



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



# ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DEL FONDO DE UN REACTOR DE PRODUCCIÓN DE PULPA MARRÓN

PROYECTO FIN DE CURSO  
BASES DE DATOS NO RELACIONALES

Valentina Munhos, Franco Serratto, Karolina Soca

Montevideo, Uruguay

11 de julio de 2022

## 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de obtención de celulosa, posee subprocesos encargados de diferentes etapas en la línea de producción. En particular el proceso de obtención de celulosa como tal, se lleva a cabo en un reactor, denominado Digestor, en el mismo ingresan distintos reactivos junto con la madera, la cual sufre a través del reactor una serie de transformaciones químicas que dan lugar a la obtención de celulosa. En particular, la industria de obtención de celulosa posee un sinnúmero de variables de proceso que son seguidas a través de un sistema distribuido de control, estas variables tienen diferente inferencia a la hora de mantener el proceso en correcto funcionamiento, por lo cual es crucial su seguimiento y análisis.

Un adecuado análisis de los datos históricos proporciona herramientas a la hora de tomar decisiones ya sea sobre problemáticas del proceso, así como poseer herramientas para proponer modificaciones futuras. Por otra parte, el análisis de datos de un determinado reactor nos permite buscar en qué condiciones el desempeño del reactor fue mejor, con el fin de determinar un óptimo punto de funcionamiento correspondiente a cada rango de producción. Debido a la cantidad de información que se extrae del sistema distribuido, el análisis a través de programas tradicionales como Wedge, Minitab o Excel, resulta complejo y muchas veces imposible de realizarse, a causa de los tiempos de procesamiento. El uso de una herramienta para grandes volúmenes de datos como lo son las bases de datos de documentos, específicamente utilizando MongoDB para realizar consultas sobre archivos json, nos es de gran ventaja.

## 2. OBJETIVOS

Se plantea el estudio de los parámetros fundamentales del fondo del reactor, así como la posibilidad de utilizar este tipo de metodologías para un análisis y visualización a través de gráficas para producciones consultadas entre rangos específicos, para largos períodos de tiempo.

En particular se tiene como objetivo el estudio de un caso problema para el proceso, asociado a la modificación en el comportamiento de dos variables de especial importancia para la estabilidad de la descarga del reactor. Se tiene como objetivo específico normalizar la relación entre las presiones, con el objetivo de obtener una relación que permita determinar el punto en el que su comportamiento deja de ser proporcional. A su vez, para los comportamientos no proporcionales de las presiones, se busca obtener los gráficos de variables de interés para el proceso. También se tiene como objetivo específico visualizar los valores de presiones para valores de flujo  $H$  menores que 100 l/s y mayores que 125 l/s, dado que estos se consideran por la experiencia empírica valores menos usados.

## 3. CONCEPTOS NECESARIOS

Parte de los conceptos necesarios para un análisis de la problemática son confidenciales por el acuerdo de confidencialidad empleado - empresa. Por lo tanto, se intentará generar conceptos básicos para el seguimiento de los planteos de las consultas y sus respectivos análisis, pero no se podrá realizar una explicación exhaustiva de los intereses técnicos envueltos.

El problema en estudio se basa en el relevamiento de diferentes variables de interés asociadas al fondo del reactor, así como el análisis de una situación problema para el proceso. A lo largo del análisis se tratarán tres tipos de datos, .SP (Set point), .PV (Process Value), .OP (Output), donde estos hacen referencia a la característica de la información y de ahora en más SP, PV, OP. Los datos .SP se tratan de datos seteados por el operador, y refieren a valores deseados para esa variable, los datos .PV hacen referencia al valor de proceso asociado a la variable, es decir es una medida real, ya sea un flujo, temperatura o presión, por ejemplo. Por último, los datos .OP hacen referencia al valor de salida, o de acción, es decir, se corresponde con un valor real de acción para un equipo. Por ejemplo, si se desea un flujo de 130 l/s en una línea, el SP sería 130, el PV sería el valor real que posee de flujo, aportado por un equipo, en este caso un caudalímetro, si estuviese en 120 en nuestro ejemplo, y el OP fuese la apertura de la válvula que permite pasar más flujo por ese caudalímetro, el OP aumentaría buscando que el PV se iguale al SP, por lo cual el OP podría ser de 30 e intentar ir a 40 (considerar que son valores puramente ejemplificadores).

Por otra parte, para entender las situaciones planteadas se debe considerar que el reactor posee en el fondo el ingreso de 4 flujos de un fluido denominados filtrados, estos flujos se denominarán flujo C, flujo H, flujo V y flujo E. A su vez, a la salida del reactor, se tiene un flujo S, y dos valores de presión relacionados con los flujos denominados filtrados, la presión diferencial y la presión hidráulica del reactor. En particular, la presión diferencial y la presión hidráulica poseen una relación esperada directamente proporcional en su comportamiento, por lo que variaciones en esta relación pueden significar un comportamiento anómalo en la descarga del reactor, es decir un flujo S cuyas componentes varíen.

También se debe considerar que los flujos asociados al filtrado tienen inferencia significativa en la presión diferencial del reactor, por lo cual es de interés observar sus comportamientos y variaciones, dado que existen conocimientos asociados a la experiencia de en qué condiciones se espera un mejor comportamiento del reactor, pero también se ha observado comportamientos anómalos con variaciones más sutiles, cuyas realidades son difíciles de asociar.

Se tiene como objetivo determinar una relación entre la presión diferencial y la presión hidráulica para así determinar cuando estas se comportan de manera no proporcional, y analizar la distribución de los filtrados respecto a la distribución habitual de los mismos, y así determinar valores de distribución de flujos para los filtrados para los cuales sea favorable, o por otra parte, valores que no sean favorables para el proceso.

En particular, en el proceso existen varios valores denominados parámetros que vinculan a través de relaciones, algunas teóricas otras empíricas, distintas variables del proceso. En este análisis se toma en consideración algunos de esos factores a la hora de hacer consultas, dado que podrían ser de interés a la hora del relevamiento de resultados. Un ejemplo de esto, es el parámetro denominado FD, donde el mismo es el resultado de la suma de los filtrados asociados al fondo del reactor y por lo tanto puede considerarse que afecte a la distribución del fondo del reactor. A su vez, los cuatro flujos se pueden distribuir de manera variable entre sí, siendo el flujo H, el que compensa para lograr el total establecido por el FD. Otro parámetro que puede ser de interés es el FInf, que también posee inferencia en las características de la distribución de los fluidos en el fondo del reactor. En particular, estos son parámetros específicos de este tipo de reactor, por lo cual no se podrá especificar mayor información.

En resumen, los conocimientos necesarios para comprender el análisis, radican en un reactor, con entradas de filtrado, y salidas de fluido, así como una salida principal denominada S, dos valores de presión, una diferencial y otra hidráulica, valores de temperaturas y parámetros. Se debe tener en cuenta, que este reactor, posee más variables de sistema, y una complejidad que excede al análisis del trabajo, por lo cual hay intereses en visualizar valores que radican en el conocimiento profundo del tema.

## 4. DISEÑO DE SOLUCIÓN

En lo que refiere al análisis de la solución, lo primero a atacar fue el procesamiento de los datos extraídos desde la central de UPM, en donde la información estaba repartida en varios archivos tipo excel. Para ello fueron necesarios ciertos ajustes como ser el modificar el formato de ciertos campos (el atributo de fecha, por ejemplo) para que estos sean fácilmente reconocibles por el motor de mongoDB a la hora de importarlos.

Con respecto al diseño de la base relacional se optó por agrupar los datos en distintas colecciones de forma de que estas sean lo más coherentes posibles a la hora de interpretar los datos e implementar las distintas consultas. La configuración que se entiende como mejor mejor se adecuaba a los intereses del grupo consta de un total de 7 colecciones, las cuales son:

- Circulación de cocción
- Datos
- Extracciones
- Fondo del digestor
- Niveles del digestor
- Producción

- Temperaturas

La base fue principalmente el patrón de diseño "bucket" para almacenar estos datos, debido a que se trata de una cantidad importante de mediciones en el tiempo. Los datos se agruparon en diferentes colecciones, según características de las variables y como se relacionan o se encuentran en el proceso.

Por otra parte, la solución a la que se llegó para manipular los datos posteriormente, fue agrupar todas las mediciones correspondientes a un mismo día en el mismo documento, a modo de facilitar y reducir los tiempos de búsqueda, dado la cantidad masiva de datos a tratar.

Cada documento tiene dos atributos de tipo fecha indicando el inicio y el fin de las mediciones de cada día respectivamente, un atributo que lo describe en aquellos casos donde se considera necesario así como también un array con el registro minuto a minuto de los distintos valores de aquellos instrumentos o valores de proceso de la planta que conforman al grupo representado en el documento.

