o variaciones recurrentes y fallas en el mantenimiento de presión del sistema de inyección.

Esta problemática influye de forma negativa en el pozo productor principalmente por sobrepresión de áreas, que conllevan a un efecto de canalización del inyector al productor (whore hole) principalmente en las arenas poco consolidadas. Este fenómeno es causado por la alta complejidad estructural del Campo y a la geometría estratigráfica del mismo. Debido a la naturaleza propia de las formaciones productoras, existe un alto grado de producción de arena desde la cara de la formación hacia el pozo, causando arenamientos frecuentes.

Otro fenómeno que impacta negativamente en la inyección y por ende en la estabilidad de los pozos productores, es el bajo Runtime de las Válvulas Reguladoras de Flujo. Esto está asociado a la ineficiencia de las válvulas cheque de los mandriles, cuya función es impedir durante las caídas de presión el Backflow y evitar que este, afecte la parte interna de la sarta selectiva.

El Backflow se genera cuando la presión de la formación supera la presión en cabeza y la presión generada por la columna hidrostática del pozo inyector. Estos Backflow traen consigo sedimentos, crudo, lodo, entre otras cosas. Al ingresar al sistema ocasionan erosión en las partes de las válvulas encargadas de regular el flujo y en muchos casos desasentamiento de las válvulas, propiciando caudales de inyección no deseados (no óptimos).

$$\textit{Runtime} = \textit{fecha de sacada de la VRF} - \textit{fecha de bajada de la VRF}$$

Detectar tardíamente las fallas en las Válvulas Reguladoras de Flujo, ocasionan canalización de las arenas con inyección preferencial, generando pérdida en la eficiencia en la extracción de los pozos productores.

2.5. MOTIVOS DE CAMBIO DE UNA VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO

El motivo de cambio hace referencia a la causa por la cual se programa el cambio de una válvula a través de la operación de Slickline, muy seguramente se debe a una falla de la válvula, erosión del bolsillo, erosión del mandril o desbalanceo del patrón. Para determinar el motivo de cambio es necesario analizar un perfil de inyección (Trazador o ILT) y relacionar estos resultados con el tipo de válvulas instaladas en cada mandril. Para efectuar cambios correctivos es recomendable analizar los cambios de válvulas y perfiles de inyección históricos del pozo.

Los motivos de cambio se agrupan en dos categorías principales: Recomendación de Ingeniería y Mantenimiento de la Válvula.

- **Mantenimiento de la Válvula**
 - **Caudal por Encima del Diseño:** También conocido como sobre caudal, ocurre cuando la válvula está inyectando un caudal mayor al

establecido por la combinación orificio – resorte. No se deben realizar cambios por incrementos de caudal mínimos (inferiores al 20%).

- **Caudal por Debajo del Diseño:** También llamado bajo caudal, ocurre cuando la válvula inyecta un caudal menor al deseado. El criterio del bajo caudal se aplica cuando la válvula se encuentra inyectando caudales por debajo del 50 o 40 % del diseño.

En muchas ocasiones se debe a que el delta de presión es muy alto a determinadas profundidades y la válvula no produce el efecto de regulación, cerrándose por completo. Al utilizar resortes de menor resistencia (resorte rojo con menor constante K) en zonas de altas presiones y altos caudales, se genera menor resistencia al movimiento del vástago y esto provoca el contacto vástago – asiento y por consiguiente la reducción del orificio variable y el caudal a inyectar.

- **Alta Inyectividad:** La inyectividad es la relación entre el caudal inyectado y el espesor de la arena. La inyectividad máxima permitida, depende de las propiedades petrofísicas de cada capa, más específicamente de la capacidad de flujo (KH), para campo Casabe las inyectividades promedio permitidas son de 10 Bbls/ft en arenas A (formación Colorado) y 15 Bbls/ft en arenas B (formación Mugrosa), cuando se superan estos valores se considera motivo de cambio independientemente de que la válvula esté trabajando dentro de su rango del caudal de diseño. (Ver Tabla 5).
- **Recomendación de Ingeniería:** Es el único motivo de cambio de válvulas que no requiere el análisis de un perfil de inyección, son generados en mayor cantidad por el departamento de ingeniería y el departamento de yacimiento. Sucede cuando los pozos productores reflejan aumento de BS&W o cuando se realizan los balanceo de patrones.

Tabla 5. Rangos Máximos de Inyectividad del Campo Casabe

RANGOS DE INYECTIVIDAD	
ARENAS	INYECTIVIDAD MÁXIMA [Bbls/ft]
A	5
B	10
C	10

La falla que se presenta es las válvulas Dummy es la Fuga Dummy, que consiste en lo siguiente:

- **Fuga Dummy:** Este motivo de cambio se presenta cuando se evidencia paso de fluido a la formación, a través de un mandril donde se encuentra ubicada una válvula dummy. No se obtiene el propósito de aislar la zona.

Los motivos de cambio mencionados anteriormente (Mantenimiento de la Válvula y Recomendación de Ingeniería, Fuga Dummy) ocurren debido a:

- **Erosión de la válvula:** ocasionada por las altas tasas de agua inyectadas o Backflows que generan Sandblasting. Se recomienda utilizar válvulas P-15 o válvulas de CT en mandriles donde se genere constantemente este motivo de cambio; arenas con alto potencial erosivo.
- **Erosión de bolsillo:** No permite el correcto asentamiento de la válvula, lo que facilita el paso de fluido por la parte externa de esta. Para dar solución a esta causa es necesario el uso de V - Packing Over-size los cuales son de mayor tamaño y garantizan el correcto asentamiento de la válvula.
- **Presurización de zonas:** Ocurre debido a la sobre inyección que se genera en el tiempo en capas donde los valores de volúmenes porosos desplazados (VPD) son mayores a uno (1).

- **Incremento de BS&W en los Pozos Productores:** Ocurre debido al impacto generado por los pozos inyectoros en los diferentes patrones establecidos. En la mayoría de los casos sucede por sobre caudal en los mandriles de los pozos inyectoros los cuales generan canalización en las arenas evitando el control del flujo de agua, para estos casos cuando se vuelven más críticos se decide finalmente colocar dummy.
- **Rotura del mandril:** Ocurre por el jeteo o erosión del mandril y es la causante de sobre caudal y aumento de BS&W en pozos productores. La solución es realizar una operación de pesca para cambio de sarta selectiva.

Las frecuentes fallas de estas válvulas en el Campo Casabe provocan un gran número de trabajos de intervención en los pozos inyectoros e impactan negativamente la producción del Campo. Por medio del análisis de estas fallas se pueden tomar decisiones parciales y puntuales sobre problemas específicos. Debido a esto, fue necesario no solo realizar un análisis de fallas sino implementar una metodología con la cual se obtuviera sistemáticamente el análisis de los resultados de las inspecciones de las fallas de las Válvulas Reguladoras de Flujo.

3. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ANÁLISIS SISTEMÁTICO DE FALLAS EN LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO

La modalidad de investigación utilizada para desarrollar el presente trabajo de investigación es de tipo **EXPLORATORIO – DESCRIPTIVA**. Hace referencia a una metodología exploratoria ya que es un análisis específico no realizado anteriormente en el Campo Casabe, este análisis relaciona las diferentes bases de datos que comunican el taller de válvulas, el resultado de las inspecciones y el grupo de inyección del departamento de producción del Campo. La finalidad de la investigación es encontrar el procedimiento o metodología adecuada para ejecutar posteriormente análisis estadísticos y control de fallas de las Válvulas Reguladoras de Flujo. El hecho de ser una investigación descriptiva se define en el análisis de resultados, ya que brinda una descripción específica de arenas, pozos y bloques críticos del Campo Casabe.

El trabajo se desarrolla por medio de un **MÉTODO INDUCTIVO** porque se establecen afirmaciones generales a partir de la observación de eventos concretos. El resultado de las inspecciones de las válvulas relacionado con las arenas y los mandriles de los cuales provienen, determinan la criticidad de las arenas, bloques y pozos según las fallas de las válvulas.

Las bases de datos son elaboradas por medio de observación, sin embargo, la implementación de una metodología de análisis de fallas, requiere el uso de información de investigaciones aplicadas anteriormente y así mismo manipulación intencional de variables, lo cual nos lleva al uso de la **EXPERIMENTACIÓN** como técnica de recolección de información.

La investigación presentada opta por un enfoque **METODOLÓGICO CUANTITATIVO** con manejo de datos directos, indirectos, inferidos o no

disponibles. Es necesario organizar, ordenar y correlacionar la información recolectada, con la finalidad de cuantificar y analizar las fallas por medio de bases de datos.

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

En la actualidad en el Campo Casabe, el taller de válvulas es operado y supervisado por Ecopetrol S.A. desde hace dos años. A pesar de haber realizado inspecciones de válvulas y documentado los resultados, no se han analizado y tampoco correlacionado con las diferentes variables como las arenas, bloques y los motivos de cambio. Para que esto sea posible es necesario modificar el flujo de trabajo y el manejo de la información entre el taller de válvulas y el grupo de inyección del Campo Casabe. Por este motivo se implementó la siguiente metodología:

a) CONOCIMIENTO DE LAS PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS Y DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DEL CAMPO CASABE

Para cumplir con este objetivo es necesario recibir una inducción sobre el Campo e identificar fallas en los procesos, para esto se requiere recibir capacitaciones sobre el funcionamiento del sistema de inyección selectiva en el Campo Casabe y específicamente en el funcionamiento de las Válvulas Reguladoras de Flujo. La participación en las inspecciones realizadas en el taller de válvulas, sirve para conocer las partes de las válvulas, los tipos de válvulas, las fallas de estas y la forma de trabajo. Igualmente permiten determinar falencias en el proceso de inspección.

b) MANEJO DE BASES DE DATOS: IDENTIFICACIÓN FLUJO DE TRABAJO

Después de conocer e identificar las válvulas, sus configuraciones, partes y funcionamiento, se debe tener manejo de la información, software y bases de datos del departamento de inyección y del taller de válvulas.

A través de la manipulación de las bases de datos del taller de válvulas, donde se almacenan las inspecciones, se pueden identificar oportunidades de mejora tanto en el flujo de trabajo, como en la recopilación de la información. Con base a lo observado, realizar recomendaciones al departamento de producción, específicamente al grupo de inyección.

La información operada por el departamento de inyección, en este caso las bases de datos: “SEGUIMIENTO VRF TALLER”, “EVENTOS SLICK LINE” y “PROGRAMAS SLICK LINE” y el software MySIP, Avocet; permiten identificar y clasificar las variables o datos utilizados (directos, indirectos, inferidos, no disponibles), determinar que correlaciones se requieren para el análisis estadístico deseado y reconocer cuales bases de datos proporcionan información importante para incluirla en el análisis estadístico.

El manejo de documentos relacionados a los eventos de Slick Line, cargue de perfiles de inyección (ILT o Trazadores), cargue de cambios de válvulas por intervenciones de Slick Line, solicitudes de cambio de VRF; permiten conocer el flujo de trabajo y determinar que modificaciones en los procesos se pueden realizar para obtener información confiable y valiosa.

Durante este proceso se pueden determinar fallas en la veracidad de la información de las bases de datos de los dos grupos mencionados previamente, tanto en el grupo de inyección como en el taller de válvulas. Dentro de las posibles fallas están:

- Información poco confiable
- Información confusa
- Mal diligenciamiento

Se recomienda socializar las fallas identificadas y realizar las respectivas recomendaciones a los diferentes grupos de trabajo.

c) MODIFICACIÓN DE LAS BASES DE DATOS

Este paso se debe realizar si ya existe una base de datos donde se almacenen los resultados de las inspecciones, de lo contrario omitir este paso e ir al siguiente de la presente metodología.

El uso de las bases de datos y la manipulación de la información de estas (paso b), permiten modificar el formato donde se documentan las inspecciones, añadiendo variables e información (necesaria para la realización de análisis estadísticos) como:

- Tiempo de vida de las válvulas
- Motivo de cambio
- Arenas donde se encuentran los mandriles
- Bloques donde se encuentran los pozos
- Estados de las inspecciones: Erosión – OK (En buen estado) – N/A (No aplica)

Una vez modificada la base de datos utilizada, se debe evaluar la necesidad de elaborar una nueva. Si la base de datos modificada, cumple con los requisitos mencionados en la primera parte del siguiente paso, continuar con el análisis estadístico de la información (paso e) y omitir el paso d.

d) ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE LOS RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES DEL TALLER DE VÁLVULAS

Recordemos que este paso se debe realizar si no existe una base de datos para el almacenamiento de las inspecciones o si la base de datos existente no cumple con los requerimientos necesarios. La base de datos utilizada para el almacenamiento de las inspecciones debe tener un formato sencillo, el cual sea fácil de comprender,

diligenciar, analizar, y lo más importante, operar información confiable; de lo contrario se recomienda elaborar una nueva.

Para lograr la confiabilidad de la información se debe estandarizar y socializar la nomenclatura utilizada, e igualmente programar una serie de celdas, las cuales se encarguen de aprobar la combinación mandril - pozo, y añadir la arena y el bloque de forma automática.

La base de datos elaborada debe ser diligenciada por el personal del taller de válvulas, en esta se almacena toda la información procedente a las inspecciones de las válvulas. El personal del taller de válvulas debe ser capacitado para usar de forma correcta esta base de datos, ya que es el origen de la estadística de las fallas de las válvulas y una gran fuente de análisis. Se sugiere elaborar un manual de funcionamiento de esta base de datos.

e) ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS ESTADÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez recopilada toda la información en una sola base de datos, se debe realizar un análisis estadístico. Para lograr esto, se recomienda elaborar una base de datos con el fin de obtener un análisis estadístico de forma sistemática. De esta base de datos se pueden llegar a obtener:

- Número de intervenciones por año
- Número de válvulas inspeccionadas por tiempo; según el material, bloques, y arenas (tercer grado)
- Número y porcentaje de válvulas erosionadas
- Porcentajes de válvulas falladas (erosionadas y fuga dummy) y válvulas OK por tiempo
- Criticidad de los bloques

- Arenas críticas para cada bloque

f) ELABORACIÓN DE PLANTILLA PARA EXPORTAR RESULTADOS DE INSPECCIONES AL SOFTWARE DE LA EMPRESA

En caso de existir un software corporativo al cual se puedan exportar los resultados de las inspecciones, buscar la forma de realizarlo. El software permite analizar variables un poco más específicas como las partes de las válvulas, y lo más importante garantiza el seguro almacenamiento de la información.

El almacenamiento de toda la información en un software, permite proveer análisis de la eficiencia y rendimiento de los materiales y las partes de las válvulas. Al relacionar esto con los motivos de cambio y las arenas o los bloques, se puede aumentar el tiempo de vida de la válvula (Runtime) y de esta forma tomar decisiones generales con el fin de reducir gastos de forma directa e indirecta. Directa por la reducción de costos en la reparación de las válvulas e indirecta por la reducción de intervenciones y operaciones de Slick Line.

g) ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez elaboradas las bases se deben analizar el gran número de resultados estadísticos obtenidos. Tener en cuenta bloques críticos, arenas, motivos de cambio, material de las válvulas, entre otros; para realizar las recomendaciones y cambios necesarios.

Es fundamental tener en cuenta que los resultados obtenidos no son para encontrar soluciones generales, por el contrario, soluciones parciales y temporales. Los yacimientos se encuentran en constante cambio, por esto es necesario que el proceso se haga de forma sistemática y rutinaria todos los meses, para realizar recomendaciones oportunas y dar solución a los problemas identificados.

Finalizado el análisis de resultados, es importante fijar objetivos y procesos a seguir para lograr la reducción de fallas en las válvulas; los objetivos pueden centrarse en motivos de cambio, bloques, pozos críticos, mandriles, entre otros. Una vez fijados los objetivos se recomienda realizar un análisis de costos con el propósito de estimar el impacto económico obtenido a partir de la implementación de la metodología.

h) MODIFICACIÓN DEL FLUJO DE TRABAJO

Una vez obtenidos los primeros resultados estadísticos, se debe asegurar el proceso para garantizar la continuidad de este y así dar por implementada la metodología mencionada en el presente trabajo. La importancia de la metodología no es la realización de un análisis estadístico, es lograr que este se realice sistemáticamente y de forma periódica.

Teniendo en cuenta la base de datos creada para el almacenamiento de las inspecciones, se debe asegurar el flujo de la información al taller de válvulas para garantizar el correcto diligenciamiento de esta base de datos. Una parte de la información considerada importante para el análisis de válvulas y que por lo tanto debe ser garantizada es: fecha de bajada, fecha de sacada, Runtime y motivo de cambio.

La modificación de los procesos permite trazar el flujo de la información al taller de forma periódica. Teniendo en cuenta las bases de datos utilizadas por el grupo de inyección y la interacción de grupos, determinar una forma viable de incluir esta información sin que ocurran reprocesos, funciones extra o tediosas.

Para la modificación del flujo de trabajo, es necesario delegar funciones a un grupo para mantener actualizada la base de datos, garantizar confiabilidad de la información (bases de datos diligenciadas correctamente) y analizar los resultados

obtenidos. Este grupo de trabajo se encargará de proporcionar los resultados estadísticos a quien requiera analizarlos para realizar cambios de válvulas.

4. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos por medio de la aplicación de la metodología para la implementación de un análisis sistemático de fallas en las Válvulas Reguladoras de Flujo. Estos, se encuentran discriminados de acuerdo al paso a paso de la metodología mencionada anteriormente.

Dentro los resultados se encuentran: recomendaciones, elaboración de bases de datos, análisis de resultados, análisis de costos, identificación y modificación de flujo de trabajo, entre otros.

a) CONOCIMIENTO DE LAS PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS Y DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DEL CAMPO CASABE

La participación en las inspecciones permitió el conocimiento de los tipos de válvulas, sus partes, funcionamiento y los tipos de fallas de las piezas. Con esto y las inducciones recibidas por parte de los ingenieros de campo de las empresas Ecopetrol y Schlumberger se realizaron las siguientes recomendaciones:

- Mantener la base de datos de las inspecciones actualizada.
- Tener mayor comunicación con el departamento de inyección.
- Utilizar el banco de pruebas.
- Conservar válvulas en stock, para los trabajos imprevistos y para aquellos realizados fuera de las horas laborales del taller de válvulas.
- Para la compra de los kit de reparación de las válvulas P-15, seleccionar aquellas cuyo vástago es completamente de carburo de tungsteno; existen otro vástago que no recubre internamente en carburo de tungsteno esta pieza. La parte interna del vástago es más propensa a erosionarse ya que es por ahí donde el fluido permanece en contacto.

Una de las principales recomendaciones y logros del trabajo realizado en esta etapa fue conseguir la estabilidad del personal del taller de válvulas. Por medio de reuniones con los departamentos de producción y Workover se socializó la necesidad de tener mínimo dos personas trabajando en el taller de válvulas constantemente para lograr arremeter las recomendaciones mencionadas anteriormente. Se identificó que muchas de estas falencias ocurrían por la falta de estabilidad del personal.

Figura 14. Válvula con serial 137, retirada del mandril 6 del CSBE 1289, donde se evidencia erosión en el conjunto dinámico (orificio, vástago y el asiento)



b) MANEJO DE BASES DE DATOS, RECONOCIMIENTO DE VARIABLES Y FLUJO DE INFORMACIÓN

Por medio de la participación en los procesos del grupo de inyección y el taller de válvulas, se tuvo conocimiento de las bases de datos y softwares utilizados en el

Campo, de esta forma se identificaron las variables presentes en cada base de datos y se determinó el flujo de trabajo utilizado en los procesos de cambio de válvulas.

Igualmente se identificó la posibilidad de realizar un análisis estadístico a una base de datos extraída del software MySIP, Avocet ya que se podía cuantificar el número de intervenciones realizadas a cada pozo y mandril desde su ORC (Original Completion) (Ver Gráfica 9, pág. 90).

En el Campo Casabe, las bases de datos del Grupo de Inyección, junto con el software MySIP, Avocet proporcionan información explícita sobre el motivo del cambio de las válvulas, las arenas a las que pertenece cada mandril del Campo, y los bloques a los que pertenece cada pozo inyector; e información implícita sobre el número de intervenciones realizadas en cada mandril y el tiempo de vida o tiempo de funcionamiento de las VRF. Por otra parte, la base de datos del taller de válvulas proporciona información respecto al tipo de válvula utilizada, material de la válvula y resultado de las inspecciones.

