

Consolidación del análisis operacional integral de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Refinería de Barrancabermeja Ecopetrol S.A.

María Camila Uribe Remolina

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Química

Directora:

Ph.D Debora Alcida Nabarlatz

Ingeniera Química, PhD.

Codirector:

ING. Carina Yasmin Sandoval Ferreira

Ingeniera Química, Magister.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2021

Dedicatoria.

*A toda mi familia, a mis amigos y a todas las
personas con las que he compartido en algún
instante de mi vida por ser mis maestros, mi
compañía y en ocasiones mi guía para mejorar
como persona y profesional.*

Agradecimientos

A Dios y al Espíritu Santo que me han dado todo lo que tengo, que me han acompañado e iluminado mi camino para llegar hasta donde estoy.

A mis padres y hermana, por su dedicación, su compañía y motivación en mi formación como estudiante y persona íntegra.

A Fundación Colegio UIS, por darme las bases necesarias para iniciar mis estudios universitarios.

A la Universidad Industrial de Santander y a la escuela de Ingeniería Química, por contribuir a mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos con los que compartí durante los semestres cursados en mi formación como Ingeniera Química, quienes me brindaron ayuda y apoyo no solo en aspectos educativos, sino también personales.

A Ecopetrol S.A, por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales, por abrirme las puertas al conocimiento del sector Oil & Gas, por ofrecer las herramientas necesarias para el mejoramiento de mi formación profesional.

A todo mi grupo de trabajo de la Coordinación de Gestión y Control Ambiental de la Refinería de Barrancabermeja, quienes fueron mis mentores y maestros durante mi estancia como estudiante en práctica. Especialmente a la Ingeniera Álix Ozuna, a mi tutora, la Ingeniera Carina Sandoval, a Don Nelson y al Ingeniero Milton Fernández, quien hoy se encuentra descansando con la compañía de Dios. A los ingenieros David Badillo y Edison Campos por su compañía y apoyo.

Al grupo de estudiantes en práctica que me acompañaron y ayudaron durante los seis meses de práctica, y muy especialmente a Sandrita.

Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Introducción..... | 12 |
| 1. Descripción de la Empresa | 13 |
| 2. Marco Teórico..... | 15 |
| 2.1 Descripción del proceso en la unidad PTAR de la GRB | 15 |
| 2.1.1 Tratamiento Primario..... | 17 |
| 2.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales | 19 |
| 2.1.3 Corriente de Reúso | 19 |
| 2.1.4 Corriente de Vertimiento al Río | 20 |
| 2.1.3 Tratamiento de Lodos..... | 21 |
| 2.1.4 Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias (DIAPAC) | 22 |
| 2.2 Análisis Operacional en la GRB | 23 |
| 2.3 Análisis Operacional en la PTAR – GRB | 25 |
| 2.4 Funcionamiento del sistema PI | 27 |
| 3. Objetivos..... | 28 |
| 3.1 Objetivos General..... | 28 |
| 3.2 Objetivos Específicos | 28 |
| 4. Descripción Metodológica..... | 29 |
| 4.1 Descripción de las etapas secuenciales realizadas durante la práctica. | 29 |
| 4.1.1 Estudio de la unidad PTAR de la GRB..... | 29 |

4.1.2 Capacitación en la herramienta PI-Vision y PI-DataLink.29

4.1.3 Diagnóstico del diseño actual de la herramienta de análisis operacional.30

4.1.4 Actualización y ajuste del avance del diseño de la herramienta actual.....30

4.1.5 Diseño Unidad 4090 y planta DIAPAC e incorporar la corriente de reúso.30

4.1.6 Revisión final e implementación de la herramienta de análisis operacional.....31

4.2 Descripción de las tareas y funciones realizadas durante la práctica empresarial.32

4.3 Descripción del diagnóstico realizado al principio y al final de la práctica de la herramienta de análisis operacional en cuestión.34

4.4 Descripción del ajuste y adición de datos.....36

4.5 Descripción del diseño de la U-4090 y la planta DIAPAC.36

4.6 Descripción de la capacitación en la herramienta de análisis operacional.37

5. Resultados.....38

5.1 Descripción de los despliegues anexos a la herramienta tecnológica para el Análisis Operacional de la PTAR de la GRB.38

5.1.1 Tratamiento de Sodas Sulfhídricas.....40

5.1.2 Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas.....41

5.1.3 Planta de Tratamiento de Aguas Domésticas, DIAPAC.43

5.2 Actualizaciones y ajustes realizados a la herramienta.....44

5.3 Capacitación de la herramienta de Análisis Operacional.47

6. Conclusiones48

7. Recomendaciones.....49

Referencias Bibliográficas.....51

Apéndices53

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Diagrama General Tratamiento Primario y PTAR. | 17 |
| Figura 2. Diagrama General de Proceso de la Planta DIAPAC. | 23 |
| Figura 3. Menú principal de la herramienta tecnológica. | 26 |
| Figura 4. Diagrama de flujo de las etapas del desarrollo de los objetivos propuestos en la práctica. | 31 |
| Figura 5. Fuentes de información de la base de datos de la unidad PTAR en PI. | 35 |
| Figura 6. Menú principal actual de la herramienta tecnológica para el Análisis Operacional de la PTAR de la GRB. | 39 |
| Figura 7. U-40550 Planta Regeneradora de Soda Sulfhídrica. | 40 |
| Figura 8. U-4090 Unidad de Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas | 43 |
| Figura 9. Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias - DIAPAC. | 44 |
| Figura 10. Evidencia 1 de capacitación de la herramienta de Análisis Operacional. | 47 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Cargas a la Unidad PTAR Ambiental GRB..... | 16 |
| Tabla 2. Separadores API..... | 18 |
| Tabla 3. Tratamiento corriente de reúso..... | 19 |
| Tabla 4. Tratamiento corriente de vertimiento al río. | 21 |
| Tabla 5. Tareas y funciones realizadas durante la práctica empresarial. | 32 |

Lista de Apéndices

| | Pág. |
|---|-------------|
| Apéndice A. Despliegue General..... | 53 |
| Apéndice B. Despliegue Diagrama General..... | 54 |
| Apéndice C. Despliegue de Tanques. | 55 |
| Apéndice D. Despliegue del Plan de Calidad..... | 56 |
| Apéndice E. Despliegue de Separadores API..... | 58 |
| Apéndice F. Despliegue de Tratamiento de Slop. | 59 |
| Apéndice G. Despliegue del Tratamiento de Lodo..... | 61 |
| Apéndice H. Despliegue Planta Regeneradora de Sodas Sulhídricas..... | 62 |
| Apéndice I. Despliegue Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas. | 63 |
| Apéndice J. Despliegue del Balance de Fenol Residual. | 64 |
| Apéndice K. Despliegue del Balance de Sólidos..... | 65 |
| Apéndice L. Despliegue de la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias. | 66 |
| Apéndice M. Despliegue de Variables Operacionales de los tanques de Slop del Separador Balance. | 67 |
| Apéndice N. Despliegue de Variables Operacionales de los tanques de Slop del Separador Norte..... | 68 |
| Apéndice O. Despliegue de Variables Operacionales de los tanques de Slop del Separador Sur. | 69 |
| Apéndice P. Despliegue de Variables de Calidad de los tanques de Slop del Separador Balance. | 70 |

Apéndice Q. Despliegue de Variables de Calidad de los tanques de Slop del Separador Norte...71

Apéndice R. Despliegue de Variables de Calidad de los tanques de Slop del Separador Sur.72

Resumen

Título: Consolidación del análisis operacional integral de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Refinería de Barrancabermeja Ecopetrol S.A.*

Autora: Maria Camila Uribe Remolina.**

Palabras Clave: Análisis Operacional, herramienta tecnológica, PTAR, Tratamiento primario, Slop, lodos, PI-Vision.

Descripción:

Este documento consiste en la explicación de las tareas realizadas para la consolidación, actualización y ajuste de la herramienta tecnológica diseñada para el Análisis Operacional Integral de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB) en el software PI-Vision. Esta herramienta tiene como objetivo la disposición de los datos provenientes de las diferentes fuentes de información que integran la base de datos del software de tratamiento y almacenamiento de datos de la empresa, PI-system, correspondientes a la Coordinación de Gestión y Control Ambiental (CGC), dividido en 18 módulos, que reúnen las variables operativas y de calidad de los equipos y unidades que componen la PTAR, que corresponden al diagrama general del proceso, la información de los principales tanques de la planta, el plan de calidad de la CGC, el tratamiento primario, la gestión de lodos y Slop, el balance de sólidos y fenol, el tratamiento de Sodas Sulhídricas, el tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas, y la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias, DIAPAC. Adicionalmente, se describen cada uno de los procesos presentes en el tratamiento de las aguas residuales de la refinería, el tratamiento de lodos, el funcionamiento del software PI y los principales objetivos del Análisis Operacional dentro de la GRB.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Directora: Ph.D Debora Alcida Nabarlatz Ingeniera Química, PhD. Codirector: ING. Carina Yasmin Sandoval Ferreira Ingeniera Química, Magister.

Introducción

Actualmente, la refinería de Barrancabermeja Ecopetrol S.A., se encuentra en un constante mejoramiento en cuanto a la implementación de herramientas de análisis operacional, que permiten un mejor desempeño y eficiencia en los procesos, además de un avance en la organización de datos que definen el comportamiento y buen funcionamiento de las diferentes unidades presentes en toda la refinería, siguiendo el modelo de integridad operativa (Ecopetrol S.A., 2015).

Una de las unidades que ha cobrado mayor valor en la refinería de Barrancabermeja a lo largo de su historia, es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016). Esto se debe a la necesidad de cumplir con la legislación ambiental establecida, que establece los diferentes parámetros de calidad que debe cumplir el agua de vertimiento y reúso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), además del reto constante de optimizar el trabajo conjunto de cada una de las unidades de la refinería. En este sentido, la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB) ha implementado la estrategia de una herramienta de análisis operacional para cumplir con las necesidades mencionadas. Es así como en el semestre anterior, se inicia el diseño de esta herramienta para el buen desempeño y funcionamiento de la unidad PTAR de la GRB por parte de una estudiante en práctica (Sanabria, 2021). De este trabajo, se obtuvo un gran avance en el diseño de una herramienta muy bien estructurada en el programa PI-Vision que reúne la información de variables operativas y de calidad de cada unidad en tiempo real, donde es posible visualizar el diagrama general del proceso, la información de tanques y Separadores API, el balance de Fenol y sólidos, la gestión de Slop y lodo, en su totalidad, y un avance del 40% de la

Unidad de Tratamiento de Sodas Sulfhídricas (U-4050). Por ello, se hace necesario culminar completamente su diseño, incluyendo datos ausentes, además de incluir la Unidad de Tratamiento de Sodas Cresfílicas y Nafténicas (U-4090), la Planta de Tratamiento de Aguas Domésticas (DIAPAC), de tal manera que quede completamente definida, siendo la base fundamental del análisis operacional diario de los operarios, técnicos e ingenieros que se reúnen a controlar el buen funcionamiento de la unidad PTAR (GRB) con el objetivo de garantizar una operación limpia, sana y segura (Sistema de Gestión HSE., 2019).

1. Descripción de la Empresa

Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia, ocupando el cuarto puesto entre las mejores en Latinoamérica (Ecopetrol S.A, 2014). La Empresa Colombiana de Petróleo opera desde 1951, año en el que asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company, quien inició la actividad petrolera en Colombia en 1921. Actualmente, Ecopetrol S.A. tiene operaciones ubicadas en el centro, sur, oriente y norte de Colombia, al igual que en el exterior, cuenta con participación en el negocio de biocombustibles y presencia en Brasil, México y Estados Unidos (Ecopetrol S.A., 2021). Esta empresa posee cinco eslabones principales en su cadena de valor: la exploración de hidrocarburos comercialmente viables, la producción de crudo y gas, el transporte de los hidrocarburos desde los campos de producción hacia las dos refinerías que posee, ubicadas en Barrancabermeja y Cartagena, o hacia los puertos de exportación; la actividad de refinación y petroquímica, transformando el crudo en productos de valor agregado

y, por último, su comercialización y mercadeo (Ecopetrol S.A., 2014). Dentro de los productos derivados del proceso de aproximadamente 225.000 barriles de petróleo diarios (Vita Mesa, 2021), se encuentran el Polietileno, el Propileno, Gasolinas, Naftas, Jet y Queroseno, Diésel (ULSD), Lubricantes y Parafinas, Fuel Oil y Marinos, Asfaltos, Coque y Arotar, los cuales son comercializados principalmente en Estados Unidos, América Central y el Caribe. Todas estas acciones, se realizan bajo la misión de construir un mejor futuro, rentable y sostenible, soportadas en el óptimo uso de los activos del Grupo Empresarial Ecopetrol (GEE) que incluyen: Refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, Campos de producción en Colombia y EEUU, participación en poliductos, tanques a lo largo del sistema de transporte y terminales de exportación e importación. Actualmente, las energías renovables en el GEE representan un proyecto sumamente importante, el cual tiene como fin expandir el portafolio de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) a 505 MW, incorporando energía eólica, PCH's Biomasa y Geotermia (Gerencia de Energía Ecopetrol S.A., 2019). Hoy en día, cuenta con una capacidad instalada de 43 MW de biomasa, con el objetivo de ampliar a 256 MW así como reducir las emisiones de CO₂ en 60 Ton/año con la implementación del Parque Solar en el Meta, similar a la primera granja solar adjudicada en el año 2018 por Ecopetrol.