Un ejemplo de documento genérico sería el siguiente:

```
{
  "fecha_inicio": "Atributo de tipo fecha que indica el minuto para la primer medición
                  tomada para ese día",
  "fecha_fin": "Atributo de tipo fecha que indica el minuto para la última medición
               tomada para ese día",
  "mediciones": [
    {
      "date": "Corresponde a un minuto en particular del día",
      "instrumento1": {
        "variable1": "Valor",
        "variable2": "Valor",
        ...
        "variableN": "Valor"
      },
      ...
      "instrumentoN": {
        "variable1": "Valor",
        "variable2": "Valor",
        ...
        "variableN": "Valor"
      }
    }
  ],
  "descripción": "Descripción del agrupamiento de instrumentos dentro de la colección"
}
```

A su vez, se crean índices sobre las fechas de inicio de cada documento y las fechas de todas las mediciones correspondientes en orden ascendente, lo que resulta clave en la optimización de las consultas sobre la base. Esto se debe a que todas las consultas hacen uso de estos atributos para emparejar los datos recabados, dado que resulta de especial interés el análisis del comportamiento de las distintas variables e instrumentos para un mismo período de tiempo dado.

## 5. EXPERIMENTACIÓN

Para el análisis se toman los datos de un determinado reactor de la empresa UPM, los mismos están identificados por un código interno y se acompañarán de una identificación propia que permita identificar la relevancia de las variables. Los archivos se extrajeron a partir de una herramienta interna de la empresa, obteniendo archivos .CSV para cada variable. Estas variables se extrajeron para un período de tiempo de al menos 1 año y se crearon las respectivas colecciones, con los criterios explicados con anterioridad.

Todos los análisis que se quieren realizar se hacen para dos situaciones de producción distintas, dado que las variables de proceso varían considerablemente en función de esta, por lo que se segmenta los datos para ambos casos. Se seleccionan dos rangos de producción que son de 3200 a 3500 ADTd y 3500 a 3800 ADTd. Esto permitirá analizar las variables de interés para el proceso dentro de cada uno de los rangos, identificándolos mediante los respectivos intervalos de tiempo.

Otra consideración importante es que se toman para todas las visualizaciones solo los intervalos de tiempo mayores a 240 minutos para el caso en que la producción esté en el rango 3500-3800 y de 480 minutos para el caso de 3200-3500, como forma de poder garantizar que las condiciones dentro del reactor eran relativamente estables y que no se estaba en un proceso de transición entre un estado y otro, por ejemplo subiendo o bajando producción.

### 5.1. Consulta 1

Se plantea la búsqueda de variables de interés para el proceso en rangos de producciones específicos determinados anteriormente, generando gráficos que permitan realizar un relevamiento de las oscilaciones en las variables en función del tiempo. Se considera de especial importancia, dado que las herramientas utilizadas en producción no permiten hacer este tipo de relevamiento de manera rápida para grande volúmenes de datos, lo cual dejaría un precedente para un análisis de igual magnitud con las diferentes variables que se manejan en el control de proceso. Se realiza entonces la búsqueda citada para los rangos (3200-3500) y (3500-3800), dada la diferencia a nivel de proceso en el comportamiento de los equipos y sus respectivas variables.

En particular se determinan las temperaturas denominadas como ttp y tcc, para los dos rangos de producción, dado que son relevantes para el proceso, y se consideran un buen ejemplo del uso del objetivo de la consulta. La forma de obtenerlas es filtrando la base de datos por el rango de producción deseado y luego realizando un lookup en la colección de temperaturas para esos intervalos de tiempo en donde se da la condición de producción. Se realiza un gráfico para visualizar los resultados de forma de interpretar más fácilmente el gran volumen de datos.

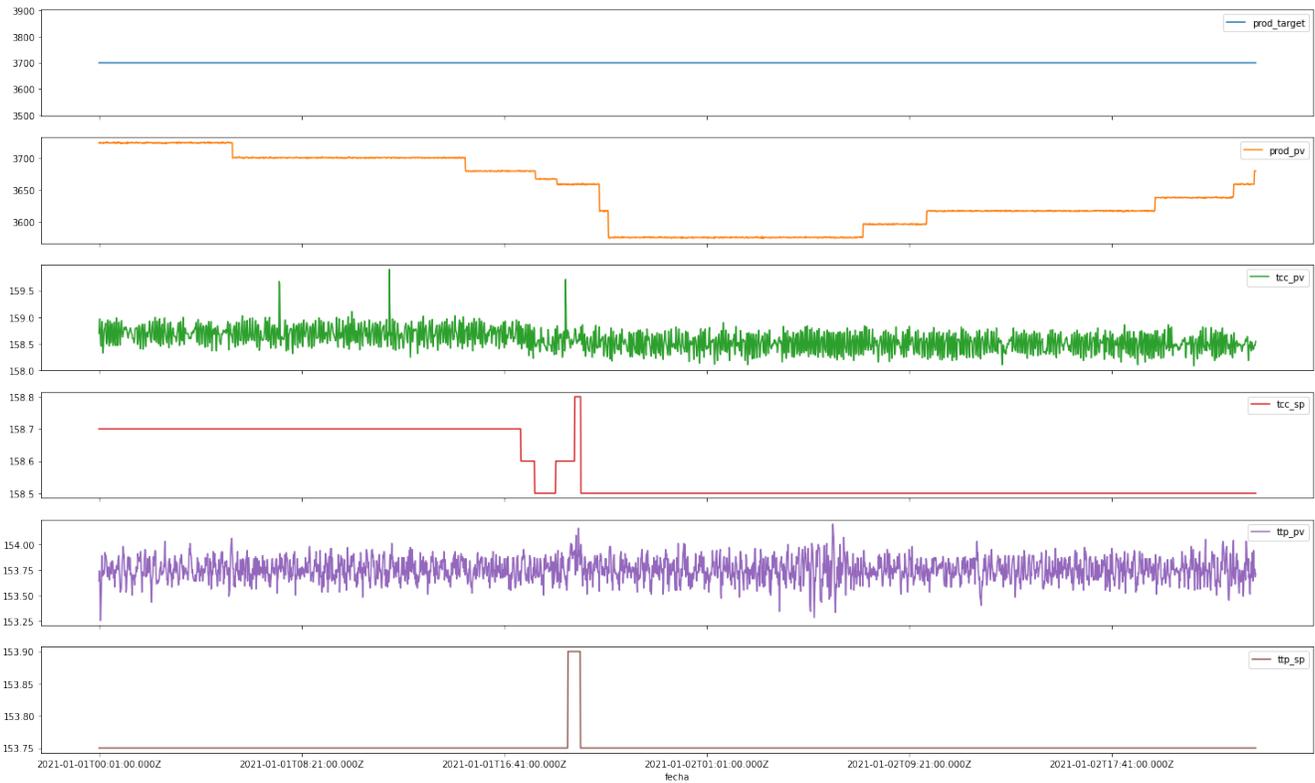


Figura 5.1: Temperaturas ttp y tcc para una producción de 3500-3800.

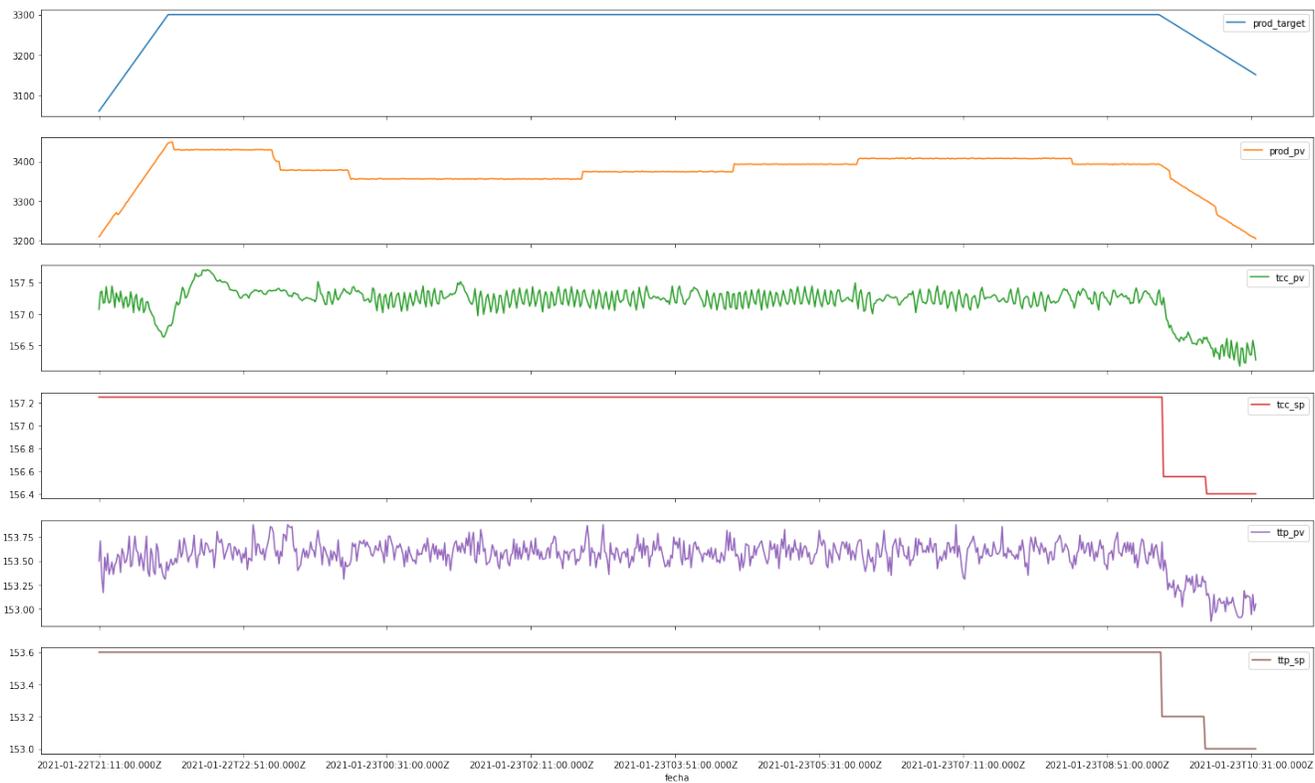


Figura 5.2: Temperaturas ttp y tcc para una producción de 3200-3500.

