



**Caso de éxito: Proyecto gestión de agua de producción de la gerencia de desarrollo de operaciones y producción piedemonte de Ecopetrol.**

Jhonatan David Beltrán Parra

Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Eficiencia Energética

Tutor

Laura Isabel Velásquez García, Doctor (PhD)

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Eficiencia Energética  
Medellín, Antioquia, Colombia

2023

<b>Cita</b>	(Beltrán Parra, 2023)
<b>Referencia</b>	Beltrán Parra, J. D. (2023). <i>Caso Éxito: Proyecto gestión de agua de producción tren piedemonte de Ecopetrol</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Eficiencia Energética, Cohorte II.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Facultad de ingeniería Julio César Saldarriaga.

**Jefe departamento:** Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## Tabla de contenido

1. Resumen.....	7
Abstract .....	8
2. Introducción .....	9
3. Planteamiento del problema.....	10
4. Justificación .....	11
5. Objetivos .....	12
4.1 Objetivo general .....	12
4.2 Objetivos específicos.....	12
6. Marco teórico .....	13
6.1 Descripción general del proceso de separación de crudo y ubicación de CPF Cusiana: .....	13
6.2 Sistema de inyección de agua producida del CPF de Cusiana: .....	13
6.3 Gases de efecto invernadero GEI .....	15
6.4 Cambio climático .....	16
6.5 Panorama energético respecto al uso de combustibles fósiles a nivel mundial .....	17
6.6 Consumo de energía perspectiva mundial.....	18
7. Resultados .....	20
7.1 Descripción de operación con bombas del sistema de inyección de agua antiguo .....	20
Potencia al freno @ caudal nominal.....	22
7.2 Consumo de energía eléctrica y emisiones de GEI del sistema de inyección de agua producida antiguo (Bombas Weir) .....	23
7.3 Descripción de operación del nuevo sistema de inyección de agua producida.....	25
7.4 Consumo de energía eléctrica y emisiones de GEI del nuevo sistema de inyección de agua producida.....	29
8. Resultados .....	31
9. Impacto .....	33

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Información de hoja de datos bombas Booster sistema antiguo .....	21
<b>Tabla 2</b> Información hoja de datos bombas principales Weir del sistema antiguo .....	22
<b>Tabla 3</b> Cálculo de consumo y emisiones bombas Weir primer semestre de 2023 CPF Cusiana	24
<b>Tabla 4</b> Hoja de datos de las bombas booster y motores nuevos del sistema de inyección de agua producida.....	27
<b>Tabla 5</b> Datos de bombas principales del nuevo sistema de inyección de agua producida .....	28
<b>Tabla 6</b> Comparativo generación eléctrica CPF Cusiana Septiembre vs Noviembre .....	30
<b>Tabla 7</b> Generación total y específica CPF y Cálculo de emisiones Septiembre y Noviembre.....	31
<b>Tabla 8</b> Cálculo de reducción de consumo de energía y emisiones GEI esperados por el proyecto gestión de agua tren piedemonte .....	32

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Mapa de ubicación CPF Cusiana.....	13
<b>Figura 2</b> Diagrama de flujo de procesos CPF Cusiana .....	14
<b>Figura 3</b> Caracterización de agua de producción .....	15
<b>Figura 4</b> Proyección de demanda por tipo de combustible fósil en escenarios con políticas declaradas STEPS .....	18
<b>Figura 5</b> Demanda global de energía por combustible en escenarios analizados 2010-2050 .....	19
<b>Figura 6</b> Mapa, línea de inyección de agua producida CPF-X-XA, CPF Cusiana y pozos disposal .....	20
<b>Figura 7</b> Colección de fotos del sistema antiguo de bombeo para la inyección de agua producida .....	21
<b>Figura 8</b> Diagrama de flujo de proceso del sistema de inyección de agua antiguo .....	22
<b>Figura 9</b> Consumo de energía eléctrica sistema de inyección de agua producida antiguo .....	23
<b>Figura 10</b> Composición corriente de gas combustible CPF Cusiana .....	24
<b>Figura 11</b> Estimados producción de agua para inyección 2021-2035.....	26
<b>Figura 12</b> Esquema de proceso del nuevo sistema de inyección de agua producida .....	27
<b>Figura 13</b> Colección de fotos de los equipos del nuevo sistema de inyección de agua producida CPF Cusiana.....	28
<b>Figura 14</b> Variadores de frecuencia VFD de bombas principales de inyección de agua producida CPF Cusiana.....	29
<b>Figura 15</b> Estructura vicepresidencia Upstream Ecopetrol .....	33

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>API</b>	Instituto americano del petróleo
<b>RUT</b>	Registro único de transporte
<b>CPF</b>	Facilidad central de procesamiento
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo
<b>ANLA</b>	Agencia nacional de licencias ambientales
<b>AIE</b>	Agencia internacional de la energía
<b>WEO</b>	World Energy Outlook (perspectiva energética mundial)
<b>BWPD</b>	Barriles agua por día
<b>GPM</b>	Galones por minuto
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>VPU</b>	Vicepresidencia Upstream Ecopetrol
<b>VFD</b>	Variadores de frecuencia
<b>IPCC</b>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

## 1. Resumen

Este documento muestra la aplicación de una medida de gestión energética que se está ejecutando en un campo petrolero en el oriente de Colombia, básicamente presenta los resultados en materia de reducción de consumo energético de un sistema de autogeneración con turbinas a gas y directamente una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero GEI.

La aplicación de la medida mencionada es directa sobre uno de los sistemas auxiliares de la facilidad central de procesamiento CPF Cusiana, el sistema mencionado es el sistema de inyección de agua producida; El proyecto gestión de agua del tren piedemonte consiste en la sustitución de equipos obsoletos de inyección de agua en el yacimiento mediante bombas de motor eléctrico.

### **Abstract**

This document shows the application of an energy management measure that is being implemented in an oil field in eastern Colombia, basically presents the results in terms of reducing energy consumption of a self-generation system with gas turbines and directly reducing greenhouse gas emissions GHG.

The application of the mentioned measure is directly on one of the auxiliary systems of the central processing facility CPF Cusiana, the mentioned system is the produced water injection system; The piedmont train water management project consists of the replacement of obsolete water injection equipment in the reservoir by means of electric motor pumps.

*Keywords:* Energy management; Energy efficiency; case study



## 2. Introducción

La industria petrolera es uno de los sectores industriales de gran consumo de energía y contribución con la emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a sus operaciones, por tal motivo cada vez son más urgentes las iniciativas encaminadas a la optimización de recursos y el uso eficiente de la energía como pilares esenciales para lograr los objetivos en materia de sostenibilidad, uso eficiente de la energía y reducción de la huella de carbono.

El presente trabajo muestra la implementación de una de las alternativas efectivas como lo es el cambio de tecnología, en este caso de motores eléctricos sobredimensionados por equipos con variadores de frecuencia para lograr estratégicamente una reducción en el consumo de energía y directamente una reducción de emisiones de GEI teniendo en cuenta que la energía eléctrica consumida por el sistema a analizar corresponde a autogeneración usando como fuente primaria gas natural en turbogeneradores.