La manipulación de las bases de datos, permitió la identificación de fallas en los procesos de la información. Las principales falencias se presentaban en la base de datos del taller de válvulas:

- Base de datos confusa y difícil de diligenciar, analizar e interpretar.
- Ausencia de variables importantes para la realización de un análisis estadístico.
- No existe una nomenclatura estándar para nombrar los pozos y los campos, esto dificulta la realización de un análisis estadístico sistemático.
- No se concluye el resultado de la inspección.
- No se especifica el material, ni el tipo de válvula.

Las variables identificadas como necesarias para la realización de un análisis estadístico fueron:

- Motivo de cambio
- Fecha de bajada
- Fecha de sacada
- Runtime
- Bloque
- Arena

Por otro lado, la participación en los procesos relacionados a los cambios de válvulas propició la identificación de los grupos de trabajo con sus respectivas funciones, y la elaboración del esquema de flujo de trabajo utilizado en el Campo.

Los grupos que interactuaban en el proceso de cambios de válvulas eran:

- Grupo de Inyección
- Personal del taller de válvulas
- Empresa encargada de los equipos de Slick Line

En la Figura 15 y 16 mostradas a continuación se muestra la base de datos que usaba el grupo de inyección antiguamente y se encuentran especificadas las funciones de cada uno de los grupos, respectivamente.

En la Figura 17 se observa el flujo de trabajo utilizado para realizar cambios de válvulas. La elaboración de este esquema facilitaría más adelante la modificación este para garantizar la implementación de la metodología presentada en este trabajo.

Primero, el grupo de inyección revisa y analiza los perfiles de inyección (ILT o Trazadores), con base en estos, se realizan las solicitudes de las válvulas para los diferentes pozos y mandriles. En estas solicitudes se especifica el tipo de válvula, caudal y resorte que se requiere para cada válvula. Seguido a esto, el personal del taller de válvulas se encarga de realizar el armado de las válvulas solicitadas, enviar al grupo de inyección los respectivos seriales de las válvulas y entregar las válvulas armadas a la empresa a cargo de los trabajos de Slick Line.

Figura 15. Base de Datos Utilizada Anteriormente para el Almacenamiento de las Inspecciones de Válvulas.

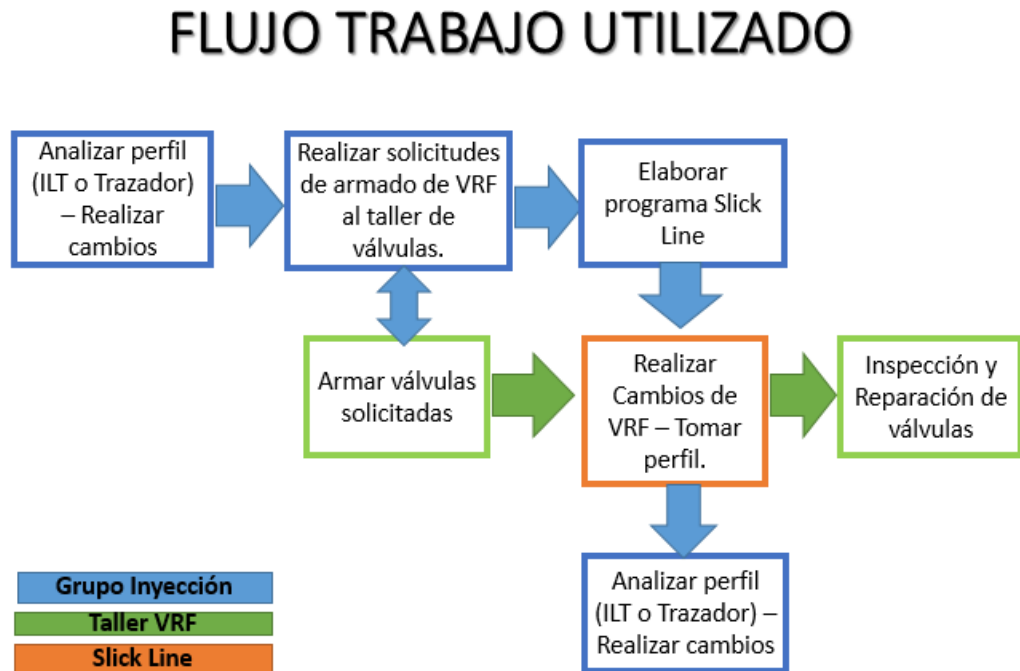
ITEM	SERIAL	MANTENIMIENTO	POZO	MANDRIL	DESCRIPCION	FECHA DE INSPECCIÓN
1	111 111	1 1	CBE 467	7	VRF-150-4.00R-245-111	07-01-15
2	579 579	1 1	CBE 0467	8	VRF-150-2.25R-88-579	07-01-15
3	071 071	1 1	CBE 467	5	VRF-150-4.25R-289-071	07-01-15
4	074 074	X X	CBE 1269	32	DMY	07-01-15
5	498 498	1 1	CBE 467	6	VRF-150-2.00-57-488	06-01-15
6	1070 1070	1 1	CBE 467	9	VRF-150-2.75R-132-1070	07-01-15
7	315 315	1 1	CBE 467	3	VRF-150-2.25R-88-315	07-01-15
8	335 335	1 1	CBE 4670	2	VRF-150-2.00R-57-335	07-01-15
9	427 427	1 1	CBE 467	10	VRF-150-2.25R-88-427	07-01-15
10	131 131	1 1	CBE 467	4	VRF-150-3.25R-170-131	07-01-15
11	524 524	1 1	CSBE 1274	4	VRF-150-2.00R-57-524	07-01-15
12	333 333	1 1	CBE 467	11	VRF-150-2.00R-57-333	07-01-15
13	1399 1399	1 1	CBE 1274	1	VRF-150-2.75R-132-1399	07-01-15

Fuente: Base de Datos Alianza Casabe

Figura 16. Esquema de Interacción de Grupos en el Cambio de las Válvulas



Figura 17. Esquema del Proceso Utilizado para Realizar Cambios de Válvulas



Teniendo en cuenta la información de cada una de las válvulas, el grupo de inyección elabora el Well Planning, y lo envía a la empresa encargada de realizar estos trabajos. El Well Planning está conformado por el estado mecánico del pozo, pruebas de inyectividad y el programa de Slick Line. El programa de Slick Line incluye serial de la válvula, orificio utilizado con su respectivo barrilaje, número de mandril, profundidad a la que se encuentra el mandril.

Posteriormente, con los programas de Slick Line y las válvulas, la empresa operadora de los equipos de Slick Line realiza los respectivos cambios en los pozos y mandriles indicados, instalando las válvulas obtenidas en el taller de válvulas y recuperando las válvulas de los pozos; una vez finalizados los cambios, se toma una prueba de inyectividad (ILT o un trazador). Los resultados de los ILT o trazadores son enviados al grupo de inyección para ser analizados y las válvulas recuperadas son enviadas al taller de válvulas para ser inspeccionadas y reparadas, los resultados de las inspecciones se documentan en una base de datos.

c) MODIFICACIÓN DE BASE DE DATOS

La modificación de la base de datos utilizada por el taller de válvulas para el almacenamiento de los resultados de las inspecciones era necesaria para obtener un análisis estadístico de las válvulas inspeccionadas hasta ese momento.

Primeramente se hizo la estandarización de los pozos; se encontró que los pozos y mandriles no tenían una forma estipulada de escritura. Posterior a esto se creó una celda para especificar el material de la válvula, teniendo en cuenta el material de vástago y asiento utilizado.

En el paso anterior, se identificaron las fallas en la base de datos para el almacenamiento de las inspecciones del taller de válvulas, y la necesidad de incluir ciertas variables para obtener un provechoso análisis estadístico. Relacionar en una

sola base de datos los resultados de las inspecciones, el motivo de cambio, la arena y el bloque, son una gran fuente de análisis. A partir de esto se modificó la base de datos, y se agregaron las siguientes variables:

- Motivo de cambio
- Fecha de bajada
- Fecha de sacada
- Runtime
- Bloque
- Arena
- Material
- Resultado de inspección

Por medio de la correlación de la bases de datos del grupo de inyección “SOLICITUDES DE CAMBIOS DE VÁLVULAS”, la base de datos donde se almacenaban las inspecciones de las válvulas, y el software MySIP, Avocet, se obtuvieron y diligenciaron las variables agregadas para proporcionar así un análisis de fallas de válvulas de 2014-2015 (Ver Figura 18).

En las inspecciones del taller de válvulas se determinan que piezas de las VRF están desgastadas, erosionadas, o rotas. Para determinar el resultado final de la inspección se focalizó en la inspección del conjunto dinámico de la válvula, el cual es el encargado de regular la presión y caudal.

Al centrarse en estas partes del conjunto dinámico, se asume que el deficiente funcionamiento de la válvula se debe a la erosión de una de estas piezas. Por lo tanto, si el tipo de válvula a inspeccionar es una válvula dummy o una válvula de circulación de flujo, las cuales no poseen conjunto dinámico el resultado de la inspección es “N/A” (No Aplica).

Para los otros tipos de válvulas, si una de las partes del conjunto dinámico se encuentra con un nivel de erosión medio o grave, el resultado final de la inspección es “Erosión”, de lo contrario la válvula se considera en buen estado y por lo tanto el resultado de inspección es “OK”. La expresión “OK” se emplea cuando las piezas del conjunto dinámico se encuentran en buen estado y pueden ser reutilizadas. Esto no quiere decir que la válvula se cambió sin necesidad. Los cambios se realizan debido a un motivo y el resultado de la inspección se conoce posteriormente en superficie (Ver Motivos de Cambio, pág. 41).

Como se expuso anteriormente los cambios de las válvulas no necesariamente corresponden a una falla, en muchas ocasiones la válvula debe ser cambiada por las condiciones del yacimiento o por la afectación que está produciendo la inyección en un pozo productor.

Figura 18. Base de Datos Antigua utilizada para el Almacenamiento de Inspecciones - Modificada

ITEM	SERIAL	MANTENIMIENTO	POZO	BLOQUE	MANDRIL	ARENA	MOTIVO DE CAMBIO	Material	ID VÁLVULA - NOMENCLATURA	FECHA DE BAJADA DE LA VÁLVULA	FECHA DE SACADA DE LA VÁLVULA	RUNTIME	MES DE INSPECCIÓN	FECHA DE INSPECCIÓN	RESULTADO DE INSPECCIÓN	TIPO DE VÁLVULA
1	111	1	CBE 467	7	7	A2	Recomendación de Ingeniería	174-PH	VRF-150-4.00R-245-111	04-may-14	21-dic-14	231	ene	07-ene-15	OK	VRF
2	579	1	CBE 467	7	8	A1	Caudal por Encima del Diseño	CT	VRF-150-2.25R-88-579	26-jul-14	21-dic-14	148	ene	07-ene-15	EROSION	VRF
3	071	1	CBE 467	7	5	A2	Recomendación de Ingeniería	440C	VRF-150-4.25R-289-071	26-abr-14	21-dic-14	239	ene	07-ene-15	OK	VRF
4	074	X	CBE 1269	8	3	A2-A2i	Fuga Dummv	N/A	DMY	22-dic-14	03-may-15	132	ene	07-ene-15	N/A	DMY
5	488	1	CBE 467	7	6	A2	Caudal por Encima del Diseño	CT	VRF-150-2.00-57-488	13-jul-14	21-dic-14	161	ene	06-ene-15	EROSION	VRF
6	1070	1	CBE 467	7	9	A1	Recomendación de Ingeniería	CT	VRF-150-2.75R-132-1070	29-oct-14	21-dic-14	53	ene	07-ene-15	EROSION	VRF
7	315	1	CBE 467	7	3	B1	Caudal por Debajo del Diseño	CT	VRF-150-2.25R-88-315	23-may-14	20-dic-14	211	ene	07-ene-15	OK	VRF
8	335	1	CBE 467	7	2	B2	Caudal por Debajo del Diseño	440C	VRF-150-2.00R-57-335	28-may-14	20-dic-14	206	ene	07-ene-15	EROSION	VRF
9	427	1	CBE 467	7	10	A1	Recomendación de Ingeniería	CT	VRF-150-2.25R-88-427	13-jul-14	21-dic-14	161	ene	07-ene-15	OK	VRF
10	131	1	CBE 467	7	4	A3	Recomendación de Ingeniería	174-PH	VRF-150-3.25R-170-131	03-may-14	21-dic-14	232	ene	07-ene-15	EROSION	VRF
11	524	1	CBE 1274	8	4	A2i	Recomendación de Ingeniería	440C	VRF-150-2.00R-57-524	11-jul-14	23-dic-14	165	ene	07-ene-15	EROSION	VRF
12	333	1	CBE 467	7	11	A1b-A1d	Recomendación de Ingeniería	174-PH	VRF-150-2.00R-57-333	24-may-14	21-dic-14	211	ene	07-ene-15	OK	VRF
13	1399	1	CBE 1274	8	1	B2c	Recomendación de Ingeniería	CT	VRF-150-2.75R-132-1399	11-ene-14	23-dic-14	346	ene	07-ene-15	OK	VRF
14	1400	1	CBE 1274	8	8	A1a-A1b	Recomendación de Ingeniería	CT	VRF-150-2.25R-113-1400	12-ene-14	23-dic-14	345	ene	07-ene-15	EROSION	VRF
15	317	1	CBE 1253	7	14	A1	Recomendación de Ingeniería	174-PH	VRF-150-2.25-88-317	26-jun-14	23-dic-14	182	ene	05-ene-15	OK	VRF
16	684	1	CBE 884	1	3	A1g	Caudal por Encima del Diseño	CT	VRF-150-2.00-57-684	24-ago-14	27-dic-14	125	ene	05-ene-15	EROSION	VRF
17	504	1	CBE 578	6	3	A1b	Caudal por Debajo del Diseño	174-PH	VRF-150-3.75-214-504	16-jul-14	22-dic-14	159	ene	05-ene-15	OK	VRF
18	227	1	CBE 936	1	3	A2	Caudal por Debajo del Diseño	CT	VRF-150-2.25-88-227	15-may-14	26-dic-14	225	ene	05-ene-15	EROSION	VRF
19	594	1	CBE 744	3	6	B1	Caudal por Encima del Diseño	174-PH	VRF-150-2.25R-57-594	18-oct-14	24-dic-14	67	ene	07-ene-15	OK	VRF
20	181	1	CBE 1282	6	4	A1g	Caudal por Encima del Diseño	440C	VRF-150-2.00R-57-181	19-may-14	23-dic-14	218	ene	07-ene-15	OK	VRF
21	370	1	CBE 1253	7	9	A1f	Recomendación de Ingeniería	440C	VRF-150-2.50R-113-370	26-ago-13	23-dic-14	484	ene	05-ene-15	OK	VRF
22	377	1	CBE 1253	7	13	A1a	Recomendación de Ingeniería	174-PH	VRF-150-2.75-132-377	26-jun-14	23-dic-14	182	ene	05-ene-15	OK	VRF
23	1144	1	CBE SUR 23	CBES	4	A2i	Caudal por Debajo del Diseño	174-PH	VRF-150-2.00R-57-1144	18-nov-14	20-dic-14	32	ene	05-ene-15	EROSION	VRF
24	675	1	CBE 667	7	6	A1	Recomendación de Ingeniería	174-PH	VRF-150-2.25-88-675	20-ago-14	26-dic-14	128	ene	05-ene-15	OK	VRF
25	744	1	CBE 1282	6	9	A1	Caudal por Debajo del Diseño	CT	VRF-150-2.50-113-744	31-ago-14	23-dic-14	114	ene	05-ene-15	EROSION	VRF
26	1071	1	CBE 744	3	3	B1	Caudal por Encima del Diseño	CT	VRF-150-2.00-57-1071	28-oct-14	24-dic-14	57	ene	05-ene-15	OK	VRF

d) ELABORACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE LOS RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES DEL TALLER DE VÁLVULAS

Aunque la modificación de la base de datos fue un éxito y se pudo compilar la información deseada para la realización del análisis estadístico, se observó la necesidad de elaborar una base de datos nueva para el almacenamiento de las inspecciones. Esta base de datos tiene un formato más sencillo, ordenado, fácil de comprender, diligenciar y analizar; un formato que principalmente proporciona información confiable.

Una de las principales fallas observadas en la base de datos utilizada fue el ingreso de información errónea, en muchas ocasiones la combinación pozo – mandril digitada no existía. Uno de los resultados más importantes de la implementación de esta metodología fue la elaboración de esta base de datos donde se almacenan los resultados de las inspecciones junto con un gran número de variables para correlacionar y obtener análisis para problemas específicos (Ver Figura 21).

Lo más valioso de este formato de registro de inspecciones, no solo es la inclusión de información que no se documentaba anteriormente como: tipo de válvula, Runtime, fecha de bajada y sacada de la válvula, entre otras; sino la programación de una serie de celdas para la validación y el registro de la arena y bloque del que proviene la válvula (Ver Figura 19).

El cuadro de validación se encarga de mantener la información estandarizada (arenas, bloques, pozos y mandriles tienen una nomenclatura específica) haciendo posible el análisis estadístico. Las columnas formación, mandril AVM, bloque, arena y número de intervenciones que se encuentran en la base de datos están programadas para ser completadas automáticamente según la correcta combinación pozo – mandril. Las columnas formación y mandril AVM se elaboraron con el fin de exportar los resultados de las inspecciones al software MySIP, Avocet

por medio de la PLANTILLA PARA EXPORTAR RESULTADOS DE INSPECCIONES AL SOFTWARE DE LA EMPRESA de la cual se hablará más adelante. La columna número de intervenciones se creó con el objetivo de determinar los mandriles críticos o mandriles con mayor número de intervenciones anuales

Figura 19. Validación de la Configuración Pozo – Mandril en la Nueva Base de Datos de Almacenamiento de la Información del Taller de Válvulas

Pozo	Mandril	VALIDACIÓN	Formación	Mandril AVM	Bloque	Atena	# Intervenciones
1246	9	OK	CSBE1246:CBA	CSBE1246-9	7	A1g-A1h	1
1294	13	OK	CSBE1294D:CBA	CSBE1294-13	6	A1c	1
CS-11	8	OK	CBES0011D:BA	CBES0011-8	CBES	A2	1
CS-22	25	##	CBES0022D:CBA	CBES0022-25	#N/A	#N/A	1
1294	4	OK	CSBE1294D:CBA	CSBE1294-4	6	B2e	1
1246	3	OK	CSBE1246:CBA	CSBE1246-3	7	B1i	1
CBESUR-22	4	##	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	3893
1246	8	OK	CSBE1246:CBA	CSBE1246-8	7	A2	1
1295	10	OK	CSBE1295D:BA	CSBE1295-10	6	A1g	2
1294	15	OK	CSBE1294D:CBA	CSBE1294-15	6	A1b	1
1246	2	OK	CSBE1246:CBA	CSBE1246-2	7	B1i-B3i	1
CS-22	11	OK	CBES0022D:CBA	CBES0022-11	CBES	A	1

.Para que la validación sea correcta “OK” la combinación pozo – mandril debe existir. Para garantizar el uso correcto de la plantilla se capacitó durante dos semanas al personal encargado del taller de válvulas y también se elaboró un manual donde se explica el funcionamiento de la base de datos y se encuentran las fórmulas utilizadas. (Ver anexo A).

Figura 20. Evidencia del uso de la base de datos elaborada para el almacenamiento de los resultados de las inspecciones de válvulas, manual de la base de datos y capacitaciones realizadas al personal del taller de válvulas



e) ELABORACIÓN BASE DE DATOS ESTADÍSTICA PARA ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez almacenados los resultados de las inspecciones, junto a la información de las variables agregadas. Se elaboró una base de datos estadística para el análisis de los resultados de las inspecciones. La base de datos está diseñada para realizar un conteo de la información ingresada y diligenciar una serie de tablas diseñadas para el análisis estadístico de las fallas.

De igual manera, la base de datos está configurada para graficar los resultados obtenidos. Tanto los resultados tabulados como los graficados, son registrados y discretizados temporalmente.

Lo ideal es hacer supervisión de la confiabilidad de la información durante el transcurso de cada mes y realizar el proceso explicado en el anexo B al final de cada mes para obtener los resultados del análisis estadístico.

Figura 21. Nueva Base de Datos para el Almacenamiento de Inspecciones de Válvulas.