2. Marco Teórico

2.1 Descripción del proceso en la unidad PTAR de la GRB

La PTAR de la refinería de Barrancabermeja recibe aproximadamente 2500 – 3500 gpm de agua residual compuesta por los efluentes de los Separadores API, aguas agrias, sodas gastadas y las aguas recirculadas del proceso. Esta unidad trata este flujo de agua a través de un proceso de clarificación, de los cuales, 2000 gpm se vierten al Río Magdalena y 1500 gpm se reúsan para tres fines: agua para sellos, contraincendios y enfriamiento. Por otro lado, se generan alrededor de 14,5 gpm de lodos acuosos, 1,75 gpm de slop recuperado e incorporado como diluyente de combustóleo, 1,83 gpm de lodo seco para tratamiento térmico y 10,94 gpm de agua aceitosa, dirigida a la piscina de carga BA.4001 para ser tratada (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016). Todo esto con el fin de obtener un efluente que cumpla con los parámetros de calidad para vertimientos a cuerpos de agua, según la resolución 631 de 2015 y calidad para reúso dentro de la GRB, por lo que esta unidad cumple un papel fundamental dentro del desarrollo y buen funcionamiento de los procesos que se llevan a cabo dentro de la refinería. La carga de la Unidad PTAR Ambiental de la GRB (U-4000) comprende los siguientes flujos:

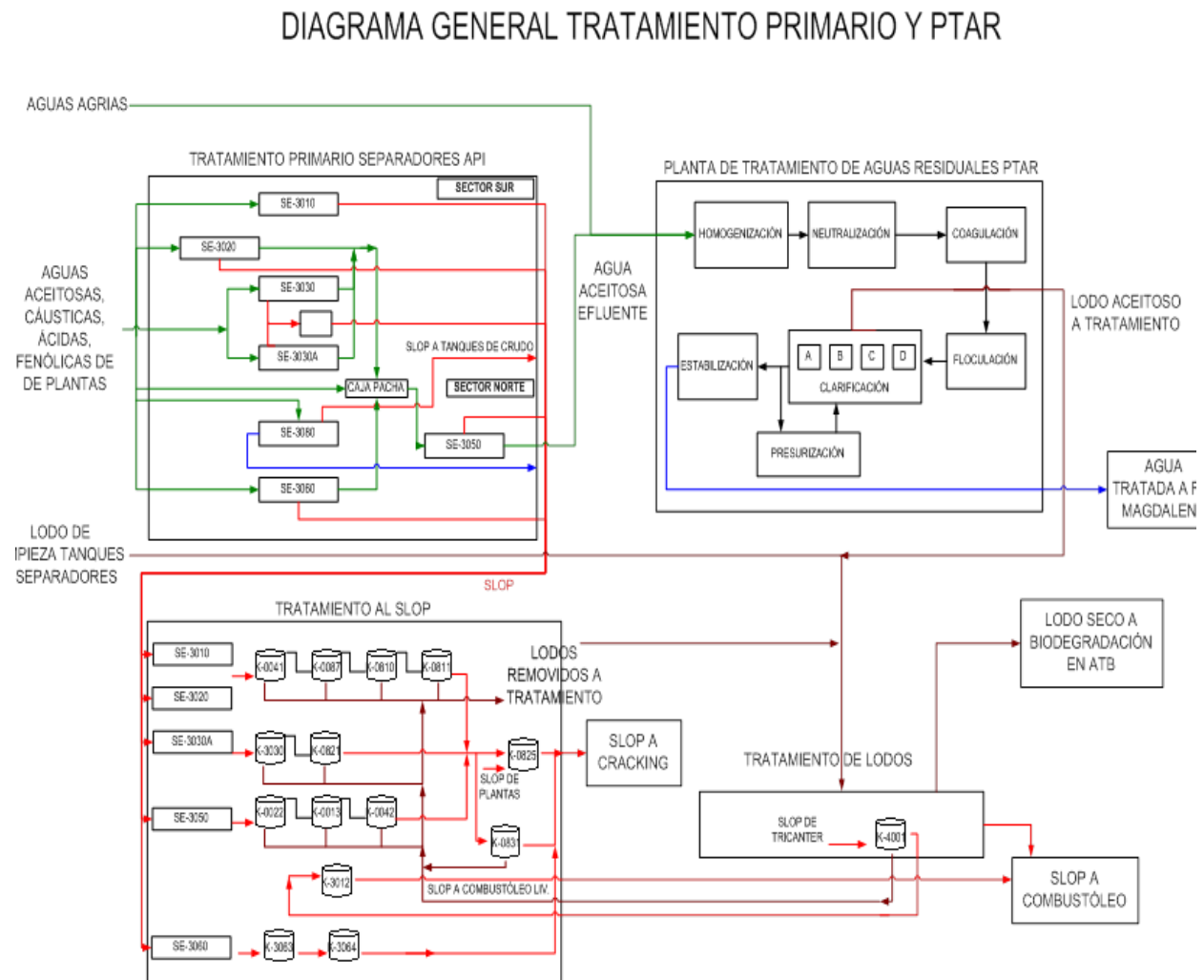
Tabla 1.*Cargas a la Unidad PTAR Ambiental GRB.*

| | |
|------------------------|--|
| Aguas Aceitosas | Proviene de los desagües de tanques de almacenamiento, emulsiones aceitosas de equipos de enfriamiento de las plantas de proceso, hidrocarburos aromáticos alifáticos, parafínicos y nafténicos, y drenajes de las plantas de proceso. |
| Aguas ácidas | Proviene de los lavados de resinas y calderas, y de las purgas de los tanques de ácido sulfúrico (H_2SO_4). |
| Aguas Agrias | Se componen de las corrientes que contienen arrastre de sulfuros, polisulfuros y amoníaco, provenientes de las torres despojadoras de amoníaco y H_2S . |
| Aguas Cáusticas | Comprenden las emulsiones resultantes del tratamiento de Combustibles con soda (nafta virgen, nafta craqueada, jet, GLP (Butanos y Propanos), aromáticos y Etileno). |
| Aguas Sanitarias | Comprenden las aguas residuales domésticas de la unidad de Balance y Club Miramar. |

Nota. Adaptado de (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016)

Figura 1.

Diagrama General Tratamiento Primario y PTAR.



Nota. Adaptado de (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016)

2.1.1 Tratamiento Primario

El tratamiento primario está conformado por los Separadores API, encargados de retirar el hidrocarburo y los sólidos suspendidos presentes en las aguas aceitosas a través del proceso de flotación y sedimentación; y por los tanques de tratamiento de Slop donde se realiza el tratamiento

térmico-mecánico que permite la separación y rompimiento de la emulsión agua, lodo e hidrocarburo que conforma el Slop recuperado, el cual se dispone como carga nuevamente o como producto en forma de combustóleo (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016). Existen 8 Separadores API, los cuales reciben flujos de carga de diferentes unidades de la refinería, de la siguiente manera:

Tabla 2.

Separadores API.

| Separador API | Unidades de carga al Separador API |
|--|--|
| Separados de Parafinas SE-3010 | Planta de fenol y Parafinas, Planta ácidos y U-850 |
| Separador Sur SE-3020 | Casa Bombas 1, Planta de especialidades, Unidad de Refinación U-150, Topping 150, aguas ácidas y fenólicas, de Alquilación y Craking (IV), aguas cáusticas de la Planta de Soda y Topping 150. |
| Separador Sur SE-3030/(30A) | Aguas cáusticas de la Planta de sodas, aguas aceitosas de Casa Bombas 2, aguas aceitosas de Casa Bombas 4 y Orthoflow, (U-200, U-250, U-2000 y U-2100). |
| Separador de la Unidad Balance SE-3060 | UOPI, aguas de tratamientos industriales, Demex, Viscosreductora, Hidrogeno, Unibon , U-2500 y área externa. |
| Separador de Aguas Lluvias SE-3090 | Aguas lluvias. |
| Separador de Crudos SE-3080 | Aguas aceitosas de Casa Bombas 8 y descargas de camiones con curdo. |
| Separador Norte SE-3050 | Aguas de SE-3010/20/30/30A/80, Casa bombas 5, UOPII, Aromáticos, Etileno y Turboexpander. |
| Piscina Pulmón SE-3054 | Agua de sistemas de aguas lluvias, Casa Bombas 2, UOPII, Alquilación y Petroquímica. |

Nota. Adaptado de (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016)

2.1.2 Tratamiento de Aguas Residuales

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales realiza el proceso de adecuación de agua residual removiendo gran parte de los contaminantes, de tal manera que cumpla con las especificaciones reglamentarias para ser vertida al río y otra parte para ser reutilizada en la GRB. Su carga está compuesta por las corrientes de reúso y vertimiento al río (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016).

2.1.3 Corriente de Reúso

La corriente de reúso está conformada por aguas aceitosas provenientes del efluente del SE-3050 y posterior tratamiento en PTAR. Este agua se dispone para tres propósitos: agua para el circuito de sellos de bombas, agua para sistema de contra incendio y agua de enfriamiento de la GRB. Su proceso está compuesto por una serie de operaciones unitarias y tratamientos que incluyen Homogenización, Neutralización, Clarificación, Aireación y disposición final (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016).

Tabla 3.

Tratamiento corriente de reúso.

| Tratamiento | Descripción |
|----------------|--|
| Homogenización | El objetivo de este proceso, es garantizar mayor estabilidad del flujo a tratar en los procesos de neutralización y clarificación al homogenizar la carga, logrando la disminución en la variabilidad de los sólidos suspendidos, hidrocarburo y pH. |

| Tratamiento | Descripción |
|-------------------|---|
| Neutralización | Este proceso consiste en ajustar el pH de la corriente entre el rango de 6,5 - 7,0 adicionando ácido sulfúrico para cumplir con los requerimientos en el proceso de clarificación. |
| Clarificación | Este proceso incluye las etapas de coagulación, floculación y flotación. En primera instancia, se encuentra la cámara de coagulación donde se introduce el coagulante por medio de bombas dosificadoras y se mezcla por la acción de un agitador, permitiendo la formación de coágulos. Posteriormente, se encuentra la cámara de floculación donde se inyecta igualmente el floculante, facilitando la formación de flocs por la adherencia de los coágulos a las moléculas del floculante; en esta ocasión, la velocidad de agitación es más lenta. Por último, ocurre el proceso de clarificación donde se retira el hidrocarburo y sólidos suspendidos de bajo peso molecular por flotación y los lodos sedimentados mediante la acción de drenaje por el fondo del clarificador. |
| Aireación | Este proceso permite despojar los sulfuros e hidrocarburos volátiles de la corriente de agua clarificada. |
| Disposición final | La corriente de agua de reúso se envía finalmente a la U-2900 para filtración y posterior utilización. |

Nota. Adaptado de (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016)

2.1.4 Corriente de Vertimiento al Río

La corriente de vertimiento al río está conformada por aguas agrias despojadas, sodas gastadas y la expansión de las aguas de reúso. En este caso, al ser agua para ser vertida al lecho del Río Magdalena, es necesario cumplir con una serie de parámetros establecidos por la legislación vigente. Por esto, además de los procesos de homogenización, neutralización y clarificación, se suman el proceso de tratamiento biológico y estabilización.

Tabla 4.

Tratamiento corriente de vertimiento al río.

| Tratamiento | Descripción |
|-----------------------|--|
| Tratamiento biológico | Mediante la inyección de caldos microbianos se realiza el proceso biológico de oxidación de fenoles, bajo las condiciones de aireación y tiempo de residencia preestablecido para obtener la mayor eficiencia en el proceso. |
| Estabilización | En este proceso, se efectúa la foto-oxidación de los hidrocarburos, sulfuros y compuestos de amoniaco. |
| Disposición final | El agua tratada, se dispone hacia la corriente de agua del río Magdalena por gravedad o mediante bombeo. |

Nota. Adaptado de (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016)

2.1.3 Tratamiento de Lodos

El tratamiento de lodos provenientes de los tanques de clarificación tiene tres etapas, iniciando con el proceso de espesamiento, seguido del tratamiento térmico y finalizando con centrifugación. La primera etapa se lleva a cabo en un espesador mecánico con una capacidad de 1125 m³ (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016); este tanque presenta forma cilíndrica con fondo en forma de cono, que permite agitar para homogeneizar los lodos y, al mismo tiempo facilitar la separación gravitacional del lodo y el agua residual. Posteriormente, el lodo se transfiere mediante bombeo a los respectivos tanques para tratamiento térmico a través de inyección de vapor por medio de un serpentín, alcanzando una temperatura máxima de tratamiento de 180°F y con un tiempo de tratamiento de 6 a 12 horas (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016). Finalmente, este lodo es enviado a una centrífuga a 3000 rpm y con una capacidad de 700

barriles/día; en este proceso, se adicionan polímeros rompedores de emulsión para obtener agua aceitosa, lodo sólido y Slop como productos separados a la salida (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016).

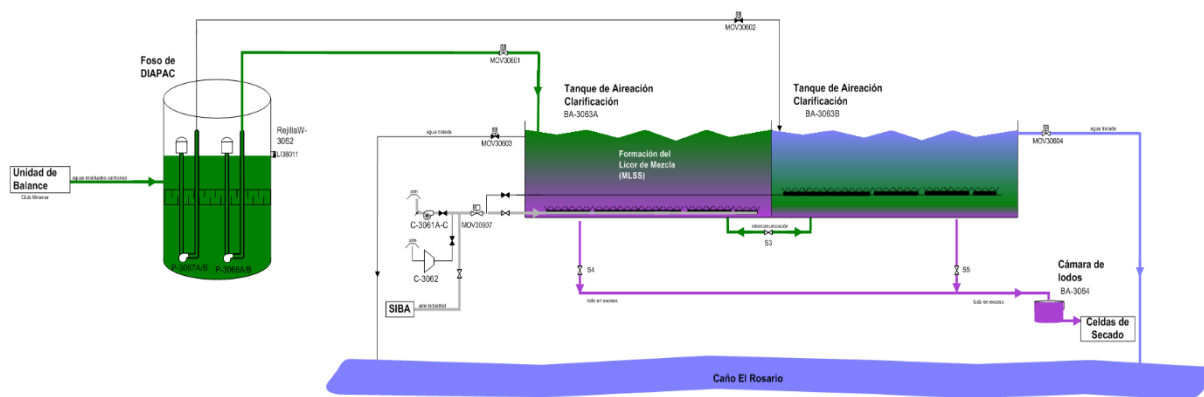
2.1.4 Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias (DIAPAC)

En la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias se realiza el tratamiento de las aguas sanitarias de la Unidad de Balance y del Club Miramar; estas aguas llegan por gravedad al Pozo de Aguas o Foso, donde pasan a través de una rejilla que retiene elementos sólidos gruesos como plásticos, papeles y demás, para asegurar el buen funcionamiento de los equipos y evitar obstrucciones en el flujo normal del agua. Seguidamente, el agua se dirige a través del sistema de bombeo a los Tanques de Aireación-Clarificación, los cuales se encuentran oxigenados por medio de micro burbujas, que ayudan a la creación de una turbulencia moderada dentro de la estructura, favoreciendo el estrecho contacto entre el agua cruda, el aire y las bacterias purificadoras. Los tanques de aireación demandan el suministro de aire, el cual es enviado a través de sopladores en línea, además de contar con un sistema auxiliar de aire industrial proveniente de Servicios Industriales de Balance (SIBA), el cual envía el aire a través de una válvula motorizada y un compresor de aire (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016). En las unidades de aireación ocurre el proceso de digestión aeróbica, asegurando la homogeneidad de la suspensión de lodos y la ausencia de regiones muertas que puedan obstaculizar la acción depuradora de la planta. Una vez se concluye el proceso de aireación, se detiene el flujo de aire y los mismos tanques funcionan como clarificadores, permitiendo el proceso de decantación, de tal manera que los lodos se ubiquen en el fondo del tanque. El agua

tratada se envía al humedal Madre Vieja, donde se encuentra el punto de conexión con el Caño el Rosario. Los lodos que quedan en el fondo del tanque permanecen allí hasta alcanzar el nivel de lodo recomendado para ser evacuado hacia los tanques de almacenamiento de lodos, donde se estabilizan y se deshidratan parcialmente con aireación, para ser enviados por gravedad a las celdas de secado. El diagrama de proceso que se encuentra a continuación fue diseñado en PI-Vision con el fin de realizar el respectivo Análisis Operacional.