La facilidad central de producción de CPF Cusiana ubicada en Casanare para el procesamiento de petróleo y gas de la gerencia de operaciones de desarrollo y producción piedemonte es de gran importancia para la demanda energética del país, de allí se obtienen como productos principales gas licuado de petróleo (GLP), petróleo liviano y Gas Natural en condiciones de transporte RUT.

### **3. Planteamiento del problema**

El sistema de inyección de agua de producción de la facilidad de Cusiana ubicada en Casanare tiene como función hacer la disposición final del agua residual obtenida en el tren de separación de crudo inyectándola al yacimiento mediante un sistema de bombeo hacía pozos adecuados para tal fin. Debido al sobredimensionamiento del sistema compuesto por bombas y sus motores eléctricos se tenía una operación por fuera de los rangos de diseño, bombeo intermitente, ineficiencias, riesgo de pérdida de integridad de las líneas de conducción y averías continuas en los componentes mecánicos de las bombas por lo que se evidenció la necesidad de optar por un cambio de tecnología para la sustitución por bombas eléctricas con variadores de frecuencia y dimensionadas para la demanda energética actual, es decir ajustada a la presión y caudal del agua de producción en el presente.

Las facilidad de proceso de Cusiana, cuenta con sistemas de autogeneración con capacidad instalada de 40 MW, consiste en dos turbogeneradores a gas de 20 MW de potencia. El sistema que operaba antes de la implementación del cambio de tecnología consumía cerca del 24% de la demanda de electricidad de la planta, considerado alto para ser un sistema auxiliar y teniendo en cuenta la significativa reducción de los volúmenes de agua a reinyectar.

#### 4. Justificación

Es importante dar a conocer la aplicación de una de las medidas que buscan la eficiencia energética y sus beneficios intrínsecos en el sector de hidrocarburos para la promoción, incentivo y análisis de alternativas de gestión de cambio tecnológico que se puedan replicar o tomar como ejemplo en cualquier escenario del sector industrial.

En este caso se podrá evidenciar, basados en la experiencia, los resultados en materia de reducción de consumos de energía y emisiones GEI para un sistema auxiliar en los procesos de tratamiento de hidrocarburos en uno de los campos petroleros más importantes del país, producto de la sustitución de equipos de potencia eléctrica sobredimensionados por tecnología acorde con las necesidades actuales y con variadores de frecuencia.

La implementación de este tipo de proyectos muestra como la empresa más importante del país del sector hidrocarburos como lo es Ecopetrol implementa medidas de eficiencia energética como respuesta a los retos actuales en materia de transición energética y en coherencia con el apartado 2 de la estrategia corporativa 2040, “Generar valor con sostenibilidad Energía que transforma” cuyo postulado propone entre otras cosas:

- La aceleración de las metas de eficiencia energética, en dónde buscamos optimizar nuestro consumo interno, a través de una reducción de 25PJ acumulados al 2030.
- La reducción de 55% de emisiones de metano al 2030 y el compromiso con la descarbonización de nuestras operaciones a 2050

## **5. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Analizar los impactos derivados de la implementación del proyecto de gestión de agua en el campo Cusiana, liderado por la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Piedemonte en Casanare, enfocándose específicamente en la reducción del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por la entrada en operación de dicha iniciativa.

### **4.2 Objetivos específicos**

Describir la operación del sistema de inyección de agua producida antiguo y nuevo del campo Cusiana de la gerencia de operaciones de desarrollo y producción piedemonte.

Realizar un análisis comparativo del consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados al sistema de bombeo para la reinyección de agua de producción, evaluando tanto la tecnología antigua como las nuevas bombas y sus motores eléctricos, en el contexto de la entrada en operación del proyecto de gestión de aguas del tren piedemonte en el campo Cusiana.

Evaluar la efectividad de la implementación de medidas de eficiencia energética derivadas de la sustitución de la tecnología de bombeo para la reinyección de agua de producción en el campo Cusiana, Casanare.

## 6. Marco teórico

### 6.1 Descripción general del proceso de separación de crudo y ubicación de CPF Cusiana:

La facilidad central de procesamiento CPF Cusiana está ubicada en el departamento de Casanare municipio de Tauramena en el oriente colombiano, allí se desarrollan actividades de extracción, recolección y separación de hidrocarburos para la obtención de Petróleo liviano en especificaciones de calidad, gas natural en condiciones según el reglamento único de transporte RUT para gas natural y Gas licuado de petróleo GLP; La obtención de estos productos se realiza mediante la separación de fases de los hidrocarburos en función de densidades y temperatura, además de la deshidratación y remoción de sales y sedimentos.

#### Figura 1

*Mapa de ubicación CPF Cusiana*



*Nota.* Fuente: Bases y Criterios de Diseño (Ingeniería detallada facilidades de inyección de agua Cusiana, 2021).

### 6.2 Sistema de inyección de agua producida del CPF de Cusiana:

El sistema de inyección de agua de producción del CPF Cusiana recibe agua producida del propio campo de Cusiana y también el de CPF Cupigua ubicado a 42 kilómetros en el municipio de aguazul, es uno de los sistemas auxiliares de la planta, toma el agua separada de los hidrocarburos en los proceso de deshidratación de crudo y que se almacena en los tanques TK-60001 y TK-69002, las bombas de motor eléctrico incrementan la presión requerida para inyección

en el yacimiento vía pozos Buenos Aires X11 y Buenos Aires XA30 de inyección de agua; La demanda de energía eléctrica para este sistema es soportada desde la subestación 69 conectada al sistema de autogeneración de la planta que consta de dos turbogeneradores a gas de 20 MW cada uno.

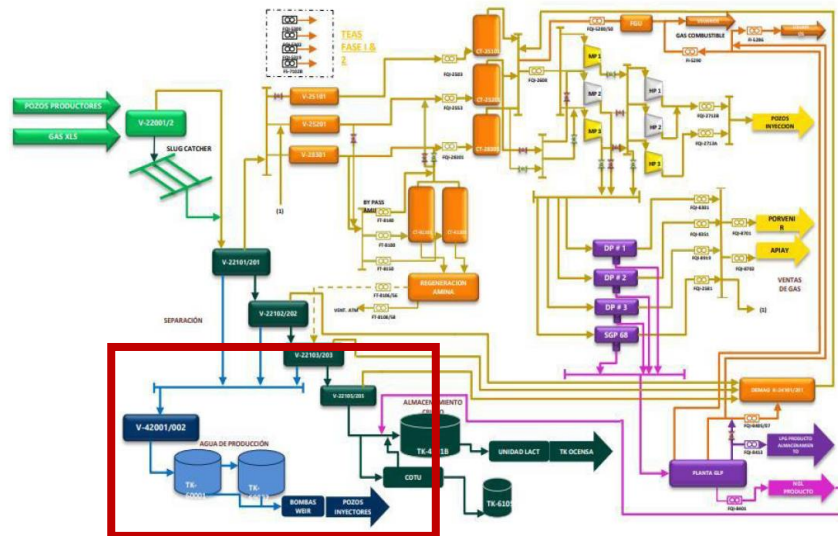
Según las bases de diseño, las instalaciones del sistema CPF 22 de la Fase II interactuarán con las líneas de flujo de la Fase I y la Fase II para permitir una producción constante de crudo estabilizado conforme a las especificaciones. Se entrega al transporte por oleoducto o a instalaciones de almacenamiento.