Ítem	Proceso	Tipo de válvula a inspeccionar	Serial Válvula	COMPLETA INSPECCIÓN	Pozo	Mandril	VALIDACIÓN	Formación	Mandril AV/VA	Bloqueo	Areña	# Intervenciones	Causa - Motivo	Fecha bajada	Fecha sacada	Runtime	Mes de Inspección	Fecha de Inspección	Resultado Inspección
15	Armado	VRF	522	RF-150-4,25R-289-52	CS-22	4	OK	CBES0022D:CBA	CBES0022-4	CBES	B	1	Recomendación de Ingeniería	17/08/2014	21/12/2015	491	ene	11-ene-16	OK
16	Inspeccionado y armado	VRF	1276	RF-150-2,50R-113-127	1246	8	OK	CSBE1246:CBA	CSBE1246-8	7	A2	1	Caudal por Debajo del Diseño	04/12/2014	27/12/2015	388	ene	11-ene-16	OK
17	Recibido	VRF	1046	#N/A	1295	10	OK	CSBE1295D:BA	CSBE1295-10	6	A1g	2	Caudal por Encima del Diseño	21/09/2015	03/01/2016	104	ene	11-ene-16	OK
18	Inspeccionado	VRF	1252	RF-150-3,00R-151-125	1294	15	OK	CSBE1294D:CBA	CSBE1294-15	6	A1b	1	Caudal por Encima del Diseño	08/12/2014	01/01/2016	389	ene	11-ene-16	Erosión
19	Inspeccionado	VRF	1091	RF-150-2,75R-132-109	1246	2	OK	CSBE1246:CBA	CSBE1246-2	7	B1i-B3i	1	Caudal por Debajo del Diseño	02/12/2014	27/12/2015	390	ene	11-ene-16	OK
20	Inspeccionado y armado	VRF	1214	RF-150-2,75R-132-121	CS-22	11	OK	CBES0022D:CBA	CBES0022-11	CBES	A	1	Caudal por Debajo del Diseño	21/12/2015	24/12/2015	3	ene	11-ene-16	OK
21	Armado	VRF	1455	RF-150-4,25R-289-145	1266	8	OK	CSBE1266D:CB	CSBE1266-8	8	B1i	1	Caudal por Debajo del Diseño	08/03/2015	04/01/2016	302	ene	11-ene-16	Erosión
22	Armado	VRF	390	RF-150-2,00R-57-390	1311	4	OK	CSBE1311D:A	CSBE1311-4	6	A1e	1	Caudal por Encima del Diseño	01/02/2015	04/01/2016	337	ene	11-ene-16	OK
23	Armado	VRF	1699	RF-150-3,00R-151-169	0783	4	OK	CSBE0783:A2	CSBE0783-4	3	A2	1	Caudal por Debajo del Diseño	18/05/2015	02/01/2016	229	ene	11-ene-16	Erosión
24	Armado	VRF	841	RF-150-2,50R-113-84	0783	5	OK	CSBE0783:A2	CSBE0783-5	3	A2	1	Caudal por Debajo del Diseño	11/05/2015	02/01/2016	236	ene	11-ene-16	Erosión
25	Armado	VRF	1845	RF-150-2,25R-88-184	1288	12	OK	CSBE1288D:BA	CSBE1288-12	6	A1b-A1c	2	Caudal por Debajo del Diseño	12/08/2015	28/12/2015	138	ene	14-ene-16	OK
26	Recibido	VRF	598	#N/A	1283	1	OK	CSBE1283D:A	CSBE1283-1	6	A3	1	Caudal por Encima del Diseño	27/05/2013	24/04/2014	332	ene	14-ene-16	OK
27	Armado	VRF	1555	RF-150-3,00R-57-155	0783	7	OK	CSBE0783:A	CSBE0783-7	7	A1	1	Caudal por Debajo del Diseño	04/04/2015	20/12/2015	277	ene	11-ene-16	OK

Inspección y armado

GASTOS VRF

Base de datos

Estadística

SERIALES PARA REEMPLAZAR ...

+

:

4

Los resultados pueden ser visualizados según el interés temporal, de forma anual o para cada uno de los meses. Así mismo, el tipo de tablas y gráficas obtenidas varía dependiendo el tiempo de análisis, como se muestra a continuación:

- **VISUALIZACIÓN DE LA ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE FORMA ANUAL ACUMULADO AÑOS 2014 - 2015:**

En esta hoja se encuentran todos los resultados estadísticos de las inspecciones de cada año (acumulado del año). Todos los años se va a llevar un registro nuevo de las inspecciones de válvulas e igualmente del análisis estadística de estas. De acá se puede obtener, cantidad de válvulas inspeccionadas y erosionadas según su tipo, material, arena o bloque proveniente, entre otros.

- **Válvulas Inspeccionadas por Solicitud o Recomendación de Ingeniería**

En la Tabla 6 se encuentran únicamente las válvulas cuyo motivo de cambio es recomendación de ingeniería y se encuentra especificado el material y cuantas de cada material tienen como resultado de inspección erosión u OK.

Cuando el motivo del cambio es recomendación de ingeniería, las válvulas pueden no haber presentado una falla en específico pero es necesario que sean retiradas con el fin de controlar el patrón de inyección, ya sea para evitar presurización de zonas o arenas, o por aumento de BSW en un pozo productor.

- **Válvulas Inspeccionadas por Mantenimiento**

Las válvulas inspeccionadas por mantenimiento (Ver Tabla 7) son aquellas cuyo motivo de cambio es:

- Caudal por encima de diseño

- Caudal por debajo de diseño
- Alta inyectividad
- Otros

En la Tabla 7 se puede encontrar el total de válvulas inspeccionadas, con su respectivo porcentaje, discretizadas en primer lugar por el material, luego por el motivo del cambio y finalmente por el resultado de la inspección (Erosión / OK). Los porcentajes son respecto a cada discretización. También permite saber, cual ha sido el motivo de cambio que ha generado mayor número de inspecciones para cada uno de los materiales, con esta tabla se puede evaluar la calidad y efectividad de los cambios realizados por los ingenieros de producción.

Tabla 6. Válvulas Inspeccionadas por Recomendación de Ingeniería años 2014 - 2015

# VALVULAS INSPECCIONADAS POR SOLICITUD DE INGENIERÍA					
# Válvulas			% Válvulas		
354			19,07%		
Material	# Válvulas	% Válvulas	Resultado de Inpección	# Válvulas	% Válvulas
CT	162	46%	EROSIÓN	58	36%
			OK	104	64%
174-PH	102	29%	EROSIÓN	41	40%
			OK	61	60%
440C	90	25%	EROSIÓN	49	54%
			OK	41	46%

Tabla 7. Válvulas Inspeccionadas por Mantenimiento años 2014 - 2015

# VALVULAS INSPECCIONADAS POR MANTENIMIENTO								
# Válvulas				% Válvulas				
1361				74%				
Material	# Válvulas	% Válvulas	Motivo de cambio	# Válvulas	% Válvulas	Resultado de Inpección	# Válvulas	% Válvulas
CT	678	50%	Caudal por Encima de Diseño	283	42%	EROSIÓN	188	66%
						OK	95	34%
			Alta Inyectividad	13	2%	EROSIÓN	9	69%
						OK	4	31%
			Caudal por Debajo del diseño	359	53%	EROSIÓN	158	44%
						OK	201	56%
			Otros	23	3%	EROSIÓN	9	39%
						OK	14	61%
174-PH	343	25%	Caudal por Encima de Diseño	142	41%	EROSIÓN	96	68%
						OK	46	32%
			Alta Inyectividad	13	4%	EROSIÓN	5	38%
						OK	8	62%
			Caudal por Debajo de diseño	173	50%	EROSIÓN	70	40%
						OK	103	60%
			Otros	15	4%	EROSIÓN	6	40%
						OK	9	60%
440C	340	25%	Caudal por Encima de Diseño	143	42%	EROSIÓN	115	80%
						OK	28	20%
			Alta Inyectividad	15	4%	EROSIÓN	13	87%
						OK	2	13%
			Caudal por Debajo de diseño	171	50%	EROSIÓN	91	53%
						OK	80	47%
			Otros	11	3%	EROSIÓN	6	55%
						OK	5	45%

El objetivo de las tablas mostradas anteriormente es atacar el motivo de cambio de forma efectiva; es decir, motivos como: recomendación de ingeniería, caudal por debajo del diseño, alta inyectividad y otros, pueden tener el porcentaje de válvulas en buen estado superior al porcentaje de válvulas erosionadas. Por el contrario cuando el motivo de cambio es caudal por encima del diseño, se espera que la válvula retirada e inspeccionada se encuentre erosionada, la erosión es consecuencia de las altas tasas de inyección, cuando es mayor el número de válvulas en buen estado (OK) se debe a:

- Toma de una decisión apresurada
- Mala lectura del trazador o del perfil de inyección

- Necesidad de V-Packing Over-size por erosión del bolsillo
- Erosión de mandril

Las tablas mostradas anteriormente son utilizadas para las válvulas reguladoras de flujo como VRF W-15, VRF P-15 y VOF, ya que son estas válvulas las que requieren de un conjunto dinámico conformado por piezas de Carburo de tungsteno (CT), 440C, 174-PH.

Para las válvulas dummy (DMY) y las válvulas de circulación (VCF) el resultado de inspección siempre es “no aplica” (N/A). Por lo tanto, solo se lleva el registro del número de cambios realizados según el motivo de cambio, como se observa en las Tablas 8 y 9.

Tabla 8. Estadística de las Válvulas Dummy Según el Motivo de Cambio años 2014 - 2015

VALVULAS DUMMY		
RECOMENDACIÓN DE INGENIERÍA	47	43%
FUGA DUMMY	61	55%
OTROS	2	2%
TOTAL	110	6%

○ **Total de Válvulas Inspeccionadas:**

La Tabla 10 muestra el número total de válvulas inspeccionadas durante el periodo de análisis, discretizando los resultados por material, motivo de cambio y tipo de válvulas. La tabla permite llevar un control sobre la cantidad de válvulas inspeccionadas según el material, tipo de válvula e igualmente conocer la cantidad de intervenciones realizadas por cada motivo de cambio.

Tabla 9. Estadística de las Válvulas de Circulación de Flujo Según el Motivo de Cambio años 2014 - 2015

VALVULAS CIRCULACIÓN DE FLUJO		
CAUDAL POR ENCIMA DE DISEÑO	2	9%
CAUDAL POR DEBAJO DE DISEÑO	3	13%
RECOMENDACIÓN DE INGENIERÍA	11	48%
ALTA INYECTIVIDAD	2	9%
OTROS	5	22%
TOTAL	23	1%

Tabla 10. Total de Válvulas Inspeccionadas, años 2014 – 2015. Resultados Discretizados Según el Material, Motivo de Cambio y Tipo de Válvula.

TOTAL DE VÁLVULAS INSPECCIONADAS		
MATERIAL	# VÁLVULAS	% VÁLVULAS
CT	841	49%
440	435	25%
174-PH	446	26%
MOTIVO DE CAMBIO	# VÁLVULAS	% VÁLVULAS
Caudal por Encima de Diseño	573	31%
Alta Inyectividad	43	2%
Caudal por Debajo de diseño	710	38%
Otros	56	3%
Recomendación de Ingeniería	412	22%
Fuga dummy	62	3%
TIPO DE VÁLVULAS	# VÁLVULAS	% VÁLVULAS
Válvulas reguladoras de flujo	1722	93%
Válvulas dummy	111	6%
Válvulas de circulación de flujo	23	1%
NÚMERO TOTAL DE VÁLVULAS INSPECCIONADAS	1856	

- **Erosión de Válvulas por Bloque y Material**

El objetivo de esta tabla es poder observar la criticidad de los bloques, relacionando cada uno de estos con el número y porcentaje de válvulas falladas y con el material de estas. También se puede obtener un resumen del resultado de inspecciones del año: válvulas erosionadas, falladas, en buen estado y Dummies fallados.

Como no se podía establecer una comparación entre bloques, porque cada bloque tiene diferente número de mandriles disponibles y por lo tanto, diferente capacidad de aceptación de válvulas, fue necesario crear una variable la cual llamamos “**índice de falla**” para normalizar los resultados.

El índice de falla relaciona el número de válvulas falladas y el número de mandriles disponibles, en cada bloque. Esta variable representa el número de válvulas falladas por cada 10 mandriles disponibles.

Entre menor es la diferencia entre los mandriles disponibles y las válvulas falladas, mayor es el índice de falla. Para poder comparar esta diferencia, entre bloques de forma correcta, es necesario normalizarla. A esto llamamos “**diferencia normalizada**”, y es inversamente proporcional al “índice de falla”.

$$\text{Índice de falla} = \frac{\text{Total válvulas falladas}}{\text{Número de mandriles disponibles}}$$

$$\text{Diferencia Normalizada} = \frac{\# \text{Mandriles disponibles} - \text{Total válvulas falladas}}{\# \text{Mandriles disponibles}}$$

$$\% \text{Válvulas falladas} = \frac{\text{Total válvulas falladas}}{\text{Total válvulas posibles de fallas}} * 100$$

Las válvulas posibles a fallar son las válvulas VRF W-15, VRF P-15, VOF y los Dummies. Se consideran Dummies fallados aquellas válvulas Dummy cuyo motivo de cambio es Fuga Dummy.

$$\text{Total válvulas falladas} = VE + VF$$

Donde:

VE: Número de válvulas reguladoras de flujo erosionadas

VFD: Número de válvulas dummy con motivo de cambio fuga dummy

No necesariamente el bloque con mayor porcentaje de válvulas falladas, es el bloque de mayor índice de falla. El índice de falla relaciona la capacidad de inyección de cada bloque. El porcentaje de válvulas falladas no tiene en cuenta el número de mandriles disponibles de cada bloque y depende únicamente del resultado de inspección y el número de válvulas inspeccionadas.

Todos los resultados de los bloques son graficados y/o tabulados según el esquema de trabajo del Campo Casabe (Ver Tabla 11).

- **Frecuencia de Erosión en las Arenas**

Para registrar esta información se hizo uso de una tabla dinámica, la cual se encarga de realizar un conteo del número de válvulas erosionadas en cada arena, filtrarlas por bloques y agruparlas; de esta forma se determina cuáles son las arenas que producen más erosión en cada bloque.

A medida que se registra una válvula con resultado de inspección “erosión”, la tabla dinámica inicia un conteo basada en el tipo de arena en el que se encuentra el mandril, y el bloque al que pertenece el pozo. La tabla 12 es una de las tablas dinámicas más importante de la base de datos estadística.

Tabla 11. Resumen de Inspecciones por Bloque y Material para los años 2014 – 2015

EROSIÓN VÁLVULAS POR BLOQUE Y MATERIAL 2014 - 2015															
Bloque	# Mandriles Disponibles	Material	#Valvulas erosionadas	%Válvulas erosionadas	TOTAL VÁLVULAS EROSIONADAS		VÁLVULAS EN BUEN ESTADO		VÁLVULAS FUGA DUMMY		VÁLVULAS DUMMY INSPECCIONADAS	TOTAL VÁLVULAS FALLADAS (DMY +)	#TOTAL VÁLVULAS POSIBLES DE FALLAR	%Válvulas falladas	INDICE DE FALLA
					# VÁLVULAS EROSIONADAS	% VÁLVULAS EROSIONADAS	# VÁLVULAS OK	% VÁLVULAS OK	# VALVULAS FUGA DMY	% VÁLVULAS FUGA DMY					
1	411	CT	55	46%	119	48,8%	117	48,0%	2	25,00%	8	121	244	49,59%	0,29
		440C	29	24%											
		174-PH	35	29%											
2	292	CT	39	45%	87	48,9%	83	46,6%	4	50,00%	8	91	178	51,12%	0,31
		440C	27	31%											
		174-PH	21	24%											
3	373	CT	67	55%	121	52,8%	90	39,3%	11	61,11%	18	132	229	57,64%	0,35
		440C	31	26%											
		174-PH	23	19%											
4	33	CT	4	31%	13	59,1%	7	31,8%	2	100,00%	2	15	22	68,18%	0,45
		440C	5	38%											
		174-PH	4	31%											
5	153	CT	25	41%	61	55,5%	44	40,0%	4	80,00%	5	65	110	59,09%	0,42
		440C	21	34%											
		174-PH	15	25%											
6	881	CT	122	46%	265	54,6%	186	38,1%	21	60,00%	35	286	486	58,85%	0,32
		440C	86	32%											
		174-PH	57	22%											
7	252	CT	33	54%	61	35,1%	99	56,9%	8	57,14%	14	69	174	39,66%	0,27
		440C	13	21%											
		174-PH	15	25%											
8	342	CT	44	39%	114	45,6%	122	48,8%	7	50,00%	14	121	250	48,40%	0,35
		440C	41	36%											
		174-PH	29	25%											
CBES	91	CT	33	48%	69	73,4%	19	20,2%	5	83,33%	6	74	94	78,72%	0,81
		440C	20	29%											
		174-PH	16	23%											
PB	16	CT	2	33%	6	13,3%	39	86,7%	0	0,00%	0	6	45	13,33%	0,38
		440C	1	17%											
		174-PH	3	50%											
TOTAL	2844				916		806		64		110	980	1832		

Tabla 12. Arenas Erosionadas por Bloques, años 2014 - 2015

Resultado Inspección		EROSIÓN										
Cuenta de BLOQUE		Etiquetas de columna										
		Bloque I-II		Bloque III-IV-V			Bloque VI	Bloque VII-VIII		Bloque CBES-PBLA		Total general
Etiquetas de fila		Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5	Bloque 6	Bloque 7	Bloque 8	CBES	PBLA	
A1		2	3	7		2	10	8		1		33
A1a		2	2	2			3	2				11
A1b		22	6	9	2	6	13	6	2			66
A1c		13	6	4		4	13		5			45
A1d		2		1			23	2	1			29
A1e				2	1	1	14	1	6			25
A1f		9	4	4	2	3	16	1	6	4		49
A1g		2		1			4					7
A1h		1					5	1	6			13
A2		10	5	8		17	46	12	9	9		116
A2i		19	13	9	1	7	37	6	23	10	4	129
A3		3	5	2		3	8	4	9	3	1	38
A3b			1									1
B1		5	6	18			9	2	5	4		49
B1i		3	8	3	2	1	8		5			30
B2		7	5	6		3	8	1	5	7		42
B2b		3	3	10		1	6		3	1		27
B2c		6	3	4	2		8	1	5	6		35
B2d			1	3		1	6		2		1	14
B2e			2				3	1	1	2		9
B3			1				3		5	3		12
B3i							1	1	3	6		11
C								1				1
Total general		109	74	93	10	49	244	50	101	56	6	792

○ **Tiempo de Vida o Runtime**

La siguiente tabla clasifica las válvulas según el tiempo de vida y su material. Se consideran válvulas con corto Runtime o poco tiempo de vida aquellas cuyo funcionamiento óptimo es menor a 90 días, válvulas de duración media aquellas que permanecen en funcionamiento entre 90 y 180 días, y tiempos mayores a este, se les consideran válvulas con excelente Runtime.

Otros de los usos del Runtime, es poder relacionar el tipo de válvulas utilizadas y determinar cuáles están teniendo mayor eficiencia, así mismo, se puede relacionar con los bloques, y definir cuál bloque posee las válvulas con menor tiempo de vida.

Siempre y cuando la base de datos de almacenamiento de la información se lleve de forma adecuada, se pueden relacionar y obtener cada vez más y mejores análisis dependiendo el objetivo.

Tabla 13. Runtime de las Válvulas Según el Material, años 2014 - 2015

TIEMPO DE VIDA MEDIA SEGÚN EL MATERIAL						
RUNTIME	CT		440C		174-PH	
	# VÁLVULAS	% VÁLVULAS	# VÁLVULAS	% VÁLVULAS	# VÁLVULAS	% VÁLVULAS
< 3MESES (< 90 días)	176	21%	82	19%	150	34%
3-6 MESES (90 - 180 días)	165	19%	54	12%	117	26%
> 6 MESES (> 180 días)	502	60%	298	69%	180	40%
TOTAL	843		434		447	

- **VISUALIZACIÓN DE LA ESTADÍSTICA DE LOS DATOS DE FORMA MENSUAL:**

Para el control mensual de las fallas de las válvulas, se manejan unas de las tablas mencionadas anteriormente, como: “total de válvulas inspeccionadas”, “válvulas inspeccionadas por mantenimiento”, “válvulas inspeccionadas por solicitud o recomendación de ingeniería”. Adicional a estas mencionadas, se tienen las siguientes tablas:

○ **Resumen de Inspecciones**

Mensualmente se resume el resultado de las inspecciones con el respectivo porcentaje, clasificándolas como: Válvulas con fuga Dummy, válvulas erosionadas, válvulas falladas y válvulas totales.