## 5.2. Consulta 2

Se plantea la búsqueda de los valores de la diferencia de presión del fondo para el proceso en rangos de producciones específicos, generando gráficos que permitan realizar un relevamiento de las oscilaciones que posee la variable, para posteriormente realizar un análisis detallado de la misma y los vínculos con otras variables de proceso. Se considera de especial interés dado que, comportamientos oscilatorios en la presión diferencial pueden generar complicaciones en la descarga del reactor.

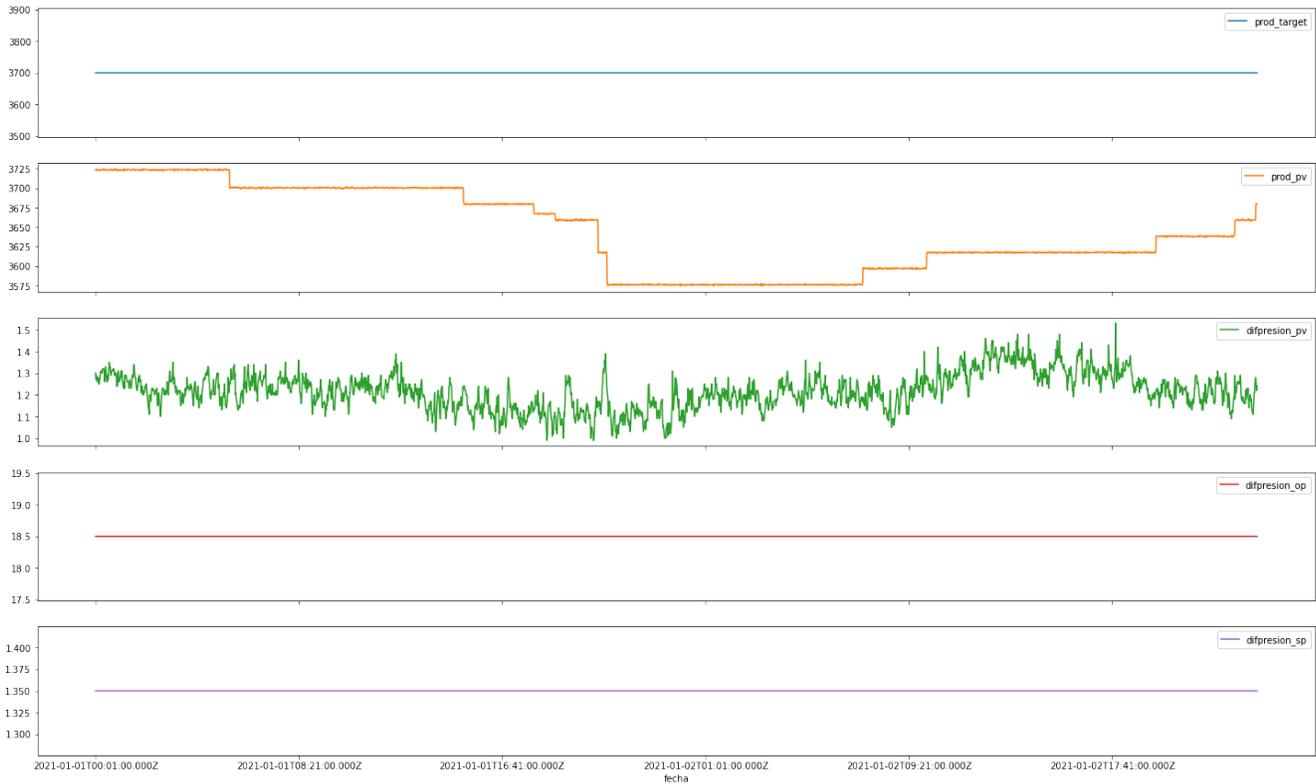


Figura 5.3: Presión diferencial del fondo para 3800-3500.

Se observa que existe una gran variabilidad en el diferencial de presión del fondo, habiendo rangos en los cuales el comportamiento del sistema es más beneficioso, por lo que el objetivo radica en un análisis de mayor profundidad de esta variable, para poder visualizar las conexiones con el fondo del reactor y sus implicancias.

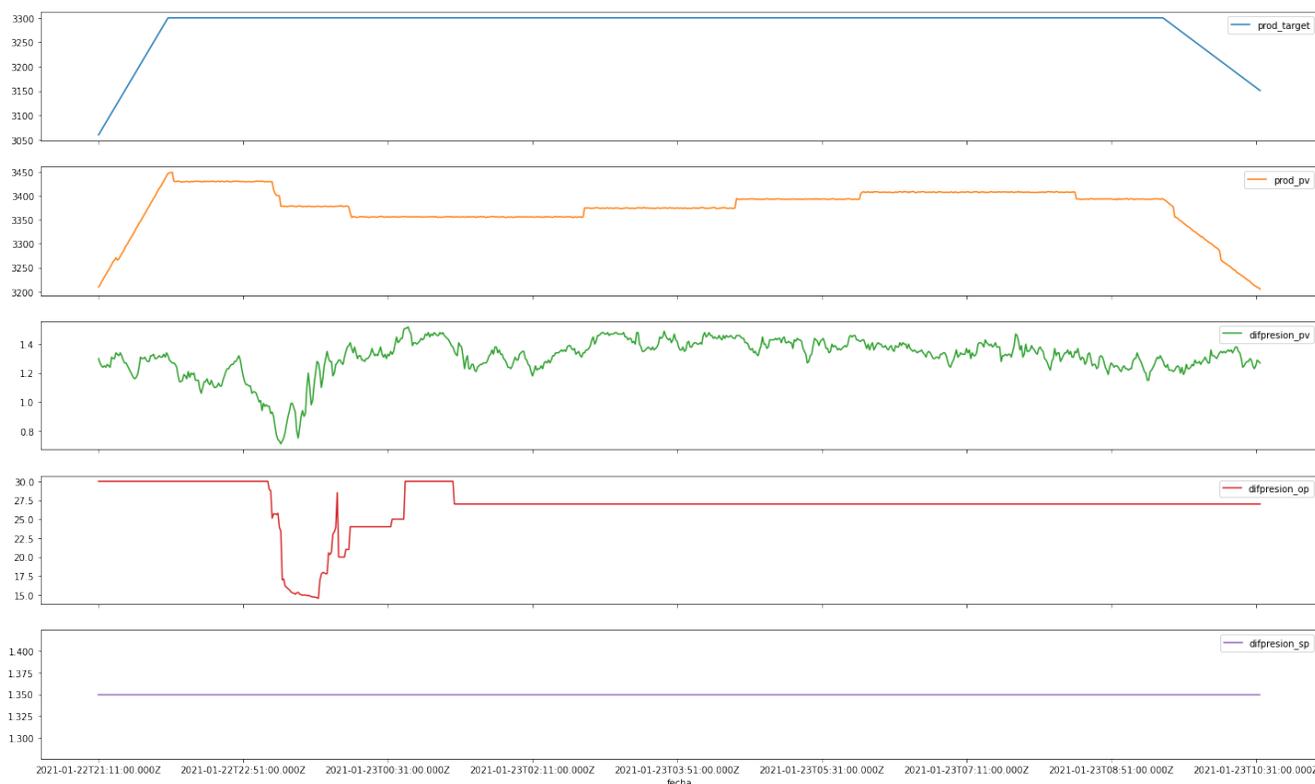


Figura 5.4: Presión diferencial del fondo para 3200-3500.

En este gráfico se ve que tanto al comienzo como al final del intervalo, la producción estaba variando su valor, por lo tanto esos tramos no se deben considerar para un análisis porque no tienen estabilidad y podrían ser asociados a un disturbio.

