

# ANEXOS



# **Índice**

ANEXO A: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1. MEDIO AMBIENTE .....	1
1.1. ACTUALIDAD.....	1
1.2. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS .....	3
1.3. CONSUMO ENERGÉTICO.....	7
2. INDUSTRIA CERVECERA.....	10
2.1. CONSUMO HÍDRICO Y ENERGÉTICO .....	12
2.2. ALTERNATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA .....	14
2.3. AHORRO ENERGÉTICO .....	19
ANEXO B: GRÁFICAS DE RESULTADOS .....	19
ANEXO C: ANALÍTICAS .....	92
ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE LA MEMBRANA.....	94
BIBLIOGRAFÍA:.....	96



# **ANEXO A: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1. MEDIO AMBIENTE**

### **1.1. ACTUALIDAD**

El medio ambiente en Europa, y también en el mundo, se encuentra en un momento crítico. Todavía se está a tiempo de actuar, siempre y cuando se tomen las medidas correctas que permitan protegerlo consiguiendo frenar el cambio climático. No obstante, se debe intervenir lo antes posible con el fin de garantizar la prosperidad futura.

El informe “European environment – state and Outlook 2020 – SOER 2020” de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), es el examen más completo que se ha realizado al medio ambiente hasta la fecha en Europa. Permite tener una perspectiva del punto en el que se encuentra el continente respecto de los objetivos planteados para las décadas futuras.

En este documento se afirma que Europa no conseguirá alcanzar los objetivos propuestos para 2030 si no se toman decisiones drásticas urgentemente. Por otra parte, además de señalar la premura y la dimensión de los cambios que deben tener lugar, también da cuenta de algunos aspectos alentadores como son las innovaciones tecnológicas, la mayor preocupación de la sociedad por la problemática medioambiental, la mayor cantidad de iniciativas comunitarias y los avances de actuación de la UE.

El SOER 2020 refleja que, a lo largo de las dos últimas décadas, ya se han conseguido realizar avances importantes en aras de frenar el cambio climático, caminando hacia una economía circular y un futuro sostenible. Dichos progresos se han producido de diversas maneras: reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, disminución de la contaminación del agua y del aire, minimización de la generación de residuos, aumento de la eficiencia del gasto energético, etc.

A pesar de los progresos, no está previsto que estos cambios sean suficientes para que Europa llegue a alcanzar un futuro sostenible que respete la integridad del planeta. De esta manera, para poder lograr los objetivos europeos será necesaria una mejor aplicación y coordinación de las políticas actuales, así como el impulso de actuaciones que generen un cambio en los sistemas clave de producción y consumo que sustentan el estilo de vida actual y tienen un importante impacto medioambiental (como la alimentación, la energía y la movilidad).

Algunos de los ámbitos que requieren un cambio de planteamiento son: la utilización de las innovaciones y las tecnologías existentes, la mejora de los procesos de producción, el fomento de la innovación y el desarrollo en beneficio de la sostenibilidad y el impulso de cambios en los patrones de consumo y formas de vida.

Cabe resaltar que las tendencias medioambientales generales de Europa no han mejorado desde el último informe emitido acerca la situación del medio ambiente, publicado por la AEMA en 2015. La evaluación da a conocer que, aunque la mayoría de las metas fijadas para 2020 no se van a alcanzar, especialmente en materia de biodiversidad, todavía hay una oportunidad de lograr los objetivos a más largo plazo (para 2030 y 2050).

Europa ha realizado grandes progresos con relación a la eficiencia de los recursos y la economía circular. No obstante, las tendencias más recientes denotan la ralentización en los progresos en diferentes ámbitos: reducción de los gases de efecto invernadero, emisiones industriales, generación de residuos, mejora de la eficiencia energética y porcentaje de energía renovable. De esta manera, las predicciones indican que, a la velocidad de progreso actual, tampoco se conseguirá cumplir con los objetivos climáticos y energéticos para 2030 y 2050.