Tabla 14. Resumen de Inspecciones Enero de 2015

RESUMEN INSPECCIONES ENERO 2015								
VÁLVULAS CON FUGA DUMMY		VÁLVULAS EROSIONADAS		VÁLVULAS EN BUEN ESTADO		VÁLVULAS FALLADAS (Erosion+DMY)		# VÁLVULAS POSIBLES A FALLAR
12	4%	106	39%	143	52%	118	43%	274

○ **Resultados de las Inspecciones por Bloques**

Tabla 15. Resultado de Inspecciones por Bloques para Enero de 2015

RESULTADOS DE LAS INPECCIONES POR BLOQUES PARA ENERO DE 2015						
Bloque	VALVULAS EROSIONADAS	VALVULAS EN BUEN ESTADO	VALVULAS CON FUGA DUMMY	VÁLVULAS DUMMY INSPECCIONADAS	% VÁLVULAS FALLADAS	VALVULAS POSIBLES A FALLAR
1	12	17	0	1	40%	30
2	10	19	1	3	34%	32
3	18	18	1	1	51%	37
4	0	0	0	0	0%	0
5	4	11	1	1	31%	16
6	24	25	4	5	52%	54
7	19	33	1	5	35%	57
8	15	20	4	9	43%	44
CBES	4	0	0	0	100%	4
PBLA	0	0	0	0	0%	0

La Tabla 15 es similar a la mencionada anteriormente como “Inspección de válvulas por bloque y material” sin tener en cuenta el material. De esta tabla se obtiene la criticidad de los bloques, relacionando el número de válvulas falladas con el número de válvulas en buen estado.

f) ELABORACIÓN DE PLANTILLA PARA EXPORTAR RESULTADOS DE INSPECCIONES AL SOFTWARE DE LA EMPRESA

Esta base de datos de extracción se elaboró con el objetivo de exportar toda la información posible al software MySIP, Avocet. Con esta plantilla se extrae el pozo, el mandril, Runtime, resultados de la inspección y el estado de cada una de las piezas de la válvula y la fecha en la que se inspeccionó.

Quedó el compromiso del grupo de Ingenieros del Centro Integral de Operación (CIO), elaborar un archivo con extensión .data para mapear esta plantilla al software MySip, Avocet. De esta forma se tiene la información del estado de las piezas de las válvulas en la base de datos del software para su posterior análisis y correlación con otras variables como material, arenas y/o tipo de válvulas.

En el momento no se ha configurado el software para la importación de la información, sin embargo la información se está almacenando por meses utilizando esta base de datos de extracción. En el ANEXO B se explica la forma de utilizarla.

Tabla 16. Base de Datos para la Extracción de la Información al software MySip, Avocet.

POZO	MANDRIL	Fecha de inspección	Fecha sacada de Válvula	Serial Válvula	Tamaño - Caudal Orificio	Material de la Válvula	Motivo de cambio	Latch	Aro	Filtro	Camisa de pesca	Body	Estado del orificio	Orificio Escrito	Orificio medido	Vastago	Estado del Vástago	Tipo de Retenedor	Estado del Retenedor	Estado porta reten
CSBE1332:BA	CSBE1332-11	11-ene-16	02-ene-16	118	0	N/A	Fuga Dummy	OK	OK	0	OK	X	X	0	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CBES0022D:CBA	CBES0022-5	11-ene-16	21-dic-15	634	245	174-PH	Recomendación de Ingeniería	OK	OK	0	OK	X	X	4,25	0	OK	X	Nuevo	0	OK
CSBE1302D:BA	CSBE1302-7	11-ene-16	16-dic-15	544	57	CT	Caudal por Encima del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1294D:CBA	CSBE1294-11	11-ene-16	01-ene-16	164	57	174-PH	Caudal por Encima del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	0	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CBES0022D:CBA	CBES0022-7	11-ene-16	29-oct-14	2043	88	CT	Caudal por Encima del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	3,00	1	OK	OK	Nuevo	1	OK
CBES0022D:CBA	CBES0022-10	11-ene-16	24-dic-15	2044	113	CT	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1246:CBA	CSBE1246-4	11-ene-16	28-dic-15	1101	113	CT	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	OK	OK	Nuevo	1	OK
CSBE1246:CBA	CSBE1246-9	11-ene-16	27-dic-15	1338	113	174-PH	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,75	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1294D:CBA	CSBE1294-13	11-ene-16	30-dic-15	113	189	CT	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	5,75	0	OK	X	Nuevo	0	OK
CBES0011D:BA	CBES0011-8	11-ene-16	25-dic-15	2009	340	174-PH	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	OK	X	Nuevo	0	OK
CSBE1246:CBA	CSBE1246-8	11-ene-16	27-dic-15	1276	113	174-PH	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1294D:CBA	CSBE1294-15	11-ene-16	01-ene-16	1252	151	174-PH	Caudal por Encima del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	0	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1246:CBA	CSBE1246-2	11-ene-16	27-dic-15	1091	132	CT	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	0	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CBES0022D:CBA	CBES0022-11	11-ene-16	24-dic-15	1214	132	CT	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,75	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1345D:BA	CSBE1345-3	14-ene-16	04-ene-16	2050	189	CT	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,25	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE0783:A2	CSBE0783-3	11-ene-16	02-ene-16	2051	88	CT	Caudal por Encima del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	1. LEVE	OK	Nuevo	1	OK
CSBE1345D:BA	CSBE1345-2	11-ene-16	03-ene-16	2048	88	CT	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,50	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE0825:B1	CSBE0825-3	11-ene-16	03-ene-16	2049	151	174-PH	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	0	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1345D:BA	CSBE1345-9	11-ene-16	04-ene-16	2047	88	CT	Caudal por Encima del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	4,25	0	OK	X	Nuevo	0	OK
CSBE1345D:BA	CSBE1345-1	11-ene-16	03-ene-16	2045	57	174-PH	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE1288D:BA	CSBE1288-10	11-ene-16	28-dic-15	2046	88	440C	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,00	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE0704:A	CSBE0704-4	14-ene-16	08-ene-16	223	409	174-PH	Caudal por Debajo del Diseño	OK	OK	0	OK	X	X	2,25	0	OK	OK	Nuevo	0	OK
CSBE0680:BA	CSBE0680-8	14-ene-16	08-ene-16	1415	409	174-PH	Recomendación de Ingeniería	OK	OK	0	OK	X	X	3,75	0	OK	X	Nuevo	0	OK
CSBE0695:BA	CSBE0695-7	14-ene-16	08-ene-16	1789	151	174-PH	Recomendación de Ingeniería	X	x	0	OK	X	X	0	0	OK	x	Nuevo	0	OK

g) ANÁLISIS DE RESULTADOS

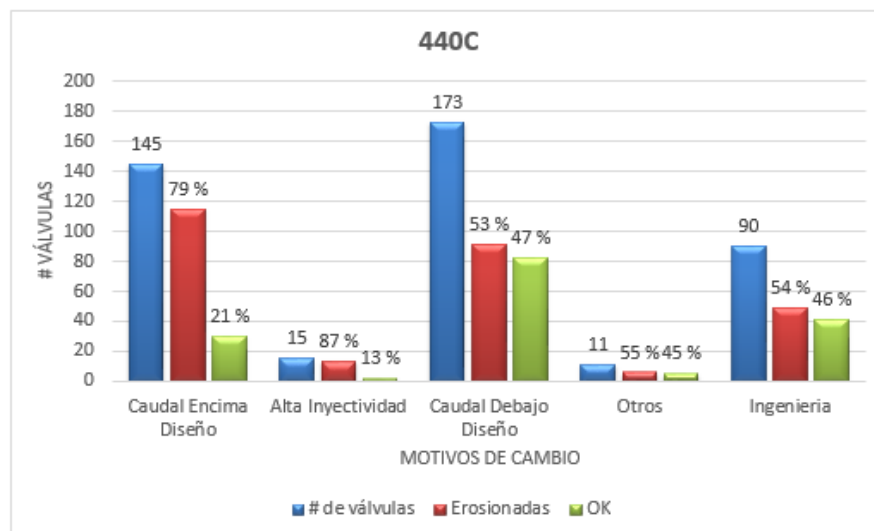
Una vez elaboradas las bases de datos para almacenamiento, análisis y extracción de información; se analizaron los resultados obtenidos para atacar las fallas identificadas y se establecieron objetivos donde se buscara la reducción de estas fallas.

A continuación se muestran los resultados del análisis estadístico de fallas de Válvulas Reguladoras de Flujo de los últimos años en el Campo Casabe, realizado a partir de las inspecciones de válvulas documentadas.

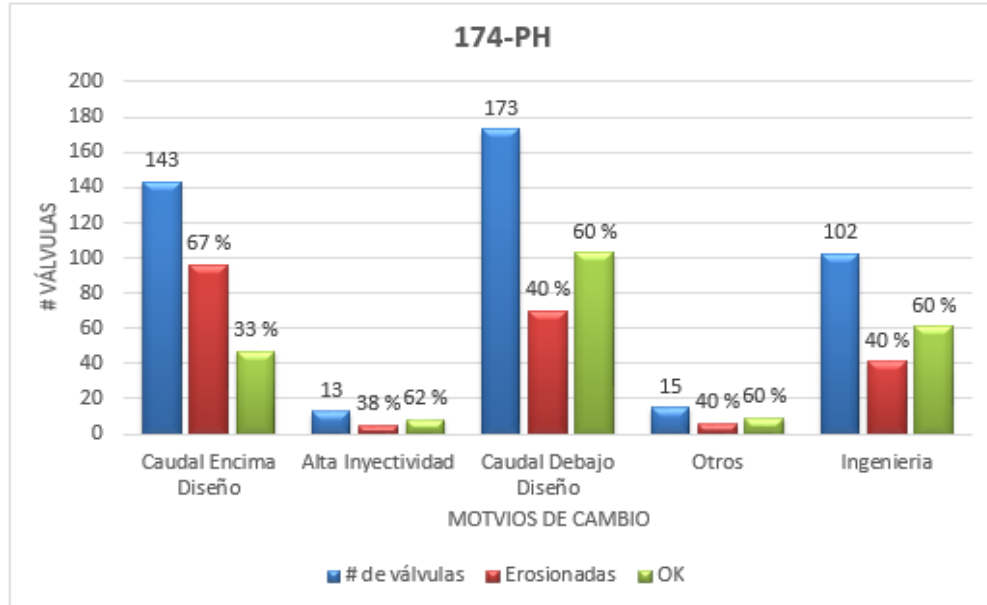
- **Resultados según el Motivo de Cambio para cada Material de Válvula**

En las Gráficas 1, 2 y 3 se muestran el número de válvulas inspeccionadas y el estado en las que salieron (Erosión / Buen estado) para cada uno de los diferentes motivos de cambio según el material (440C, 174-PH y CT).

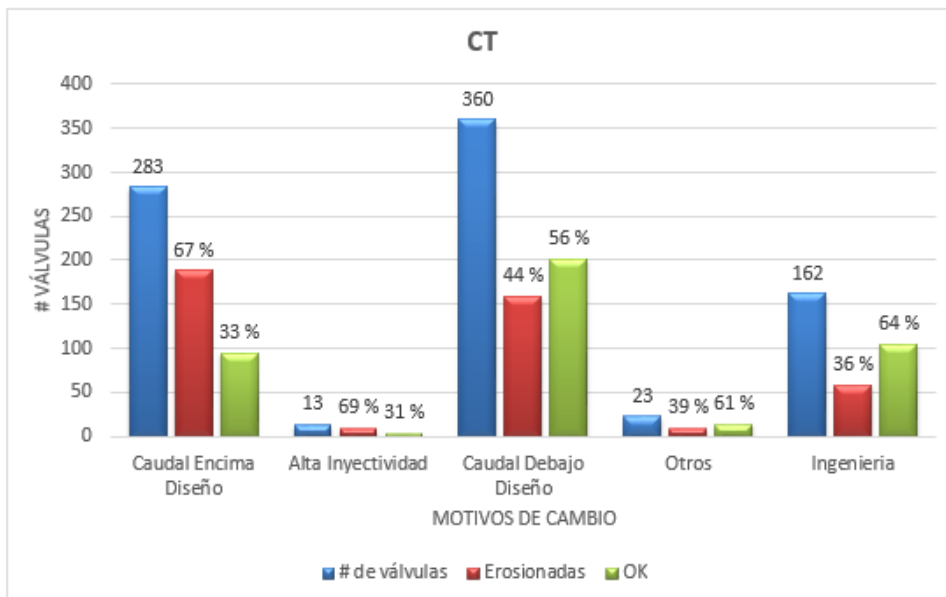
Gráfica 1. Resultado de Inspección de las Válvulas de material 440C Según el Motivo de Cambio, años 2014 - 2015



Gráfica 2. Resultado de Inspección de las Válvulas de material 174 - PH Según el Motivo de Cambio, años 2014 - 2015



Gráfica 3. Resultado de Inspección de las Válvulas de material Carburo de Tungsteno (CT) Según el Motivo de Cambio años, 2014 - 2015



Las válvulas erosionadas, son en mayor parte aquellas cuyo motivo de cambio es caudal por encima del diseño. Por el contrario, en la mayoría de los cambios realizados por bajo caudal, las válvulas se encuentran en buen estado.

Teniendo en cuenta los resultados presentados en las Gráficas 1, 2 y 3 se identificó que las válvulas 440C tienen menor resistencia a la erosión. Ya que tienen mayor porcentaje de válvulas falladas cuando el motivo de cambio es caudal por encima de diseño.

- **Resultados del Total de las Válvulas Inspeccionadas**

En la Gráfica 4 se encuentran los resultados de las inspecciones de válvulas desde el año 2014 (septiembre), momento en que ECOPEPETROL S.A. toma el taller de válvulas en su totalidad y comienza a documentar las inspecciones hasta el año 2015.

Para el 2014 se inspeccionan alrededor de 109 válvulas y para el 2015 1747 válvulas. En la mayoría de los meses, el porcentaje de válvulas falladas fue superior al porcentaje de válvulas en buen estado.

Los resultados de los meses de Abril y Mayo de 2015 son los que presentan mayores cambios de válvulas falladas y mayores cambios de válvulas en buen estado, respectivamente. Para identificar que tan acertados fueron los cambios realizados, se relacionaron las tablas generadas por el análisis estadístico, en este caso la tabla del total de válvulas inspeccionadas de cada mes.

Por un lado Abril presenta mayor número de válvulas falladas. En la siguiente tabla podemos observar los motivos de cambio y número de válvulas inspeccionadas en este mes.

Tabla 17. Total de Válvulas Inspeccionadas Abril de 2015

TOTAL DE VÁLVULAS INSPECCIONADAS - ABRIL 2015		
Material	# Válvulas	% Válvulas
CT	81	49%
440	43	26%
174-PH	34	20%
Motivo de cambio	# Válvulas	% Válvulas
Caudal por Encima de Diseño	84	51%
Alta Inyectividad	3	2%
Caudal por Debajo de diseño	52	31%
Otros	1	1%
Solicitud de Ingeniería	18	11%
Fuga dummy	8	5%
TOTAL	166	

La explicación al porcentaje de válvulas falladas está en que el motivo con mayor número de cambios es caudal por encima de diseño, igualmente se presenta un considerable número de Válvulas Dummy falladas. Las altas tasas de inyección es uno de las principales causas de la erosión en las válvulas.

Por otra parte, Mayo es el mes que presenta mayor número de inspecciones de válvulas en buen estado. En la Tabla 18 se presentan los resultados tabulados del análisis estadístico de este mes.

El mayor porcentaje de cambios fue realizado debido a caudal por debajo de diseño y solicitud de ingeniería, igualmente se observa solo un falló en las Válvulas Dummy. En consecuencia, el porcentaje de válvulas falladas es menor al porcentaje de válvulas en buen estado. En la mayoría de los casos, cuando el motivo es caudal

por debajo del diseño las partes de las válvulas salen en buen estado ya que las bajas tasas de inyección no generan erosión a las válvulas.

El gran número de cambios por solicitud de ingeniería, hacen referencia a un plan de despresurización de los bloques VII y VIII “Task Force”, intensificado en ese mes. Esto se justifica en la siguiente tabla obtenida del análisis estadístico donde se muestra el número de cambios realizados por bloque para este mes.

Tabla 18. Total de Válvulas Inspeccionadas, Mayo de 2015

TOTAL DE VÁLVULAS INSPECCIONADAS - MAYO 2015		
Material	# Válvulas	% Válvulas
CT	117	52%
440	47	21%
174-PH	58	26%
Motivo de cambio	# Válvulas	% Válvulas
Caudal por Encima de Diseño	53	24%
Alta Inyectividad	3	1%
Caudal por Debajo de diseño	84	38%
Otros	14	6%
Solicitud de Ingeniería	68	30%
Fuga dummy	1	0%
TOTAL	223	

En los resultados de la Tabla 19, se percibe que para el mes de Mayo los bloques VII y VIII fueron aquellos con mayor número de intervenciones (cambios de válvula); de 89 válvulas posibles a fallar (VOF, DMY, VRF W15, VRF P-15) fallaron únicamente 37 (41%.)

Gráfica 4. Análisis Estadístico Mensual de las Válvulas años 2014 – 2015

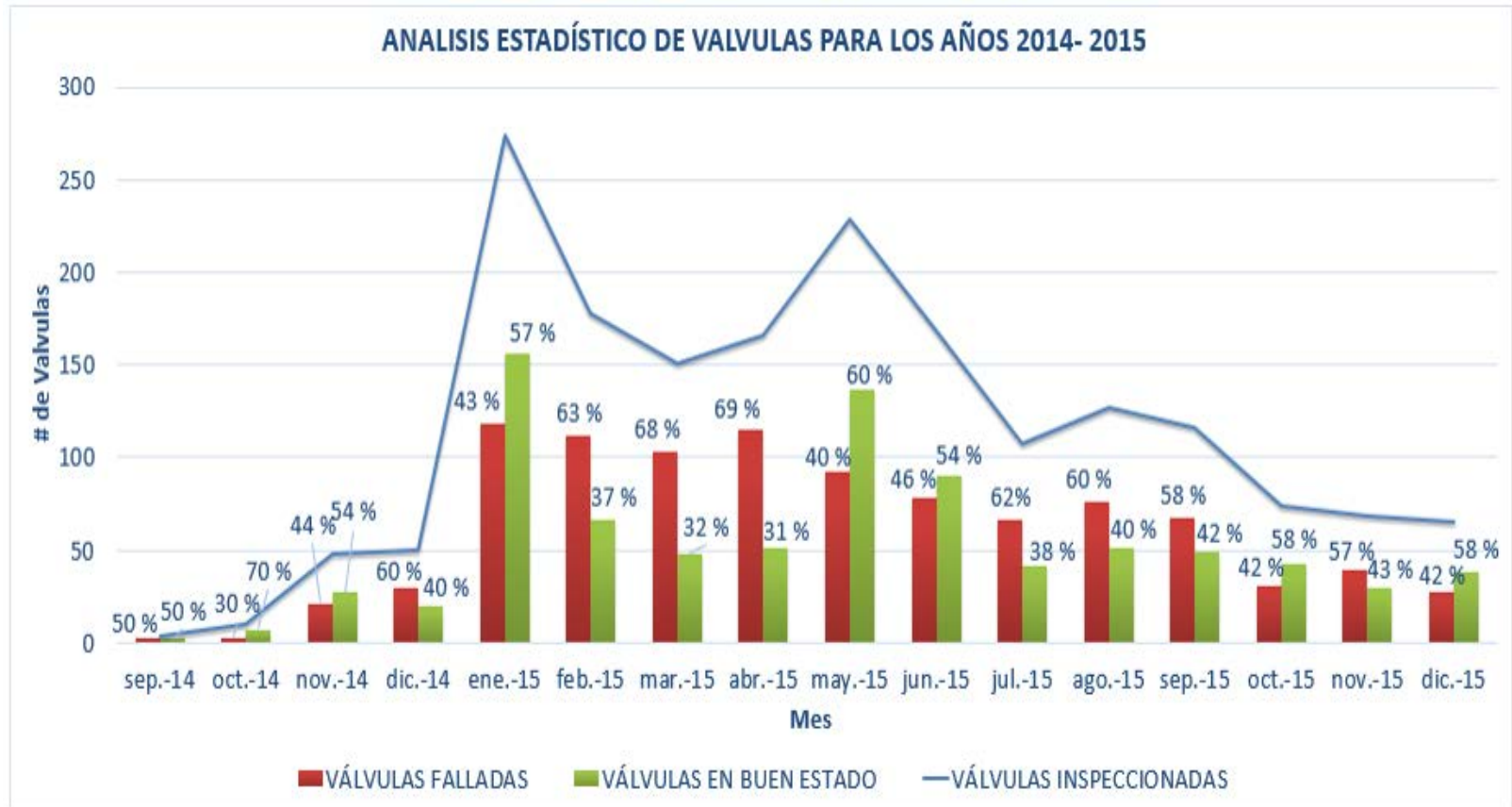


Tabla 19. Resultado de las Inspecciones por Bloques, Mayo de 2015

RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES POR BLOQUES PARA MAYO DE 2015						
Bloque	VALVULAS EROSIONADAS	VALVULAS EN BUEN ESTADO	VALVULAS CON FUGA DUMMY	VÁLVULAS DUMMY INSPECCIONADAS	% VÁLVULAS FALLADAS	VALVULAS POSIBLES A FALLAR
1	7	22	0	2	23%	31
2	6	6	0	0	50%	12
3	18	6	0	2	69%	26
4	2	3	1	1	50%	6
5	1	3	0	1	20%	5
6	14	10	0	0	58%	24
7	8	24	0	1	24%	33
8	29	27	0	0	52%	56
CBES	4	2	0	0	67%	6
PBLA	2	28	0	0	7%	30

- **Válvulas en Buen estado con Motivo de Cambio Caudal por Encima del Diseño**

En algunas ocasiones el resultado de la inspección no es razonable con el motivo de cambio, un ejemplo de esto son las válvulas con resultado de inspección: buen estado (OK), cuyo motivo de cambio es caudal por encima del diseño. En estos casos se origina una incertidumbre acerca del origen del sobre caudal. Dentro de las posibles causas están:

- Mala lectura del perfil de inyección (ILT o Trazador)
- Fallas en los V – Packing.
- Erosión del mandril
- Mal asentamiento en la instalación por parte del equipo de Slick Line.