### 5.3. Consulta 3

Para continuar analizando el fondo del digester, se realiza un relevamiento de las variables que afectan al mismo, como lo son los flujos de filtrado y las extracciones, así como también factores de proceso (FD y FInf) que involucran a estas variables. Se utilizan gráficos en el tiempo para visualizar con facilidad las variaciones y relaciones de los mismos, con el fin de compararlos entre sí, siempre para intervalos de tiempo lo suficientemente grandes dentro de los rangos de producción definidos.

Esta consulta será utilizada luego, como complemento a consultas posteriores ya que se utiliza como base para extraer los filtrados, introduciendo como input un intervalo de tiempo en particular, por ejemplo, como complemento en el análisis de la consulta 4. Es decir, se utilizará como herramienta para comparar en diferentes situaciones las condiciones del fondo del reactor.

Los gráficos que se obtienen son los siguientes:

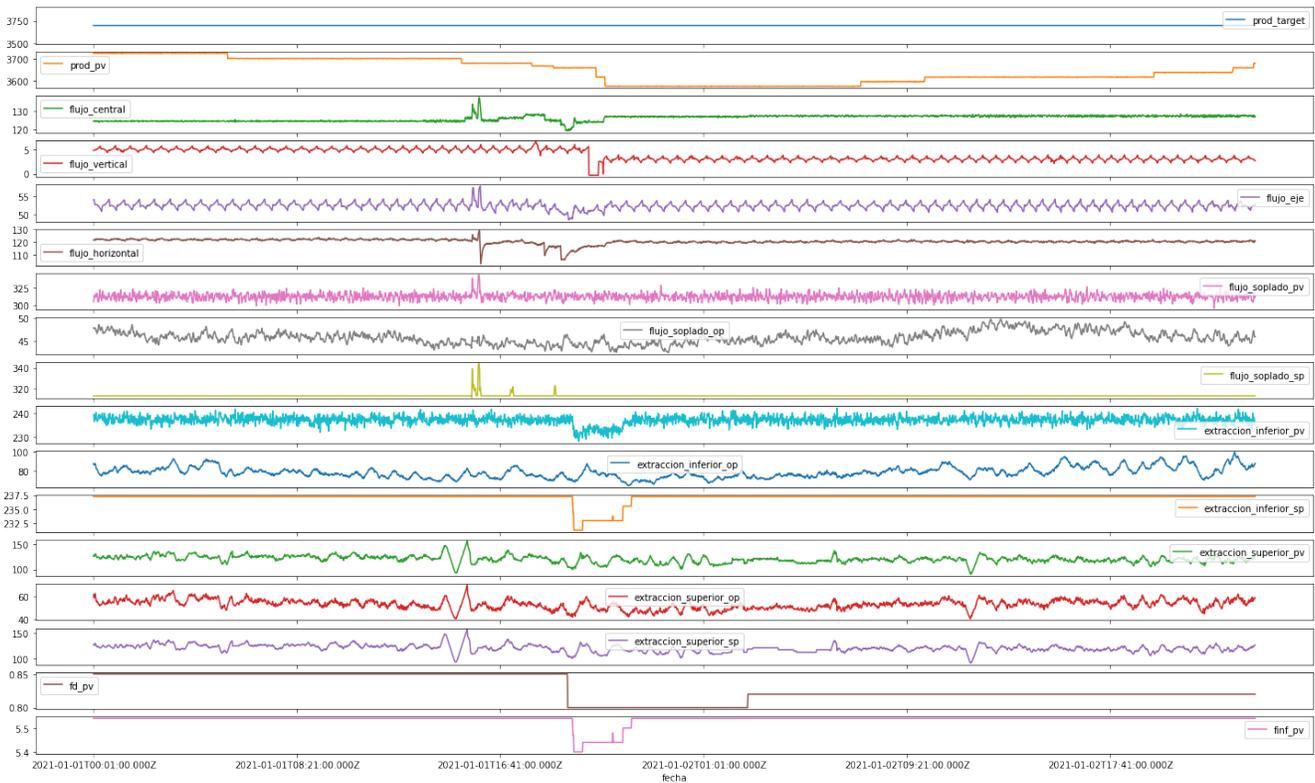


Figura 5.5: Flujos, extracciones, FD y FInf con la producción entre 3500-3800.

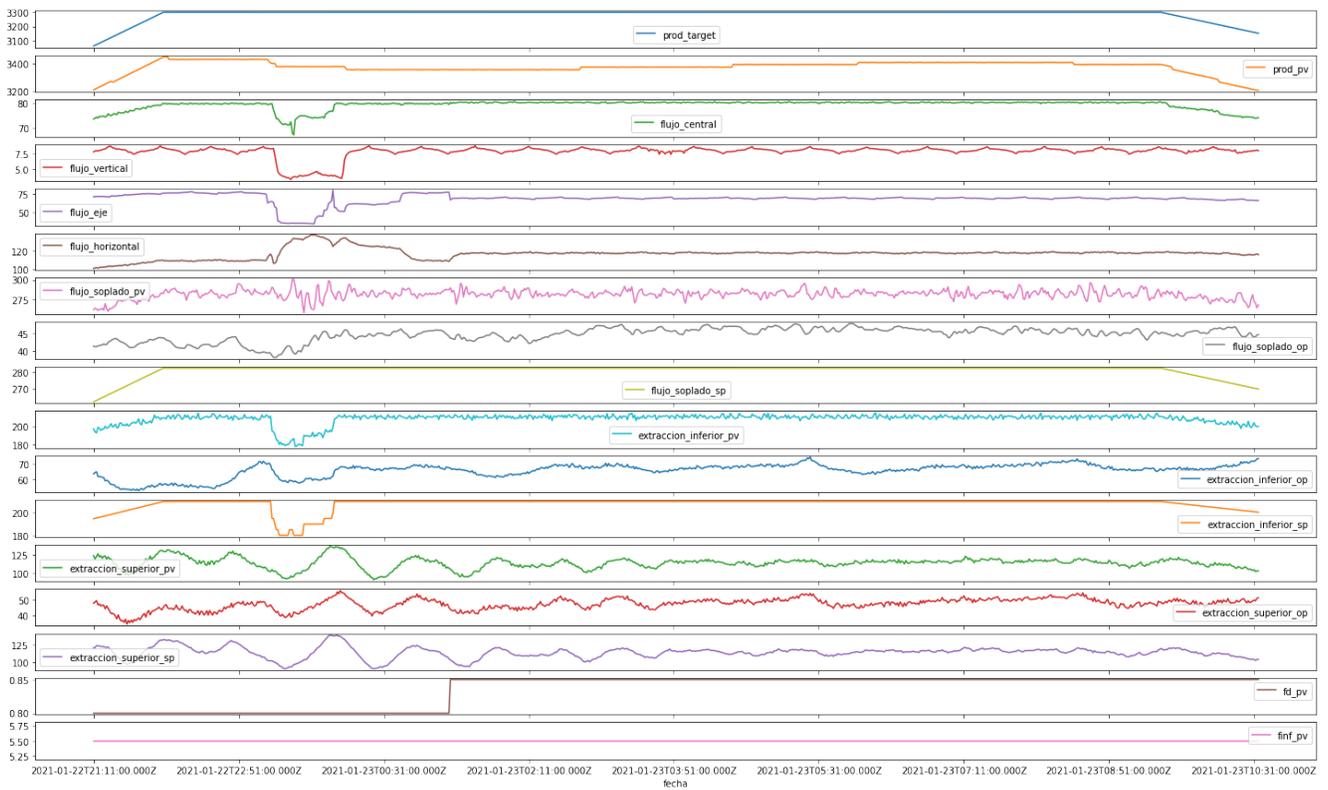


Figura 5.6: Flujos, extracciones, FD y FInf con la producción entre 3200-3500.

## 5.4. Consulta 4

La consulta 4 se basa en la búsqueda de las variables diferencia de presión y presión hidráulica del fondo, nuevamente en los dos rangos de producción establecidos. Por otra parte, una vez obtenidos estos datos se calcula la relación entre ambas, es decir, diferencia de presión/presión hidráulica, normalizándola a través de la siguiente relación min max:

$$\text{min.max.normalize}(W) = \text{return} \frac{W - W.\text{min}()} {W.\text{max}() - W.\text{min}()} \quad (5.1)$$

El objetivo de la normalización, como se ha comentado con anterioridad es lograr encontrar los períodos de tiempo en los que el comportamiento entre ambas variables ha dejado de ser proporcional, y de este modo determinar un criterio para analizar las demás componentes que afectan el fondo del reactor.

Una vez normalizada la relación se filtran los tiempos para los que la relación normalizada es mas próxima a cero, dado que son indicio de falta de proporcionalidad. Se elige entonces valores menores a 0,3 como referencia de un comportamiento anómalo en la correspondencia de las variables.