Dentro del Sistema 22 separación de crudo, el agua se separa y se envía al Sistema 42, Inyección de agua producida. Los gases de producción a varios niveles de presión se envían a compresión de gas de proceso y tratamiento de gas antes de su reinyección.

A continuación, el diagrama de flujo general del CPF de Cusiana resaltando en rojo el sistema de inyección de agua producida.

## Figura 2

Diagrama de flujo de procesos CPF Cusiana



La disposición final del agua producida es un proceso auxiliar pero muy importante ya que permite evacuar este producto que en la actualidad es residuo sin ningún tipo de aprovechamiento, el método de disposición es el aprobado por licenciamiento ambiental otorgado por la agencia nacional de licencias ambientales ANLA.

El agua de producción de producción que se inyecta presenta las siguiente caracterización

**Figura 3**

*Caracterización de agua de producción*

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CUSIANA				
Consolidado de años 2020-2022				
Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo	DYC - 32/NACE
pH	5,76	6,34	6,71	6.5-8.5
Oxígeno disuelto mg/L	0.0	0.2	0.6	0,001
Dióxido de carbono (mg/L)	40	180	300	10
Ácido sulfhídrico H <sub>2</sub> S (mg/L)	0.00	0.09	2.00	
Alcalinidad CaCO <sub>3</sub> mg/l	305.0	377.8	510.0	
Grasas y aceites OW (mg/l)	47.4	808.5	2150.2	3
Cloruros (mg Cl/L)	4198.7	8521.9	29640.8	
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1140.0	2382.0	4170.0	
Dureza cálcica	1020.0	1857.5	2500.0	
Dureza magnésica	80.0	535.2	1920.0	
Calcio	549.1	751.6	1002.0	
Magnesio	33.4	141.2	485.5	
Hierro Total (mg Fe/L)	0.1	10.4	40.3	
Hierro Soluble (mg Fe/L)	0.12	7.08	23.77	
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /L)	15.00	68.54	421.52	
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	7.20	19.99	110.40	5
Sólidos disueltos (mg/L)	7230.0	14964.4	21320.0	
Conductividad (µS/cm)	9920.0	19017.6	23900.0	200000

*Nota.* Fuente: Bases y Criterios de Diseño (Ingeniería detallada facilidades de inyección de agua Cusiana, 2021).

### 6.3 Gases de efecto invernadero GEI

“La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra es importante en el balance energético de la atmósfera. Esta absorción por los gases traza, calienta la atmósfera, estimulándolos a emitir radiación de onda más larga. Parte de esta radiación es liberada al espacio y otra parte es irradiada nuevamente a la superficie de la Tierra. Las dos terceras partes de la energía radiante atmosférica son directamente devueltas a la superficie, suministrando una fuente de energía adicional a la radiación solar directa. El efecto neto de este fenómeno permite que la Tierra almacene más energía cerca de su superficie que la cantidad que podría almacenar si la Tierra no tuviera atmósfera, consecuentemente, la temperatura es más alta, del orden de 33°C más. Este proceso es conocido como el efecto de invernadero natural. Sin el efecto invernadero la temperatura promedio en la superficie sería aproximadamente de 18°C bajo cero y la vida en el planeta no sería posible. Consecuentemente, los gases en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja

procedente de la Tierra o radiación saliente son conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre ellos se encuentran el dióxido de carbono, el vapor de agua, el óxido nitroso, el metano y el ozono. Estos gases tienen moléculas cuya frecuencia vibracional se localiza en la parte infrarroja del espectro. Cambios en la concentración atmosférica de los GEI y aerosoles, en la radiación solar y en las propiedades superficiales del suelo afectan la absorción, dispersión y emisión de la radiación dentro de la atmósfera y en la superficie de la tierra. Los resultados positivos o negativos en el balance energético debido a estos factores son expresados como forzamiento radiativo, el cual es usado para comparar la influencia del calentamiento o el enfriamiento sobre el sistema climático”. (Bneavides Ballesteros & León Aristizabal , 2007)

#### **6.4 Cambio climático**

“Las moléculas de los GEI tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones de onda larga (esta es la radiación infrarroja, la cual, es eminentemente térmica) que provienen del sol y la que refleja la superficie de la Tierra hacia el espacio, controlando el flujo de energía natural a través del sistema climático. El clima debe de algún modo ajustarse a los incrementos en las concentraciones de los GEI, que genera un aumento de la radiación infrarroja que es absorbida por los GEI en la capa inferior de la atmósfera (la troposfera), en orden a mantener el balance energético de la misma. Este ajuste generará un cambio climático que se manifestará en un aumento de la temperatura global (referido como calentamiento global) que generará un aumento en el nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (tales como tormentas, huracanes, fenómenos del Niño y la Niña), y se presentará una variedad de impactos sobre diferentes componentes, tales como la agricultura, los recursos hídricos, los ecosistemas, la salud humana, entre otros” (Bneavides Ballesteros & León Aristizabal , 2007)

“De acuerdo con El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su reporte sobre cambio climático 2023, las actividades humanas, principalmente a través de las emisiones de gases de efecto invernadero, han causado inequívocamente el calentamiento global, y la temperatura global de la superficie alcanzó 1,1 °C por encima del periodo 1850-1900 en 2011-2020. Las emisiones GEI han seguido aumentando con contribuciones históricas y actuales desiguales derivadas del uso insostenible de la energía, el uso y cambio del uso de la tierra, los estilos de vida y los patrones de consumo



Las emisiones siguen acumulándose en la atmósfera con todo lo que ello implica para los riesgos relacionados con el clima. Entre principios de 2019 y finales de 2022, el sistema energético mundial fue responsable de más de 140 gigatoneladas de emisiones de dióxido de carbono (Gt CO<sub>2</sub>). Esto significa que el mundo está agotando a toda velocidad el presupuesto disponible compatible con la limitación del aumento de la temperatura media mundial a 1,5 grados centígrados (°C). Estas emisiones adicionales están contribuyendo a una mayor frecuencia de olas de calor, sequías y otros fenómenos meteorológicos extremos que aumentan la presión sobre las poblaciones vulnerables y los sistemas energéticos.” (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023)

Respecto a las opciones para la reducción de emisiones para mitigación de cambio climático según el IPCC es necesario el cambio sistémico que incluya implementación de tecnologías de bajas o nulas emisiones, reducir y cambiar la demanda a través del diseño y acceso a la infraestructura, cambios socioculturales y de comportamiento y una mayor eficiencia y adopción de tecnología. En lo que respecta específicamente al sector industrial implica acciones hacia la gestión de la demanda, la eficiencia energética y de materiales, los flujos circulares, así como las tecnologías de reducción y cambios transformacionales en los procesos de producción; En el caso del sector petrolero existen grandes retos en materia de eficiencia energética especialmente en campos de producción maduro, así mismo se tienen desafíos en materia de reducción de emisiones directas de metano derivadas de las operaciones y por supuesto el gran compromiso de incorporar fuentes de energías renovables a los sistemas de autogeneración.