Con el análisis estadístico se obtuvo que 62 intervenciones (3%) fueron realizadas a válvulas con un Runtime menor a 3 meses con motivo de cambio: Caudal por Encima del Diseño, y resultado de inspección: OK (Ver tabla 20).

Tabla 20. Válvulas en Buen Estado con Motivo de Cambio Sobrecaudal y Runtime menor a 3 meses años 2014 – 2015

Resultado Inspección	OK
Causa - Motivo	Caudal por Encima del Diseño

RUNLIFE	Cuenta de MANDRIL	PORCENTAJE [%]
< 3 MESES	62	3%
Total general	62	1856

- **Criticidad de los Bloques**

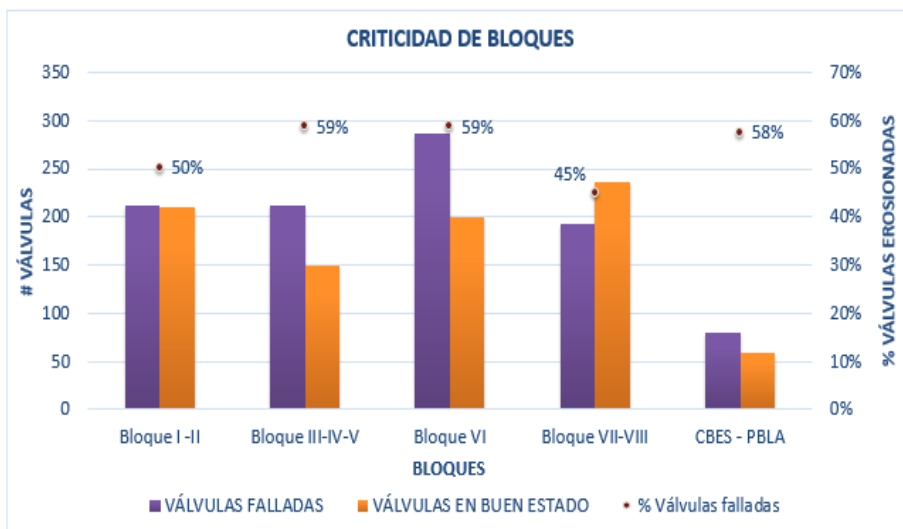
Para identificar el bloque más crítico se realizó una comparación entre el porcentaje de válvulas falladas e índices de falla. El número de válvulas falladas no es un dato de comparación ya que el número de mandriles disponibles es diferente para cada bloque.

Según la Gráfica 5, los bloques VII-VIII son los únicos en tener mayor porcentaje de válvulas en buen estado. Como se explicó anteriormente esto es debido a un plan de despresurización ejecutado en el año 2015 en estos bloques, plan que posteriormente se ejecutó en los bloques III-IV-V.

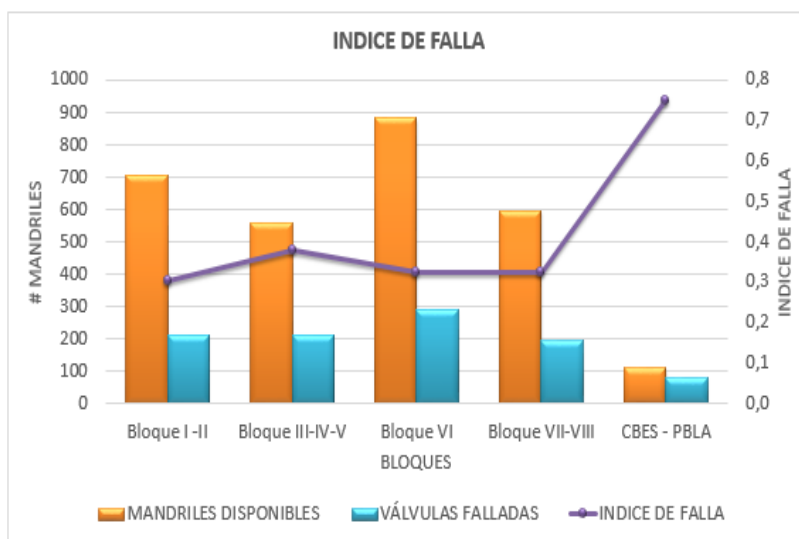
El porcentaje de válvulas falladas se asemeja mucho entre bloques, por lo que no se puede utilizar este parámetro como comparación. Para determinar el bloque más crítico es necesario analizar el índice de falla. este índice de falla se deduce cual es el conjunto de bloques más crítico; en la Tabla 11 se puede observar la criticidad de los bloques de forma individual, siendo Casabe Sur y el bloque IV los bloques más críticos del campo, teniendo en cuenta el porcentaje de válvulas falladas y el índice de falla.

La gráfica 6 muestra que los campos Casabe Sur y Peñas Blancas (CBES-PBLA) son los más críticos ya que tienen un índice de falla superior (0,7). El índice de falla de 0.7 indica que por cada 10 mandriles disponibles fallan 7 válvulas. La diferencia normalizada es inversamente proporcional al índice de falla.

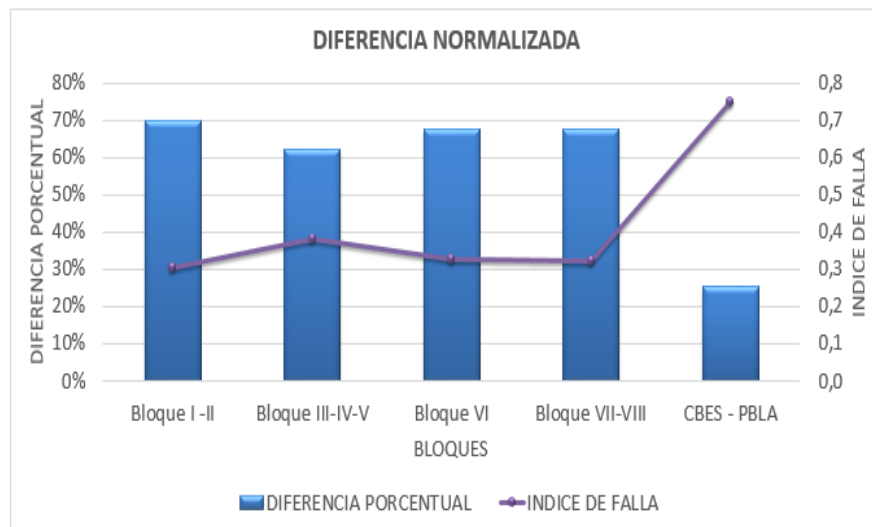
Gráfica 5. Criticidad de los Bloques



Gráfica 6. Índice de Falla en los Bloques de Trabajo del Campo Casabe



Gráfica 7. Diferencia Normalizada en los Bloques de Trabajo del Campo Casabe



- **Pozos y Arenas Críticas Según el Número de Intervenciones**

A través de la manipulación de las base de datos extraídas del software MySIP, Avocet “Histórico de cambios de válvulas”, se logró la cuantificación de intervenciones realizadas a cada pozo y cada mandril desde su ORC. Una vez lograda la cuantificación, se obtuvo un promedio de número de intervenciones anuales realizadas a cada uno de los mandriles (Ver Gráfica 9). Luego de obtener los resultados, el análisis se orientó a aquellos mandriles con número de intervenciones por año superior a tres (Ver Gráfica 8).

Finalmente, por medio de una de una escala de criticidad de intervenciones, se determinó que los mandriles con un promedio de intervenciones anuales mayor a cinco (5) debían ser estudiados para lograr reducir este valor.

De acuerdo con la Tabla 21, el mandril 8 del CSBE 0733, el mandril 6 del PBLA 0011, y los mandriles 5 y 6 de CSBE 1212 son considerados los más críticos por tener un promedio de intervenciones anual mayor a cinco (5).

Gráfica 8. Promedio de Intervenciones anuales a Mandriles - Superior a tres (3)

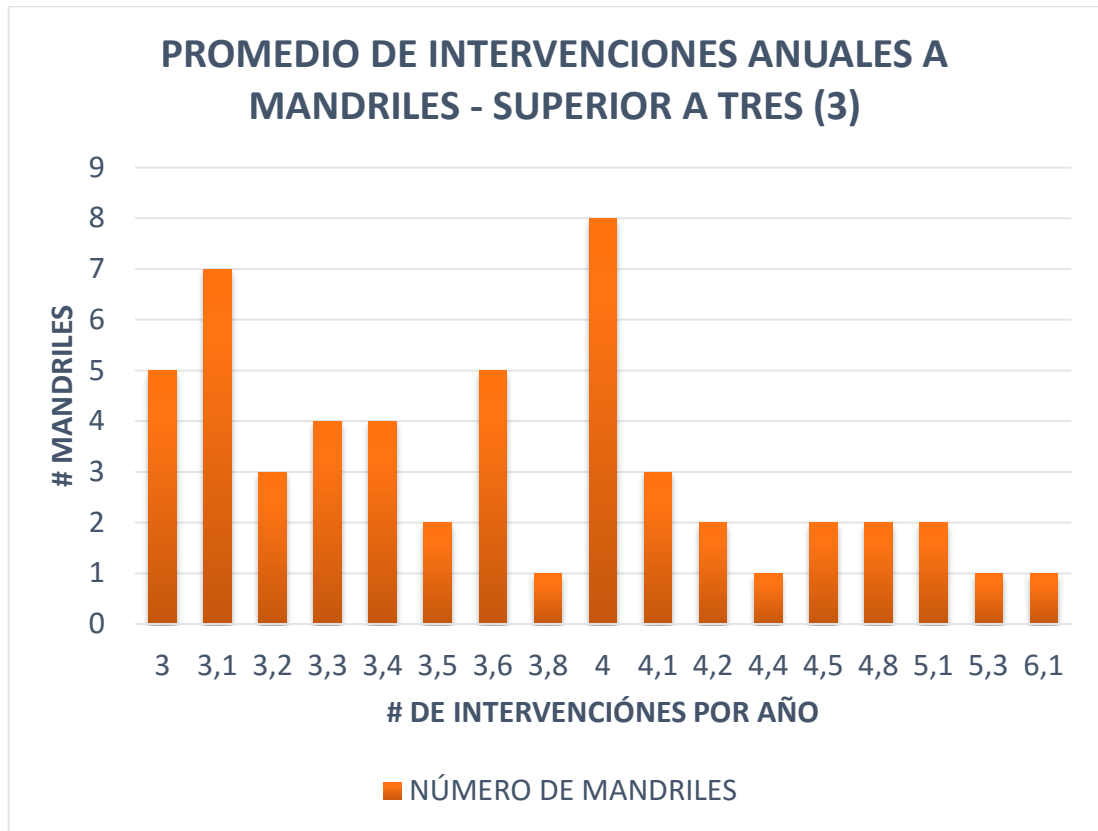
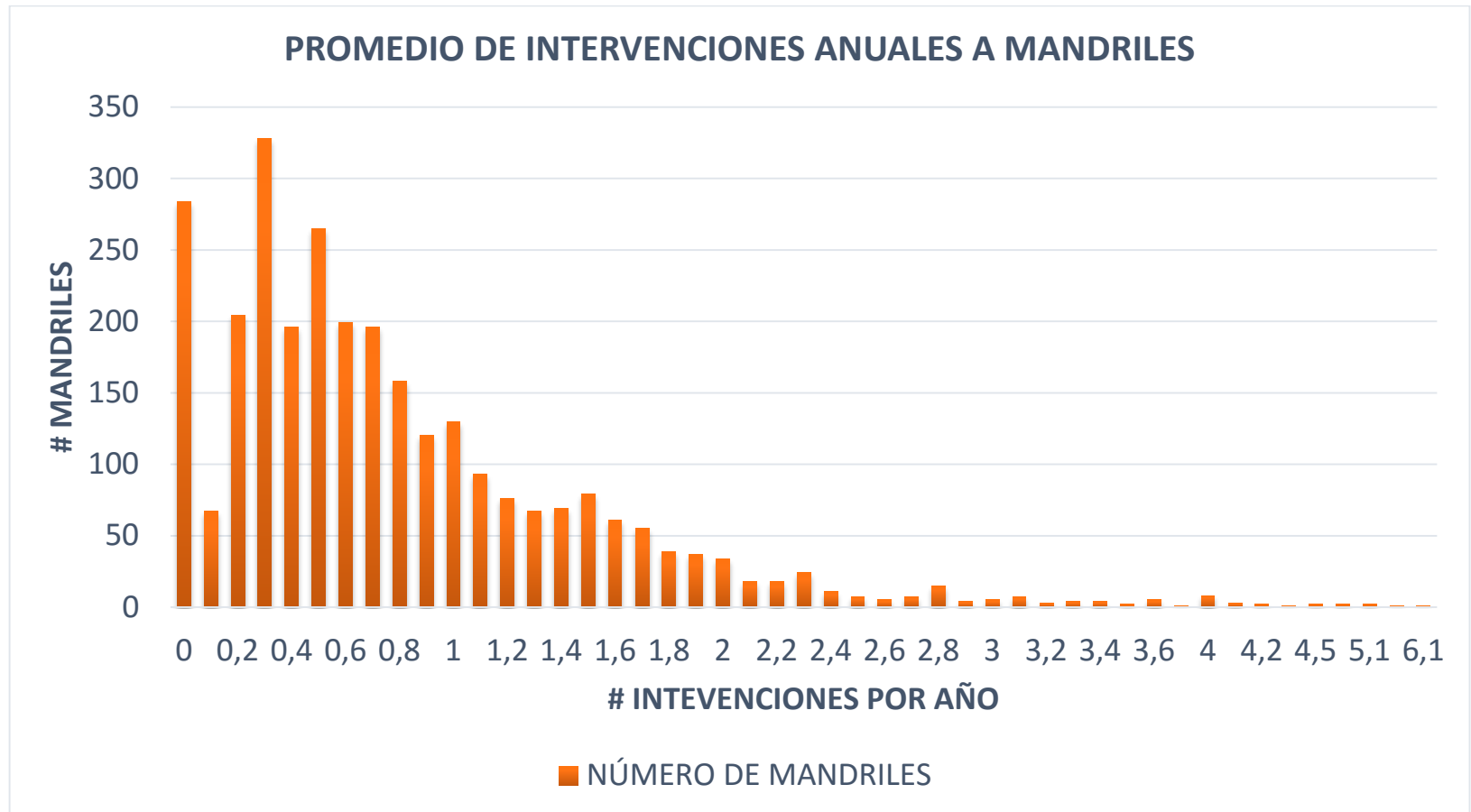


Tabla 21. Pozos y Mandriles Críticos Según el Promedio de Intervenciones Anuales.

POZOS Y MANDRILES CRITICOS SEGÚN EL NÚMERO DE INTERVENCIONES POR AÑO							
Pozos	MANDRILES	BLOQUE	ARENA	# INTERVENCIONES	FECHA ORC	Días hasta 31-Oct-15	NUMERO DE INTERVENCIONES POR AÑO
CSBE 0733	CSBE0733-8	3	A1c-A1d	9	14-may-14	535	6,1
PBLA 0011	PBLA0011-5	PBLA-B4	B1i	4	27-ene-15	277	5,3
CSBE 1212	CSBE1212-5	5	A2i	10	15-nov-13	715	5,1
CSBE 1212	CSBE1212-6	5	A2	10	15-nov-13	715	5,1
CSBE 0733	CSBE0733-10	3	A1a	7	14-may-14	535	4,8
PBLA 0015	PBLA0015-5	PBLA-B4	A3	4	01-ene-15	303	4,8
CSBE 1298	CSBE1298-11	6	A2	23	16-sep-10	1871	4,5
CSBE 1354	CSBE1354-5	7	A2-A2i	8	16-ene-14	653	4,5
CSBE 1325	CSBE1325-6	2	A2-A2i	15	04-jun-12	1244	4,4

Gráfica 9. Promedio de Intervenciones Anuales a Mandriles.



El proceso a seguir es la instalación de válvulas P-15 en estos mandriles con el fin de descartar las fallas por arenas erosivas en estos mandriles, de no ser correctiva esta decisión se utilizarán V-Packing Over-size para garantizar el adecuado asentamiento de la válvula, si el número de intervenciones no reduce se proseguirá a utilizar un dummy y en última medida un dummy hinchable para aislar la zona.

Igualmente, del análisis realizado a esta base de datos y relacionando las arenas donde se encuentran ubicados los mandriles, se identificaron las arenas críticas en cada uno de los bloques según el número de intervenciones (Ver Gráfica 10).

A través de esta gráfica se establece que las arenas más críticas según el número de intervenciones son: A2, A2i, A1b.