Por una parte proteger, y por otra conservar la naturaleza y la biodiversidad de Europa, continúan siendo el aspecto donde los avances son menos esperanzadores. De un total de trece objetivos fijados para 2020 en este ámbito, probablemente solo se cumplirán dos, y para 2030 se espera que, si la tendencia continúa, empeorará la contaminación del aire, del agua y los suelos. [1]

En las Figuras A1 y A2 se muestra, de forma respectiva, un histórico/estimación de los millones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> emitidas y del cumplimiento (o no) de los diferentes objetivos fijados, respecto del paso del tiempo.

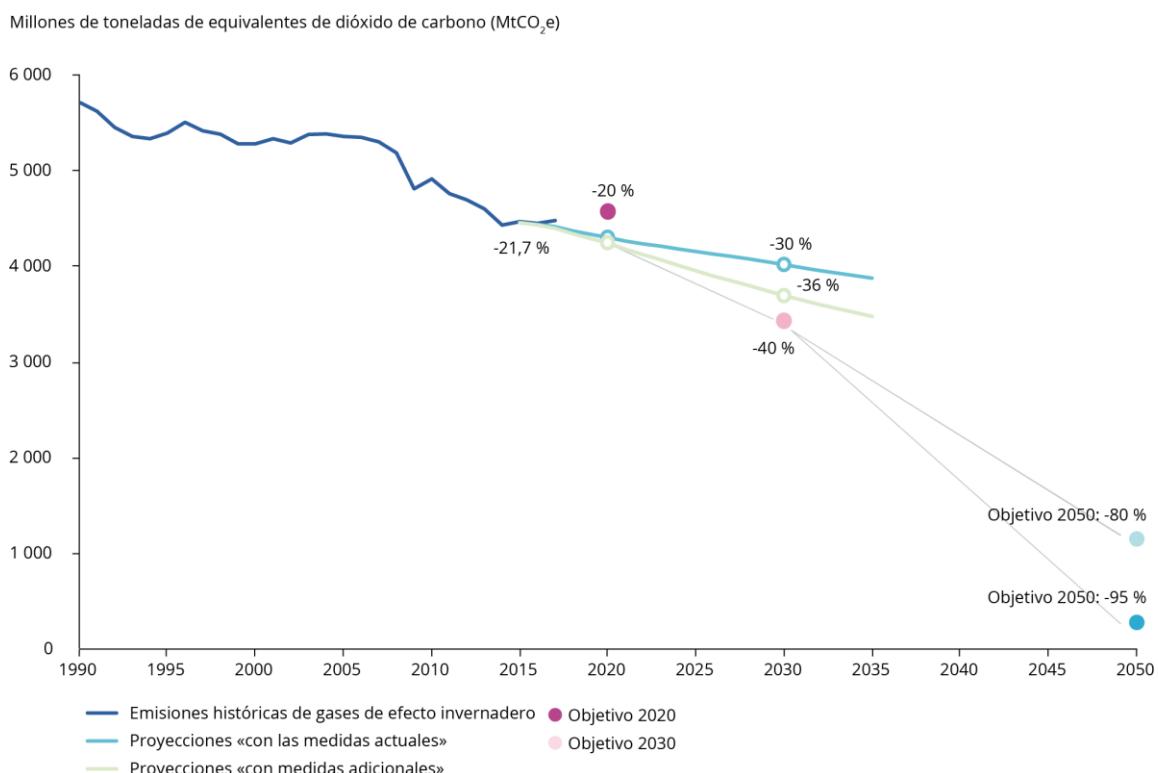


FIGURA A1. TENDENCIAS Y PROYECCIONES DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA EU-28, 1990-2050. [1]