Figura 2.

Diagrama General de Proceso de la Planta DIAPAC.



Nota. Tomado de (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2016)

2.2 Análisis Operacional en la GRB

El análisis operacional es una metodología estructurada que tiene como principios la observación sistemática de las condiciones operacionales tales como las variables de procesos, variables de calidad y las condiciones de operación de los equipos, con el fin de generar acciones que permitan optimizar y resolver problemas, de tal manera que se asegure la estabilidad y confiabilidad del proceso en cuestión. Dicha observación se fundamenta en la comparación con

un estándar de referencia, utilizando los conocimientos del proceso, sistemas y equipos para la implementación de acciones concretas que permitan mantener el proceso en el estado de referencia, en primer lugar, y posteriormente al mejoramiento continuo. Existen diferentes conceptos clave dentro del análisis operacional, como son:

- Capacidad del proceso, que como su nombre lo indica, hace referencia a la capacidad que tiene el proceso de producir dentro de las especificaciones requeridas.
- Objetivos operacionales, definidos como el conjunto de metas que se requieren alcanzar para lograr los máximos beneficios económicos posibles de cada proceso.
- Perturbaciones operacionales son aquellos eventos externos que pueden influir sobre las variables de control.
- Control Estadístico del Proceso (CEP) que permite prever la desviación
- Estructura de Control de Gestión (ECG) donde se realiza la planeación, seguimiento y ajuste de la estrategia de la organización (Sistema de Gestión HSE. , 2018).

En la Guía de la Práctica de Análisis Operacional de Unidades Operativas de Ecopetrol S.A. se establecen los diferentes objetivos que se pretenden alcanzar, como son (Sistema de Gestión HSE. , 2018):

- Garantizar la seguridad de las personas y la integridad de los procesos a cargo.
- Obtener el mejor rendimiento de las materias primas o entradas a los procesos.
- Asegurar el excelente desempeño de los equipos y activos para el incremento de valor sobre las materias primas procesadas.
- Optimizar los costos de la operación y así aportar a la rentabilidad como negocio.
- Entregar productos/servicios acordes con los compromisos de calidad en oportunidad, volumen y especificaciones requeridas y establecidos con clientes internos y externos.

2.3 Análisis Operacional en la PTAR – GRB

El análisis operacional dentro de la Coordinación de Gestión y Control Ambiental (CGC), se lleva a cabo a través de reuniones diarias con el grupo de trabajo en turno, técnicos e ingenieros. De esta forma, el técnico de turno tiene a la mano toda la información sobre los equipos y unidades que conforman la PTAR, reportando las condiciones y las posibles irregularidades presentes en su turno y en el anterior a él. El técnico de PTAR en turno cuenta con una consola donde puede supervisar los datos que se actualizan en línea en diferentes bases de datos previamente organizadas; esto permite tener un control de toda la Planta mientras se mantiene en contacto con los operarios encargados de realizar diferentes mediciones y monitorear las diferentes unidades presentes. De esta manera, esta información solo puede ser vista en el equipo de cómputo del técnico en turno.

Actualmente, con la creación de la herramienta de análisis operacional se pretende que esta información pueda ser vista desde cualquier computador conectado a la red de la empresa mediante el software PI-Vision, así, todo el grupo de trabajo interesado por el desempeño de la PTAR puede tener a su disposición las variables operacionales y de calidad más importantes para tener una idea clara de la operación que se lleva a cabo en cualquier momento. De esta manera, se inició el “diseño de una herramienta tecnológica innovadora y sencilla que incorpora todas las fuentes de información de la GRB. Ésta permite a todo el equipo de la planta, la oportunidad de realizar reuniones y elaborar informes con una visión detallada de los procesos, tratamientos, parámetros y resultados de laboratorio, y así hacer un análisis operacional integral de la eficiencia de cada una de las etapas del proceso diariamente en el cuarto de control por parte de operadores, supervisores e ingenieros responsables” (Sanabria, 2021). A continuación se muestra el diseño del menú

principal inicial, disponible antes de ser modificado. Se puede observar en qué consisten cada uno de los despliegues, los cuales fueron modificados y actualizados, y la ausencia de la Planta DIAPAC. Los tratamientos de sodas sulfhídricas y de sodas Cresílicas y Nafténcias, se encontraban sin ningún tipo de información, por lo cual, fueron diseñaron de principio a fin en PI-Vision para su respectivo Análisis Operacional. Los despliegues actualizados, modificados y creados se muestran y explican en los anexos del 1 al 18.

Figura 3.

Menú principal de la herramienta tecnológica.



Nota. Tomado de (Sanabria, 2021)

2.4 Funcionamiento del sistema PI

El sistema PI es un software que permite el almacenamiento de datos de manera organizada y eficiente para cubrir una serie de necesidades en relación a dicho tratamiento de datos como es la resolución de problemas en tiempo real, mantener los procesos en correcto funcionamiento, informar sobre los datos con rapidez y evitar desperfectos (OSISOFT, 2017). Este sistema toma los datos reportados por los diferentes equipos mediante una interfaz de PI llamada Data Archive, para posteriormente ser organizados y almacenados en la base de datos Asset Framework (AF). Adicionalmente, estos datos se ven reportados en la Suite de visualizaciones de PI que está conformada por PI-Vision (la plataforma en la que se realizó el diseño de la herramienta de análisis operacional de la unidad PTAR), PI-ProcessBook y PI-DataLink, una herramienta que opera en Excel, en la cual nos apoyamos para realizar la revisión y el ajuste de datos mediante la búsqueda de tags, los cuales almacenan toda la información de la variable del equipo en cuestión, de esta manera, es posible ver la fuente de donde proviene el dato, en qué unidades se encuentra, el equipo del que proviene, así como la última fecha y hora exactas en la que se registró el dato.

3. Objetivos

3.1 Objetivos General

Actualizar y consolidar el diseño de la herramienta de análisis operacional integral de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR-GRB), dejando completamente en productivo el uso de esta herramienta para las funciones de control, evaluación y optimización de los procesos dentro de esta unidad.

3.2 Objetivos Específicos

1. Hacer un diagnóstico del avance de la herramienta de análisis operacional vigente en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Coordinación de gestión y control ambiental de la Refinería de Barrancabermeja, con el fin de completar la información ausente en la herramienta y corregir los datos erróneos encontrados en el diagnóstico realizado.

2. Diseñar de principio a fin la Unidad de Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas (U-4090), y la planta de tratamientos de aguas domésticas DIAPAC, además de incorporar la corriente de reúso en el diagrama general en el software PI-Vision para integrarlos con las demás unidades que componen la PTAR.

3. Dejar completamente en productivo la herramienta de análisis operacional integral en cuestión en el programa PI-Vision, y realizar capacitación a los operarios, técnicos, ingenieros y

líderes de la Coordinación de gestión y control ambiental de la Refinería de Barrancabermeja, encargados del control, evaluación y optimización de la operación de la PTAR.

4. Descripción Metodológica

4.1 Descripción de las etapas secuenciales realizadas durante la práctica.

4.1.1 Estudio de la unidad PTAR de la GRB.

La primera etapa dentro del desarrollo de la práctica empresarial consistió en el aprendizaje global de los procesos que se llevan a cabo en la PTAR de la GRB, incluyendo lectura del manual de la planta, el estudio y análisis de las ventanas operativas, el reconocimiento de las actividades diarias del grupo de trabajo de la Coordinación de Gestión y Control Ambiental, lo que permitió un mejor acercamiento con los ingenieros, técnicos y operarios encargados del control y buen funcionamiento de la PTAR.

4.1.2 Capacitación en la herramienta PI-Vision y PI-DataLink.

Para iniciar el trabajo respectivo en la herramienta PI-Vision y PI-Datalink, fue necesario recibir una capacitación previa dirigida por el Ingeniero de Sistemas de la GRB, quién nos enseñó

su funcionamiento, su estructura y la manera como almacenaba los datos correspondientes a cada una de las unidades y equipos de la Refinería.

4.1.3 Diagnóstico del diseño actual de la herramienta de análisis operacional.

La tercera etapa, se basó en el reconocimiento de la estructura y diseño de la herramienta de análisis operacional vigente y una revisión detallada de los datos consignados en cada uno de los despliegues con la ayuda de los técnicos de turno, lo que permitió tener un diagnóstico del estado de la herramienta hasta ese momento; encontrando diferentes consistencias en algunos tags y la ausencia de algunos datos importantes para el respectivo análisis operacional.

4.1.4 Actualización y ajuste del avance del diseño de la herramienta actual.

En esta etapa, se realizaron los ajustes de los datos ausentes y erróneos que arrojó el diagnóstico previamente realizado, así como la implementación de algunas sugerencias realizadas por el grupo de trabajo.

4.1.5 Diseño Unidad 4090 y planta DIAPAC e incorporar la corriente de reúso.

La Unidad 4090 y la planta DIAPAC, no se encontraban dentro del menú de la herramienta de análisis operacional vigente, por lo que se hizo necesario la creación del esquema de cada una de las unidades y, a su vez, la recopilación de los respectivos datos que debían complementar la información de cada despliegue. Se realizó un estudio de los diferentes tags ausentes o defectuosos

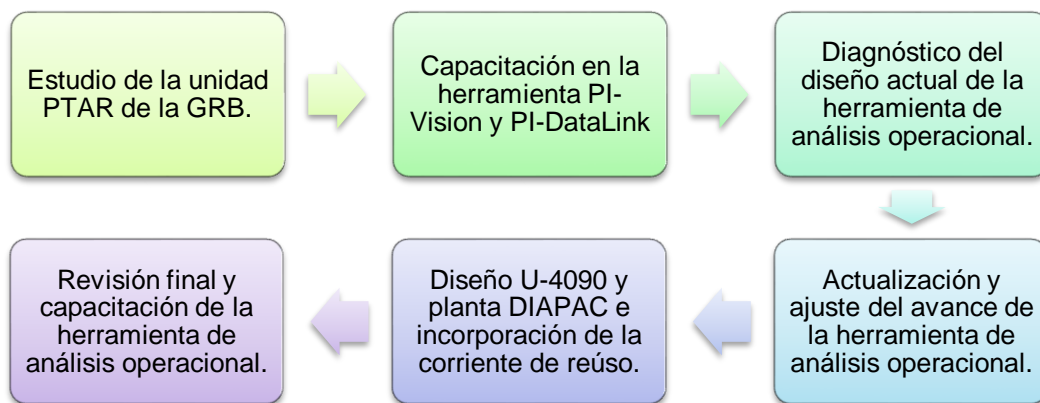
en el sistema PI de cada una de las plantas y se realizó el respectivo control de cambios para disponer de las respectivas variables operativas y de calidad.

4.1.6 Revisión final e implementación de la herramienta de análisis operacional.

La última etapa dentro de la metodología del desarrollo de la práctica consistió en la revisión final de la herramienta, dejando un diagnóstico de su estado actual, con el ánimo de realizar las diferentes correcciones que, por cuestiones de modalidad, ocupaciones del equipo de trabajo e imprevistos de último momento, no pudieron ser atendidos. El desarrollo de este diagnóstico se hizo con el fin de permitir la implementación de la herramienta a corto plazo. Del mismo modo, se realizó una reunión con todo el grupo de trabajo en la cual, se explicaron detalladamente los despliegues y los datos consignados en cada uno de ellos, así como la manera en la que podían acceder a la herramienta y su modo de uso.

Figura 4.

Diagrama de flujo de las etapas del desarrollo de los objetivos propuestos en la práctica.



4.2 Descripción de las tareas y funciones realizadas durante la práctica empresarial.

Tabla 5.

Tareas y funciones realizadas durante la práctica empresarial.

| Etapa | Tareas |
|--|--|
| <p>Estudio de la unidad PTAR de la GRB</p> | <p>Lectura del manual de la planta de tratamiento de aguas residuales, donde se encuentra consignado en detalle la descripción de los procesos involucrados dentro del funcionamiento de esta unidad.</p> <p>Participación de las reuniones de Análisis Operacional de la CGC de lunes a viernes a las 9:30 am donde se tratan todos los temas relacionados con el control de operación y el funcionamiento adecuado de la PTAR.</p> <p>Estudio y análisis de las ventanas operativas asociadas al análisis operacional de la PTAR, incluyendo los informes relacionados por el técnico y las empresas contratistas.</p> |
| <p>Capacitación en la herramienta PI-Vision y PI-DataLink</p> | <p>Participación en las sesiones de capacitación en la herramienta PI.</p> <p>Presentación de la evaluación correspondiente a la capacitación de la herramienta PI para tener acceso a PI-Vision y PI-DataLink.</p> |
| <p>Diagnóstico del diseño actual de la herramienta de análisis operacional</p> | <p>Análisis del diseño y estructura de la herramienta de análisis operacional vigente.</p> <p>Revisión del avance de la herramienta de análisis operacional, identificando inconsistencias en los datos presentados en cada uno de los despliegues que la conforman, con ayuda de los operarios de la unidad PTAR.</p> |
| <p>Actualización y ajuste del avance</p> | <p>Ajuste de los datos erróneos o inconsistentes arrojados por el diagnóstico realizado previamente en la herramienta de análisis operacional actual.</p> <p>Implementación de sugerencias impartidas por el personal de la CGC.</p> |

| Etapa | Tareas |
|---|---|
| del diseño de la herramienta actual | Asistencia a reuniones programadas (4 reuniones por semana) con el ingeniero de sistemas de la GRB para realizar los ajustes necesarios, consignados en un Excel detallado con los cambios a realizar. |
| Diseño Unidad 4090 y planta DIAPAC e incorporar la corriente de reúso | <p>Construcción de los despliegues de la U-4090 y DIAPAC, por medio de un esquema gráfico que reúne la dinámica del proceso y presenta las principales variables operativas y de calidad necesarias para el adecuado análisis operacional de cada una de estas dos unidades.</p> <p>Incorporación de la corriente de reúso en el diagrama general con los respectivos datos de las variables operacionales necesarias para su análisis diario.</p> <p>Creación de los tags necesarios para la realización del ítem anterior con ayuda del ingeniero de sistemas, quien actualizará la base de datos de la planta.</p> <p>Consolidación de toda la información requerida por medio del software PI Vision.</p> |
| Revisión final e implementación de la herramienta de análisis operacional | <p>Revisión final con el grupo de trabajo de CGC.</p> <p>Realización de los últimos ajustes identificados en la revisión final.</p> <p>Capacitación a los operarios, técnicos e ingenieros, de la estructura y el funcionamiento de la herramienta de análisis operacional creada, indicando el modo y la relación existente de cada uno de los datos allí consignados y los indicadores de cada uno de los equipos.</p> |
| Iniciativas de Economía Circular | <p>Revisión del avance de la construcción de iniciativas de Economía Circular.</p> <p>Participación en el diseño de los cuadros Canvas de dos iniciativas de Economía Circular: Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y Membranas de ósmosis en filtros RO</p> <p>Lectura de la resolución 472 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.</p> <p>Lectura y análisis del estudio realizado por el ICP de los RCD generados en la GRB.</p> |