### **6.5 Panorama energético respecto al uso de combustibles fósiles a nivel mundial**

A continuación, algunas referencias que ofrecen una perspectiva respecto al consumo de gas natural a nivel mundial, así como los impactos en materia de emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de gas natural como fuente primaria para la generación eléctrica

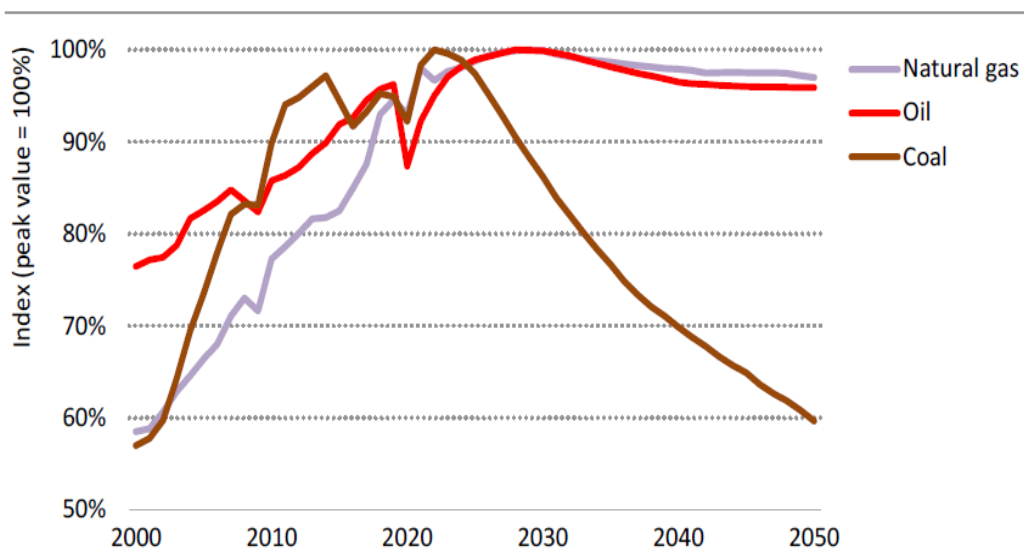
“Muchos países y un número cada vez mayor de empresas se han comprometido a alcanzar las emisiones netas cero. En septiembre de 2023, los compromisos de emisiones netas cero cubrirán más del 85% de las emisiones mundiales relacionadas con la energía y casi el 90% del PIB mundial. Noventa y tres países y la Unión Europea se han comprometido a alcanzar un objetivo de emisiones netas cero. Además, los gobiernos de todo el mundo, especialmente los de las economías avanzadas, han respondido a la pandemia y a la crisis energética mundial proponiendo nuevas medidas destinadas a fomentar la adopción de energías renovables, coches eléctricos, calefacción

y aire acondicionado. renovables, coches eléctricos, bombas de calor, eficiencia energética y otras tecnologías de energía limpia”. (International Energy Agency, 2023)

El análisis detallado sobre el consumo de energía, incluyendo la electricidad, a nivel mundial por las proyecciones de demanda teniendo en cuenta el escenario de políticas declaradas (STEPS), se prevé un pico en demanda para 2030 en cada una de las tres categorías de combustibles fósiles según la figura 4, indicando un avance y efectividad en el uso de medidas de eficiencia y reducción de consumos energéticos motivados por las políticas para la descarbonización que involucran cada vez a más naciones.

#### **Figura 4**

*Proyección de demanda por tipo de combustible fósil en escenarios con políticas declaradas STEPS*



*Nota.* Fuente: World Energy Outlook (International Agency Energy, 2023).

En el mismo documento la AIE menciona que la construcción de nuevas centrales eléctricas y calderas de gas en edificios se ralentiza y la demanda de gas alcanza su punto máximo antes de 2030 proyectando una disminución en 20250.

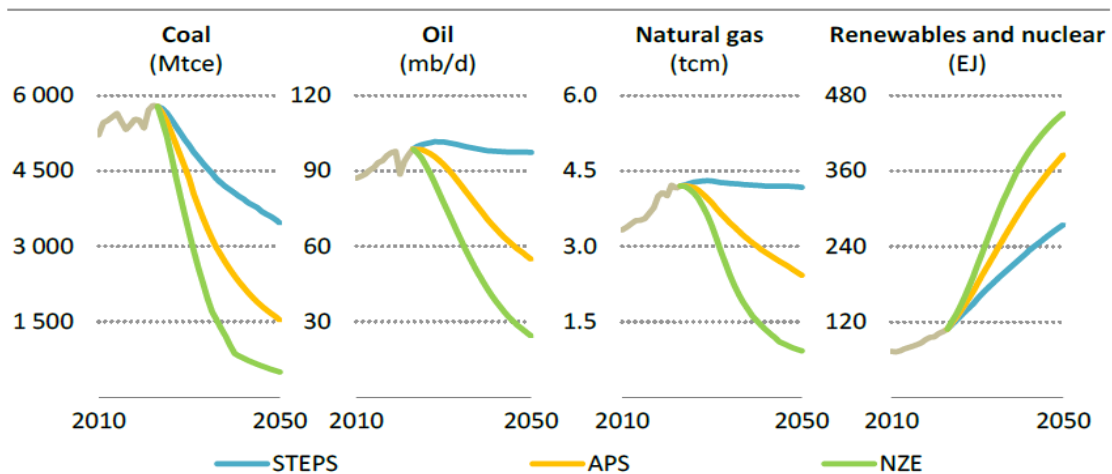
### **6.6 Consumo de energía perspectiva mundial**

“La demanda mundial total de energía pasa de unos 630 exajulios (EJ) en 2022 a 670 EJ en 2030 en el escenario de políticas establecidas (STEPS). Esto corresponde a una tasa media de

crecimiento anual del 0,7%, aproximadamente la mitad de la tasa de crecimiento de la demanda energética de la última década. La demanda sigue aumentando desde 2030 hasta 2050, con un crecimiento del 16% en las economías de mercado emergentes y en desarrollo que compensa con creces el descenso del 9% en las economías avanzadas. En el Escenario de Compromisos Anunciados (APS), la demanda total de energía disminuye una media del 0,1% anual hasta 2030, gracias a un despliegue más rápido de las energías renovables, una mayor eficiencia energética y una electrificación más rápida que en el STEPS. En el escenario de emisiones netas cero para 2050 (NZE), la electrificación avanza aún más rápido, mejorando la eficiencia del sistema energético y provocando un descenso de la energía primaria del 1,2% anual hasta 2030.” (International Energy Agency, 2023). Según esta información se considera un escenario esperanzador en la medida de que la oferta de energía por fuentes no convencionales crezca de la manera en que se espera.