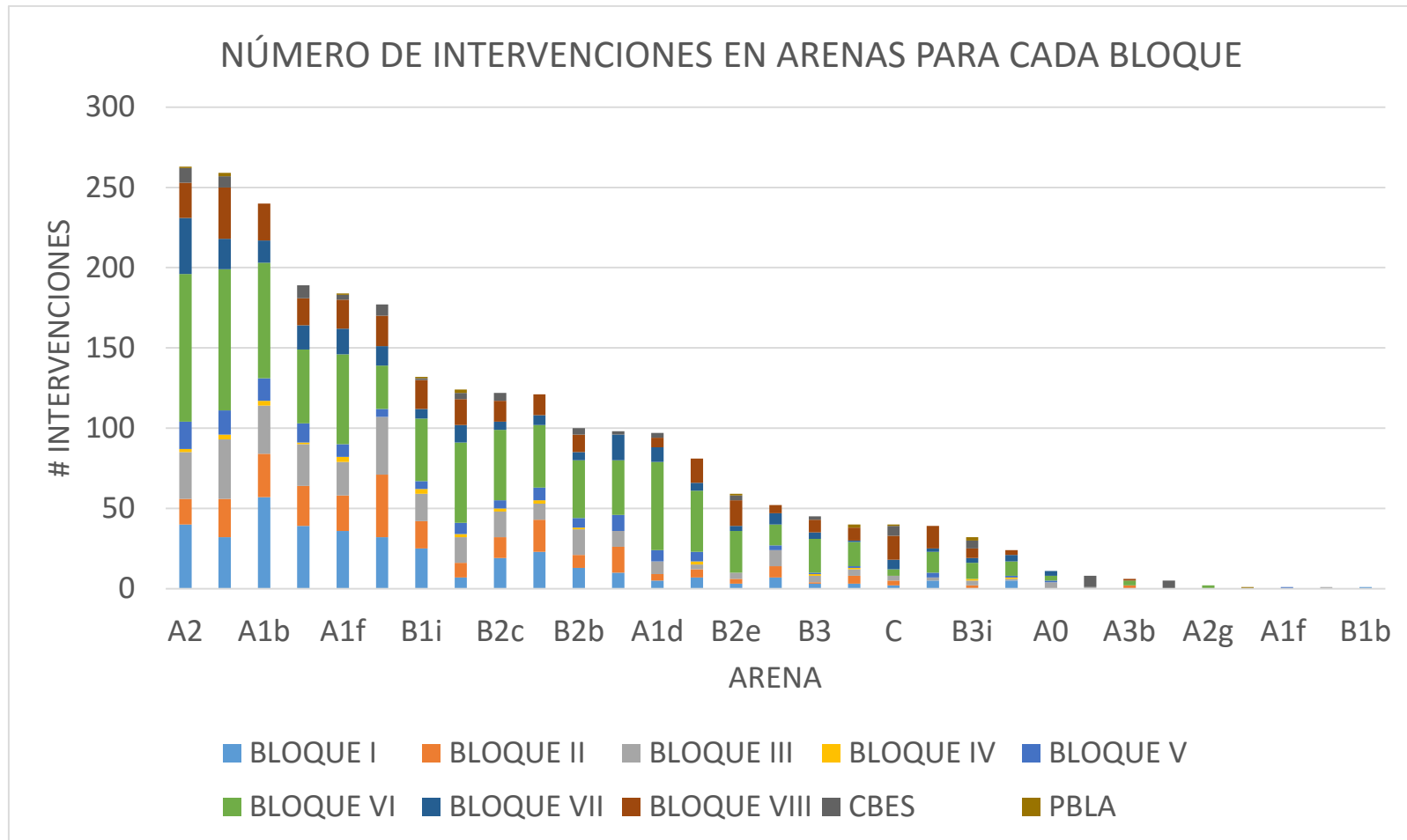
Tener en cuenta que el espesor observado por bloque, está relacionado con el número de mandriles disponibles presentes en cada arena. El espesor sirve para identificar las arenas críticas en cada bloque.

- **Arenas con Mayor Potencial Erosivo Para Cada Bloque**

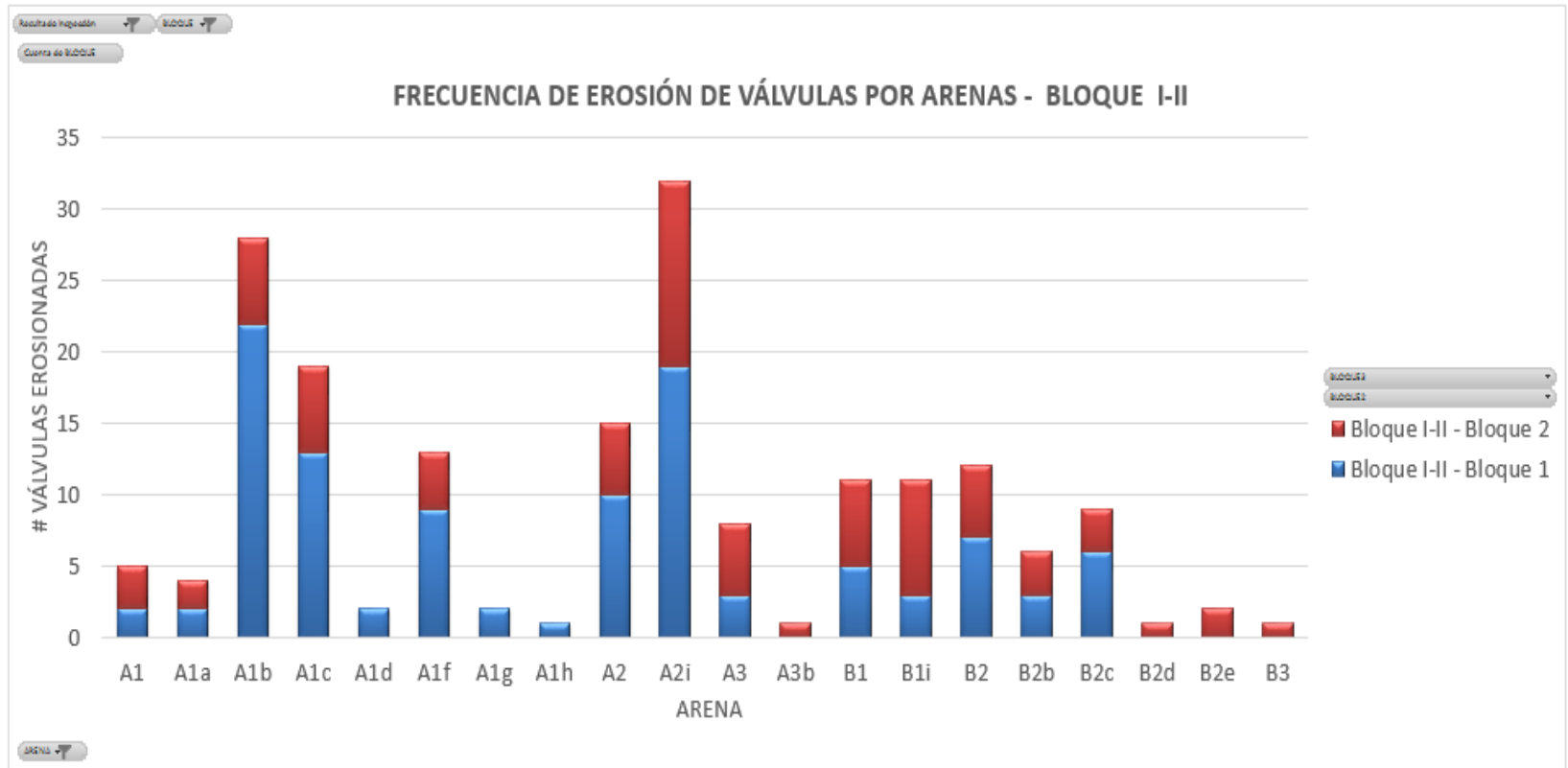
Otro de los resultados obtenidos por medio de la metodología es el conocimiento de las arenas erosivas presentes en los diferentes bloques del campo. A continuación, observa el número de válvulas erosionadas en las arenas presentes en cada grupo de bloques.

De las siguientes gráficas (11 a 15) se puede decir, que el mayor número de válvulas erosionadas proviene de las arenas: A2, A2i, y A1b. Estos resultados se correlacionan con los obtenidos en el análisis a la base de datos “Histórico de cambio de válvulas”.

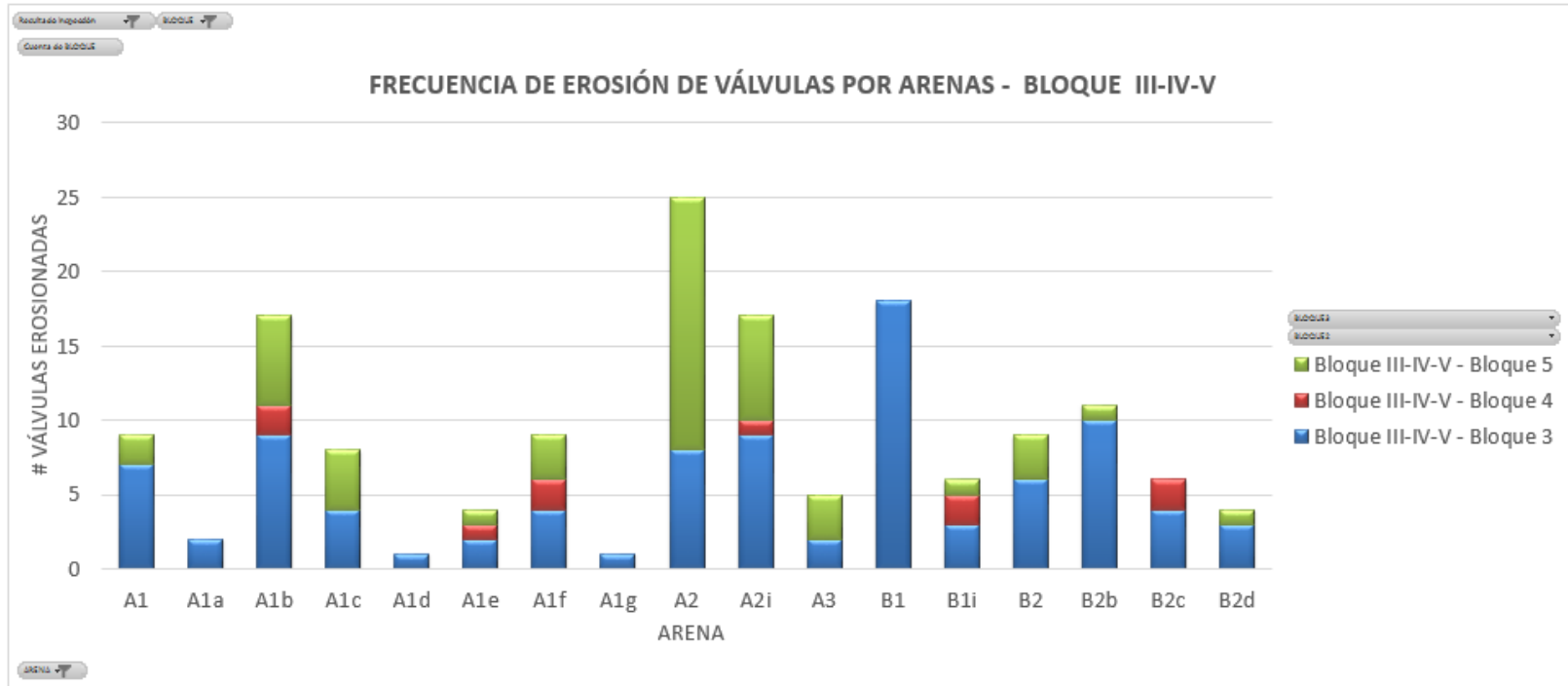
Gráfica 10. Número de Intervenciones en Arenas para cada Bloque



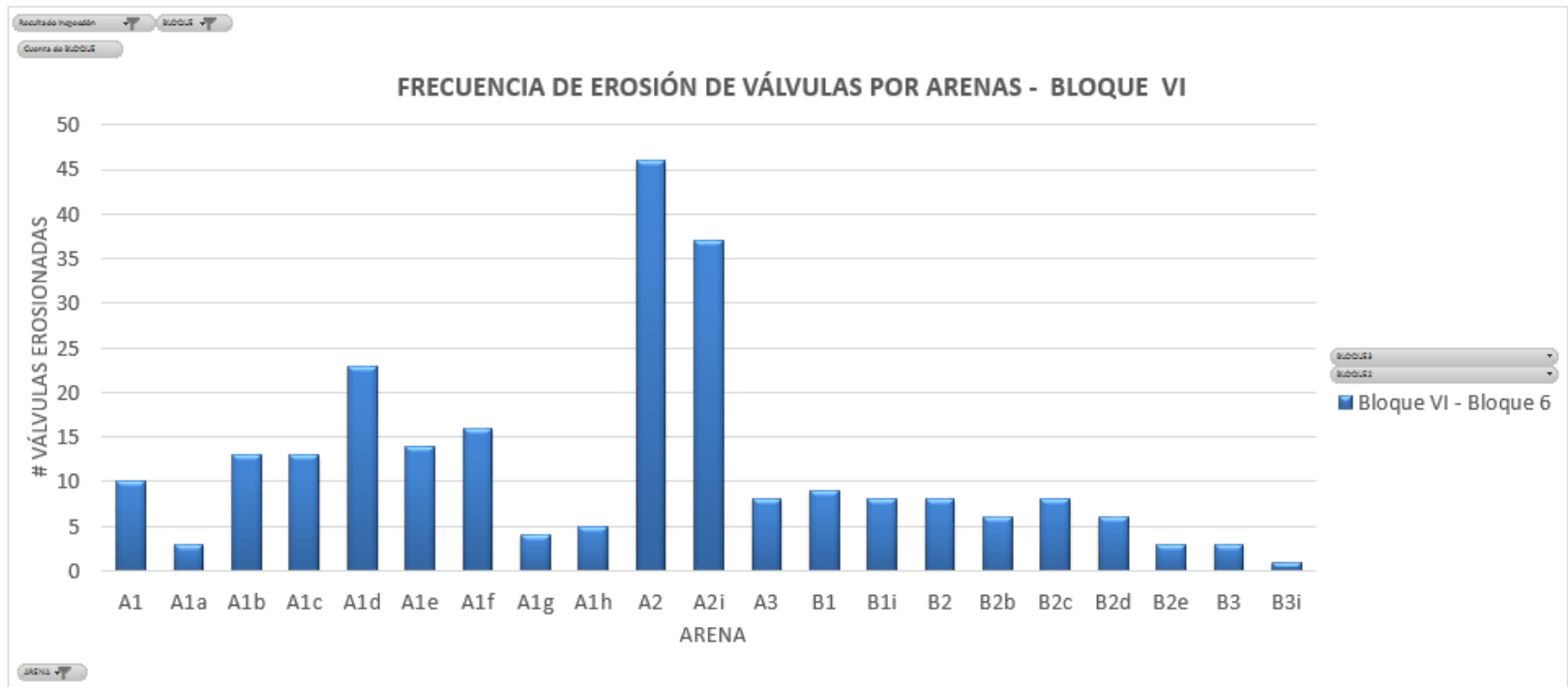
Gráfica 11. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques I – II



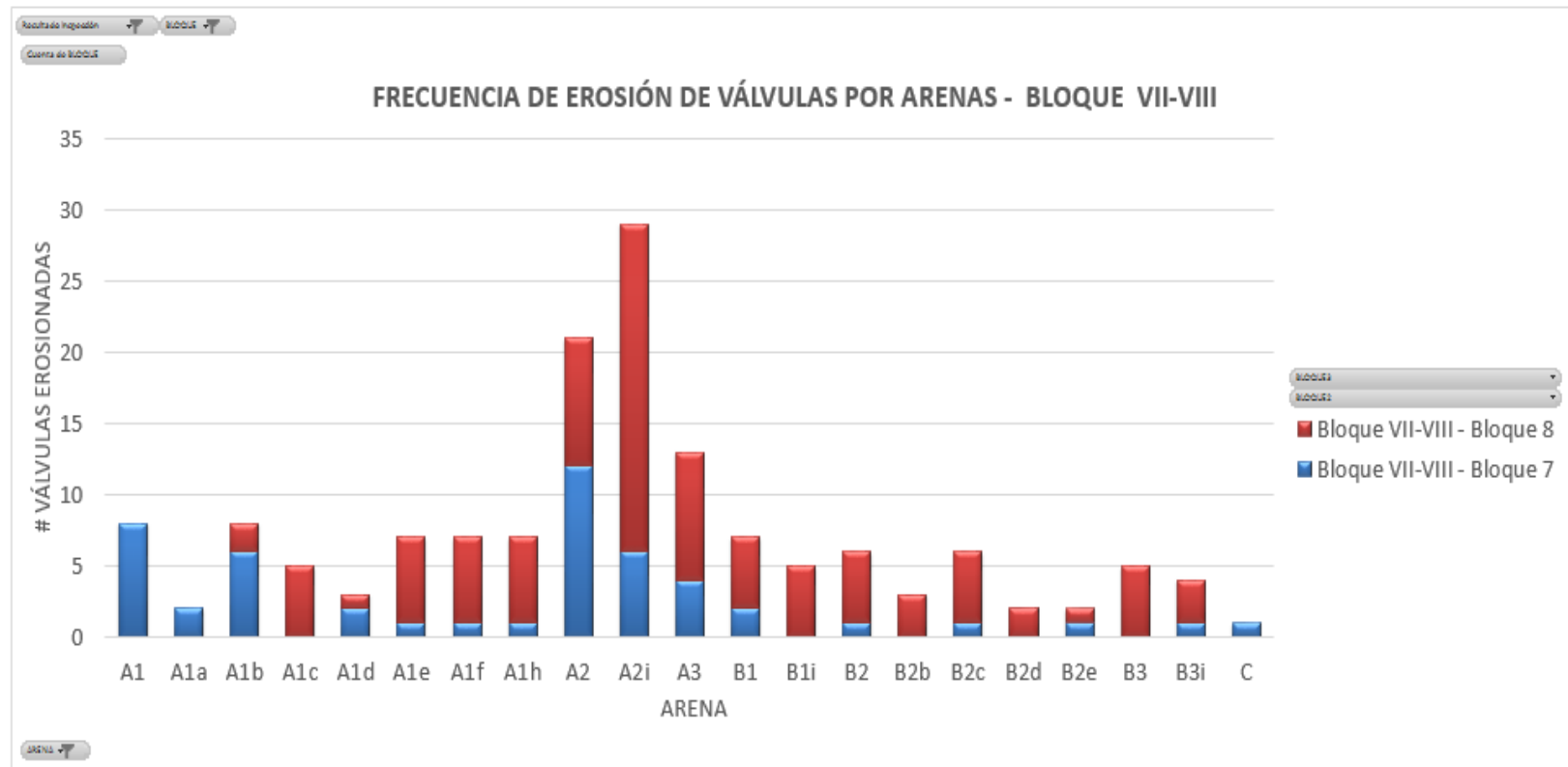
Gráfica 12. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques III – IV y V



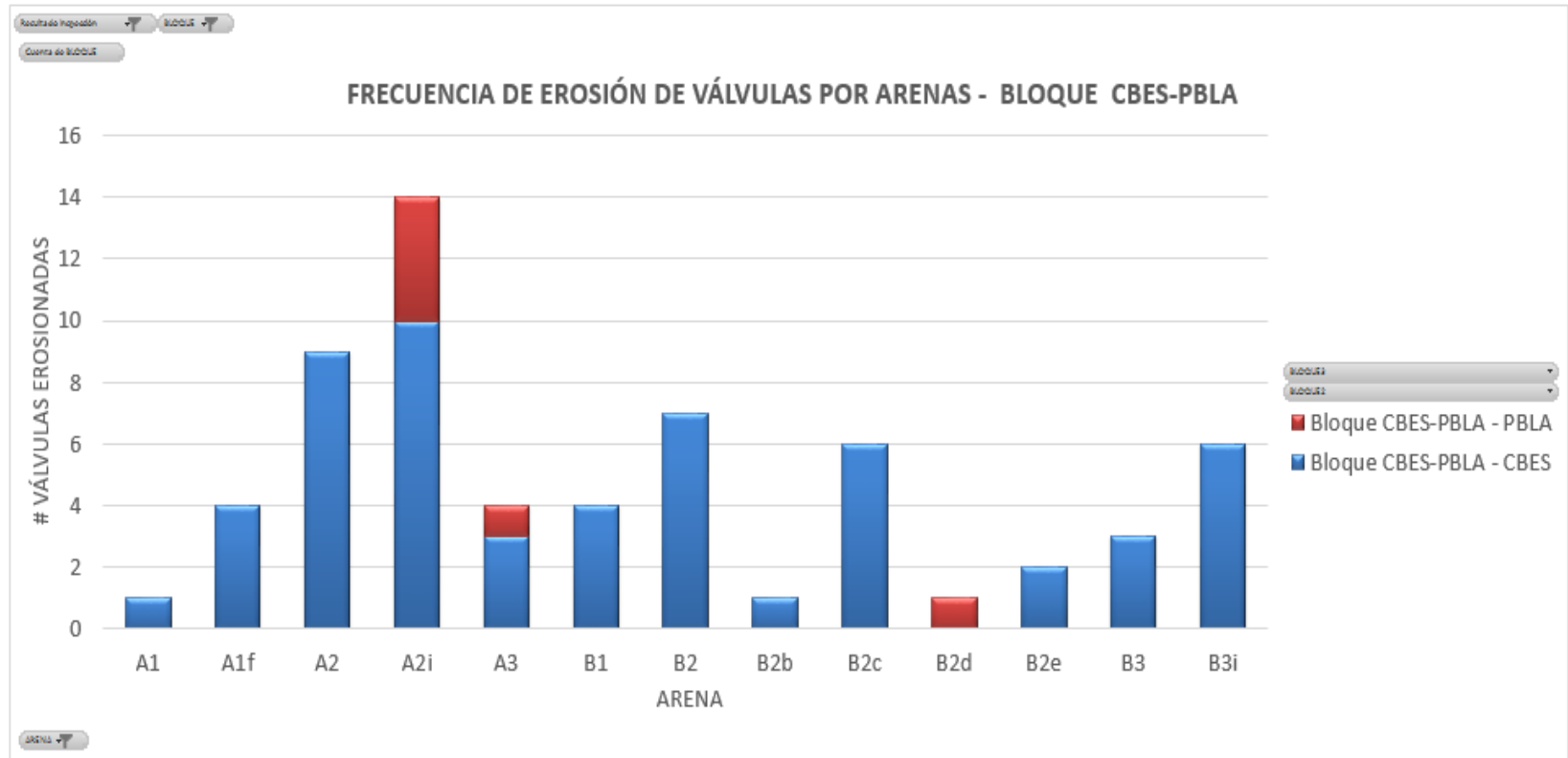
Gráfica 13. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques VI



Gráfica 14. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Bloques VII – VIII



Gráfica 15. Frecuencia de Erosión de Válvulas por Arena Campos CBES – PBLA



- **Análisis de Costos**

La metodología permite reconocer mandriles críticos. Para determinar estos, se tiene en cuenta el motivo de cambio de la válvula (sobre caudal), el resultado de inspección (erosión) y el tiempo de vida (Runtime < 3 meses).