Theme	Tendencias pasadas y perspectivas		Previsiones para la consecución de los objetivos y metas de la política		
	Tendencias pasadas (10-15 años)	Perspectivas para 2030	2020	2030	2050
<b>Proteger, conservar y mejorar el capital natural</b>					
Zonas terrestres protegidas					
Zonas marinas protegidas					
Especies y hábitats protegidos de la UE					
Especies comunes (aves y mariposas)					
Estado y servicios de los ecosistemas					
Ecosistemas acuáticos y humedales					
Presiones hidromorfológicas					
Estado de ecosistemas marinos y biodiversidad					
Presiones e impactos en los ecosistemas marinos					
Urbanización y uso del suelo forestal y para la agricultura					
Estado de los suelos					
Contaminación atmosférica e impactos en los ecosistemas					
Contaminación química e impactos en los ecosistemas					
Cambio climático e impactos en los ecosistemas					
<b>Una economía hipocarbónica, circular y eficiente en el uso de los recursos</b>					
Eficiencia en el uso de los recursos materiales					
Uso circular de materiales					
Generación de residuos					
Gestión de residuos					
Esfuerzos en mitigar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero					
Eficiencia energética					
Fuentes de energías renovables					
Emisiones de contaminantes atmosféricos					
Emisiones contaminantes procedentes de la industria					
Tecnologías y procesos industriales limpios					
Vertidos de sustancias químicas					
Extracción de agua y sus presiones en las aguas superficiales y subterráneas					
Utilización sostenible de los mares					
<b>Protección frente a los riesgos medioambientales para la salud y el bienestar</b>					
Concentraciones de contaminantes atmosféricos					
Contaminación atmosférica e impactos en la salud y el bienestar					
Exposición de la población al ruido ambiental e impacto en la salud humana					
Conservación de zonas tranquilas					
Presiones de la contaminación en el agua y vínculos con la salud humana					
Riesgos de la contaminación química para la salud y el bienestar de las personas					
Riesgos relacionados con el cambio climático para la sociedad					
Planes y estrategias de adaptación al cambio climático					
<b>Evaluación indicativa de tendencias pasadas (10-15 años) y perspectivas para 2030</b>		<b>Evaluación indicativa de previsiones de alcanzar los objetivos y las metas políticas seleccionadas</b>			
	Domina la mejora de las tendencias / la evolución	Año		En gran medida según lo programado	
	Las tendencias/evolución presentan un panorama dispar	Año		Parcialmente según lo programado	
	Dominan las tendencias / evolución hacia el deterioro	Año		En gran medida no según lo programado	

FIGURA A2. RESUMEN DE LAS TENDENCIAS, PERSPECTIVAS Y PREVISIONES PASADAS EN RELACIÓN CON EL CUMPLIMIENTO DE METAS Y OBJETIVOS. [1]

## 1.2. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

La contaminación de las aguas es la presencia de componentes químicos o de otra naturaleza (con una densidad superior a la situación natural) en el seno de estas, de modo que el conjunto no reúna las condiciones para el uso que se les hubiera destinado en su estado natural.

Esta perturbación en la calidad del agua, que se traduce en la existencia de sustancias como los metales pesados, los sedimentos u organismos microbiológicos, hace que su consumo tenga efectos perjudiciales sobre la salud y el medio ambiente. [2]

En la Figura A3, se puede observar el flujo de vertido de agua contaminada a un río.



FIGURA A3. VERTIDO DE AGUA DE DESHECHO A UN RÍO. [3]

Para medir el nivel de contaminación del agua, se realizan dos tipos de análisis principales: fisicoquímico y microbiológico. De este modo se pueden determinar dos tipos de calidad del agua [3]:

- Calidad química: con ella se pretende medir la presencia de aditivos (elementos procedentes principalmente de los componentes y productos químicos empleados en la obtención y distribución del agua).
- Calidad microbiológica: se estudia la existencia de microorganismos indicadores de polución fecal, como sería la existencia de *Escherichia coli*, o el diagnóstico de densidad de patógenos.

En cuanto a los principales tipos de contaminantes presentes en el agua, pueden estructurarse en los grupos siguientes [4]:

- Materia suspendida: son partículas y sustancias químicas que no se disuelven fácilmente en el agua. Se encuentran en suspensión y en algunos casos se asientan bajo los cuerpos de agua. Pueden dañar e incluso matar a los organismos acuáticos que viven en el suelo.
- Contaminación química: productos químicos con los que trabajan diferentes industrias, agricultores y/o particulares que terminan en el agua. Se incluyen productos utilizados para controlar las malas hierbas, los insectos y plagas. Los metales y solventes de industrias pueden contaminar los cuerpos de agua y además, son venenosos para muchas formas de vida acuática de manera que pueden retrasar su desarrollo, provocando su esterilidad o matándolos.
- Contaminación microbiológica: está causada por contaminación natural a raíz de diferentes microorganismos (virus, bacterias y protozoos). Puede causar la muerte de peces y otras especies acuáticas, además de provocar enfermedades graves para las personas que beben de esas aguas.
- Contaminación por nutrientes: Algunas aguas residuales, fertilizantes y aguas de alcantarillados, contienen altos niveles de nutrientes. Si terminan en los cuerpos de agua, estimulan el crecimiento de algas y malezas en el agua. Esto puede provocar que se obstruyan los filtros e incluso que el agua no sea potable.
- Derrames de petróleo: Los derrames de petróleo por lo general, sólo tienen un efecto localizado sobre la vida silvestre, aunque pueden extenderse a lo largo de grandes distancias. Su presencia puede causar la muerte de muchos peces o también su adherencia a las plumas de las aves marinas.