### Figura 5

*Demanda global de energía por combustible en escenarios analizados 2010-2050*



Nota. Fuente: World Energy Outlook (International Agency Energy, 2023).

## 7. Resultados

El proyecto denominado *gestión de agua de producción del tren piedemonte* entró en operación el 06 de octubre de 2023 en la facilidad central de procesamiento de Cusiana (CPF), ubicada a 155km al noreste de Bogotá DC perteneciente a la gerencia de operaciones de desarrollo y producción piedemonte de Ecopetrol.

### 7.1 Descripción de operación con bombas del sistema de inyección de agua antiguo

El sistema de bombeo constaba de tres bombas del fabricante Weir, diseñadas para manejar aproximadamente 50.000 barriles de agua por día (BPD), 1.605 gpm; El agua separada de los trenes de producción de crudo es almacenada en los tanques TK-60001 y TK-69002 fluía hacia las 3 bombas de inyección de agua, en las cuales se daba un incremento inicial de presión a 130psig en las bombas booster (P-60006 C/D/E) para pasar posteriormente a su correspondiente bomba principal (P-60007 C/D/E), las cuáles incrementa la presión hasta 5300psig para reinyectarla al yacimiento a través de los pozos BA-X11 y BA-XA30, recibía la energía eléctrica para el funcionamiento desde la subestación 69 del sistema de autogeneración.

**Figura 6** Mapa, línea de inyección de agua producida CPF-X-XA, CPF Cusiana y pozos disposal



Nota. Fuente: (Google Earth, 2023).

**Figura 7**

*Colección de fotos del sistema antiguo de bombeo para la inyección de agua producida*



A continuación, información relacionada con las capacidades de las bombas sustituidas, 3 bombas centrifugas booster y 3 bombas de inyección principales, esta información tomada de placas del levantamiento en campo.

**Tabla 1**

*Información de hoja de datos bombas Booster sistema antiguo*

<b>TAG</b>	P1-P-60006C/D/E
<b>Servicio</b>	Bombas Booster de Inyección de Agua

<b>Capacidad</b>	1605 GPM a 278 ft de cabeza de descarga
<b>Cabeza</b>	325.7 ft
<b>Gravedad Específica</b>	0.999
<b>Material</b>	Acero al carbón
<b>NPSH Requerido</b>	10 FT de agua
<b>RPM</b>	1785/1800

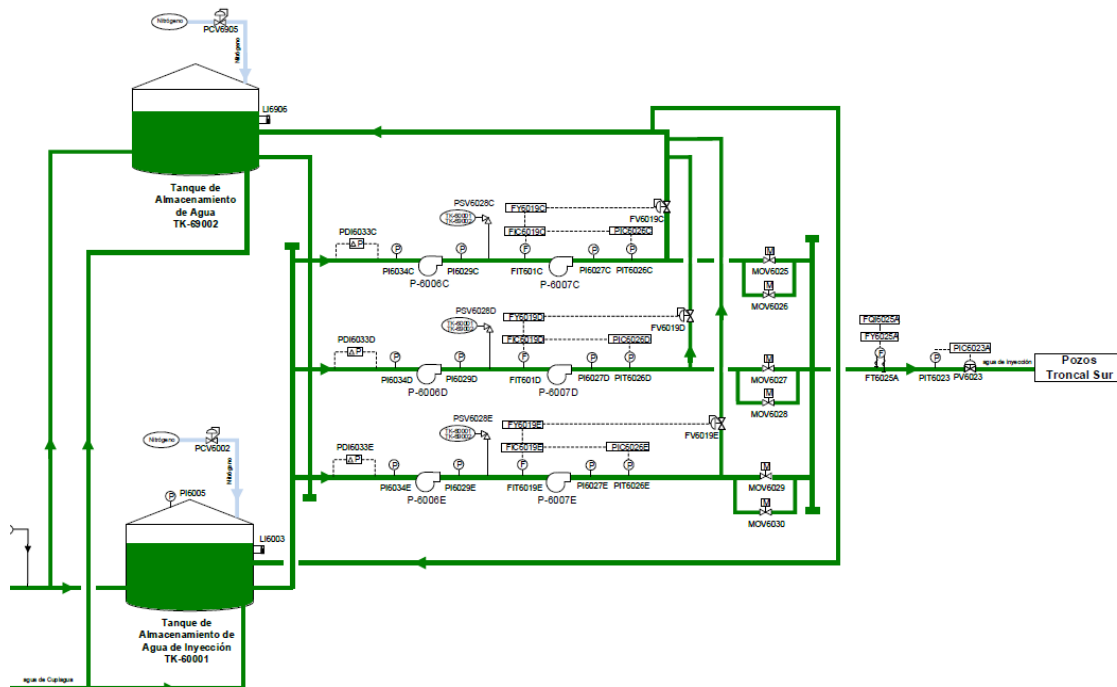
**Tabla 2**

Información hoja de datos bombas principales Weir del sistema antiguo

<b>TAG</b>	P-60007C/D/E (Weir)
<b>Servicio</b>	Bombas Principales de Inyección de Agua
<b>Caudal Nominal (BWPD)</b>	51600
<b>Presión Succión (psig)</b>	134
<b>Presión diferencial (psig)</b>	5266
<b>Presión de descarga (psig)</b>	5400
<b>Potencia al freno @ caudal nominal</b>	7577

**Figura 8**

Diagrama de flujo de proceso del sistema de inyección de agua antiguo



Nota. Fuente: Bases y Criterios de Diseño (Ingeniería detallada facilidades de inyección de agua Cusiana, 2021).