Con la aplicación de la metodología y el análisis estadístico proporcionado, Ecopetrol – Schlumberger lograron concluir que Casabe Sur y Peñas Blancas eran los campos más críticos, asimismo se identificaron 73 mandriles críticos en el campo y proponen como objetivo para finales del año 2016 reducir en 10% la cantidad de estos mandriles, el equivalente a una reducción de 8 mandriles críticos.

Los costos de cambios de válvulas (repuestos) para el año 2015 fueron de \$1.800 millones de pesos para un total de **2.197 válvulas reparadas** (Aprox. \$820.000 reparación por válvula). Con la implementación de la metodología Ecopetrol - Schlumberger esperan obtener beneficios económicos de diferentes formas.

Para el año 2015 se realizaron 105 cambios de válvulas críticas el equivalente al 6% de las válvulas inspeccionadas en este año (Ver Tabla 22 y 23). El objetivo de Ecopetrol – Schlumberger para el 2016 es reducir en un 2% el número de intervenciones a válvulas críticas (70), utilizando válvulas VRF P-15 con aleación de tungsteno.

Con esto, se proyecta para el 2016 obtener una reducción aproximada del 1,6% en el número de reparaciones de válvulas, el equivalente a **28,7 millones de pesos anuales**.

Por otra parte, el equipo de Slick Line realiza en promedio cuatro (4) cambios por día, a un costo de \$1.500 USD. La reducción esperada del 1,6% en el número de reparaciones de válvulas, representa 35 cambios de válvulas lo equivalente a 9 días

de intervenciones a pozo de Slick Line, generando un ahorro de **\$13.500 USD** (Ver Tabla 24).

Tabla 22. Válvulas Erosionadas con Motivo de Cambio Sobrecaudal según el Runtime año 2015

Resultado Inspección	EROSIÓN
Causa - Motivo	Caudal por Encima del Diseño

RUNLIFE	Cuenta de MANDRIL
< 3 MESES	105
3 - 6 MESES	89
> 3 MESES	186
Total general	380

Tabla 23. Válvulas Críticas Inspeccionadas año 2015

CONDICIÓN	# VÁLVULAS	PORCENTAJE [%]
Motivo de cambio: Caudal por encima del diseño; Resultado de inspección: Erosión; Runtime: < 3 meses	105	6%
TOTAL VÁLVULAS INSPECCIONADAS	1747	

El ahorro total esperado por la implementación de la metodología de análisis sistemático de fallas de válvulas reguladoras de flujo para el año 2016 es como mínimo de **\$ 69'200.000 pesos** (Ver Tabla 25).

Adicional a esto la metodología va a aportar estabilidad al sistema de inyección y por consiguiente a la producción del Campo Casabe.

Tabla 24. Resultados obtenidos para el año 2015.

RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL AÑO 2015					
MANDRILES CRÍTICOS	VÁLVULAS CRÍTICAS		VÁLVULAS REPARADAS	COSTOS REPUESTOS	COSTO SLICK LINE POR DÍA (4 Intervenciones)
73	105	6%	2.197	\$ 1.800 millones	\$ 1.500 USD

Tabla 25. Proyección para el 2016 con base en los resultados del año 2015.

RESULTADOS ESPERADOS PARA EL AÑO 2016								
	MANDRILES CRÍTICOS	VÁLVULAS CRÍTICAS		VÁLVULAS REPARADAS	COSTOS REPUESTOS	AHORRO ESTIMADO POR REPARACIONES	AHORRO ESTIMADO POR SLICK LINE	AHORRO ESTIMADO TOTAL
Objetivos	65	70	4%	2.161	\$ 1.771,2 millones	\$28,7 Millones	\$13.500 USD	\$69,2 Millones
	Reducción del 10%	Reducción del 2%		Reducción aprox. del 1,6%	Reducción aprox. del 1,6%			

h) MODIFICACIÓN DEL FLUJO DE TRABAJO PARA GARANTIZAR LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

Finalmente para garantizar la implementación de la metodología fue necesario modificar el flujo de trabajo y asegurar los procesos. El flujo de trabajo utilizado anteriormente no tenía en cuenta el proceso de análisis sistemático de fallas.

Una vez obtenidos los resultados y finalizado el proceso para la obtención del análisis estadístico, fue necesario evaluar el flujo de trabajo utilizado en el proceso de cambio de válvulas (Ver Figura 16 y 17, pág. 58). Dentro de las principales necesidades observadas estaba:

- Cambiar procesos en la interacción de los grupos, delegando nuevas funciones, para garantizar la documentación total de la información

- Inclusión de un grupo de trabajo, encargado de realizar la estadística de fallas y garantizar la confiabilidad de la información
- Divulgar los resultados estadísticos con el departamento de ingeniería.

Durante la elaboración de la base de datos, se observó que había información que no podía ser diligenciada ya que no estaba incluida en el flujo de trabajo, ni en los procesos de cambio de válvulas, esta información era:

- Motivo de cambio
- Fecha de bajada de la válvula
- Fecha de sacada de la válvula
- Runtime

Para lograr que esta información fuera registrada fue necesario asegurar el proceso y modificar el flujo de trabajo. Se solicitó a los ingenieros del grupo de inyección encargados de hacer las solicitudes de cambio de VRF y así mismo encargados de realizar el programa de Slick Line, agregar la fecha de bajada de la válvula a retirar y el motivo de su cambio en el programa (Ver Figura 21).

En la actualidad el programa de Slick Line contiene:

- Pozo
- Serial de la válvulas
- Numero mandril
- Profundidad del mandril
- Orificio utilizado con su respectivo caudal proporcionado o barrilaje
- Fecha de bajada de la VRF
- Motivo del cambio

Figura 21. Programa de Slick Line Modificado

Gerencia Regional Magdalena Medio - Superintendencia de Operaciones del Rio		WP No	031
Reporte Well Planning - Ecopetrol S.A.			
Campo:	CAS	CAMBIAR VÁLVULAS: VRF S/N: con orificio de 2.50 mm -- 113 Bbbls/d en WMI # 7 @ 3385 (Motivo: Caudal por Debajo del Diseño, Fecha de Bajada: 1-Apr-15) VRF S/N: con orificio de 2.00 mm -- 57 Bbbls/d en WMI # 10 @ 2909 (Motivo: Caudal por Debajo del Diseño, Fecha de Bajada: 1-Apr-15) VRF S/N: con orificio de 2.00 mm -- 57 Bbbls/d en WMI # 11 @ 2719 (Motivo: Caudal por Debajo del Diseño, Fecha de Bajada: 1-Apr-15) VRF S/N: con orificio de 2.00 mm -- 57 Bbbls/d en WMI # 12 @ 2551 (Motivo: Caudal por Debajo del Diseño, Fecha de Bajada: 1-Apr-15)	
Pozo:	CAS		
Contratista:	ECO		
Equipo:	SUC		
Autorizador:	ADR		
EJECUCION DE COD		Operacion	
No	Code	DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO	
1		DEL EQUIPO DE SLICKLINE	
2		QUE DE IMPRESIÓN DE 2.25" Y VERIFICAR	
3		NOTA: Tensionar maximo hasta 1300 lbs, de no ser posible realizar la recuperacion con la tension especificada, cambiar equipo de slickline a braided line y proceder con el cambio hasta maximo 3600 lbs. SI NO ES POSIBLE REALIZAR EL CAMBIO CON SLICK LINE / BRAIDED LINE . REPORTAR PARA DETERMINAR PLAN DE ACCION.	
		VRF S/N: con orificio de 2.00 mm -- 57 Bbbls/d en WMI # 7 @ 3385 (Motivo: Caudal por Debajo del Diseño, Fecha de Bajada: 1-Apr-15) VRF S/N: con orificio de 2.00 mm -- 57 Bbbls/d en WMI # 10 @ 2909 (Motivo: Caudal por Debajo del Diseño, Fecha de Bajada: 1-Apr-15) VRF S/N: con orificio de 2.00 mm -- 57 Bbbls/d en WMI # 11 @ 2719 (Motivo: Caudal por Debajo del Diseño, Fecha de Bajada: 1-Apr-15)	

Adicionalmente se implementó una etiqueta para entregar las válvulas al taller, está etiqueta se adjunta y diligencia por el personal de Slick Line al momento de retirar la válvula del pozo, antes de llevarla al taller (Ver Figura 22).

De esta forma, al momento de agregar los resultados de la inspecciones en la base de datos de almacenamiento elaborada, se digita la información presente en la etiqueta de entrega de la válvula. Así, se logró llevar un control del Runtime, la fecha de bajada, la fecha de sacada y el motivo de cambio, para cada una de las válvulas inspeccionadas.

Por otra parte, se identificó la necesidad de encargar al grupo de confiabilidad la estadística de fallas, encargándose de llevar la estadística actualizada, analizar los resultados obtenidos y garantizar la confiabilidad de la información (Ver Figura 23). Para esto, se capacitó a los ingenieros, explicando el funcionamiento de la base de

datos estadística, el significado de las variables, los posibles resultados y análisis que se obtienen.

Figura 22. Etiqueta de Entrega de Válvulas al Taller de Válvulas

TALLER DE VÁLVULAS ECOPETROL - CASABE					
POZO	467	MANDRIL	06	SERIAL VÁLVULA	975
MOTIVO DE CAMBIO	SOBRE CAUDAL				
FECHA BAJADA	30/12/2014	FECHA SACADA	08/05/2016		
EMPRESA - OPERADOR	WEATHERFORD				

TALLER DE VÁLVULAS ECOPETROL - CASABE					
POZO	467	MANDRIL	04	SERIAL VÁLVULA	1399
MOTIVO DE CAMBIO	ACTA INYECTIVIDAD				
FECHA BAJADA	08/03/2015	FECHA SACADA	08/05/2016		
EMPRESA - OPERADOR	WEATHERFORD				

TALLER DE VÁLVULAS ECOPETROL - CASABE					
POZO	891	MANDRIL	03	SERIAL VÁLVULA	1979
MOTIVO DE CAMBIO	CAUDAL X DEDAJO DISEÑO				
FECHA BAJADA	27/12/2015	FECHA SACADA	11/05/2016		
EMPRESA - OPERADOR	WEATHERFORD				

Igualmente y como se explicó con anterioridad, se agregaron ciertas funciones a los diferentes grupos para garantizar el flujo de información; en negrilla se observa las nuevas funciones designadas en la Figura 23.

Los resultados obtenidos por la metodología implementada son compartidos con el departamento de producción, específicamente el ingeniero de bloque encargado de la inyección de agua, y con el departamento de ingeniería; estos dos grupos son los encargados de realizar los cambios de válvulas (Ver Figura 24).

Figura 23. Nueva Interacción de los Grupos en el Proceso de Cambios de las Válvulas



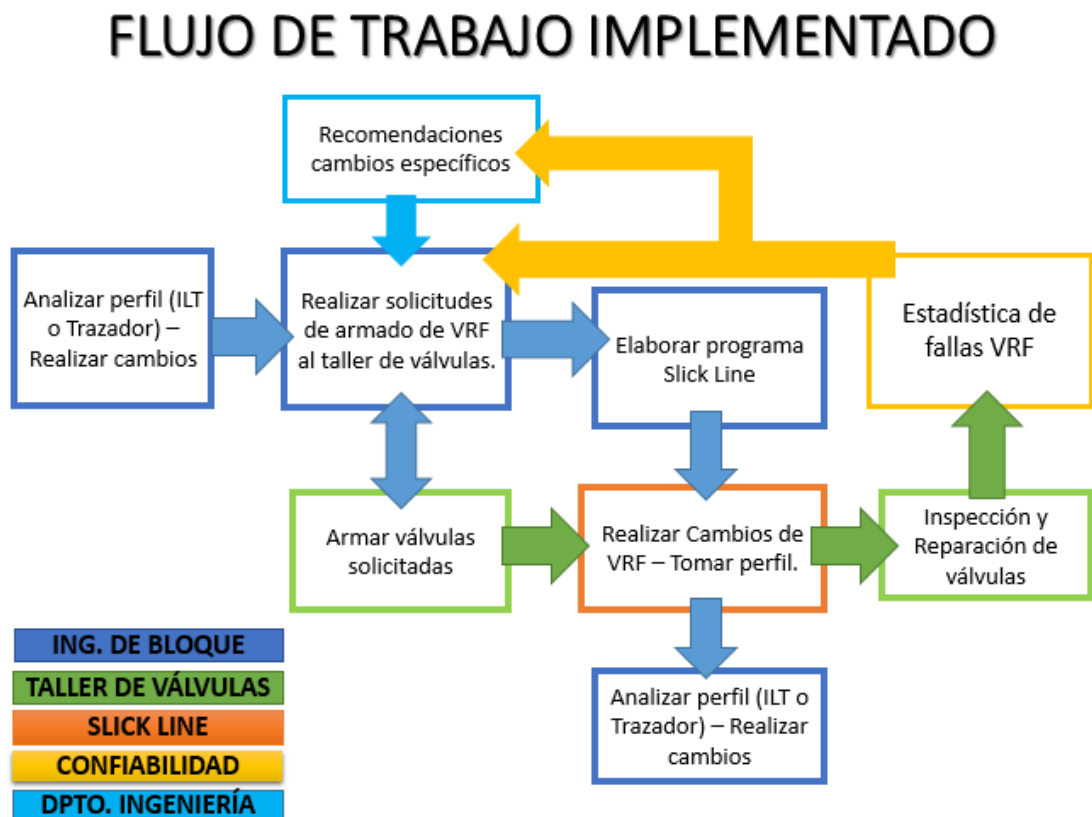
A continuación se muestra el nuevo flujo de trabajo utilizado en el Campo Casabe en el proceso de cambio de válvulas, el cual permite el correcto funcionamiento de la metodología.

En la actualidad las inspecciones de válvulas no son aisladas al flujo de trabajo y al proceso de cambio de válvulas. Una vez documentadas las inspecciones en la base de datos, el grupo de confiabilidad se encarga de comprobar la veracidad de la

información y garantizar el análisis estadístico al ingeniero de bloque y al departamento de ingeniería, los cuales interactúan, determinan los cambios a realizar y solicitan el armado de válvulas al taller VRF.

El grupo de inyección desaparece debido a un cambio de estrategia en el Campo Casabe, los ingenieros dejan de conformar los grupos según un área de trabajo (producción, estaciones, inyección) y pasan a conformar grupos por bloques, esto con el fin de tener un mejor gerenciamiento en los patrones de inyección de cada bloque.

Figura 24. Nuevo Flujo de Trabajo en el Proceso de Cambio de Válvulas



5. CONCLUSIONES

- El cumplimiento de la metodología propuesta, garantiza un análisis estadístico integral y sistemático el cual nos permite identificar las fallas de válvulas reguladores de flujo generando que se tomen acciones preventivas con el propósito de evitar que los pozos de petróleo incrementen el BSW a 100 % y también se evitan influjos que producen contaminaciones.
- Las válvulas de material 440C tienen menor resistencia a la erosión.
- Las arenas críticas con mayor potencial de producir erosión en el campo Casabe son: A2, A2i, A1d. Por lo tanto son las arenas que generan el mayor número de intervenciones o cambios de válvulas.
- Los pozos CSBE 0733, PBLA 0011, CSBE 1212 son considerados los más críticos por el momento en el campo, específicamente los mandriles CSBE 0733 – 8, PBLA 0011 – 5, CSBE 1212 – 5, CSBE 1212 – 6, los cuales tienen un promedio de intervenciones anuales mayor de 5.
- Los Campos Casabe Sur y Peñas Blancas presentan el mayor número de válvulas falladas por mandril, cabe destacar que incluye todos los motivos de cambio. Por cada diez (10) mandriles disponibles, siete (7) válvulas salen falladas. (Índice de falla = 0,7).
- Con la implementación de la metodología se generan acciones como implementación de nuevas tecnologías con el objetivo de disminuir los cambios de VRF en zonas críticas.

6. RECOMENDACIONES

- Utilizar válvulas VRF P-15 o VRF W15 con aleación de carburo de tungsteno en los mandriles ubicados en las arenas críticas identificadas (A2, A2i, A1d).
- No utilizar válvulas de material 440C en mandriles o arenas críticas.
- Supervisar el taller de válvulas periódicamente para asegurar el correcto diligenciamiento de la base de datos de almacenamiento y así poder continuar realizando el análisis estadístico de la información.
- Encontrar una mejora a las válvulas cheque instaladas en los mandriles de las sargas de inyección selectiva, con el objetivo de reducir el número de válvulas erosionadas a causa de los Backflow generados.
- Documentar fotográficamente las inspecciones de válvulas y tomar muestra de arenas cuando la válvula este gravemente erosionada.
- Implementar el banco de pruebas @ 100% para reducir la incertidumbre de subsuelo y reducir el porcentaje de válvulas cuyo motivo es sobre caudal y se encuentran en buen estado. Asimismo el banco de pruebas permite evaluar zonas de bajo caudal.
- Mapear los bloques con sus respectivas arenas y capas con el número de mandriles críticos por medio del motivo de cambio (sobre caudal) y los resultados de las inspecciones (erosión) para reducir el número de intervenciones a pozos y poder socializar a los diferentes grupos de trabajo (ingeniería, yacimientos y WO) las zonas del campo críticas en sedimentos para realizar un mejor monitoreo en su comportamiento.

- Incluir en el Well Planning de Slick Line, específicamente en el programa de Slick Line la fecha de bajada y el motivo del cambio, para garantizar el continuo flujo de trabajo de la información.

BIBLIOGRAFÍA

AMAYA, Mauro, et, al. Casabe. Revitalización de un campo maduro. En: Oilfield Review. Primavera de 2010. Vol. 22, no. 1. Brochure, Casabe. ECOPETROL S.A. 1999.

CASTRO, Rubén y GORDILLO, Gustavo. Historia y Criterios Empíricos en la Aplicación de Inyección de Agua en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Universidad de América.

ECONOMIDES, M; HILL, D; ECONOMIDADES, C. "Petroleum Production Systems". Primera Edición. Prentice Hall Petroleum Engineering Series, 1994.

ECOPETROL-SCHLUMBERGER, Presentaciones 2008-2009, Alianza Casabe.

ECOPETROL, Base de Datos OFM, 2015

GOMEZ, Mónica y PINILLA, Jhon. Metodología para Establecer los Procesos de Recopilación, Interpretación y Análisis de STEP RATE TEST (SRT) en el Campo Casabe. Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander 2015.

L. V. GERFVERT, R. C. CHAMBERLAIN, C. E. WAKEFIELD. Multiple Packers for Selective Injection.

MANRIQUE, Jose. Manual Operativo de Mantenimiento de Válvulas Reguladoras de Flujo. SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES LA CIRA INFANTAS GERENCIA REGIONAL DEL MAGDALENA MEDIO, ECOPETROL S.A.