Se seleccionan los intervalos de tiempo que cumplen con esta condición, y se extraen de la consulta 3 los flujos de extracción y de filtrado. Esto permitirá para estas condiciones, poder observar de que modo se distribuyen los filtrados en el fondo del reactor, por lo tanto observar cuales son las distribuciones no deseadas, o que se encuentran presentes en caso de disturbios.

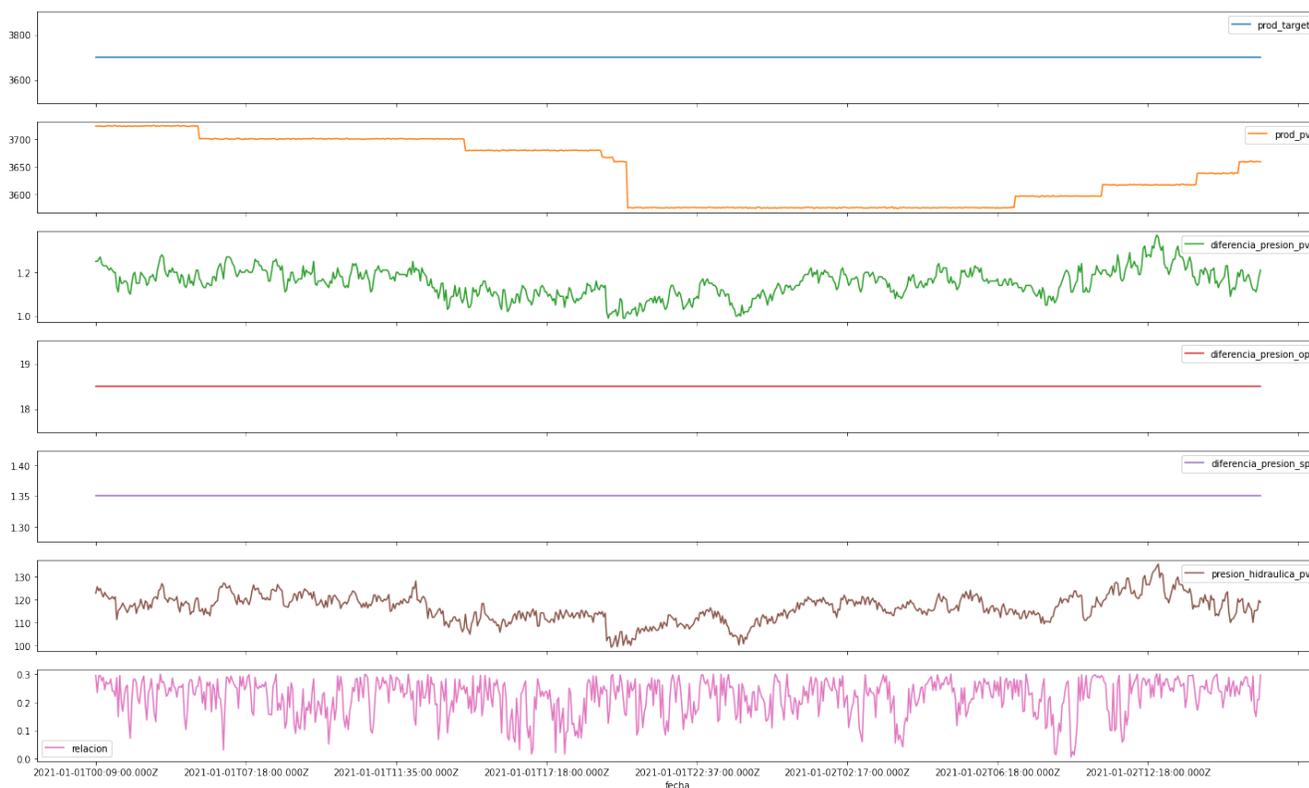


Figura 5.7: Diferencia de presión de fondo y presión hidráulica para valores de normalización menor a 0.3 y rango de producción 3500-3800.

El intervalo de tiempo que se selecciona es manual, observando en el eje x las fechas. Luego de seleccionado el intervalo, se obtienen los flujos y extracciones del fondo a partir de la consulta 3, lo que permitirá un análisis tanto cuantitativo, remarcando que valores de flujos de filtrado y de extracciones son los que generan este estado, sino que también comparativo con situaciones de funcionamiento normal (es decir, cuando la normalización es mayor a 0.3). Este estudio comparativo en particular no se presenta en el informe, debido a que las conclusiones corresponden a la solución de un problema real del reactor.

Las gráficas de filtrados y extracciones correspondientes para un intervalo de tiempo en donde la relación entre la presión diferencial de fondo y la hidráulica es menor a 0.3 son las siguientes:



Figura 5.8: Flujos, extracciones, FD y FInf para el intervalo de tiempo del gráfico anterior, con la producción entre 3500-3800.

Se realiza el mismo análisis para el otro rango de producción seleccionado, obteniendo el gráfico a continuación:

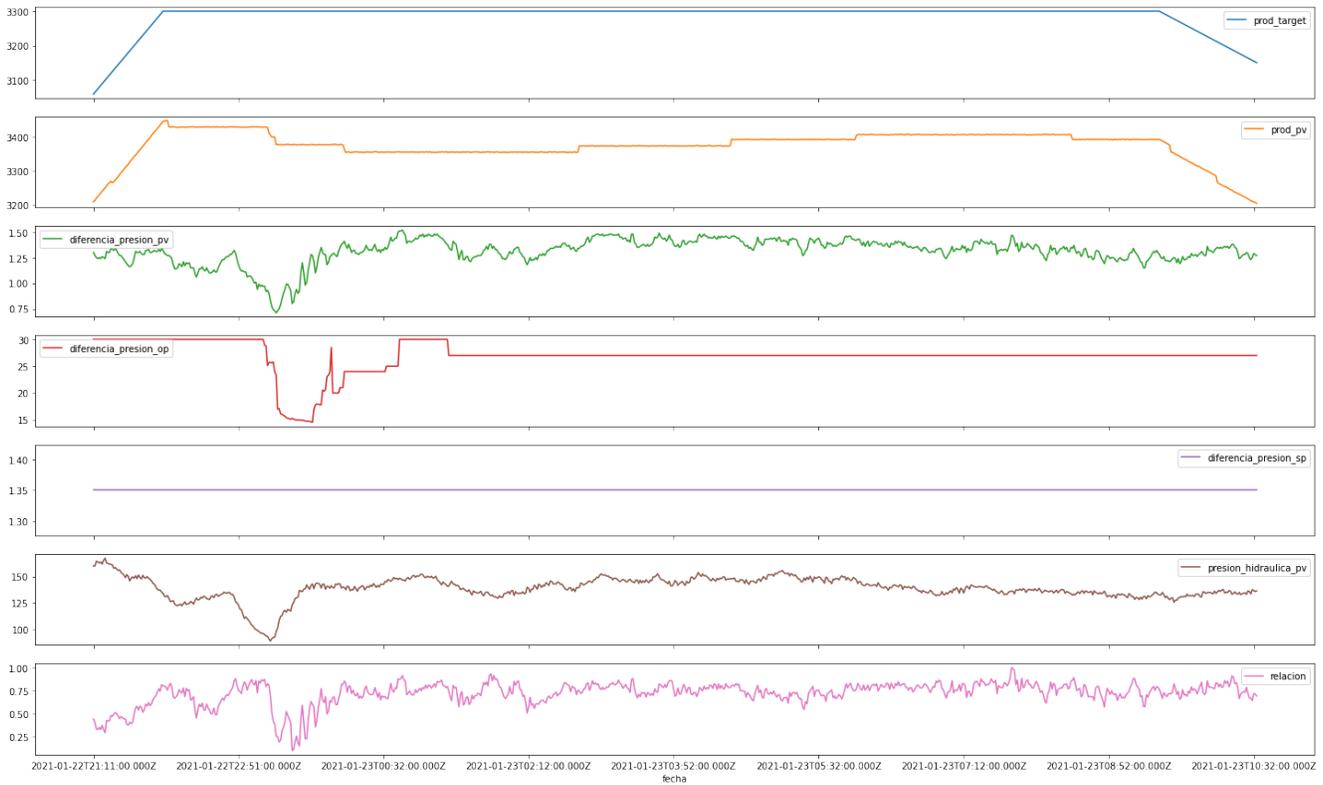


Figura 5.9: Diferencia de presión de fondo y presión hidráulica para valores de normalización menor a 0.3 y rango de producción 3200-3500.

Del mismo modo que en el caso anterior, se realiza la selección del intervalo de tiempo con la particularidad que en este caso, no se incluyen los extremos del gráfico ya que no son situaciones estables de operación, con producción en subida y bajada.