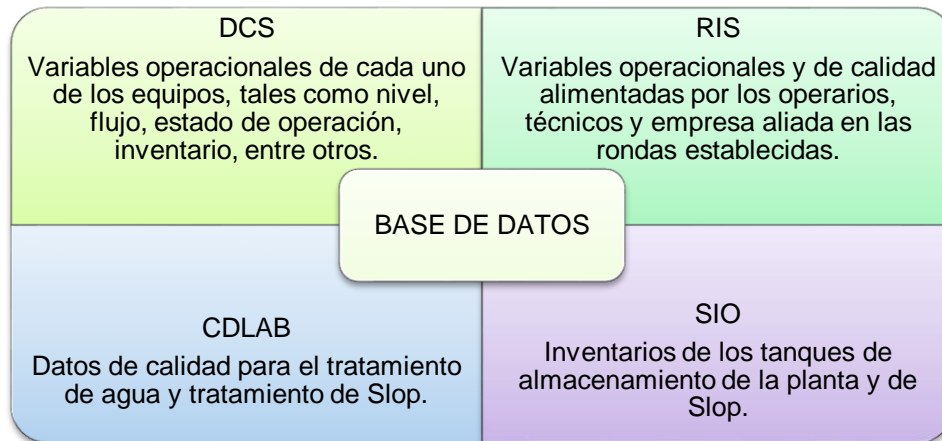
| Etapa | Tareas |
|--|---|
| | <p>Lectura y análisis de los filtros RO usados en la GRB, así como sus fichas técnicas.</p> <p>Participación en la capacitación de Economía Circular por parte de la GRB.</p> <p>Creación de los cuadros Canvas bajo la supervisión del grupo de trabajo encargado para cada una de las iniciativas</p> |
| <p>Plan de Emergencia y Contingencia</p> | <p>Colaboración en la revisión del Plan de Emergencia y Contingencia de la GRB.</p> |

4.3 Descripción del diagnóstico realizado al principio y al final de la práctica de la herramienta de análisis operacional en cuestión.

Después de analizar la organización y estructura del diseño de la herramienta de análisis operacional creada y de entender el funcionamiento de la herramienta PI, se procedió a realizar una evaluación detallada de los datos presentes en cada despliegue, los cuales hacían parte de la base de datos de la unidad PTAR en el sistema PI; estos datos provienen diferentes fuentes según la variable operativa o del equipo del que se deriva, de la siguiente manera:

Figura 5.

Fuentes de información de la base de datos de la unidad PTAR en PI.



Este sistema permite obtener y disponer de los datos de una manera más organizada. De esta forma, con la base de datos disponible y la ayuda del técnico de turno, se verificaban los datos consignados en el sistema PI-Vision y los consignados en el sistema de control que manejan internamente en la PTAR. Esto permitió encontrar algunos errores en los datos presentes en los despliegues del menú de PI-Vision, a causa de la falta de actualización del dato en las rondas, inconsistencia entre la variable a mostrar y el tag cargado para esa variable o la presencia de tags repetidos; por otro lado, se encontró la ausencia de variables operacionales o de calidad indispensables para el análisis operacional. En esta etapa la ayuda de los técnicos encargados de la consola de control de la PTAR fue determinante, debido a su conocimiento y experiencia con el funcionamiento integral de la unidad y su participación en las reuniones diarias donde se analizan las variables operacionales y de calidad.

4.4 Descripción del ajuste y adición de datos.

Cualquier cambio o ajuste a realizar debía estar supervisado y ejecutado por el Ingeniero de Sistemas de la GRB. Todas las modificaciones debían estar especificadas en un Excel, detallando la unidad, el equipo, el tipo de variable, su nombre, el nombre del tag que contenía toda la información, la fuente de suministro del dato, su valor y la última fecha de actualización del dato. Todo esto era posible con la herramienta previamente instalada en el Excel llamada PI-DataLink, este documento debidamente organizado, debía enviarse al Ingeniero antes de iniciar la reunión programada.

Existen algunas modificaciones que requerían un análisis más riguroso debido a que podían causar modificaciones importantes en el sistema de datos, por lo que el documento debía ir firmado por el Ingeniero de Proceso encargado de la PTAR y, este a su vez, se enviaba al Ingeniero de Sistemas para implementar los cambios solicitados.

4.5 Descripción del diseño de la U-4090 y la planta DIAPAC.

Para iniciar el diseño de la U-4090 y la planta DIAPAC, fue necesario leer los respectivos manuales y analizar el diagrama de control de cada unidad. De esta manera, fue posible tener una idea global y detallada de los procesos que se llevan a cabo. Una vez leído y analizado el material se procedieron a crear los diagramas de proceso ilustrados en PI-Vision, teniendo en cuenta las convenciones anteriormente utilizadas en los demás diagramas de proceso de la herramienta, de tal manera que se notara uniformidad y coherencia. Posteriormente, el diseño de cada unidad se

revisaba y se aplicaban algunos cambios sugeridos por el grupo de trabajo, permitiendo así el resultado final plasmado en los despliegues correspondientes.

Por otro lado, fue indispensable la programación de reuniones con el técnico de turno, el ingeniero de proceso y el líder de excelencia de la CGC, para seleccionar las variables operacionales y de calidad necesarias para cada una de las unidades. De este modo, se obtuvo una lista de variables para ser consignadas en el Programa PI-Vision. Sin embargo, debido a que la U-4090 aún se encontraba en proceso de actualización y no había iniciado operación dentro de la PTAR, gran parte de las variables se encontraban ausentes o debían ser modificadas; en este sentido, la obtención de dichas variables no pudo completarse debido a la ocupación del personal encargado de llevar a cabo las acciones requeridas. Debido a esto, se trabajó con las variables existentes y se realizó el debido procedimiento para poder disponer de ellas en el PI-Vision. En el caso de la planta DIAPAC, no se encontraron variables operacionales, ni de calidad en el sistema PI, debido a que desde hace varios años esta planta viene operando en automático; se realizó entonces el debido proceso para anexar las variables de calidad tomadas por el CDLAB de la GRB para ser agregadas al despliegue.

4.6 Descripción de la capacitación en la herramienta de análisis operacional.

La capacitación en la herramienta de análisis operacional se llevó a cabo en una reunión via Microsoft Teams, a la cual asistió gran parte del grupo de trabajo de la CGC encargados de la PTAR de la refinería de Barrancabermeja. Se mostraron de manera detallada los datos y el diagrama de proceso consignado en cada despliegue; de la misma forma, se explicó el uso de la herramienta, las diferentes acciones que podían realizar dentro de PI-Vision, entre ellas la

capacidad que tiene la herramienta para almacenar los datos de meses y años atrás, mostrando gráficas de tendencia y los datos requeridos en el tiempo exacto, así como los datos en tiempo real de los diferentes equipos y unidades que conforman la PTAR.

5. Resultados

5.1 Descripción de los despliegues anexos a la herramienta tecnológica para el Análisis Operacional de la PTAR de la GRB.

La herramienta tecnológica para el Análisis Operacional de la PTAR de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja actual se muestra a continuación. Allí, se puede observar la creación del despliegue de la Planta DIAPAC, del cual se hablará en detalle, al igual que los dos tratamientos de sodas, los cuales fueron estudiados y posteriormente diseñados para el respectivo análisis operacional, completando así, todas la unidades y tratamientos presentes.

Figura 6.

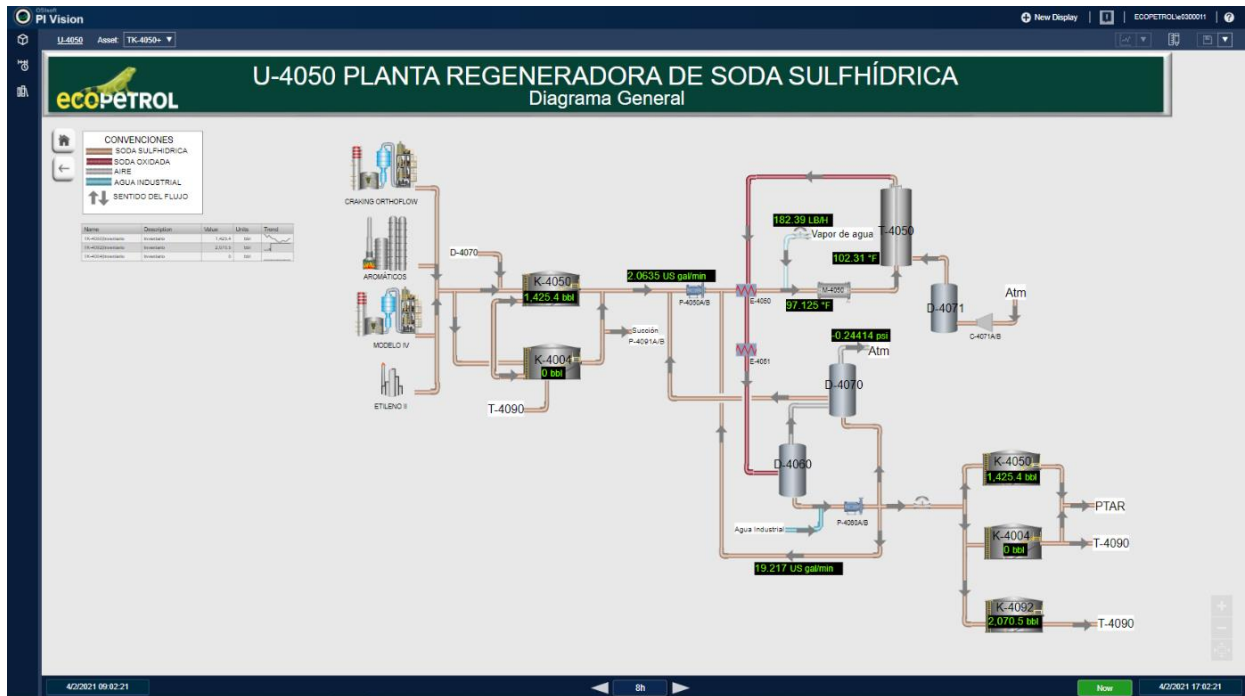
Menú principal actual de la herramienta tecnológica para el Análisis Operacional de la PTAR de la GRB.



5.1.1 Tratamiento de Sodas Sulphúricas.

Figura 7.

U-40550 Planta Regeneradora de Soda Sulphúrica.



El tratamiento de Sodas Sulphúricas se lleva a cabo en la U-4050, también llamada Planta Regeneradora de Soda Sulphúrica. El diagrama de proceso fue diseñado en PI-Vision partiendo del Diagrama Grande de Control disponible de la Unidad U-4050, adicionalmente, se realizaron algunos ajustes para mayor claridad a la hora de agregar las variables operacionales necesarias para el Análisis Operacional correspondiente.

5.1.2 Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas.

El tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas se lleva a cabo en la unidad U-4090, también llamada Planta de Sodas RESOX. Para el diseño de este diagrama fue necesario entender completamente el proceso de dicho tratamiento y la lectura completa del Diagrama Grande de Control de la Unidad. De esta manera, se realizaron esquemas previos a éste que fueron tomando forma hasta obtener finalmente el diagrama de proceso completamente definido, dispuesto para agregar cada una de las variables operativas más relevantes para el debido Análisis Operacional.

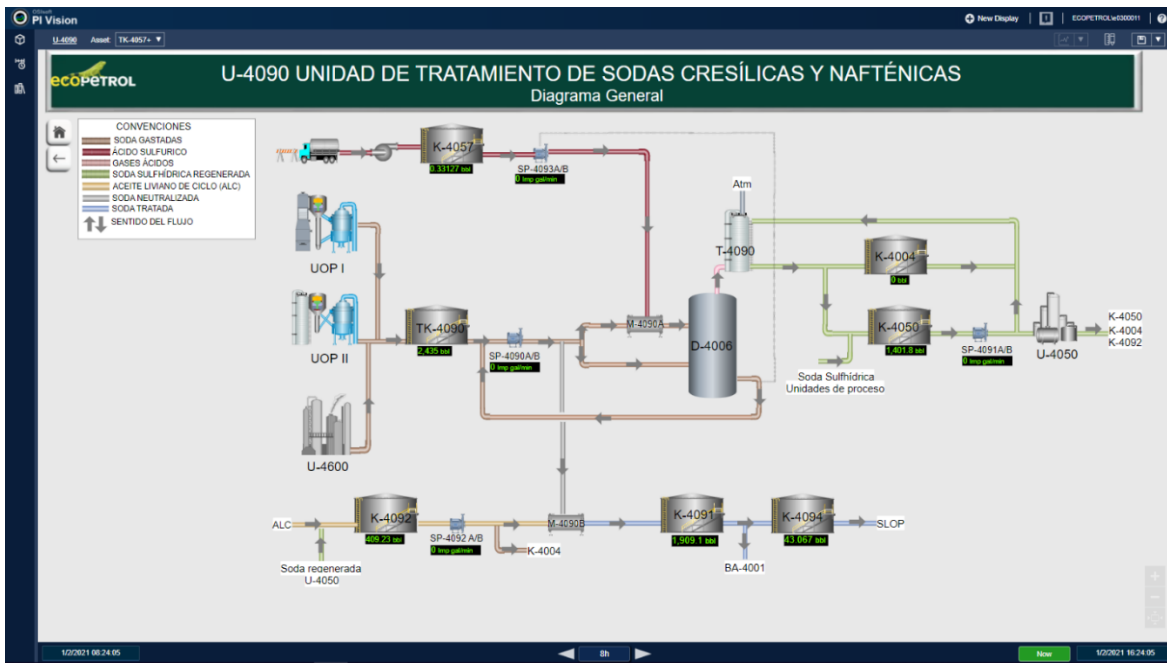
Este tratamiento inicia con el acopio de las sodas gastadas generadas durante el tratamiento cáustico de cortes de Keroseno, Diesel y Jet, provenientes de crudos nafténicos, así como las sodas gastadas generadas en el tratamiento cáustico de gasolinas y destilados craqueados, por lo que contienen compuestos cresílicos y nafténicos disueltos provenientes de las unidades UOP I, UOP II y la U-4600, y son recibidas en el tanque K-4090 con el objetivo de remover de manera controlada dichos compuestos fenólicos. La recepción de las sodas gastadas se realiza por baches con previa coordinación entre los técnicos encargados de las unidades. La primera etapa del tratamiento corresponde al proceso de neutralización, donde se realiza un ajuste de pH de 14 a 6,5 de manera controlada por la adición de ácido sulfúrico al 97% de pureza (H_2SO_4), a la soda previamente homogeneizada por recirculación en un mezclador estático, recuperándose la mayor cantidad de los compuestos cresílicos y nafténicos. Durante esta primera etapa, se genera una corriente de gases ácidos, los cuales son enviados a la torre de lavado T-4090 para la remoción del H_2S , evitando la emisión de este compuesto nocivo a la atmósfera. Este lavado se hace con una solución de soda cáustica, la cual puede ser soda fresca o soda sulfhídrica gastada con el fin de optimizar el uso de la soda regenerada en la U-4050. En la segunda etapa, mediante un proceso de

extracción líquido-líquido con aceite liviano de ciclo (ALC), se extraen parte de los componentes cresílicos y nafténicos remanentes en la salmuera neutralizada (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2017).