MAYORGA, Diana. Evaluación de Prácticas Operacionales para Reducir las Fallas en la Tubería de Producción por Efecto de la Inyección de Agua en el Campo Casabe. Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander 2011.

MORENO, Andrés. Metodología para la Evaluación Técnica en Proyectos de Inyección de Agua con Sartas Selectivas, Aplicado a la Fase Piloto en Campo Tibú (ECOPETROL). Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander 2011.

PLATA, Nadya. Estandarización del Proceso de Reparación Mantenimiento y Seguimiento de las Válvulas Reguladoras de Flujo para el Sistema de Inyección de Agua en el Campo Casabe. Completion Services, Schlumberger Sureenco S.A. 2010.

PARIS DE FERRER, Magdalena. Inyección de Agua y Gas en Yacimientos Petrolíferos. Segunda Edición. Venezuela. 2007.

PEREZ, Martha. CALDERON, Zully. Orientaciones Prácticas para la Elaboración Exitosa de Trabajos de Grado en Ingeniería.

RODRIGUEZ, Milton. Análisis de Falla en las Bombas de Subsuelo del Sistema Bombeo Mecánico en el Campo Casabe. Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander 2005.

SCHLUMBERGER. 1-1/2 in P-15 Waterflood Regulator Maintenance Manual. Version 1.1. Copyright 2012 Schlumberger.

SCHLUMBERGER. Camco Waterflood Flow Regulator Valves, Retrievable valves for precise regulation of injected water volumen. Copyright 2012 Schlumberger.

ANEXOS

Anexo A. Manual Para la Base de Datos del Taller de Válvulas Reguladoras de Flujo del Campo Casabe

MANUAL PARA LA BASE DE DATOS DEL TALLER DE VÁLVULAS REGULADORAS DE FLUJO DEL CAMPO CASABE

El presente manual fue elaborado con el fin de instruir, orientar y capacitar al personal encargado del taller de válvulas reguladoras de flujo para utilizar de forma correcta la base de datos de inspecciones.

Es fundamental comprender el funcionamiento de la base datos, para garantizar así el correcto diligenciamiento de la información. La base de datos es considerada la fuente o el origen de todo el análisis de fallas ya que es en esta base de datos donde se encuentran agrupados todos los parámetros de interés: pozo, mandril, bloque, arena, motivo de cambio, Runtime, material, resultado de inspección, entre otros.

La base de datos se divide en dos secciones. En la primera parte se tiene un resumen de las inspecciones junto con las generalidades de procedencia de la válvula. En la segunda sección se especifica el estado de las partes, el material y la gravedad de la erosión. Finalizada la inspección se encuentra unas columnas donde se almacena el proceso de armado o reparación de la válvula.

1. PRIMERA SECCIÓN

Como se explica anteriormente, acá se encuentra la información procedente de las inspecciones; es la más importante, de acá se genera el análisis estadístico de la información. Dentro de esta información se encuentra:

- **Ítem:** Enumeración de trabajos realizados durante el transcurso del año.
- **Proceso:** Hace referencia al tipo de proceso que se va a realizar con la válvula.
- **Recibido:** Se utiliza siempre que se recibe una válvula y se debe diligenciar la información presente en la “etiqueta para entrega de válvulas a taller VRF”. Si no se encuentra presente esta información, se debe pasar el reporte al ingeniero supervisor del taller de válvulas
- **Inspección:** Se cambia el nombre del proceso para realizar la inspección de la válvula.
- **Inspeccionada y armada:** Se coloca este proceso cuando la válvula ya ha sido previamente inspeccionada y es reparada
- **Armado:** Se utiliza cuando se va a armar una válvula cuya inspección no se encuentra en el archivo o no se ha realizado porque es una válvula nueva. Por lo tanto no es correcto colocar “Inspeccionada y armada”.

Los procesos recibido, inspección e inspeccionada y armada son consecuentes y no se pueden saltar uno del otro.

- **Tipo de Válvula:** Hace énfasis al tipo de válvula que se va a **inspeccionar**. El tipo de válvula depende de la configuración o del proveedor.

La columna tiene una lista desplegable con las siguientes opciones:

- DMY (Dummy)
- VRF (Válvula Reguladora de Flujo W-15 – RLIB)

- VOF (Válvula de Orificio Fijo)
 - P-15 (Válvula Diseñada por Schlumberger)
 - VCF (Válvula de Circulación de Flujo)
- **Serial Válvula:** Es el número con el que se identifica la válvula, este nombre se encuentra escrito en el cuerpo, específicamente en el porta filtro.
 - **ID Completa:** La Identificación es la nomenclatura de la válvula, donde se especifica caudal, serial, y las partes del conjunto dinámico empleadas.
La columna tiene una fórmula dependiente del tipo de válvula, el orificio, el serial y el resorte utilizados.

Fórmula ID Completa:

=SI(D8="DMY";CONCATENAR(D8;"-";"150";"-";"N/E";"-";E8);CONCATENAR(D8;"-";"150";"-";DQ8;DE8;"-";G8;"-";E8))

- **Caudal:** En esta columna se encuentra el caudal de la válvula que se está inspeccionando, esto facilita llevar el dato "ID Completa" de forma automática. Esta columna relaciona el tipo de válvula, el orificio y resorte utilizada y así determina el caudal.

Fórmula Caudal:

=SI(D8="DMY";0;SI(D8="VCF";0;SI(DE8="R";BUSCARV(DQ8;orificio_resorte;2;FALSO);BUSCARV(DQ8;orificio_resorte;3;FALSO))))

- **Material:** Esta columna está formulada de tal forma que si la inspección se realiza a una válvula DMY o VCF seleccione la opción no aplica (N/A).

De ser una válvula diferente a estas, se selecciona la opción colocada en la columna Vástago/Inspección/Metalurgia, esto debido a que sin importar el tipo de válvula VOF, P-15, VRF; siempre va a llevar Vástago.

Fórmula Material:

=SI(D8="DMY";"N/A";SI(D8="VCF";"N/A";CX8))

- **Pozo:** Está columna únicamente se utilizará para **inspecciones**. La columna "Pozo" alimenta una base de datos en la cual se valida la información para determinar si el pozo existe, como requisitos están:

- **Pozos Casabe (XXXX):** Debe tener siempre 4 dígitos, sin ningún tipo de texto.

Ejemplo:

CSBE 758: 0758

CSBE 1200: 1200

- **Pozos Casabe Sur (CS-XX) :** Para los pozos de Casabe Sur, se debe escribir CS-, acompañado del número del pozo (dos cifras)

Ejemplo:

CBES 0015: CS-15

CBES 0010: CS-10

- **Pozos Peñas Blancas (PB-XX):** Los pozos de Peñas Blancas se deben escribir de la misma forma que los pozos de Casabe Sur.

Ejemplo:

PBLA 0015: PB-15

PBLA 0011: PB-10

Como se muestra en los ejemplos no necesariamente las dos letras de CS y PB deben estar en mayúscula o minúscula; sin embargo se debe tener cuidado con no generar espacios o digitar otro carácter para que la validación sea correcta (OK).

- **Mandril:** Al igual que el pozo está columna se diligencia únicamente para INSPECCIONES. Esta columna también está ligada a una base de datos y la combinación de Pozo-Mandril existente me genera una validación OK.

*UNICAMENTE SE DEBE ESCRIBIR EL NÚMERO DEL MANDRIL (1, 2, 3, 4,5...10, 12,13). No escribir ningún carácter diferente al número.

Ejemplo de errores:

Por escribir mandril diez (10) escribir: **1 0 (Error)**

Por escribir mandril cuatro (4) escribir: **0 4 (Error)**

- **Validación:** La columna validación mencionada anteriormente determina según una base de datos. Si la combinación Pozo-Mandril realmente existe.
- **Formación-Mandril-Bloque-Arena-Intervenciones:** Son un conjunto de columnas bloqueadas la cual está formulada de tal forma que valide información y me determine a que bloque y arena pertenecen el pozo y mandril escritos anteriormente.

El # intervenciones me va a determinar la cantidad de cambios de válvulas realizados a un mismo mandril de un pozo durante el año.

Fórmulas:

Formación:

=BUSCARV(H8;'Base de datos'!\$B\$4:\$H\$3297;2;FALSO)

Mandril:

=SI(K8>0;EXTRAE(K8;1;8)&CONCATENAR("-";I8);" ")

Bloque:

=BUSCARV(L8;Bloques_y_arenas;2;FALSO)

Arena:

=BUSCARV(L8;Bloques_y_arenas;3;FALSO)

#Intervenciones:

=CONTAR.SI('Inspección y armado'!\$L\$8:\$L\$4000;L8)

- **Motivo de cambio:** Esta información se encuentra presente en la etiqueta de la válvula diligenciada por el personal de Slick Line. El motivo de cambio hace referencian al tipo de falla presentada por la válvula en yacimiento. Las posibles opciones son:

- Fuga dummy
 - Recomendación de Ingeniería
 - Caudal por Encima del Diseño
 - Caudal por Debajo del Diseño
 - Alta Inyectividad
 - Otros
- **Fecha de bajada:** Indica la fecha en la que se instaló la válvula en el pozo.
 - **Fecha de sacada:** Indica la fecha en la que se recuperó la válvula en el pozo.
 - **Runtime o Runlife:** Especifica el tiempo de vida de la válvula o tiempo de funcionamiento óptimo de la válvula en el pozo.
 - **Mes de inspección:** Esta columna está formulada para indicar el mes en el que se realizó el mes la inspección.

Fórmula:

=SI(V8=0;" ";TEXTO(V8;"mmm"))

- **Resultado de Inspección:** Es el resultado final o conclusión de la inspección de la válvula. Se basa en la evidencia presentada en el conjunto dinámico. Si una de las partes del conjunto dinámico está erosionada (medio/grave), el resultado de la inspección es “Erosión”, de lo contrario la válvula inspeccionada se considera en buen estado “OK”, ya que las partes pueden ser reutilizadas.

Fórmula:

=SI(CP8="X";"Erosión";SI(CQ8="X";"Erosión";SI(DA8="X";"Erosión";SI(DB8="X";"Erosión";SI(DS8>0,05;"Erosión";SI(V8=0;" ";"OK"))))))

2. SEGUNDA SECCIÓN

En esta sección se desarrolla el proceso de inspección y armado de las válvulas. Los encabezados de color verde oscuro son características para realizar los procesos de inspección y los encabezados de color blanco son utilizados para los procesos de armado.

El estado de inspección de cada una de las partes de las válvulas, partes utilizadas/reutilizadas con el tipo de material, costos de reparación, almacenamiento de información de la válvula armada, son unas de los tipos de información que se pueden encontrar en esta sección.

Esta segunda sección de la base de datos se divide en dos: DUMMY - VCF y VRF cada una de estas se divide en Latch y Cuerpo. Donde VRF abarca (VOF, VRF, P-15).

• PROCESO DE INSPECCIÓN

Como se mencionó anteriormente los títulos resaltados en verde son los utilizados para la inspección y son los siguientes:

o Estado:

X – Erosión

OK – No erosionada, buen estado.

Para las partes del conjunto dinámico (asiento y vástago), se debe especificar el nivel de erosión, para esto se debe marcar con una X debajo de leve, medio o grave.

El resultado de inspección se considera “Erosión” cuando una de estas partes tiene un nivel de erosión medio o grave, de lo contrario se considera que la válvula está en buen estado “OK” ya que las piezas se pueden reutilizar.

- **Material:** En esta parte se debe indicar el material de la pieza inspeccionada, esta celda es el origen de la información especificada como material en la primera sección de la base de datos.

La inspección del retenedor, al igual que el resorte incluyen el tipo de resorte empleado, estado y evidencia. Dentro de las opciones están:

Retenedor:

SAV-7679

N/A

FO

Resorte:

R – Rojo

A – Amarillo.

La inspección del orificio consta de una medida inicial, o medida del orificio con el que se instaló la válvula, y una medida final que es la medida del orificio al ser retirada la válvula, el porcentaje de erosión me indica la diferencia entre la medida final y la inicial. Si este porcentaje es mayor a 0,05% el resultado de inspección será erosión.

- **PROCESO DE ARMADO**

Hace referencia a los encabezados de color blanco. Este proceso esta enlazado con la hoja “GASTOS VRF”, en esta hoja se encuentran los costos de cada una de las partes de las válvulas, las celdas de este proceso se encuentran formuladas teniendo en cuenta estos costos.

- **Cambio:**

1 – Pieza nueva (Genera costo)

0 - Pieza reutilizada

- **Material:** Estas columnas se encuentran únicamente en las piezas del conjunto dinámico, dependiendo del tipo de material utilizado y al cambio (1/0) se genera un costo y se especifica el material de la válvula reparada o armada.

Igual como ocurre con el material, el tipo de resorte y de retenedor utilizado en el armado de la válvula generan un costo determinado.

Al final de la base de datos de almacenamiento se encuentra un grupo de columnas donde se selecciona: tipo de válvula armada serial, ID completo, material del armado, fecha de reparación. Adicionalmente se encuentra una columna de costos, en esta columna se encuentran los costos de reparación de cada una de las válvulas, para esto se tiene en cuenta el número de partes nuevas requeridas y el costo establecido en la hoja “GASTOS VRF”.

Formula columna de costos:

$$=(Y8*'GASTOS \quad VRF'!\$E\$15)+('Inspección \quad y \quad armado'!AA8*'GASTOS \quad VRF'!\$E\$18)+('Inspección \quad y \quad armado'!AC8*'GASTOS \quad VRF'!\$E\$20)+('Inspección \quad y$$

armado!AE8*'GASTOS VRF!\$E\$42)+('Inspección y armado!AG8*'GASTOS VRF!\$E\$16)+('Inspección y armado!AI8*'GASTOS VRF!\$E\$17)+('Inspección y armado!AK8*'GASTOS VRF!\$E\$46)+('Inspección y armado!AM8*'GASTOS VRF!\$E\$47)+('Inspección y armado!AO8*'GASTOS VRF!\$E\$48)+('Inspección y armado!AR8*'GASTOS VRF!\$E\$22)+('Inspección y armado!AT8*'GASTOS VRF!\$E\$23)+('Inspección y armado!AV8*'GASTOS VRF!\$E\$23)+('Inspección y armado!AX8*'GASTOS VRF!\$E\$24)+('Inspección y armado!AZ8*'GASTOS VRF!\$E\$24)+('Inspección y armado!BB8*'GASTOS VRF!\$E\$54)+('Inspección y armado!BD8*'GASTOS VRF!\$E\$55)+('Inspección y armado!BG8*'GASTOS VRF!\$E\$14)+('Inspección y armado!BI8*'GASTOS VRF!\$E\$15)+('Inspección y armado!BK8*'GASTOS VRF!\$E\$16)+('Inspección y armado!BM8*'GASTOS VRF!\$E\$17)+('Inspección y armado!BO8*'GASTOS VRF!\$E\$18)+('Inspección y armado!BQ8*'GASTOS VRF!\$E\$19)+('Inspección y armado!BS8*'GASTOS VRF!\$E\$20)+('Inspección y armado!BU8*'GASTOS VRF!\$E\$21)+('Inspección y armado!BX8*'GASTOS VRF!\$E\$22)+('Inspección y armado!BZ8*'GASTOS VRF!\$E\$23)+('Inspección y armado!CD8*'GASTOS VRF!\$E\$24)+(CF8*'GASTOS VRF!\$E\$24)+('Inspección y armado!CH8*'GASTOS VRF!\$E\$25)+('Inspección y armado!CJ8*'GASTOS VRF!\$E\$26)+('Inspección y armado!CL8*'GASTOS VRF!\$E\$27)+SI(CR8="CT";CS8*'GASTOS VRF!\$E\$39;CS8*'GASTOS VRF!\$E\$28)+(CW8*'GASTOS VRF!\$E\$29)+SI('Inspección y armado!DC8="CT";'Inspección y armado!DD8*'GASTOS VRF!\$E\$40;'Inspección y armado!DD8*'GASTOS VRF!\$E\$30)+(DH8*'GASTOS VRF!\$E\$31)+('Inspección y armado!DJ8*'GASTOS VRF!\$E\$32)+('Inspección y armado!DL8*'GASTOS VRF!\$E\$33)+('Inspección y armado!DN8*'GASTOS VRF!\$E\$34)+('Inspección y armado!DP8*'GASTOS VRF!\$E\$35)+('Inspección y armado!DU8*'GASTOS VRF!\$E\$36)+('Inspección y armado!DW8*'GASTOS VRF!\$E\$37)+('Inspección y armado!DY8*'GASTOS VRF!\$E\$38)

Finalmente con la realización de este manual se concluye la capacitación al grupo de trabajo del taller de válvulas y se garantiza la confiabilidad de la información

documentada. Sin embargo se requiere de la supervisión de un ingeniero para validar el flujo de trabajo presentado en la metodología y de esta forma asegurar la totalidad de la información requerida en la base de datos de almacenamiento de inspecciones. Tener en cuenta que esta base de datos es el origen del análisis estadístico.

Anexo B. Manual para la Base de Datos de Estadística y Exportación de la Información

MANUAL PARA LA BASE DE DATOS DE ESTADÍSTICA Y EXPORTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Este documento se elaboró con el objetivo de asesorar y guiar a las personas interesadas en utilizar las bases de datos de análisis estadístico de fallas y exportación de información al software MySIP, Avocet.

Es fundamental asegurar el correcto diligenciamiento de la base de datos de almacenamiento de inspecciones utilizada en el taller de válvulas, ya que esta como se ha dicho anteriormente es la raíz del análisis estadístico; las bases de datos mencionadas seguidamente dependen en su totalidad de esta.

A continuación encontrarán la forma de utilizar las bases de datos a través de un paso a paso.

1. ESTADISTICA DE LAS VÁLVULAS

Esta es la base de datos utilizada para la realización del análisis estadístico. Antes de utilizarla, revise la base de datos de almacenamiento y asegúrese que toda la información documentada este validada, y sin espacios en blanco. El procedimiento de uso es el siguiente:

1.1. Revisar la confiabilidad de la información, que todos los espacios estén diligenciados de forma correcta

1.2. Revisar que las bases de datos de almacenamiento y de análisis no tenga filtros activos.

- 1.3. Seleccionar todas las columnas, desde B hasta W, de la base de almacenamiento y mostrar celdas ocultas.
- 1.4. Filtrar en la base de datos de almacenamiento de inspecciones, en la columna “Proceso” únicamente las opciones “inspeccionado” e “inspeccionado y armado” (estas son las válvulas que se han inspeccionado.)
- 1.5. Seleccionar y copiar toda la información comprendida entre las columnas B – W, no tener en cuenta los enunciados.
- 1.6. Pegar valores en la casilla A4 en “ESTADISTICA DE VÁLVULAS”

Una vez finalizado este proceso se pueden analizar los resultados obtenidos en las diferentes hojas.

2. INSPECCIÓN DE VÁLVULAS PLANTILLA AVM

El objetivo de esta base de datos es la exportación y protección de la información en el Software MySIP, Avocet. Para esto es necesario que los ingenieros del CIO (Centro Integrado de Operaciones) elaboren la plantilla de cargue.

El procedimiento para la exportación de la data a la plantilla es el siguiente.

- 2.1. Revisar la confiabilidad de la información, que todos los espacios estén diligenciados.
- 2.2. Revisar que la base de datos no tenga filtros activos.
- 2.3. Filtrar la información por mes (según el mes deseado) y en el filtro de procesos retirar “Armado” y “recibido”.

2.4. Copiar toda la base de datos de inspecciones, sin tener en cuenta los encabezados de las columnas desde la columna B (Ítem) hasta DY (filtro).

2.5. Pegar valores en plantilla AVM ubicándose debajo del primer encabezado de la parte superior izquierda. Específicamente en la celda B4 de la hoja “Datos taller mes a mes”.

2.6. En hoja “Platilla AVM” se obtiene toda la información de las válvulas inspeccionadas en el mes seleccionado, con las convenciones requeridas por el software.

Las bases de datos mencionadas, ya fueron colocadas a prueba y se garantiza su correcto funcionamiento siempre y cuando se sigan los pasos establecidos. Con este documento finaliza el proceso de capacitación y enseñanza realizado con el fin de mostrar la importancia de la aplicación de la metodología y darle continuidad a esta.