- Absorbentes de oxígeno: Como se ha comentado, los cuerpos de agua contienen microorganismos. Estos incluyen tanto organismos aerobios y anaerobios. Cuando mucha materia biodegradable termina en el agua, se estimula el crecimiento de microorganismos y se utiliza más oxígeno. Si el oxígeno se agota, los organismos aeróbicos mueren y los anaerobios se reproducen para producir toxinas nocivas tales como amoníaco y sulfuros.
- Contaminación del agua subterránea: Los plaguicidas y productos químicos aplicados a los suelos son arrastrados por el agua de lluvia y absorbidos profundamente en la tierra. En ocasiones llegan hasta las aguas subterráneas provocando su contaminación, lo que puede implicar que el agua extraída de los pozos se vea afectada.

En la Figura A4, se puede observar la presencia de contaminación en la superficie del agua de un río.



FIGURA A4. RÍO CON CONTAMINACIÓN SUPERFICIAL. [3]

Los diferentes tipos de contaminación de las aguas tienen distintos orígenes [2]:

- Origen doméstico: aguas que provienen de núcleos urbanos y contienen sustancias procedentes de la actividad humana (alimentos, deyecciones, basuras, productos de limpieza, jabones, etc.).
- Origen agrícola - ganadero: aguas que resultan del riego y de otras labores como las actividades de limpieza ganadera, que pueden aportar al agua grandes cantidades de estiércol y purines (gran cantidad de materia orgánica, nutrientes y microorganismos).
- Origen industrial: restos de agua utilizada como medio de transporte de sustancias y calor en lavado y enjuague, en las transformaciones químicas, como disolvente y subproducto de procesos físicos de filtración o destilación, etc.
- Origen pluvial: el agua de lluvia arrastra todos los contaminantes que encuentra a su paso de modo que puede vincularse a cualquiera de los tres casos anteriores. En las ciudades esta agua arrastra aceites, materia orgánica y diferentes contaminantes de la atmósfera. Por otro lado, en el campo arrastran pesticidas, abonos, etc.
- Origen fluvial (navegación): aguas contaminadas por vertidos de petróleo u otros productos contaminantes que proceden de la navegación y pueden causar importantes daños ecológicos.

Las consecuencias principales derivadas de la contaminación de las aguas son las siguientes [5]:

- Impacto económico: El deterioro de la calidad del agua frena el crecimiento y agrava la pobreza de muchos países. La relación está en que cuando la demanda biológica de oxígeno (medida que muestra la contaminación orgánica registrada en el agua) supera determinado umbral, el crecimiento del Producto Interior Bruto de las regiones ubicadas en las cuencas puede caer hasta un tercio.
- Destrucción de la biodiversidad: La contaminación hídrica empobrece los ecosistemas acuáticos y facilita la proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas (eutrofización).
- Contaminación de la cadena alimentaria: La pesca en aguas contaminadas, así como la utilización de aguas residuales en la ganadería y la agricultura, pueden transmitir toxinas a los alimentos que perjudiquen a la salud del ser humano a través de su ingesta.
- Escasez de agua potable.
- Enfermedades: Segundo estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se calcula que unos 2000 millones de personas beben agua potable contaminada por excrementos, exponiéndose a contraer enfermedades como el cólera, la hepatitis A y la disentería.
- Mortalidad infantil: Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), las enfermedades diarreicas vinculadas a la falta de higiene provocan la muerte de unos mil niños al día en todo el mundo.

Se puede observar en la Figura A5 una ilustración de las diferentes consecuencias de la contaminación de las aguas como se acaba de indicar.