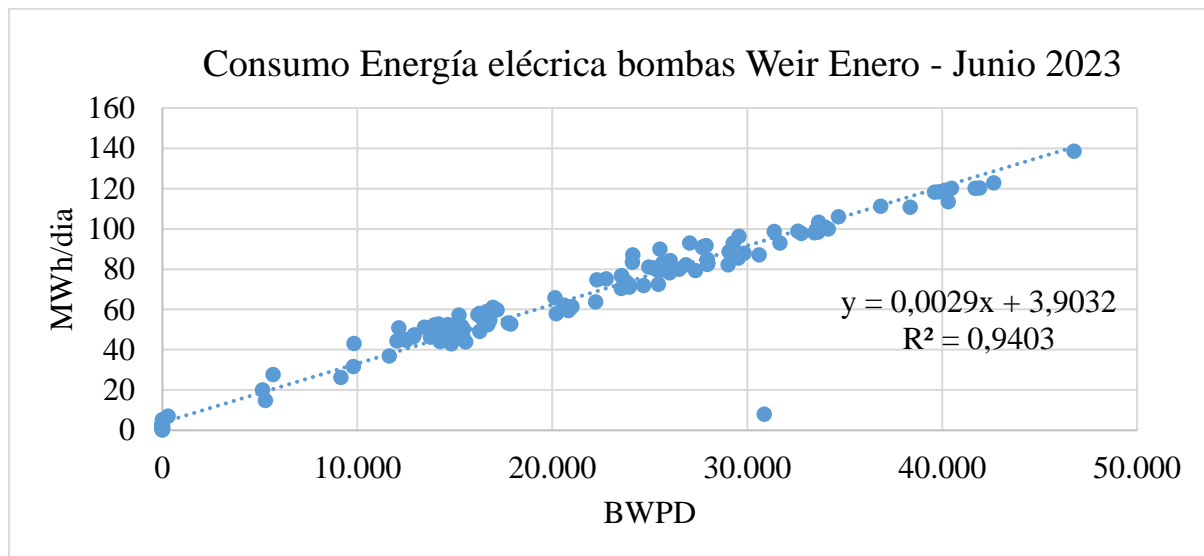
La operación se encontraba bajo este sistema por baches cada día y medio en los cuales se inyectaban aproximadamente 22 KBWPD con las bombas Weir existentes a 5000 psig en los pozos X11 y XA30.

## 7.2 Consumo de energía eléctrica y emisiones de GEI del sistema de inyección de agua producida antiguo (Bombas Weir)

De acuerdo con datos reales de medición por parte del equipo de gestión energética se construyó la siguiente línea base que relaciona consumo de bombas Weir (Antiguas) en MWh/día en función de los barriles de agua producida inyectada por día BWDP. La mediana según estos datos de consumo se estimó 49,5 MWh/día

**Figura 9**

*Consumo de energía eléctrica sistema de inyección de agua producida antiguo*



*Nota.* Fuente: Datos de consumo Weir (Gestoría Energética CPF Cusiana, 2023).

Para la estimación de la emisiones de gases de efecto invernadero GEI se cuenta con factor de emisión estimado para el sistema de potencia eléctrica de 1,15 Ton CO<sub>2</sub>/MWh, este factor es determinado para campo en función de datos de composición de la corriente de gas combustible para el sistema de autogeneración por turbinas en la figura puede observarse datos de última cromatografía disponible.

**Figura 10***Composición corriente de gas combustible CPF Cusiana*

Fecha muestreo	29/11/2023			
Fecha procesamiento	30/11/2023			
Fecha reporte	30/11/2023			
Hora muestreo	14:20			
Punto de muestreo	Fuel Gas - salida V-52151 PI 5275			
Condiciones muestreo	275 psig @ 90°F			
Código Interno Laboratorio	CG-CUS-4765			
Analizado por	Adriana Moreno			
Componentes	Mole %	Incertidumbre Mole %	% Peso	
CO <sub>2</sub>	Carbon Dioxide	2,378	0,003	4,333
N <sub>2</sub>	Nitrogen	0,192	0,010	0,223
C <sub>1</sub>	Methane	62,044	0,030	41,215
C <sub>2</sub>	Ethane	21,890	0,020	27,255
C <sub>3</sub>	Propane	9,964	0,003	18,193
iC <sub>4</sub>	i-Butane	1,575	0,001	3,791
nC <sub>4</sub>	n-Butane	1,484	0,002	3,572
iC <sub>5</sub>	i-Pentane	0,311	0,001	0,929
nC <sub>5</sub>	n-Pentane	0,148	0,000	0,442
C <sub>6</sub>	Hexanos	0,012	0,001	0,043
C <sub>7</sub>	Heptanos	0,001	0,001	0,004
C <sub>8</sub>	Octanos	0,000	0,000	0,000
C <sub>9</sub>	Nonanos	0,000	0,000	0,000
C <sub>10</sub>	Decanes	0,000	0,000	0,000
C <sub>11</sub>	Undecanes	0,000	0,001	0,000
C <sub>12</sub>	Dodecanes	0,000	0,001	0,000
Total :		100,00		100,00

*Nota.* Fuente: Informe: CCF-LAB-231129-RL-CROM-14544 (REPORTE DE ANÁLISIS CROMATOGRAFIA DE GASES SUCURSAL LABORATORIO CUSIANA, 2023).

De acuerdo con lo anterior se presenta el cálculo de emisiones de la siguiente manera

Mediana de consumo: 49,5 MWh/día, 14845 MWh/mes

**Tabla 3***Cálculo de consumo y emisiones bombas Weir primer semestre de 2023 CPF Cusiana*

Mes	Consumo bombas Weir CPF Cusiana	Emisiones	Factor de emisión
	[MWh/mes]	TonCO <sub>2</sub> /mes	TonCO <sub>2</sub> /MWh
Mediana primer semestre 2023	1.485	1707,75	1,15

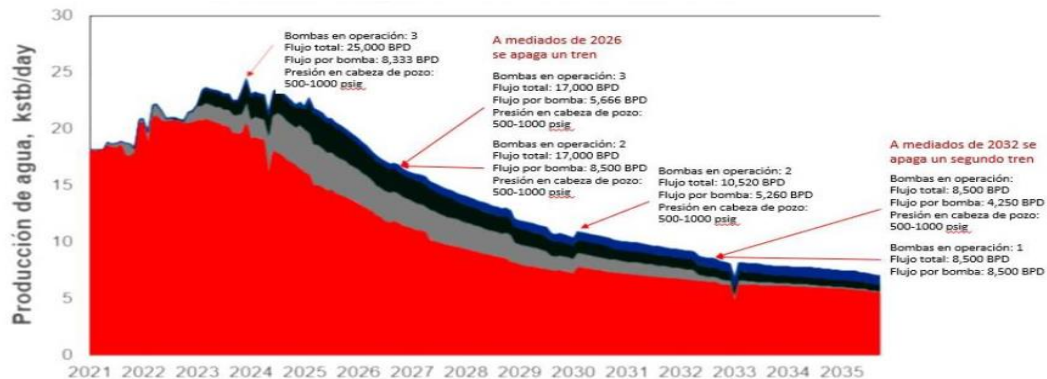


### **7.3 Descripción de operación del nuevo sistema de inyección de agua producida**

Con la entrada en operación de los nuevos equipos de inyección de agua producida se cuenta con un sistema de bombeo dimensionado y en operación continua para garantizar una operación de inyección de agua a los pozos receptores CTST3ST1, CSR11, CSTA27ST1 desde el CPF Cusiana, actualmente continua la inyección a los pozos Buenos Aires X11 y Buenos Aires XA30 de inyección de agua dado retrasos en las actividades de completamiento mecánico y adaptación de las facilidades en los nuevos pozos, las bombas del sistema anterior se encuentran aisladas eléctrica y mecánicamente. De acuerdo con información de pruebas de pozos y balances de producción, la inyección actual se encuentra en un rango de 16000 BPD y 18000 BPD de agua producida a una presión de inyección entre 950 psig y 1300 psig.