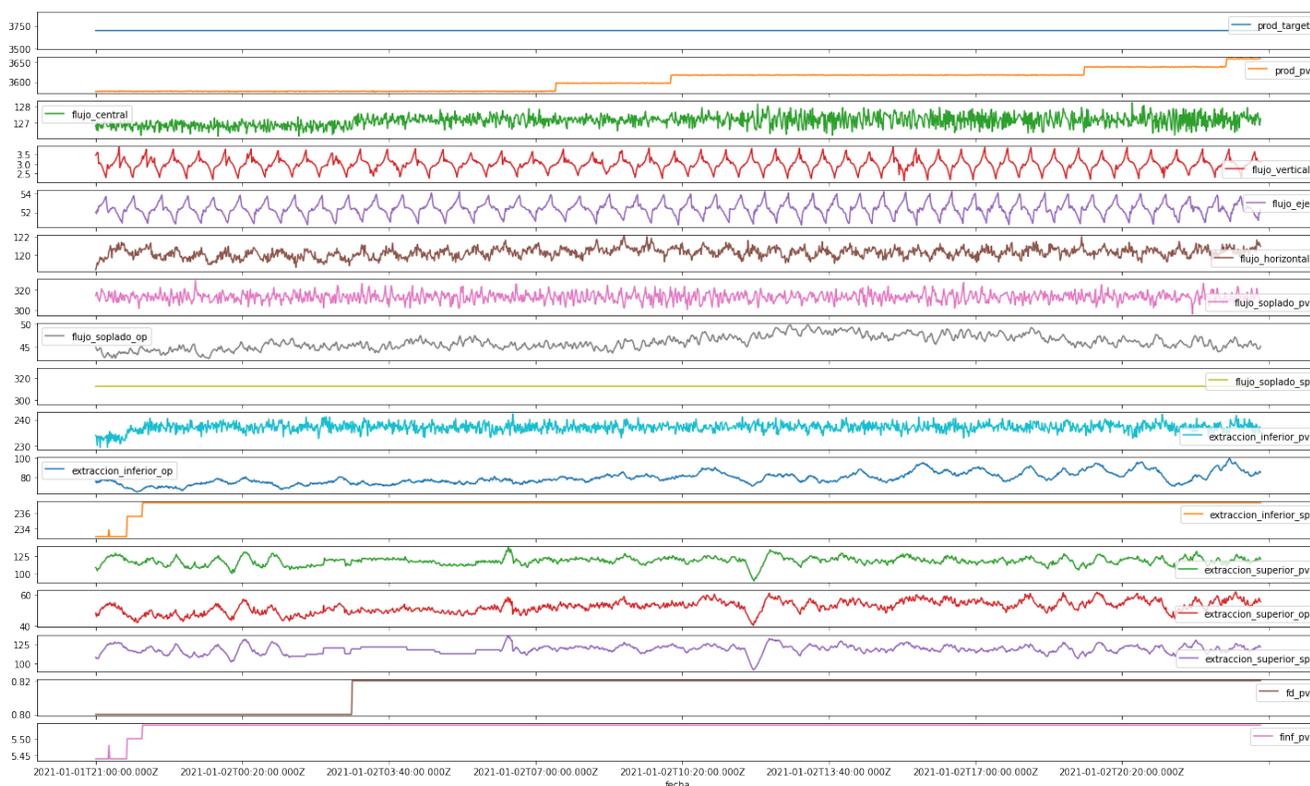


Figura 5.10: Flujos, extracciones, FD y FInf para el intervalo de tiempo del gráfico anterior, con la producción entre 3200-3500.

## 5.5. Consulta 5

En este caso se busca a partir de datos experimentales, verificar la evidencia de las variaciones del flujo H con la producción, así como su influencia en la diferencia de presión de fondo. En particular se sabe que este flujo es el que compensa la suma de los filtrados, y por ende no tiene una relación establecida con la producción. A pesar de que se sabe que desciende y aumenta con la misma, no existe una relación matemática que los vincule. Existen determinados valores de flujo H que son considerados normales para una producción estable, como por ejemplo entre 110 a 120 l/s en el rango de 3500 a 3800 ADTd.

Se procura determinar aquellos intervalos de tiempo en donde los valores de distribución del flujo H se alejan del rango normal para la producción 3500-3800, buscando así valores de  $H > 125$  Y  $H < 100$ . Se selecciona para el análisis el mayor intervalo de tiempo encontrado, debido a la estabilidad del sistema.

A partir de estos datos, es posible observar la relación de presiones así como de la presión diferencial en el fondo y los flujos de filtrado que generan condiciones no favorables para el proceso.

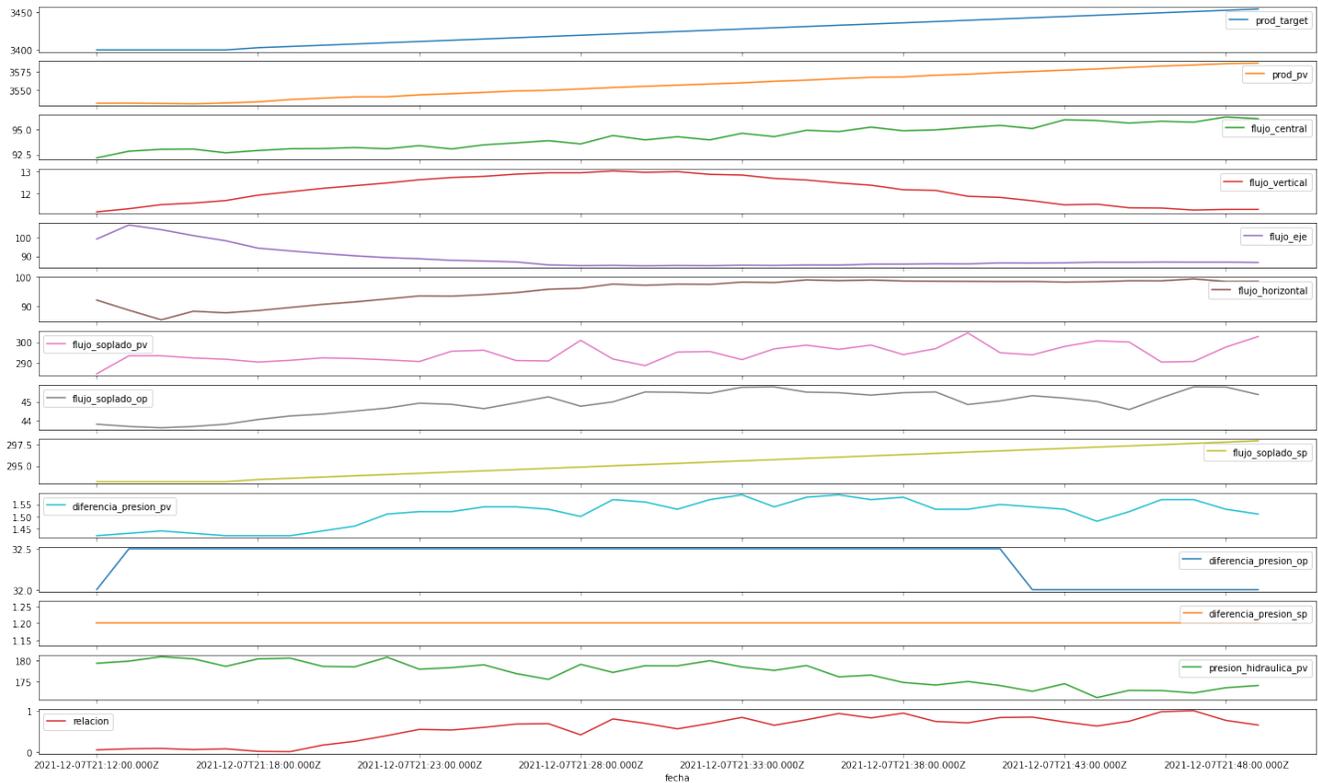


Figura 5.11: Flujos de filtrado y diferencia de presión cuando el flujo horizontal es menor a 100 y la producción 3500-3800.

Cabe destacar que en este caso, el intervalo de tiempo más grande encontrado que cumple con los filtros de producción y de flujo horizontal menor a 100 es bastante pequeño, siendo de 30 minutos, cuando en todas las consultas anteriores los intervalos son de mínimo 240 minutos. Este es un motivo de variabilidad e inestabilidad de proceso, por lo que es necesario tenerlo en cuenta en los análisis.