Cuando la concentración de fenol supera las 10000 ppm, se realizan dos fases de neutralización. La primera fase se lleva a cabo de la forma explicada previamente, en este caso, variando el pH de 14 a 11, donde los gases generados son enviados a la T-4090. Una vez finalizada esta primera etapa, se recircula el Drum D-4006 sin inyección de ácido para alinear la línea del mezclador y la línea de by-pass en flujos iguales y se verifica el valor del pH en 11-12, para poder iniciar la segunda fase de neutralización. En esta fase se espera disminuir el valor del pH de 11 a 6 - 6.5 usando ácido sulfúrico al 98%. Se realiza el mismo proceso anterior con la ayuda de la corriente que se recircula por el by-pass, actuando como sistema de control ante el aumento de temperatura (Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja, 2017). El flujo de dosificación de ácido se regula con el lazo de control del medidor de pH ubicado en la línea de recirculación. La segunda etapa, donde se lleva a cabo el proceso de extracción líquido-líquido se realiza de la misma manera.

Figura 8.

U-4090 Unidad de Tratamiento de Sodas Cresclicas y Nafténicas



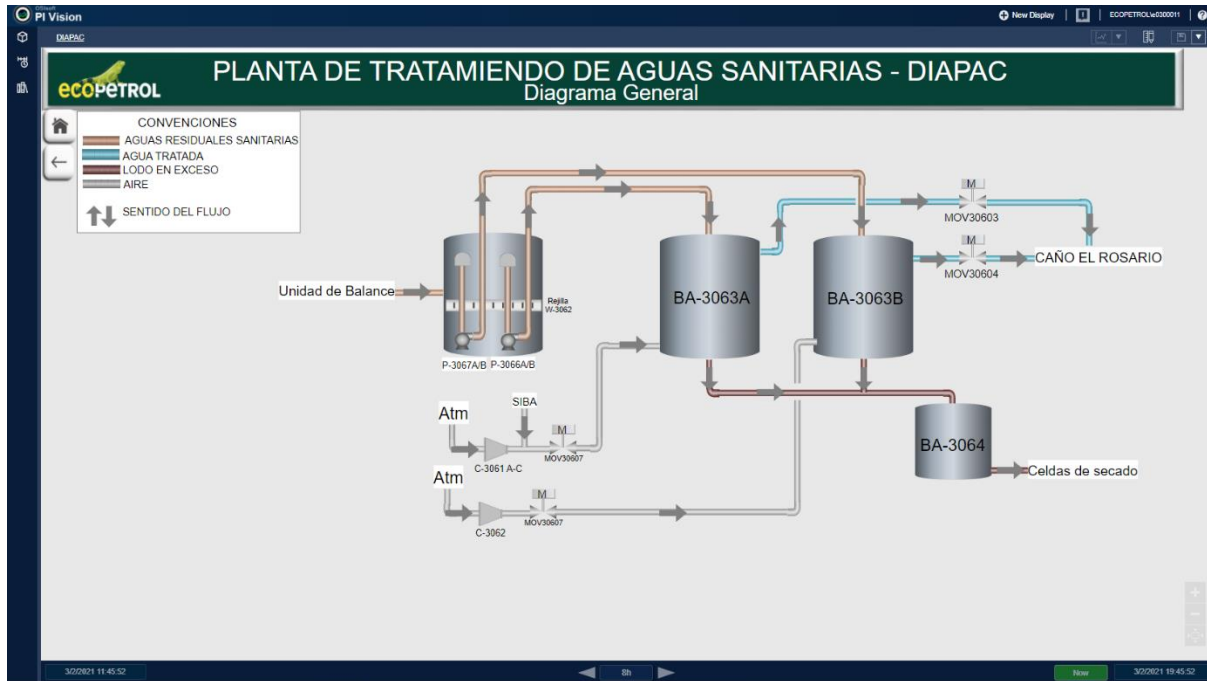
5.1.3 Planta de Tratamiento de Aguas Domésticas, DIAPAC.

La planta de Tratamiento de Aguas Domésticas, se encuentra operando en automático hace un par de años, por lo que la toma de datos de variables operativas y de calidad se eliminó de la ronda estructurada que se lleva a cabo diariamente en la PTAR. Únicamente se toman las variables de calidad por parte del laboratorio de la GRB (CDLAB), quien entrega un reporte mensual del estado y funcionamiento de la planta DIAPAC con base en las variables de calidad medidas. Estos datos no se encuentran en la base de datos de PI, por lo que se realizó únicamente el esquema del proceso y se dejó a consideración de la Coordinación de Gestión y Control Ambiental la creación y actualización de la base de datos con la información correspondiente a la DIAPAC. De esta

manera, en el despliegue se muestra el diagrama del proceso con las respectivas convenciones de los flujos presentes en el tratamiento de las aguas domésticas, tal como se muestra a continuación.

Figura 9.

Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias - DIAPAC



5.2 Actualizaciones y ajustes realizados a la herramienta.

El diagnóstico realizado en la herramienta, permitió identificar el error en algunos tags presentes en la base de datos de PI-DataLink, y la ausencia de algunos tags en varios despliegues de la herramienta. Se revisaron todos los tags y se verificaron 102 tags que aparentemente mostraban error, por lo que fueron corregidos y actualizados. Por otro lado, se incorporaron a la herramienta más de 150 tags con información que se encontraba ausente. A continuación se presentan los cambios y actualizaciones desarrolladas en la herramienta.

1. En el despliegue general, se realizaron ajustes en cuanto a la estructura organizacional como alineamiento de tablas, se eliminó la información de algunos tags que se encontraban repetidos y otros que no se alimentaban desde hace mucho tiempo, de tal manera que se permitiera el acopio de la información de manera clara y precisa.

2. Al diagrama general del proceso de tratamiento de aguas residuales industriales, se agregaron las temperaturas de entrada y salida a los cuatro clarificadores presentes en la planta. Se modificaron los datos de carga de agua de reúso a la U-2900, se modificó el nivel del Drum D-4001 A/B/C, de la piscina BA-4007 A/B y la concentración de las corrientes de floculante y coagulante, todos estos datos mencionados presentaban inconsistencias en los datos que arrojaban al sistema PI, detectado en el diagnóstico realizado al inicio a la herramienta. Además, por sugerencia del grupo de trabajo, se modificó la alerta de los semáforos, correspondiente al estado del equipo, de manera que facilitara la lectura de este tipo de alerta.

3. En el despliegue de los principales tanques que componen la PTAR, se organizaron todas las tablas de la misma manera, de tal manera que se encontraran todas las variables operativas en el mismo orden.

4. En el despliegue de plan de calidad se verificaron todas las variables presentes en cada una de las tablas de datos, excluyendo aquellos datos erróneos y repetidos, además del arreglo de algunos tags que presentaban incongruencia en la información de la descripción, el valor y las unidades. Además, se verificó el valor de las ventanas operativas que delimitan la alerta de semáforo.

5. En el despliegue de tratamiento de lodo, se agregaron los valores ausentes en las tablas de datos y se agregaron algunos apartados por sugerencia del grupo de trabajo, para los cuales se realizó el respectivo trámite para la creación de los tags con la información de las variables

adicionales. Adicionalmente, se agregaron los valores del porcentaje de aceite, sólido y agua presentes en el lodo en tratamiento, el Slop recuperado y en el lodo seco.

6. El diagrama de proceso presente en el despliegue correspondiente al Tratamiento de Sodas Sulfhídricas fue eliminado y rediseñado con ayuda del grupo de trabajo. Adicionalmente, se agregó la información correspondiente a las variables más importantes para su análisis operacional, como son el nivel de los tanques presentes, el flujo de las diferentes corrientes, los datos de presión y temperatura en las corrientes de salida y los principales equipos.

7. El diagrama de proceso correspondiente al despliegue de Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas fue diseñado de principio a fin en PI-Vision, adicionando la información más relevante y disponible en la base de datos de PI. Por otro lado, se creó el respectivo control de cambios con la información ausente y alguna información errónea en la base de datos de PI, con el fin de poder disponer de ella y agregarla fácilmente al nuevo display creado en PI-Vision.

8. En el despliegue del Balance de Sólidos Suspendidos, se agregaron los valores de la concentración de sólidos suspendidos en ppm a la entrada y salida de los cuatro clarificadores y se registraron en la tabla de datos.

9. El diagrama de proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, DIAPAC, se diseñó completamente en PI-Vision y se dejó lista para agregar la información correspondiente en cuanto se retome la toma de datos en las rondas diarias realizadas en la PTAR.

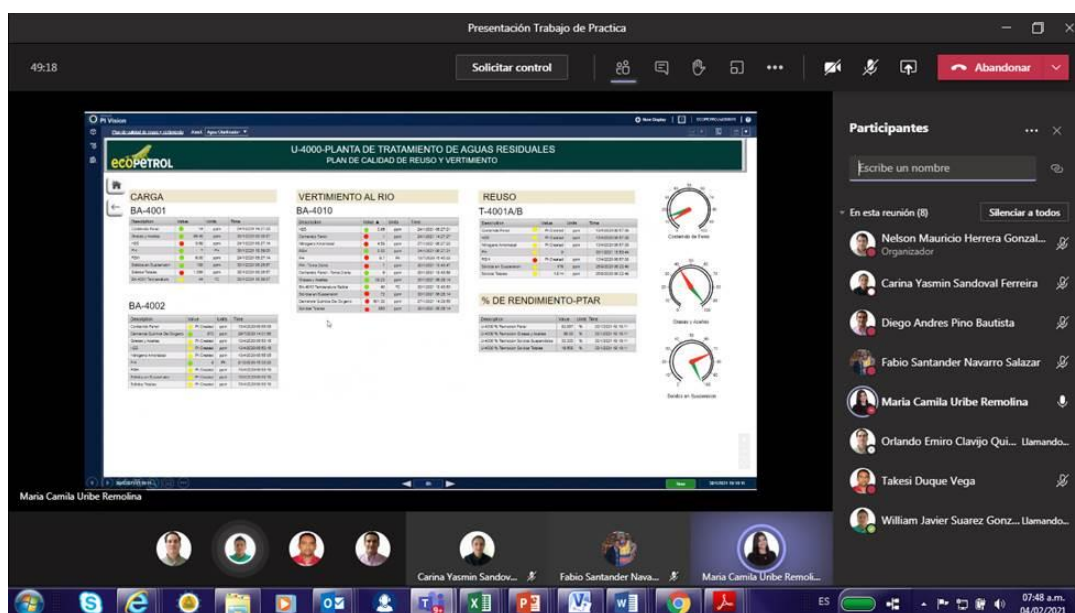
10. Por último, todos los despliegues de los Tanques de Slop presentes en los Separadores (Balance, Norte y Sur) fueron modificados y debidamente organizados de tal manera que se presentara homogeneidad y veracidad en el contenido de la información.

5.3 Capacitación de la herramienta de Análisis Operacional.

La capacitación se llevó a cabo con gran parte del grupo de trabajo, conformado por ingenieros, técnicos y operarios de la Coordinación de Gestión y Control Ambiental, con un total de 7 asistentes. En esta capacitación se explicó la organización y el funcionamiento del menú principal de la herramienta y de cada uno de los despliegues, así como la información suministrada y las diferentes convenciones. Adicionalmente, se explicó el funcionamiento del software PI-Vision, con cada una de las herramientas que se disponen dentro del programa para realizar análisis de datos con las gráficas de tendencia y la posibilidad de ver los datos en tiempo real o en cualquier instante anterior. La capacitación se llevó a cabo el día 4 de febrero, en una sesión de alrededor de 2 horas y 30 minutos, vía Teams, con espacio para dudas y comentarios adicionales del grupo de trabajo.

Figura 10.

Evidencia 1 de capacitación de la herramienta de Análisis Operacional.



6. Conclusiones

- Se culminó el diseño de la herramienta tecnológica para el Análisis Operacional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Refinería de Barrancabermeja, cubriendo todas las unidades, equipos y procesos presentes, de tal manera que todos los miembros del grupo de trabajo de la Coordinación de Gestión y Control Ambiental, puedan acceder a ella a través de la red corporativa en cualquier dispositivo, permitiendo el acceso al historial de datos de las variables operativas y de calidad allí consignadas, como también el acceso a los datos en tiempo real.
- Se realizó un diagnóstico detallado del estado del avance de la herramienta de Análisis Operacional, que permitió realizar los diferentes ajustes realizados a la herramienta, de tal manera que se corrigieron algunos datos erróneos y se agregaron datos ausentes en cada uno de los despliegues donde fue requerido, aumentando la confiabilidad en los datos disponibles para las reuniones diarias de Análisis Operacional.
- Se realizó el diseño de la Unidad de Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas – U-4090 y de la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias – DIAPAC en PI-Vision y se plasmaron los datos disponibles en la base de datos de PI para cumplir con el objetivo principal de la herramienta, que corresponde al fácil acceso y acopio de los datos más relevantes para delimitar el buen funcionamiento y operación dentro de la PTAR.
- Se realizó la capacitación correspondiente al entendimiento del funcionamiento y diseño de la herramienta tecnológica para el Análisis Operacional de la PTAR a gran parte del grupo de trabajo de la Coordinación de Gestión y Control Ambiental. De esta manera, se dispuso la

herramienta al servicio de todos los operarios, técnicos e ingenieros encargados del buen funcionamiento de la unidad PTAR.