La ingeniería para este proyecto realizó estimaciones de rangos de caudal de inyección proyectando una disminución en el tiempo hasta el año 2040, se plantean escenarios de flujo que cubran todo el rango en esos 20 años. El nuevo sistema de inyección dispondrá de la flexibilidad operativa necesaria para garantizar cubrir todo el rango de caudal a lo largo del periodo evaluado.

Según las bases y criterios de diseño los pronósticos de producción de la estación Cusiana entre el 2023 y el 2026 se producirán alrededor de 25000 BWPD para lo cual se requiere la implementación de tres bombas, tanto booster como principales, cada una con una capacidad nominal de 8333,3 BWPD. A comienzos del 2027 el perfil de agua comienza a declinar siendo necesario apagar uno de los trenes de bombeo para manejar un caudal de inyección máximo de 15800 BWPD, para este escenario se operarán dos bombas cada una a su capacidad nominal de 8333,3 BWPD. Con el paso de los años, se seguirán operando dos bombas hasta alcanzar la capacidad mínima de cada una (4167 BWPD) en el año 2032. Después del 2032, se operará con un solo tren de bombeo con la capacidad nominal de 8333,3 BWPD hasta que finalice la producción de agua en el CPF. En la Figura 2 se puede apreciar el comportamiento del perfil de producción de agua entre el 2021 y el 2035

**Figura 11***Estimados producción de agua para inyección 2021-2035*

*Nota.* Fuente: Bases y Criterios de Diseño (Ingeniería detallada facilidades de inyección de agua Cusiana, 2021).

El agua proveniente de los tanques de almacenamiento llega al cabezal de succión 8"-IW-60902-A2T1-VA que distribuye el flujo hacia las tres bombas booster P1-P-60006 F/G/H. Este cabezal de succión general se encuentra diseñado para manejar la totalidad del máximo pronóstico de producción de agua más un porcentaje de sobre diseño (27500 BWPD).

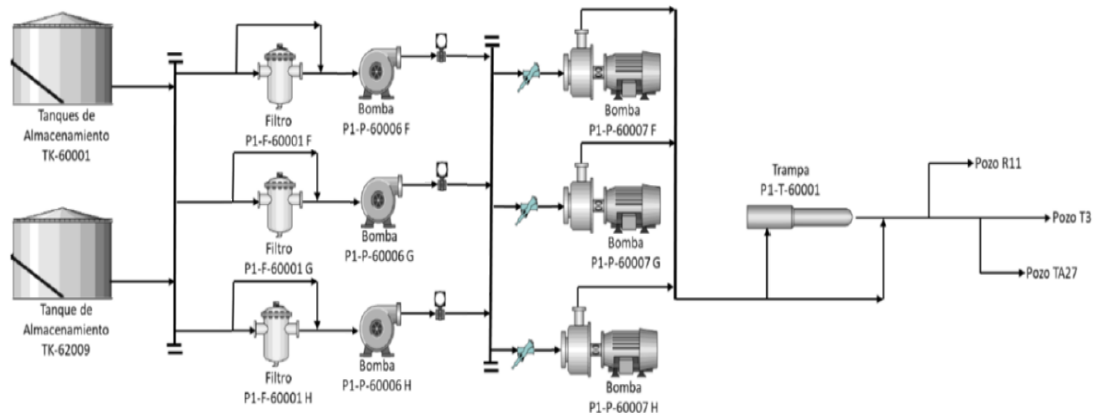
Las bombas booster son de tipo centrífuga, con una capacidad nominal de 248 gpm, una potencia hidráulica de 7.1 HHP y una cabeza diferencial de 50.1 psi a condiciones rated. En las líneas de succión de cada bomba se cuenta con una válvula manual para el correcto aislamiento de la bomba en caso de mantenimiento, un filtro tipo canasta P1-FI-60001 F/G/H con indicador-transmisor de presión diferencial PDIT-6033 F/G/H y alarma por alta presión diferencial PDAH-6033F/G/H, un indicador-transmisor de presión PIT-6034 F/G/H, con alarmas por baja presión PAL-6034 F/G/H y por baja baja presión PALL-6034 F/G/H; a las alarmas PALL-6034F/G/H se encuentran asociados los interlocks 3WM/3WN/3WO que tienen acción de apagado de las bombas booster por la condición de muy baja presión de succión; y facilidades para el drenaje del líquido confinado hacia el sistema de drenajes cerrado.

Las bombas principales P1-P-60007 F/G/H las cuales son alimentadas con agua de inyección a través del cabezal de succión 6"-IW-60946-A2T1-VA" y este cabezal es alimentado por las bombas booster a través del cabezal de descarga 6"-IW-60932-A2T1-VA". Estas bombas son de tipo centrifugas multietapa con una capacidad nominal de 248 gpm, una potencia hidráulica de 186.4 HHP y una cabeza diferencial de 1333 psi. A continuación del esquema de flujo con el

que finalizará el proyecto una vez se finalicen las actividades de completamiento mecánico faltantes para la inyección en los pozos nuevos.

### Figura 12

*Esquema de proceso del nuevo sistema de inyección de agua producida*



*Nota.* Fuente: Bases y Criterios de Diseño (Ingeniería detallada facilidades de inyección de agua Cusiana, 2021).

De acuerdo con las hojas de datos de los nuevos equipos de inyección se tienen los siguientes datos técnicos para las bombas sus motores.

### Tabla 4

*Hoja de datos de las bombas booster y motores nuevos del sistema de inyección de agua producida*

<b>TAG (Bombas booster)</b>	P-60006/F/G/H	<b>MOTOR</b>	NEMA W22
<b>Servicio</b>	Bombas Booster (Sulzer)	<b>Potencia (HP)/(KW)</b>	15 / 11
<b>Caudal Nominal (gpm)</b>	248	<b>Frecuencia (Hz)</b>	60
<b>Velocidad (rpm)</b>	3510	<b>Rotación Nominal (rpm)</b>	3530
		<b>Tensión nominal (v)</b>	230/460
		<b>Eficiencia</b>	50% - 89.5
			75% - 91.0
			100 - 91.0

*Nota.* Fuente: Hoja de datos de proveedor (Sulzer 2022).

**Tabla 5**

*Datos de bombas principales del nuevo sistema de inyección de agua producida*

<b>TAG (Bombas principales)</b>	P-60007/F/G/H
<b>Servicio</b>	Bombas Principal (Borets)
<b>Caudal Nominal (gpm)</b>	248
<b>Velocidad (rpm)</b>	3581
<b>Presión de descarga (psig)</b>	1350
<b>Potencia (hp)</b>	350

*Nota.* Fuente: Hoja de datos de proveedor (Borets 2022).