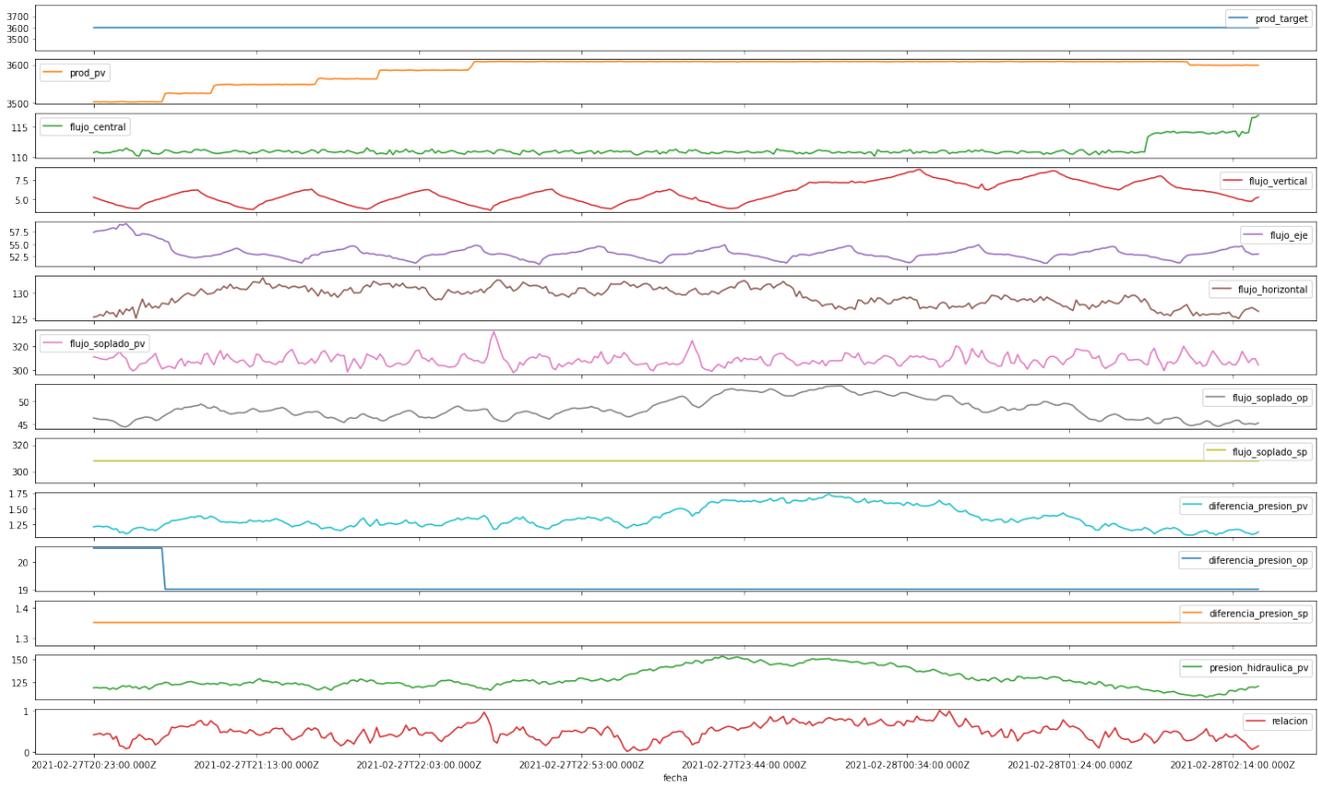


Figura 5.12: Flujos de filtrado y diferencia de presión cuando el flujo horizontal es mayor a 125 y la producción 3500-3800.

En estas condiciones el intervalo de tiempo vuelve a ser de 240 minutos, ya que es una condición que sucede con mayor frecuencia y durante más tiempo.



Figura 5.13: Flujos de filtrado y diferencia de presión cuando el flujo horizontal es menor a 100 y la producción 3200-3500.

Los intervalos de tiempo seleccionados en este rango de producción son de la misma longitud que en el caso anterior, 30 minutos para el flujo H menor a 100 y 240 minutos para el flujo H mayor a 125.

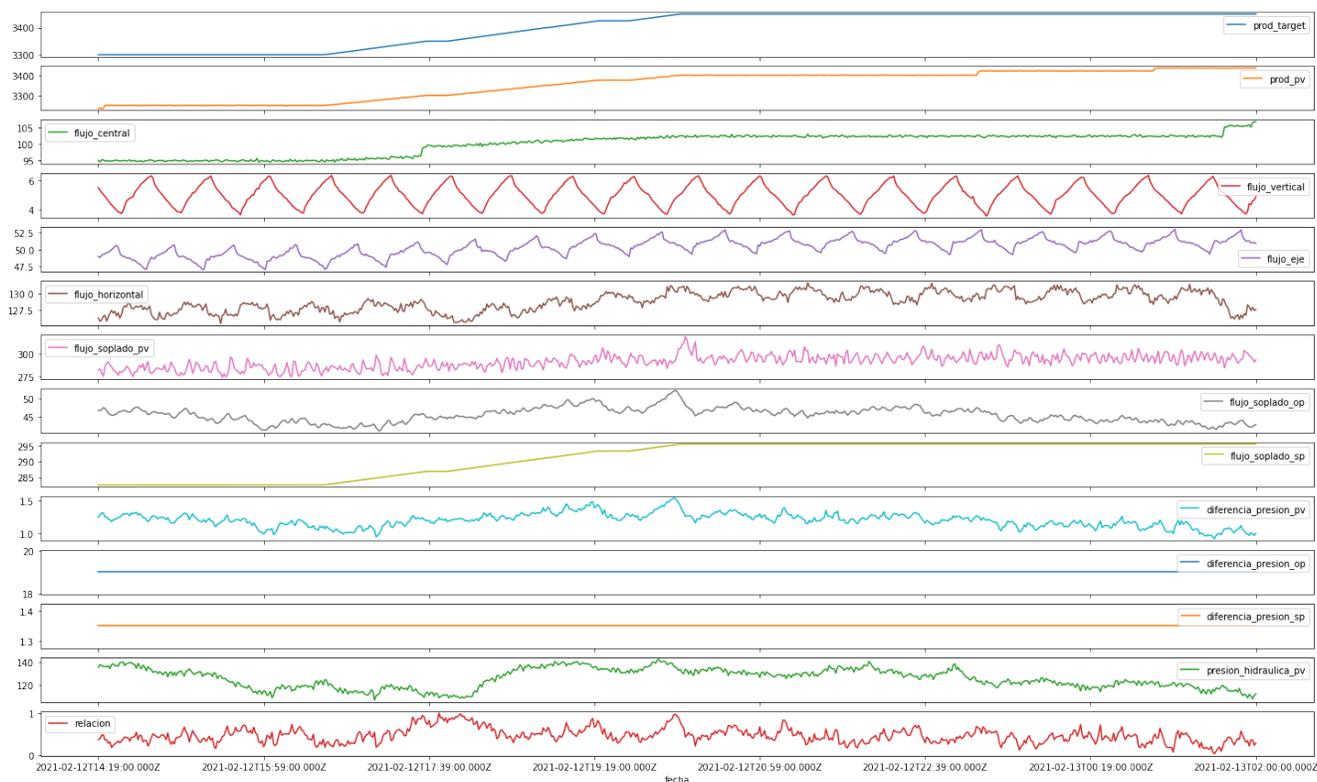


Figura 5.14: Flujos de filtrado y diferencia de presión cuando el flujo horizontal es mayor a 125 y la producción 3200-3500.

Las gráficas 5.12 y 5.14 sirven tanto para observar que valores de flujo y extracciones son las que generan las condiciones indeseadas (en cuanto a flujo H) como también para compararlas con gráficas similares en intervalos de tiempo en donde el funcionamiento del reactor era el correcto.

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se logra crear una base de datos de documentos con diferentes colecciones, a partir de diversos csv extraídos del sistema distribuido de control. Se organizan de forma tal que sea sencillo realizar las consultas que nos interesan para el proceso.
- Se pudo realizar diversas consultas con éxito, obteniendo resultados y gráficos muy rápidamente a partir del análisis de un gran volumen de datos, tanto de consultas relativamente sencillas como de otras más complejas. En particular, se encuentra una función que filtra y toma los intervalos de tiempo mayores a un tiempo arbitrario, siendo de gran utilidad ya que para todos los casos se necesita analizar los datos cuando el proceso está estable y no en períodos de transición.
- Además, se estudia un caso en particular que es actualmente un problema para el proceso, para poder identificar patrones en los distintos parámetros para los momentos en donde ocurre la desviación no deseada. Puede ser de mucha utilidad generar nuevas consultas para poder analizar con mayor profundidad esas variables o en su defecto, otras que no fueron consideradas en este análisis.
- Como siguientes pasos, se considera realizar una página web en donde sea sencillo para el usuario poder realizar todas las consultas desarrolladas en este trabajo, en donde sea necesario introducir algunos inputs claves para obtener los resultados, como ser por ejemplo, un rango de fechas o una condición de flujo.
- Otro posible paso futuro es automatizar el procesamiento de los datos obtenidos desde el sistema distribuido de control (DCS) para ampliar el set de información, es decir, que la generación de la base de datos de documentos sea sencilla para el usuario.