7. Recomendaciones

- Someter la herramienta a periodos de prueba que permitan establecer un mayor nivel de confiabilidad, de tal manera que se pueda evidenciar cualquier error o falla presente en la misma.
- Culminar la actividad de creación y actualización de los tags faltantes correspondientes a la Planta de Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas, a la Planta de Tratamiento de Soda Sulfhídrica que ya se encuentran organizados y clasificados para ser cargados en la base de datos de PI. Esta actividad fue gestionada antes de culminar la práctica, sin embargo, por cuestiones de tiempo y disponibilidad del personal encargado para realizar esta actividad, no fue posible culminar la acción.
- Anexar a la base de datos de PI la información correspondiente a la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias – DIAPAC para tener disponible el registro mensual que emite el laboratorio de la refinería de Barrancabermeja, CDLAB.
- Modificar los tags correspondientes a la carga de la PTAR y la carga de cada clarificador, de tal manera que este tag sea alimentado manualmente, para evitar las inconsistencias que se notaron en algunas ocasiones en los datos que arrojan los tags actuales.
- Corregir los tags de inventario correspondientes al tratamiento de lodos, específicamente, el dato del inventario total de Slop y del Slop en tratamiento, este error fue

notificado y entregado en el respectivo control de cambios que por cuestiones de tiempo y ausencia del Ingeniero de Procesos, no fue posible realizar la corrección.

Referencias Bibliográficas

Ecopetrol S.A. (2014). *Quiénes Somos, Nuestra Historia*. Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/NuestraHistoria>

Ecopetrol S.A. (2014). *Qué hacemos*. Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QueHacemos/Exploracion>

Ecopetrol S.A. (2015). *Modelo de Integridad Operativa*. Obtenido de <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2014/03/07-Integridad-Operativa.pdf>

Ecopetrol S.A. (2021). *Quiénes Somos, Acerca de Ecopetrol*. Obtenido de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/acercade-ecopetrol>

Gerencia de Energía Ecopetrol S.A. (2019). *Energía Renovables en el Grupo Empresarial de Ecopetrol (GEE)*. Obtenido de <https://www.energycolombia.org/wp-content/uploads/4.-Ecopetrol.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Resolución No. 631*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

OSISOFT. (2017). *Introducción al PI System*.

Sanabria, S. (2021). *Diseño e Implementación de una Herramienta Tecnológica para el Análisis Operacional Integral de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) – Ecopetrol S.A. Usando los Software PI DataLink y PI-Vision (Tesis de pregrado)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Sistema de Gestión HSE. . (2018). *Guía de la práctica de Análisis Operacional de Unidades*

Operativas de Ecopetrol S.A. Ecopetrol S.A.

Sistema de Gestión HSE. (2019). *Manual para Sistema de Gestión HSE.* . Ecopetrol S.A.

Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja. (2016). *Manual de Descripción de Procesos de la Unidad PTAR Ambiental – CA02.* Ecopetrol S.A.

Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja. (2016). *Manual de Descripción de Procesos de la Unidad PTAR Ambiental CA03.* Ecopetrol S.A.

Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja. (2017). *Manual de Descripción de Procesos de la Unidad de Tratamiento de Sodas Gastadas Nafténicas y Cresílicas – RESOX, Ecopetrol S.A.*

Vicepresidencia Refinación y Petroquímica Gerencia Refinería de Barrancabermeja. (2016). *Manual de Descripción de Procesos de la Unidad PTAR Ambiental CA02.* Ecopetrol S.A.

Vita Mesa, L. (2021). *Ecopetrol anuncia inversión de \$2,7 billones para la Refinería de Barrancabermeja.* *La República.* . Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/ecopetrol-anuncia-inversion-de-27-billones-para-la-refineria-de-barrancabermeja-3127454>

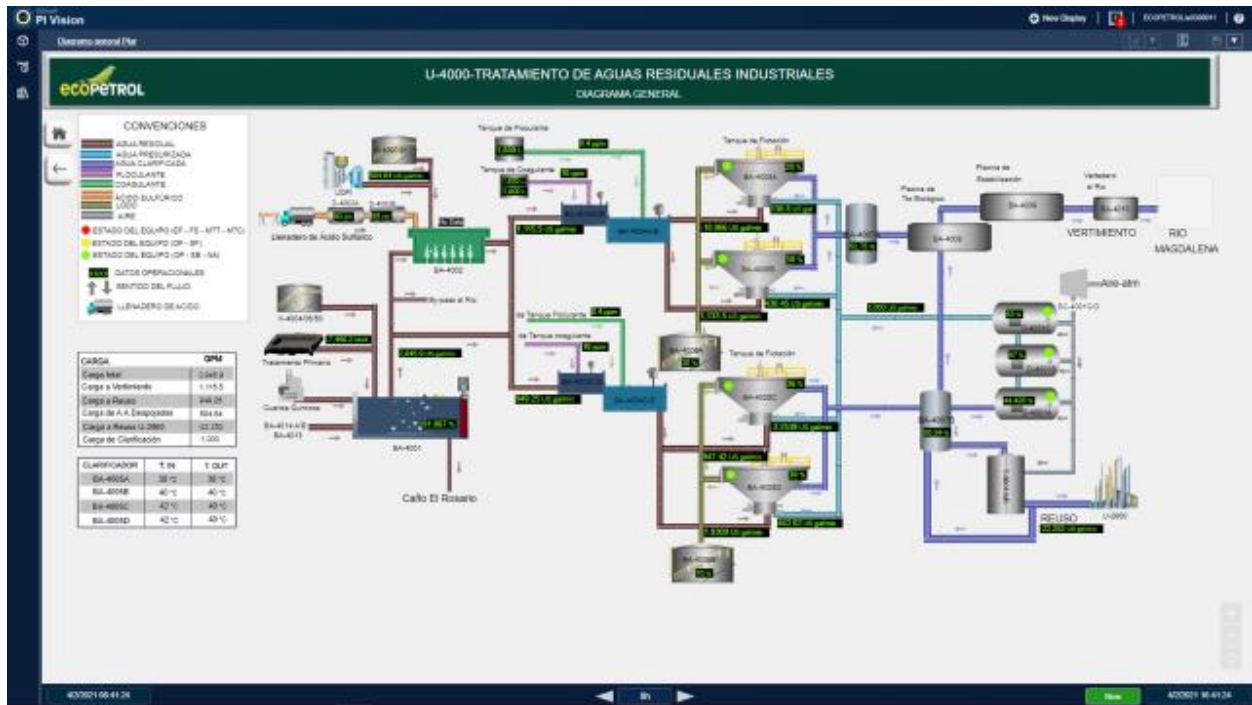
Apéndices

Apéndice A. Despliegue General.



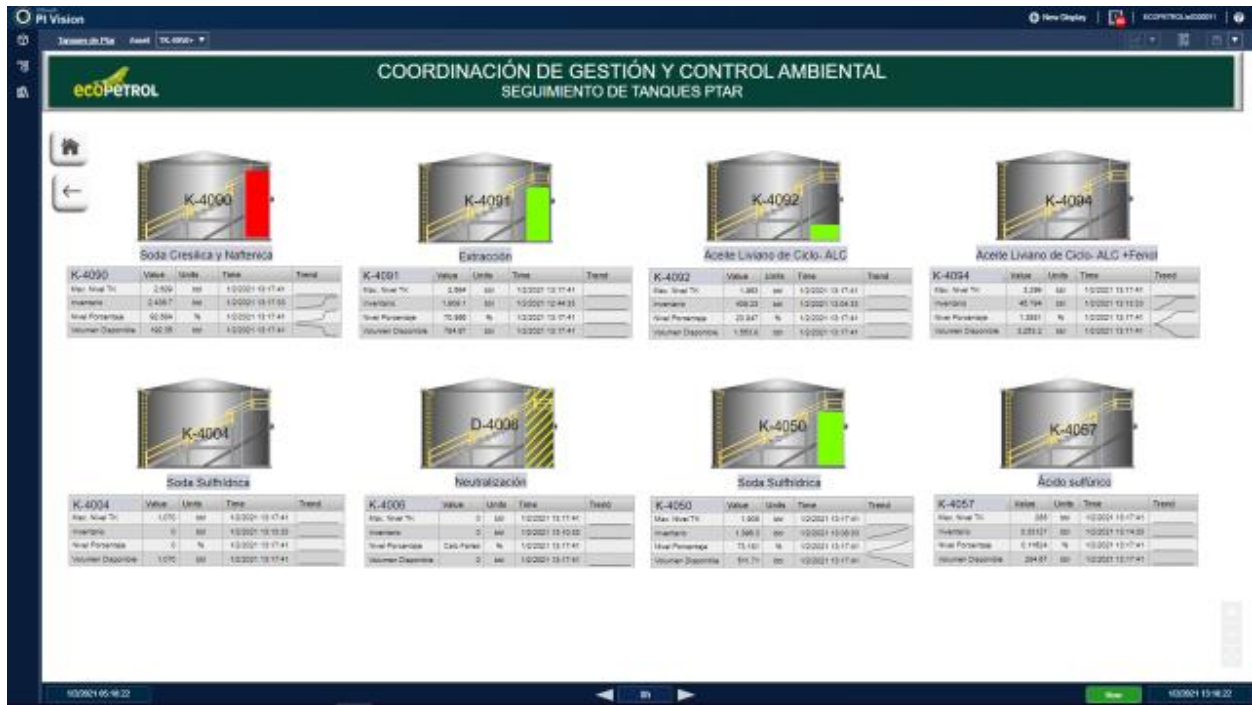
El Despliegue general muestra toda la información de la coordinación de gestión y control ambiental, en términos de parámetros de calidad y variables operacionales. Encontramos los principales equipos o unidades que componen la corriente de vertimiento, reúso y los tratamientos dentro de la PTAR con sus respectivas variables operacionales y de calidad, muy bien organizadas con su respectivo valor, las unidades en las que se encuentran y el tiempo de la última actualización del dato.

Apéndice B. Despliegue Diagrama General.



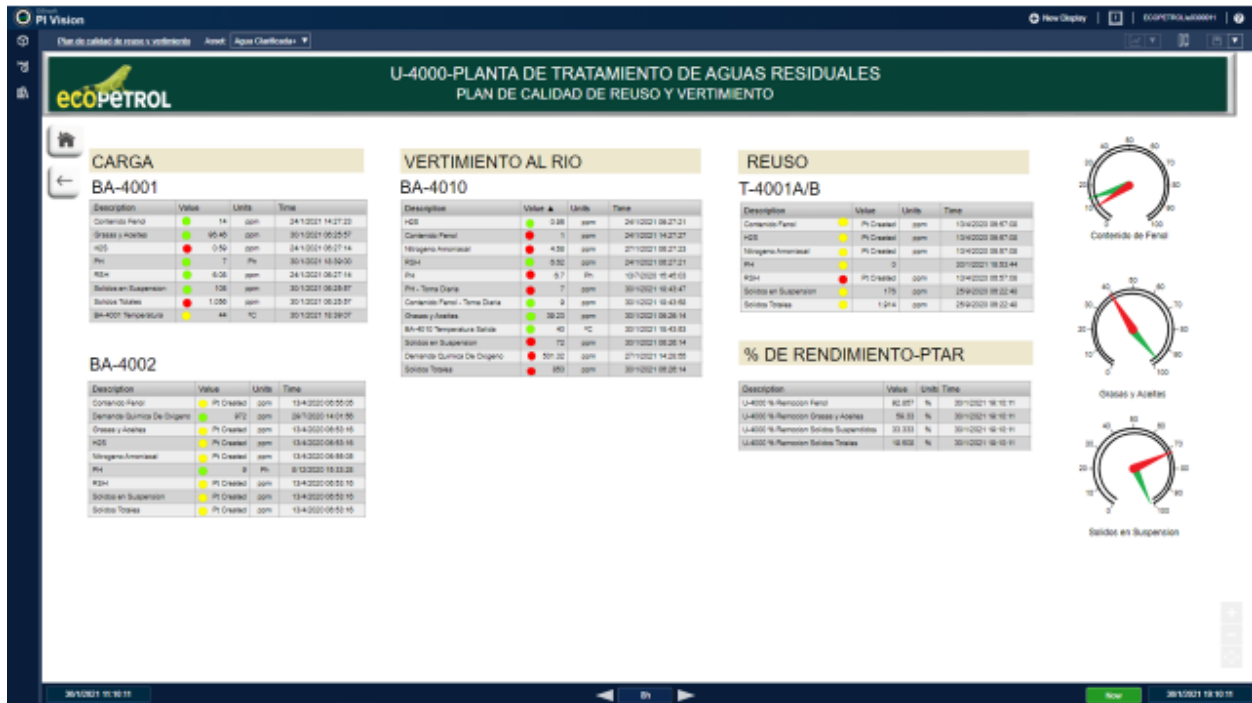
En el despliegue del diagrama general se encuentra el diagrama del proceso, con su respectivo cuadro de convenciones para los diferentes flujos, señalizados por colores. Aquí podemos encontrar datos como el nivel de los tanques en porcentaje, el inventario, el flujo de algunas corrientes, la concentración de la corriente de floculante y coagulante en ppm, y por último, un cuadro donde se encuentra el valor de las diferentes cargas a la PTAR.

Apéndice C. Despliegue de Tanques.



En el despliegue titulado como tanques, se encuentran los principales tanques de almacenamiento que componen la PTAR, cada uno con su indicador de nivel al costado derecho y con su respectiva tabla donde se encuentran las principales variables operacionales como son máximo nivel del tanque, inventario, nivel en porcentaje y volumen disponible. Todas están organizadas de la misma manera, con el valor de cada variable, las unidades, el tiempo en el que fueron actualizados por última vez y su respectiva gráfica de tendencia.

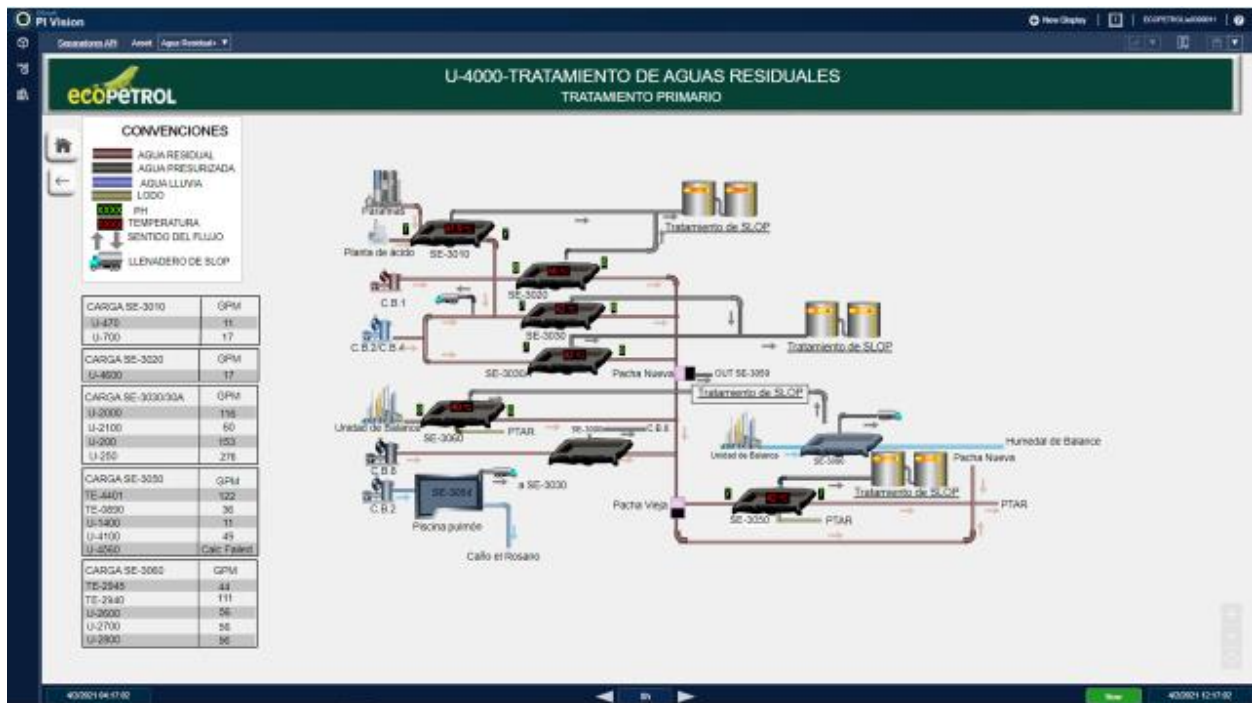
Apéndice D. Despliegue del Plan de Calidad.