FIGURA A5. IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA. [5]

### **1.3. CONSUMO ENERGÉTICO**

En la actualidad, el uso de la energía (eléctrica, térmica, etc.) resulta fundamental para la realización de prácticamente la totalidad de las actividades que lleva a cabo el ser humano.

La utilización de la electricidad ha sido una gran ventaja tanto para la industria como para la vida cotidiana, proporcionando una mejor calidad de vida y facilitando en gran medida las tareas del día a día.

Con tan solo apretar un botón es posible encender la luz, la calefacción, el aire acondicionado, la televisión, etc. De esta manera, las ventajas y beneficios que ha brindado la energía eléctrica se han ido convirtiendo poco a poco en indispensables. A pesar de ello, no es demasiado habitual el planteamiento sobre su importancia y los beneficios que tendría hacer un uso eficiente de la misma.

El ahorro de energía eléctrica es un elemento fundamental para el aprovechamiento de los recursos energéticos, de modo que se permita optimizar el uso de los aparatos eléctricos y aumentar su vida útil. Además, al ahorrar energía se disminuye muy significativamente el consumo de combustible asociado a la generación de la electricidad, de manera que se evita la emisión de gases contaminantes.

A nivel mundial, el sector industrial es el mayor consumidor de electricidad. Esto es debido a los altos consumos energéticos que realizan las maquinarias de estas compañías, las cuales terminan impactando de manera importante el medio ambiente al depender de los recursos no renovables. Al utilizarlos, se emite a la atmósfera una gran cantidad de gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global de la tierra. Los efectos debidos a ello se hacen más visibles con el paso del tiempo. [6]

Prestando atención a la evolución del consumo de energía primaria en el mundo, cabe destacar que: El gasto de energía primaria procedente de fuentes renovables fue del 7,1% en el año 2018. Las energías renovables aumentaron su contribución al consumo de energía primaria en un 0,4%, situándose en el 10,8% del total. De la misma manera que en los años anteriores, las renovables continúan siendo la cuarta fuente de consumo de energía primaria en el mundo. El consumo mundial de petróleo disminuyó en 0,5 puntos porcentuales hasta situarse en el 33,6% y, a pesar de la reducción mantuvo la primera posición. Tras esta primera fuente energética se posicionó el carbón, que también disminuyó hasta el 27,2%. El gas natural, en cambio, aumentó a nivel global su cuota de participación en la energía primaria a un 23,9% de la energía.

De forma conjunta, el uso de combustibles fósiles representa el 84,7% del total de energía primaria consumida a nivel mundial. La energía nuclear representó el 4,4% del consumo de energía primaria en el mundo, lo que implica un estancamiento de su cuota de energía. Finalmente, cabe resaltar que, en 2018, el consumo global de energía en el mundo de energía en el mundo creció un 2,9%. Se presenta un resumen de estos datos en la Figura A6. [7]

Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2019

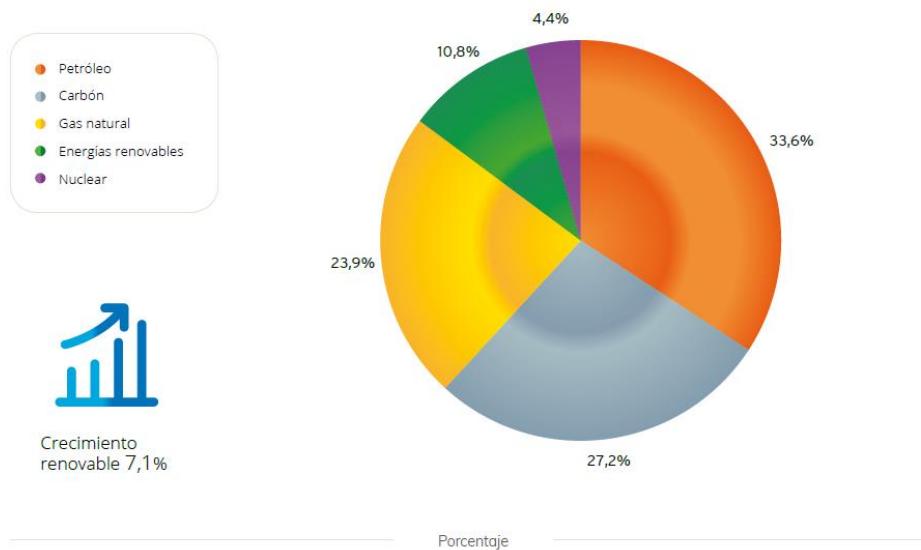


FIGURA A6. CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA EN 2018. [7]