**Figura 13**

*Colección de fotos de los equipos del nuevo sistema de inyección de agua producida CPF Cusiana*





**Figura 14**

*Variadores de frecuencia VFD de bombas principales de inyección de agua producida CPF Cusiana*



#### **7.4 Consumo de energía eléctrica y emisiones de GEI del nuevo sistema de inyección de agua producida**

Con la entrada en operación del proyecto se ha logrado la reducción del consumo de energía eléctrica y directamente una reducción de emisiones de gases GEI, esto es visible comparando los

datos de generación de los meses Septiembre y Noviembre para CPF Cusiana, es decir el antes y el después de la entrada en operación de las bombas el 06 de octubre 2023

**Tabla 6**

*Comparativo generación eléctrica CPF Cusiana Septiembre vs Noviembre*

<b>Mes</b>	<b>Generación TOTAL</b>	<b>CPF</b>
	[MWh/mes]	[MWh/mes]
Septiembre	13.380	6.889
Noviembre	11.701	5.606
Diferencia		1.283

*Nota.* Fuente: Datos de generación total CPF Cusiana (Gestoría Energética CPF Cusiana, 2023).

## 8. Resultados

El proyecto no ha finalizado en su totalidad, por ahora solo se dio arranque al nuevo sistema de bombeo por lo que aún no se tiene mediciones exactas de consumos de energía eléctrica específica de los nuevos equipos del sistema de inyección de agua.

De acuerdo con los datos de la tabla anterior por esa cantidad de energía que se ha dejado de demandar y generar se estima una reducción de emisiones de GEI como se muestra en la tabla 7 en esta se comparan consumos septiembre y noviembre correspondientes a los meses anterior y posterior a la entrada del proyecto de gestión de agua de producción piedemonte.

**Tabla 7**

*Generación total y específica CPF y Cálculo de emisiones Septiembre y Noviembre*

Mes	Generación TOTAL	CPF	Emisiones	Factor de emisión
	[MWh/mes]	[MWh/mes]	TonCO2/mes	TonCO2/MWh
Septiembre	13.380	6.889	7922,1315	1,15
Noviembre	11.701	5.606	6446,76315	
Reducción de emisiones y consumo de energía		1.283	7922,1315	

*Nota.* Fuente: Datos de generación total CPF Cusiana (Gestoría Energética CPF Cusiana, 2023).

Este ahorro en el consumo de energía en este momento de la operación no podría atribuirse únicamente a la entrada parcial del proyecto ya que el consumo total de energía de la planta varía también en función de la operación de los demás sistemas que demandan potencia eléctrica sin embargo, es un buen indicador, por ahora no se puede conocer el consumo real específico de las bombas nuevas del sistema de inyección hasta que no se instalen medidores dedicados.

Con la entrada en pleno del proyecto, la ingeniería estimo un consumo de 19,60 MWh/día específico para el sistema de inyección de agua por lo que la estimación de reducción de emisiones y consumo de energía sería como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Cálculo de reducción de consumo de energía y emisiones GEI esperados por el proyecto gestión de agua tren piedemonte*

Mes	Sistema de inyección bombas nuevas CPF Cusiana	Emisiones	Factor de emisión
	[MWh/mes]	TonCO2/mes	TonCO2/MWh
Primer semestre 2023	1.483	1705,335	1,15
Esperado entrada en pleno del proyecto	588	676,2	
Reducción de emisiones y consumo de energía	895	1705,335	

*Nota.* Fuente: Datos de generación total CPF Cusiana (Gestoría Energética CPF Cusiana, 2023).



## 9. Impacto

A pesar de que el proyecto de gestión de agua del tren piedemonte no ha finalizado en pleno ya se puede observar el impacto en materia de reducción de emisiones y consumo de energía eléctrica de autoconsumo, los ahorros estimados para el sistema específico de inyección de agua producida rondan los 895 MWh/mes y las 1705,335 TonC02/mes. Estos datos muestran la coherencia y el compromiso que tiene la vicepresidencia del Upstream de Ecopetrol con la definición y aplicación de medidas para el cumplimiento de metas en materia de reducción de emisiones; Según memorando “*Definición metas foco agua y reducción de emisiones de Gases de Efecto invernadero para el año 2023 y la proyección para las vigencias 2024-2025*”, La vicepresidencia Upstream tiene una meta de reducción de 303.987 TonC02e por lo que el proyecto aportaría en porcentaje para el cumplimiento de esta meta un 0,56%. En la siguiente figura se puede observar como está compuesta la VPU de Ecopetrol.

**Figura 15**  
*Estructura vicepresidencia Upstream Ecopetrol*



Nota. Fuente: [https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/EstructuraOrganizacional/Organigrama/vicepresidenciaupstream/!ut/p/z/0/04\\_Sj9CPyKssy0xPLMnMz0vMAflJo8zi\\_R09LAWtTAz83U3cLQzMDHzMAjyd3X09DQz0C7IdFQGb3gFz/](https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/EstructuraOrganizacional/Organigrama/vicepresidenciaupstream/!ut/p/z/0/04_Sj9CPyKssy0xPLMnMz0vMAflJo8zi_R09LAWtTAz83U3cLQzMDHzMAjyd3X09DQz0C7IdFQGb3gFz/) (Estructura VPU, 2022)

Otro impacto importante se tiene en materia de confiabilidad del sistema de inyección de agua producida del CPF Cusiana, según reportes de operación y mantenimiento, actualmente las bombas inyectan caudales en rango de 16.000 y 18000 BWPD con una operación continua, sin presentar afectación al proceso de desnatado del agua de producción.

De acuerdo con la presión de operación actual que oscila en 950 y 1200 psig se pudo realizar un recálculo de vida remanente para la línea de inyección de agua producida CPF-X-XA, aumentando su vida útil hasta 2038, reduciendo así el riesgo de pérdida de contención en este activo.

Otro impacto importante se logra en el área de mantenimiento ya que se reducen la cantidad de avisos de mantenimiento correctivo sobre los equipos del sistema de inyección agua, generando costos adicionales por mantenimiento.

## 10. Referencias

- Applus . (2023). *Reporte de análisis de cromatografía de gases sucursal laboratorio Cusiana* . Tauramena.
- Bneavides Ballesteros , H. O., & León Aristizabal , G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático* . Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *CLIMATE CHANGE 2023*. IPCC.
- International Energy Agency. (2023). *World Energy Outlook 2023*. IEA.
- UPME, U. d. (Diciembre de 2023). *upme*. Obtenido de [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Resultados\\_2020.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Resultados_2020.pdf)
- Worley Colombia SAS. (2021). *Bases y Criterios de Diseño INGENIERÍA DETALLADA FACILIDADES DE INYECCIÓN DE AGUA CUSIANA*. Bogota DC: Worley SAS.
- Worley SAS . (2021). *Filosofía de Operación INGENIERÍA DETALLADA FACILIDADES DE INYECCIÓN DE AGUA CUSIANA*. Bogotá DC: Worley.