Este despliegue representa los principales parámetros evaluados en la planta. Las variables allí listadas, permiten tener un conocimiento general del estado de operación de PTAR en términos de calidad de cada línea de proceso. En la sección de carga de la Piscina BA-4001 y la Piscina BA-4002, se analizan los parámetros de calidad proporcionados en el laboratorio de la GRB. Para la sección de vertimiento, se hace un análisis más detallado de cada parámetro del pozo de succión BA-4010, donde las alertas de semáforo están asociadas a los índices de calidad decretados en la resolución 631 del 2015. En las demás tablas, se tiene un semáforo que muestra el cumplimiento de los parámetros de calidad con respecto al programa diario y al índice de calidad del efluente.

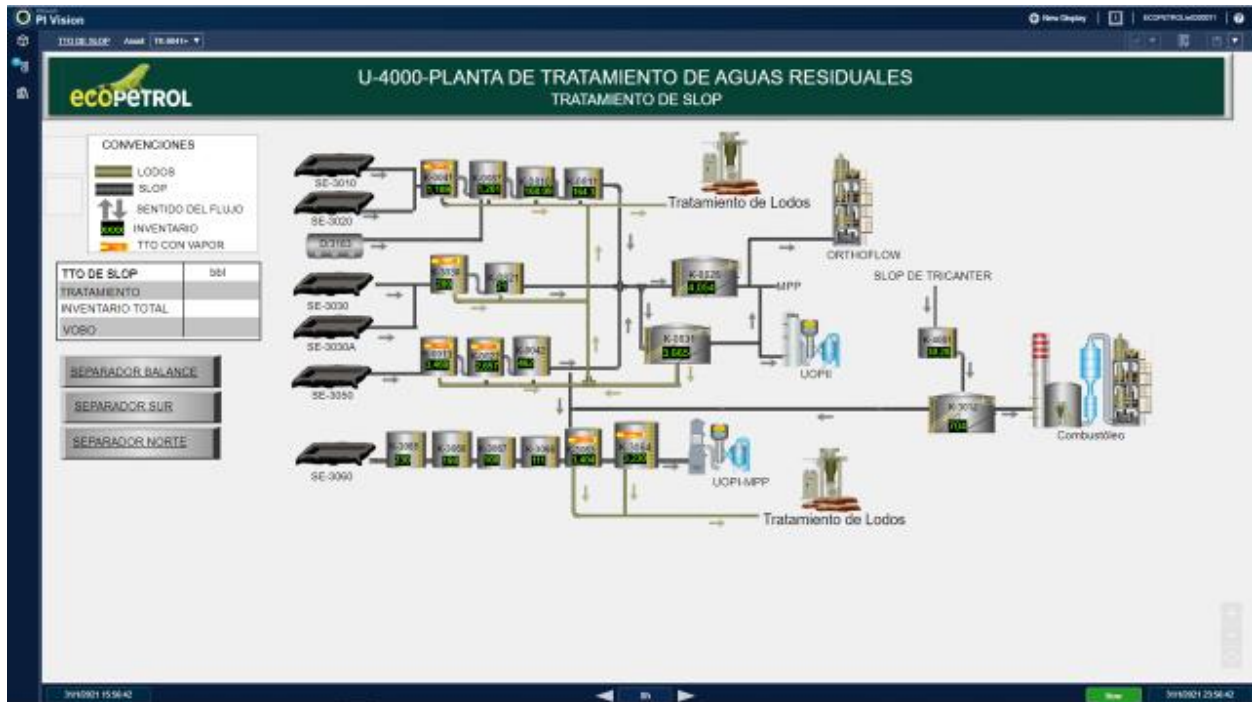
Finalmente, se muestra una tabla con el porcentaje de rendimiento de los parámetros más importantes y a su vez, se representa gráficamente los principales parámetros estudiados en la planta, como la concentración de fenol, grasas y aceites y sólidos suspendidos. Por medio de un indicador con dos flechas, se muestra la eficiencia de remoción de cada parámetro (contenido de fenol, grasas y aceites y sólidos suspendidos), donde la flecha verde indica su concentración a la entrada y la flecha roja el valor a la salida del proceso.

Apéndice E. Despliegue de Separadores API.



El despliegue se encuentra los separadores API donde se lleva a cabo el tratamiento primario. En el diagrama, se puede evidenciar que los separadores API cuentan con sus respectivos datos de temperatura y pH a la entrada y a la salida. Los flujos de carga de los separadores API, provienen de diferentes unidades de proceso de la refinería; por esta razón, en el despliegue se presentan cinco tablas de datos para los seis separadores más importantes con su respectiva unidad de proceso y sus flujos de carga

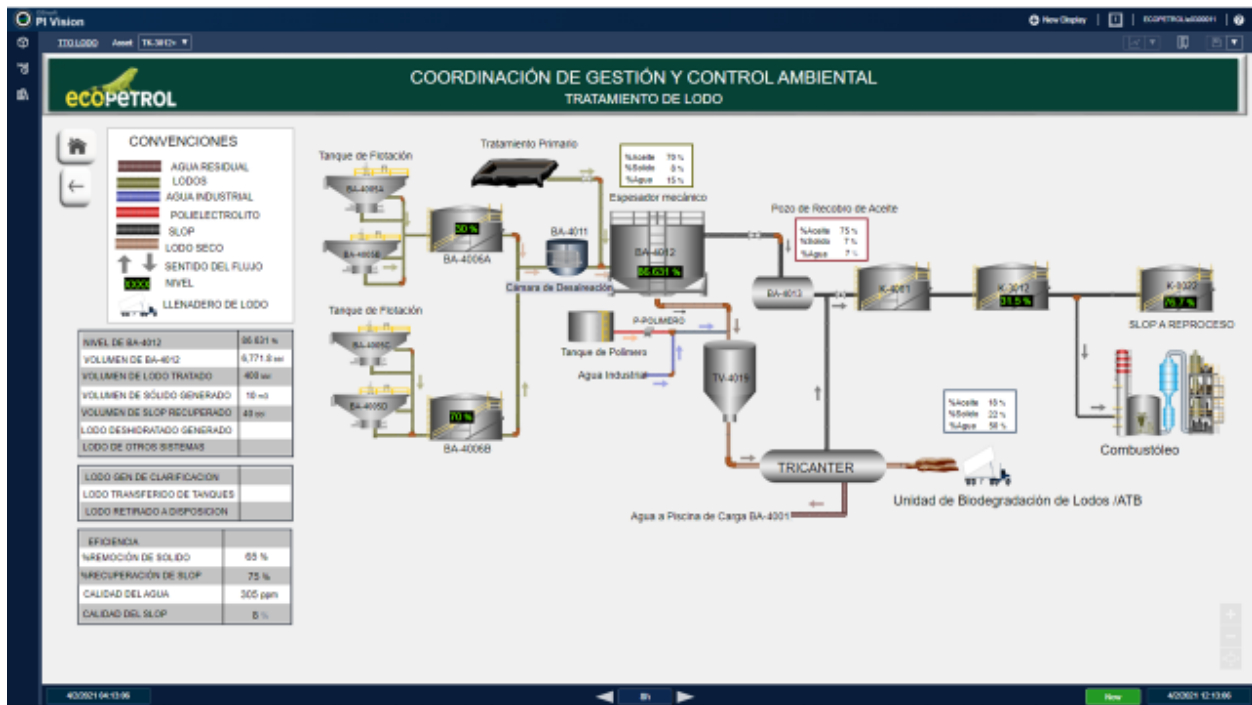
Apéndice F. Despliegue de Tratamiento de Slop.



Este despliegue se construyó con el fin de visualizar de manera general el proceso de tratamiento de Slop, explica gráficamente cómo es su línea de proceso, desde los separadores API hasta su destino final, esquematizando los tres trenes de tratamiento de slop,. En la parte izquierda de la pantalla, se puede visualizar una tabla con los datos en barriles de la cantidad total de Slop en tratamiento, el inventario total de Slop y el Slop con visto bueno. Estos datos en el diagnóstico realizado con la ayuda del técnico de PTAR, se observó que se encuentran erróneos. Adicionalmente, Cada tanque muestra el inventario en barriles. Existen tres botones que nos pueden llevar como vía de acceso rápido hacia el despliegue donde se encuentran consignadas

ordenadamente las variables operativas de los diferentes tanques que componen el tratamiento de Slop de cada separador.

Apéndice G. Despliegue del Tratamiento de Lodo.



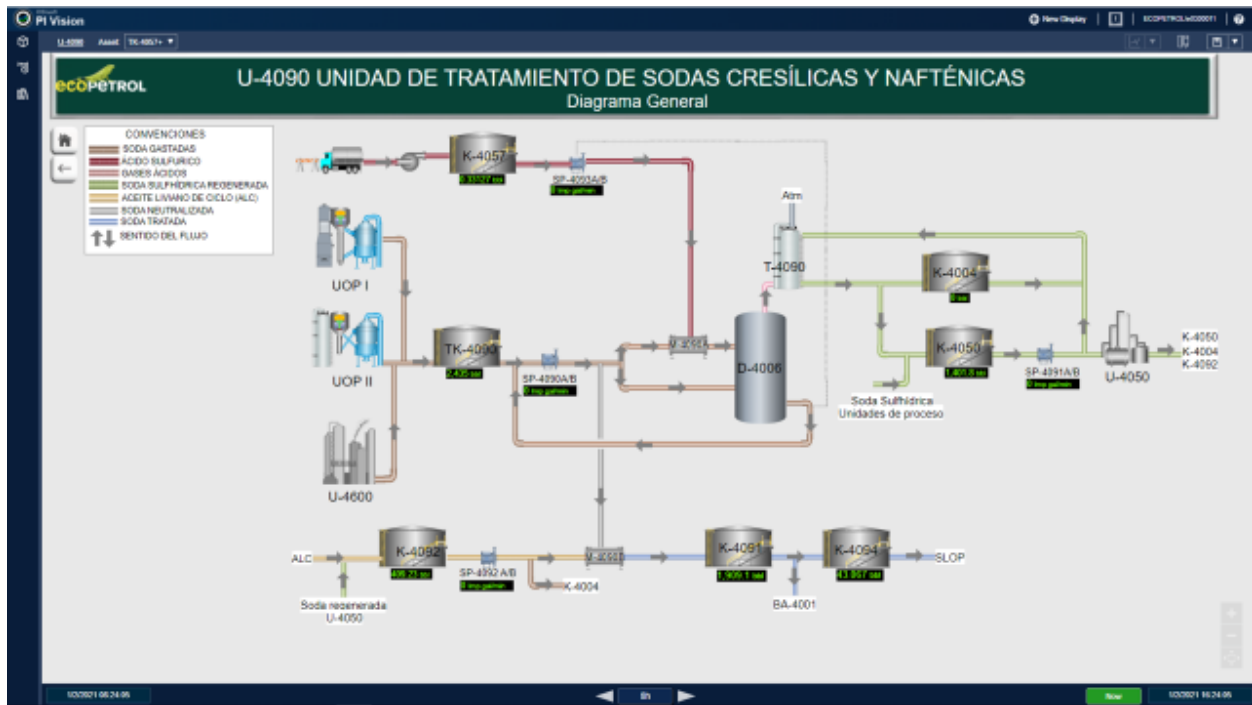
En el despliegue de tratamiento de lodo, se encuentra esquematizado el proceso y los principales equipos que lo componen, también se registra el porcentaje de aceite, sólido y agua del lodo en tratamiento, del Slop recuperado y del lodo seco. Adicionalmente, se disponen en tres tablas algunas variables importantes a considerar a la hora de analizar el tratamiento de lodos.

Apéndice H. Despliegue Planta Regeneradora de Sodas Sulfhídricas.



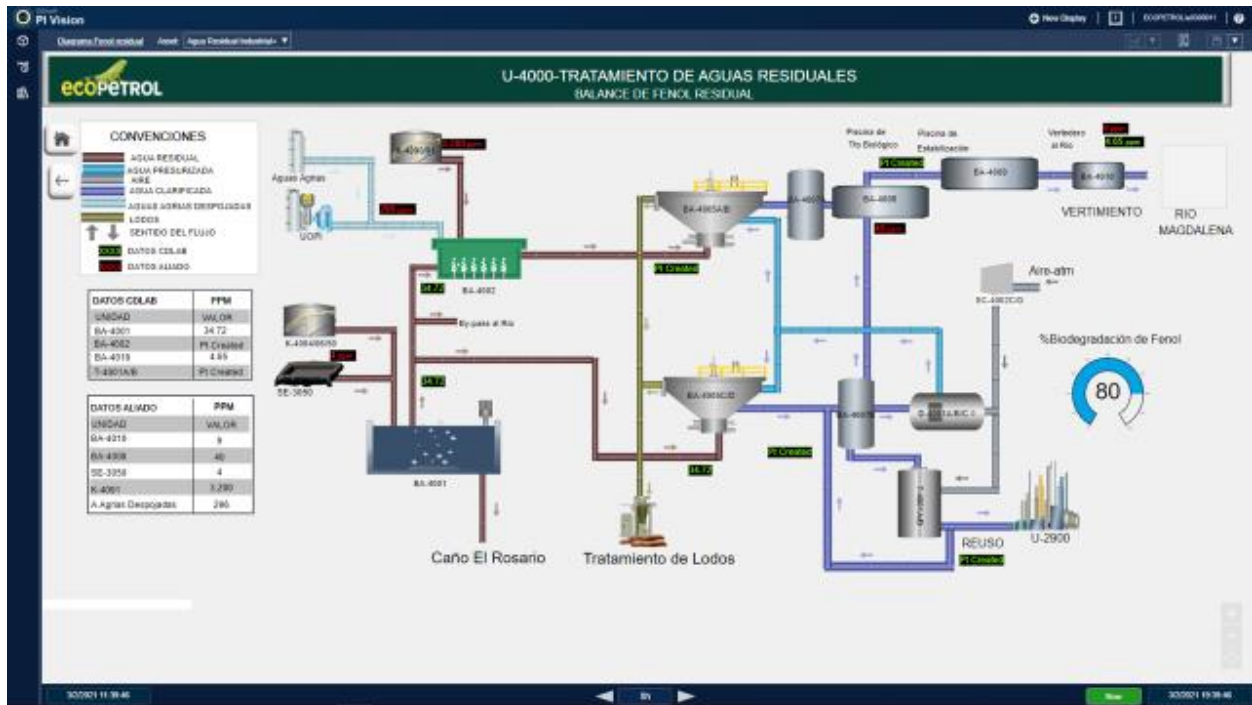
Este despliegue muestra el diagrama de proceso correspondiente al tratamiento de Sodas Sulfhídricas y las principales variables operativas del proceso con las respectivas convenciones.