Aunque las energías renovables siguen siendo el segmento que más rápido crece en todo el mundo, la demanda de energía también va en aumento y el petróleo, el gas y el carbón siguen generando más del 75% de esa energía demandada, lo cual pone en serio peligro la consecución de los objetivos climáticos. Esta información se manifiesta en la nueva edición del Observatorio Mundial de los Mercados de la Energía, donde además también se señala la necesidad de aplicar medidas más estrictas para cumplir los objetivos del Acuerdo de París (pacto firmado en 2015 que persigue que el calentamiento global se quede dentro de unos límites que puedan ser manejables por el hombre). [8]

Se espera que la demanda de energía se dispare de aquí a 2040. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima que se elevará un 30%. La economía global crece a una tasa promedio de 3,4% anual y se espera que la población se expanda de los 7.400 a los 9.000 millones de personas hasta 2040. El sector energético vivirá cambios profundos, con nuevas potencias en la producción y un vuelco en las fuentes de energía que darán luz y calor a la humanidad. Ante todo esto, se persigue el objetivo de evitar que las emisiones de gases también crezcan.

Con una demanda al alza, según la AIE, el gas natural ganará un fuerte protagonismo, el mundo no conseguirá dejar de utilizar el petróleo totalmente y las renovables continuarán ganando terreno. No obstante, el gran reto es que sigan mejorando su eficiencia tecnológica y su rentabilidad. Por su parte, se prevé que Estados Unidos se quede con el liderazgo de los combustibles fósiles y su comercio mundial: se afianzará como el principal productor de petróleo y gas del mundo hasta 2040.

La AIE apunta que el país que más sumará a la demanda energética será India, cuya participación en el consumo de energía se elevará al 11% en 2040 (aún muy por debajo de su 18% de participación en la población). También se añadirá con fuerza a la demanda el Sudeste de Asia. En general, los países en desarrollo de este continente representan dos tercios del crecimiento de la energía mundial, y el resto proviene principalmente de Medio Oriente, África y América Latina.

Una mayor demanda implicará más necesidades de inversión. China necesitará agregar a su infraestructura eléctrica el equivalente a todo el sistema eléctrico actual de los Estados Unidos para 2040. Por su parte, India precisará agregar un sistema de energía del tamaño del que tiene la Unión Europea actual. [9]

En la Figura A7, se muestran las demandas de electricidad para el año 2016 y las previsiones para 2040 de diferentes regiones del planeta.

#### PREVISIONES DE DEMANDA DE ELECTRICIDAD POR REGIONES

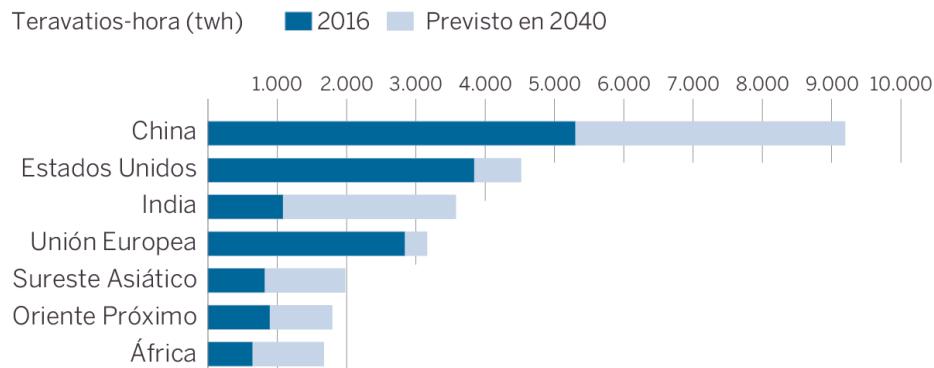


FIGURA A7. PREVISIONES DE DEMANDA DE ELECTRICIDAD POR REGIONES DEL PLANETA SEGÚN LA AIE. [9]

Este organismo internacional prevé que las energías renovables se convertirán, en 2040, en indispensables y rentables. Se estima que ocuparán dos tercios de la inversión global en plantas de energía, ya que se convertirán, para muchos países, en la fuente de menor coste de nueva generación. El despliegue rápido de la energía solar fotovoltaica, liderada por China e India, ayudará a que este tipo de energía se convierta en la mayor fuente de electricidad limpia para 2040.