## 7. ANEXO

### 7.1. Consulta 1

Temperaturas para distintos valores de producción

```
[{
  $unset: [
    '_id',
    'descripcion',
    'fecha_fin'
  ]
}, {
  $unwind: '$mediciones'
}, {
  $match: {
    $expr: {
      $and: [
        {
          $gte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3500
          ]
        },
        {
          $lte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3800
          ]
        }
      ]
    }
  }
}, {
  $lookup: {
    from: 'Temperaturas',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    },
    pipeline: [
      {
        $unset: [
          '_id',
          'descripcion',
          'fecha_fin'
        ]
      },
      {
        $unwind: '$mediciones'
      },
      {
        $match: {
          $expr: {
            $and: [
              {
                $eq: [
```

```

        '$fecha_inicio',
        '$$startDate'
      ]
    },
    {
      $eq: [
        '$mediciones.date',
        '$$prodDate'
      ]
    }
  ]
}
}
},
{
  $project: {
    _id: false,
    tcc: '$mediciones.121A1313TIC',
    ttp: '$mediciones.121A1406TIC'
  }
}
],
as: 'mediciones.temperaturas'
}
}]

```

## 7.2. Consulta 2

Diferencia de presión del fondo del reactor

```

[ {
  $unset: [
    '_id',
    'descripcion',
    'fecha_fin'
  ]
}, {
  $unwind: '$mediciones'
}, {
  $match: {
    $expr: {
      $and: [
        {
          $gte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3500
          ]
        },
        {
          $lte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3800
          ]
        }
      ]
    }
  ]
}
}
]
}
}

```

```

}, {
  $lookup: {
    from: 'Fondo_del_digestor',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    },
    pipeline: [
      {
        $unset: [
          '_id',
          'fecha_fin'
        ]
      },
      {
        $unwind: '$mediciones'
      },
      {
        $match: {
          $expr: {
            $and: [
              {
                $eq: [
                  '$fecha_inicio',
                  '$$startDate'
                ]
              },
              {
                $eq: [
                  '$mediciones.date',
                  '$$prodDate'
                ]
              },
              {
                $eq: [
                  '$descripcion',
                  'filtrado'
                ]
              }
            ]
          }
        }
      },
      {
        $project: {
          _id: false,
          Dif_presion: '$mediciones.121A1439'
        }
      }
    ],
    as: 'mediciones.difpresion'
  }
}]

```

Para filtrar por presión diferencial entre 1.25 y 15, se le agrega al pipeline anterior:

```
[{
```

```

    $project: {
      _id: false,
      fecha_inicio: '$fecha_inicio',
      'mediciones.date': '$mediciones.date',
      'mediciones.121A1520': '$mediciones.121A1520',
      difpresion: {
        $first: '$mediciones.difpresion.Dif_presion'
      }
    }
  }, {
    $match: {
      $expr: {
        $and: [{
          $gte: [
            '$difpresion.PV',
            1.25
          ]
        },
        {
          $lte: [
            '$difpresion.PV',
            1.5
          ]
        }
      ]
    }
  }
}]

```

### 7.3. Consulta 3

Flujos (vertical, eje, horizontal, soplado), extracciones, finf y fd.

```

[ {
  $unset: [
    '_id',
    'descripcion',
    'fecha_fin'
  ]
}, {
  $unwind: '$mediciones'
}, {
  $match: {
    $expr: {
      $and: [
        {
          $gte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3500
          ]
        },
        {
          $lte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3800
          ]
        }
      ]
    }
  }
}

```

```

    ]
  }
}
}, {
  $lookup: {
    from: 'Fondo_del_digestor',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    },
    pipeline: [
      {
        $unset: [
          '_id',
          'fecha_fin'
        ]
      },
      {
        $unwind: '$mediciones'
      },
      {
        $match: {
          $expr: {
            $and: [
              {
                $eq: [
                  '$fecha_inicio',
                  '$$startDate'
                ]
              },
              {
                $eq: [
                  '$mediciones.date',
                  '$$prodDate'
                ]
              },
              {
                $eq: [
                  '$descripcion',
                  'filtrado'
                ]
              }
            ]
          }
        }
      }
    ]
  },
  {
    $project: {
      _id: false,
      central: '$mediciones.121A1445.CENTRAL',
      vertical: '$mediciones.121A1447.VERTICAL',
      eje: '$mediciones.121A1448.EJE',
      horizontal: '$mediciones.121A1449.HORIZONTAL',
      flujo_soplado: '$mediciones.121A1451'
    }
  }
}

```

```

],
  as: 'flujos'
}
}, {
  $lookup: {
    from: 'Extracciones',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    },
    pipeline: [
      {
        $unset: [
          '_id',
          'fecha_fin'
        ]
      },
      {
        $unwind: '$mediciones'
      },
      {
        $match: {
          $expr: {
            $and: [
              {
                $eq: [
                  '$fecha_inicio',
                  '$$startDate'
                ]
              },
              {
                $eq: [
                  '$mediciones.date',
                  '$$prodDate'
                ]
              }
            ]
          }
        }
      },
      {
        $project: {
          _id: false,
          inferior: '$mediciones.121A1467FICZ',
          superior: '$mediciones.121A1465FICZ'
        }
      }
    ],
    as: 'extracciones'
  }
}, {
  $lookup: {
    from: 'Datos',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    }
  }
}

```

```

},
pipeline: [
  {
    $unset: [
      '_id',
      'fecha_fin'
    ]
  },
  {
    $unwind: '$mediciones'
  },
  {
    $match: {
      $expr: {
        $and: [
          {
            $eq: [
              '$fecha_inicio',
              '$$startDate'
            ]
          },
          {
            $eq: [
              '$mediciones.date',
              '$$prodDate'
            ]
          },
          {
            $eq: [
              '$descripcion',
              'parametros'
            ]
          }
        ]
      }
    }
  },
  {
    $project: {
      _id: false,
      FD: '$mediciones.121A1446FICI',
      FINF: '$mediciones.121A1467FICZI'
    }
  }
],
as: 'parametros'
}
}]

```

#### 7.4. Consulta 4

Diferencia de presión de fondo y presión hidráulica para el fondo del digestor.

```

[{$
  $unset: [
    '_id',
    'descripcion',

```

```

    'fecha_fin'
  ]
}, {
  $unwind: '$mediciones'
}, {
  $lookup: {
    from: 'Fondo_del_digestor',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    },
    pipeline: [
      {
        $unset: [
          '_id',
          'descripcion',
          'fecha_fin'
        ]
      },
      {
        $unwind: '$mediciones'
      },
      {
        $match: {
          $expr: {
            $and: [
              {
                $eq: [
                  '$fecha_inicio',
                  '$$startDate'
                ]
              },
              {
                $eq: [
                  '$mediciones.date',
                  '$$prodDate'
                ]
              }
            ]
          }
        }
      },
      {
        $project: {
          _id: false,
          presion_hidraulica_pv: '$mediciones.121A1458PIC.PV',
          diferencia_presion: '$mediciones.121A1439'
        }
      }
    ],
    as: 'presion_fondo'
  }
}]

```

## 7.5. Consulta 5

Flujos y diferencia de presión, filtrando para valores mayores y menores a cierto valor.

```

[ {
  $unset: [
    '_id',
    'descripcion',
    'fecha_fin'
  ]
}, {
  $unwind: '$mediciones'
}, {
  $match: {
    $expr: {
      $and: [
        {
          $gte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3500
          ]
        },
        {
          $lte: [
            '$mediciones.121A1520.PV',
            3800
          ]
        }
      ]
    }
  ]
}
}, {
  $lookup: {
    from: 'Fondo_del_digestor',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    },
    pipeline: [
      {
        $unset: [
          '_id',
          'descripcion',
          'fecha_fin'
        ]
      },
      {
        $unwind: '$mediciones'
      },
      {
        $match: {
          $expr: {
            $and: [
              {
                $seq: [
                  '$fecha_inicio',
                  '$$startDate'
                ]
              }
            ]
          }
        }
      }
    ]
  }
}

```

```

    $eq: [
      '$mediciones.date',
      '$$prodDate'
    ]
  }
]
}
},
{
  $project: {
    _id: false,
    presion_hidraulica_pv: '$mediciones.121A1458PIC.PV',
    diferencia_presion: '$mediciones.121A1439'
  }
}
],
as: 'presion_fondo'
}, {
  $lookup: {
    from: 'Fondo_del_digestor',
    'let': {
      prodDate: '$mediciones.date',
      startDate: '$fecha_inicio'
    },
    pipeline: [
      {
        $unset: [
          '_id',
          'fecha_fin'
        ]
      },
      {
        $unwind: '$mediciones'
      },
      {
        $match: {
          $expr: {
            $and: [
              {
                $eq: [
                  '$fecha_inicio',
                  '$$startDate'
                ]
              },
              {
                $eq: [
                  '$mediciones.date',
                  '$$prodDate'
                ]
              }
            ]
          }
        },
        {
          $eq: [
            '$descripcion',
            'filtrado'
          ]
        }
      }
    ]
  }
}

```

```
    ]
  }
]
}
}
},
{
  $project: {
    _id: false,
    central: '$mediciones.121A1445.CENTRAL',
    vertical: '$mediciones.121A1447.VERTICAL',
    eje: '$mediciones.121A1448.EJE',
    horizontal: '$mediciones.121A1449.HORIZONTAL',
    flujo_soplado: '$mediciones.121A1451'
  }
}
],
as: 'flujos'
}
}]
```