Apéndice I. Despliegue Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas.



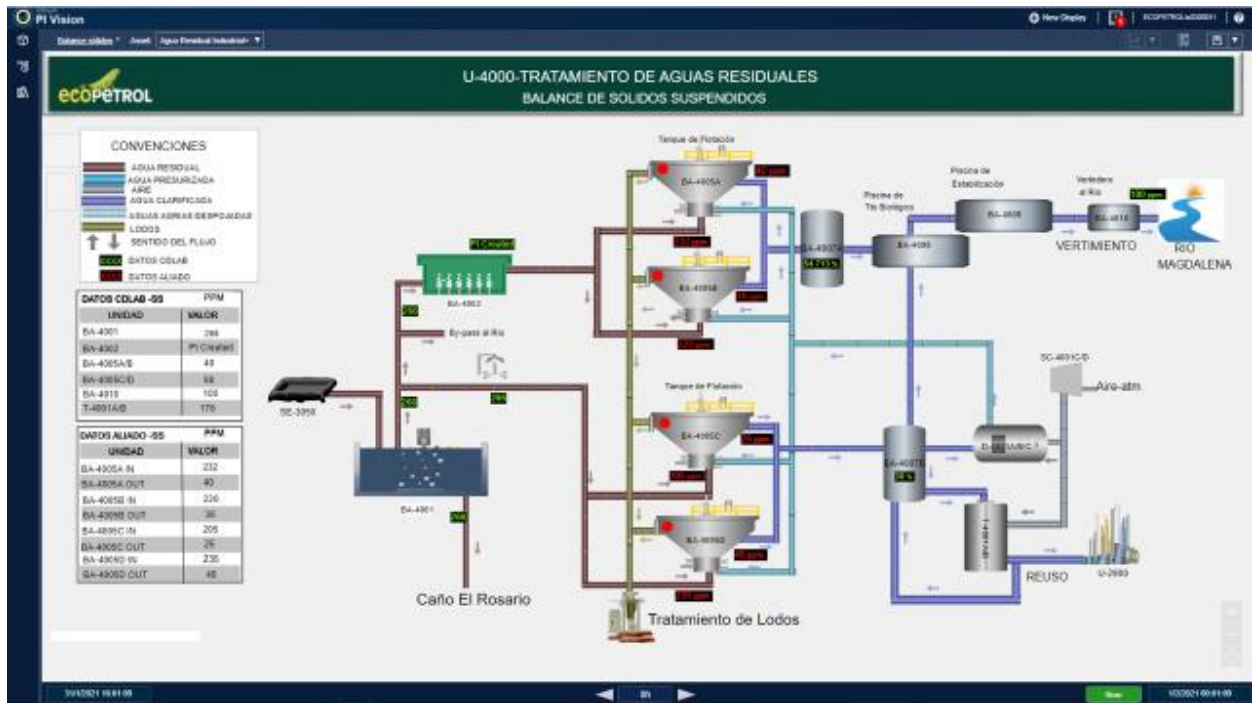
Este despliegue muestra el diagrama de proceso del Tratamiento de Sodas Cresílicas y Nafténicas y las principales variables operativas del proceso, con las respectivas convenciones.

Apéndice J. Despliegue del Balance de Fenol Residual.



Este despliegue describe el tratamiento que se realiza en PTAR para disminuir la concentración de fenol residual, allí se analiza la concentración de fenol en las principales unidades de proceso y el porcentaje de biodegradación de fenol en la Piscina de tratamiento biológico. En la primera tabla se presentan los datos proporcionados por el laboratorio de la refinería (CDLAB) y en la segunda tabla se hace un análisis más detallado para el flujo de aguas agrias despojadas, el separador 3050 y el tanque de almacenamiento de soda cresílicas y nafténicas (K-4091). Además, se representa la eficiencia que tiene diariamente el proceso por medio de un porcentaje total de biodegradación de fenol.

Apéndice K. Despliegue del Balance de Sólidos.



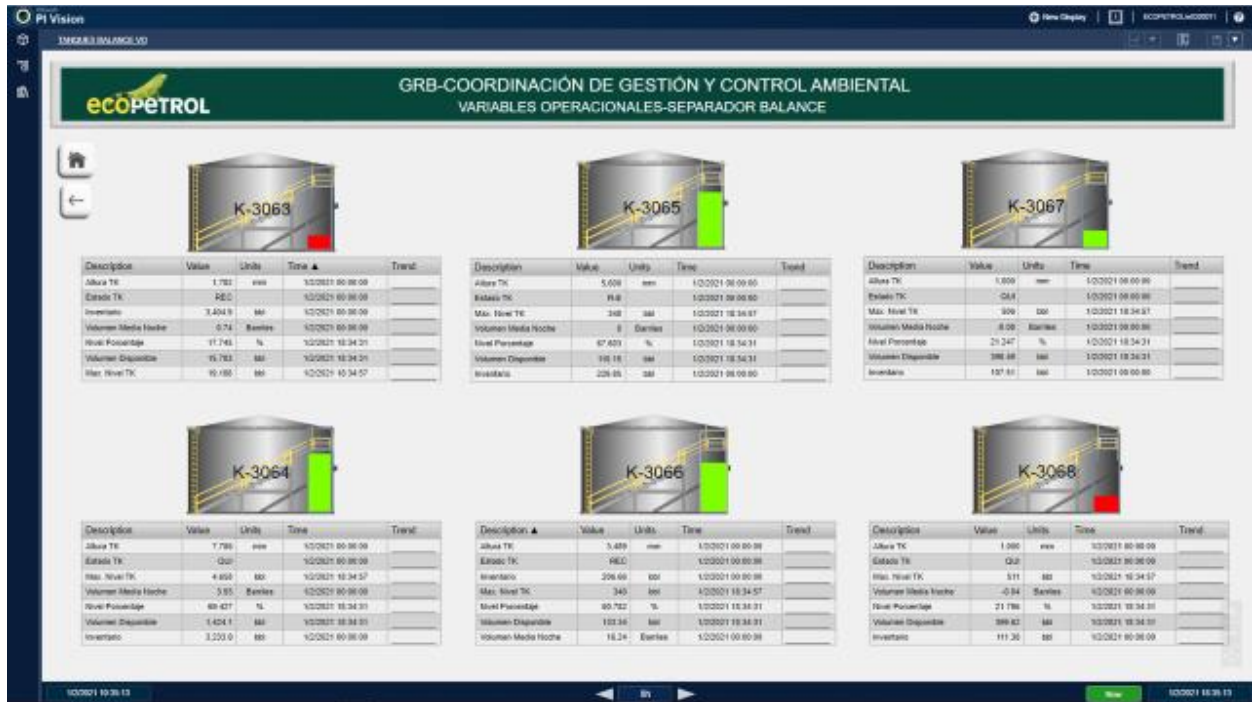
Este despliegue, permite hacer un seguimiento y comparación de la concentración de sólidos suspendidos evaluado diariamente en los cuatro clarificadores de la planta, con el fin de garantizar el óptimo desarrollo del proceso. Se presentan dos tablas que proporciona un resumen de la concentración de sólidos suspendidos en los cuatro clarificadores de la planta y en otros equipos.

Apéndice L. Despliegue de la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias.



En el despliegue de la Planta de Tratamiento de Aguas Sanitarias, DIAPAC, se muestra el respectivo diagrama del proceso con las convenciones.

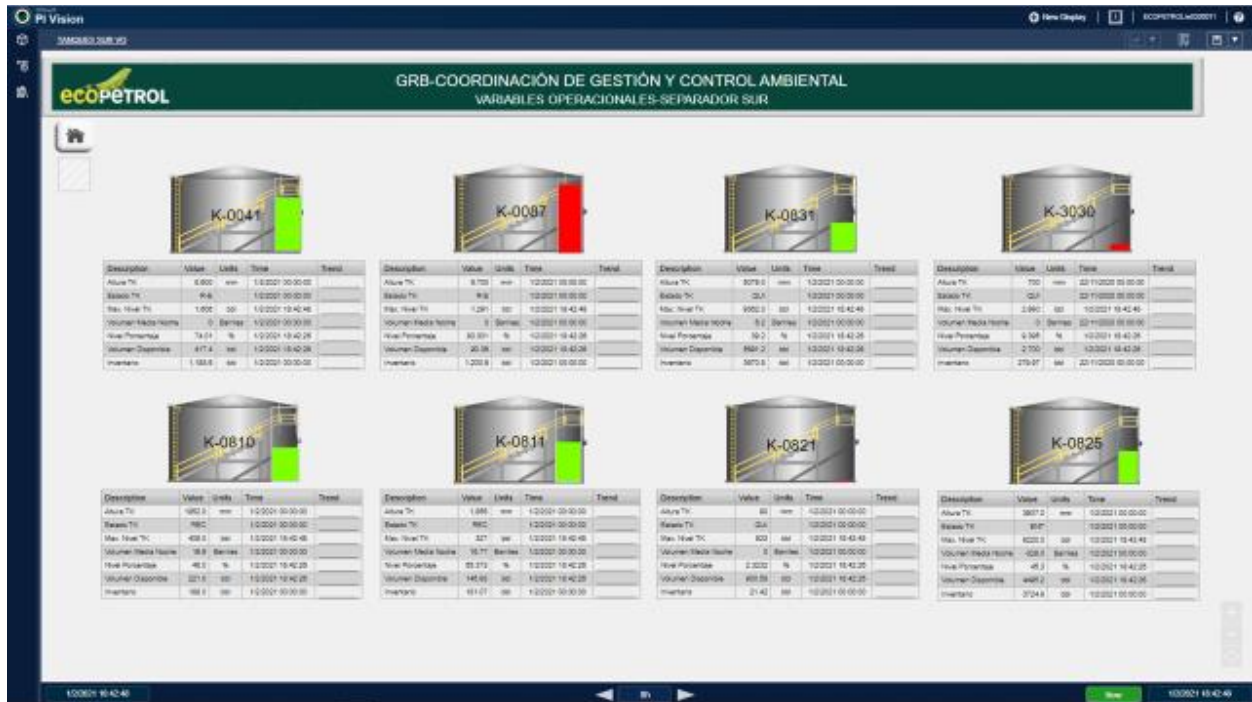
Apéndice M. Despliegue de Variables Operacionales de los tanques de Slop del Separador Balance.



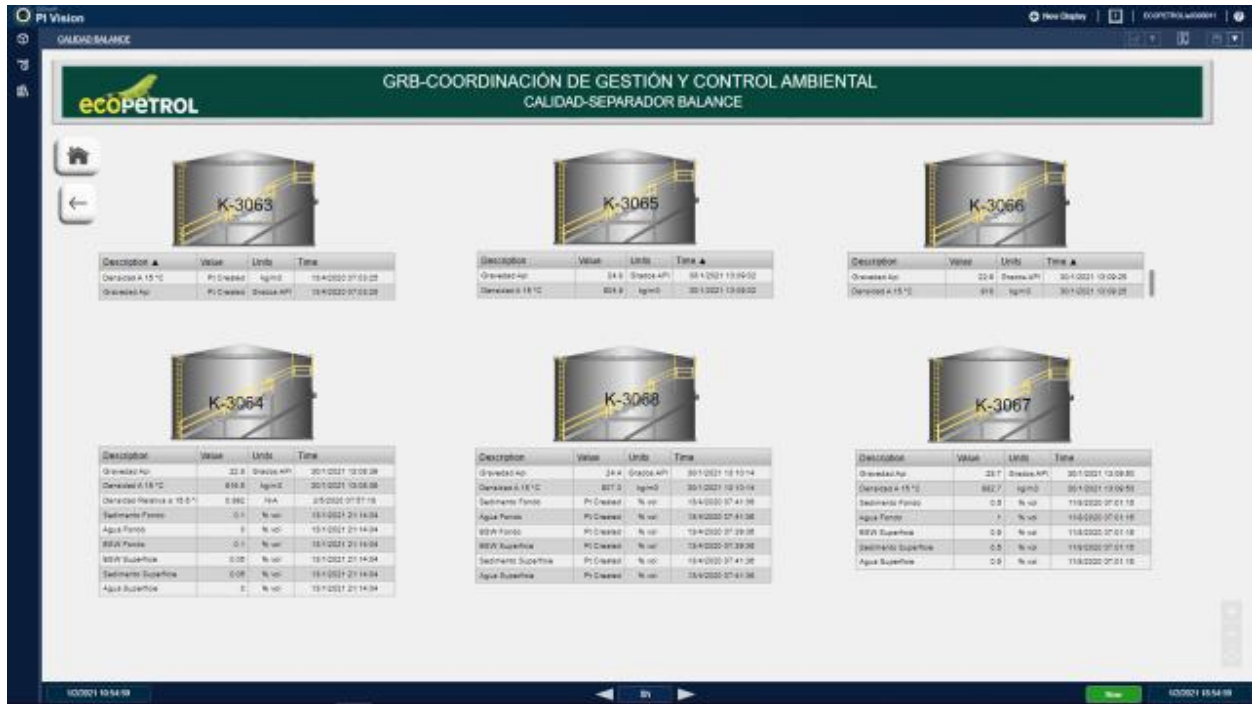
Apéndice N. Despliegue de Variables Operacionales de los tanques de Slop del Separador Norte.



Apéndice O. Despliegue de Variables Operacionales de los tanques de Slop del Separador Sur.



Apéndice P. Despliegue de Variables de Calidad de los tanques de Slop del Separador Balance.



Apéndice Q. Despliegue de Variables de Calidad de los tanques de Slop del Separador Norte.