En la Unión Europea, las energías renovables representarán alrededor del 80% de la nueva capacidad, y la energía eólica debería convertirse en la principal fuente de electricidad poco después de 2030, debido al fuerte crecimiento tanto en tierra como en alta mar. El crecimiento de las energías renovables no se limitará al sector de la energía; el uso directo de fuentes renovables para proporcionar calor y movilidad en todo el mundo también se duplicará, aunque desde una base baja.

En medio del aumento de la demanda, el mundo, según la AIE, se aleja del cumplimiento del Acuerdo de París cuyo objetivo es que, a finales de este siglo, el aumento medio de las temperaturas no supere los dos grados centígrados respecto a los niveles preindustriales. No obstante, el escenario que predice la Agencia Internacional de la Energía para 2040, con las políticas que en estos momentos los países del mundo tienen en marcha, alejan al planeta de ese objetivo. En concreto, llevarían a un aumento de la temperatura de 2,7 grados a final de siglo, algo que según los científicos haría que el calentamiento entrase en una fase descontrolada. Además, la AIE también advierte de que las muertes prematuras derivadas de la contaminación producida por el uso de combustibles fósiles crecerán un 40%, pasarán de los 2,9 millones anuales actuales a los 4,2 millones en 2040.

El principal objetivo para las próximas décadas será compatibilizar el incremento de la población mundial que tendrá acceso a la energía, con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global según el consenso científico.

La AIE apunta además en su informe, a que las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ligadas a la energía, crecerán un 0,4% anual de aquí a 2040. Es decir, lejos de caer, aumentarán haciendo que se complique el objetivo de evitar los graves efectos del cambio climático. Sin embargo, existen algunos signos positivos como es la leve reducción respecto a las previsiones que se tenían un año atrás. En 2016, la agencia sostenía que, en 2040, las emisiones anuales ligadas a la energía serían de aproximadamente 35,7 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>, algo que en 2017 corregía disminuyendo dicha estimación.

No obstante, para cumplir con el Acuerdo de París, la Agencia Internacional de la Energía sostiene en su informe que sería necesario que, en 2040, esas emisiones de CO<sub>2</sub> estén casi en la mitad de lo previsto. Concretamente en 18,3 gigatoneladas. [9]

## 2. INDUSTRIA CERVECERA

La cerveza es una bebida milenaria originaria de la cultura mediterránea clásica, vinculada desde la antigüedad a fines terapeúticos.

Las primeras referencias históricas de hace unos 6000 años, demuestran que la cerveza era consumida por la civilización sumeria con el objetivo de evitar enfermedades infecciosas que se contraían al beber agua no higienizada. [10]

Durante el periodo comprendido entre el año 3150 y el 31 a.C., la cerveza suponía mucho más que una simple bebida para calmar la sed. Era un alimento fundamental, un remedio médico, una forma de pago y una de las ofrendas más exquisitas. De hecho, la cerveza era considerada, junto con el pan, como alimentos absolutamente fundamentales para la civilización de la época.

Si bien los egipcios no fueron los creadores originales de la cerveza, sí que fueron los primeros en iniciar una producción a gran escala para poder responder a la alta demanda social. De hecho, hubo maestros cerveceros de Alejandría y de Pelusium que gozaron de notable prestigio. Por otro lado, a los artesanos que desarrollaban este trabajo se les reconocía tanto valor social que a veces incluso se les reservaba el derecho a una tumba en la necrópolis de Tebas. [11]

Por su parte, los franceses y alemanes perfeccionaron la técnica de fabricación original llegando a utilizar métodos similares a los que se usan en la actualidad. Hasta el siglo XII, con la aparición de gremios cerveceros, la cerveza era un complemento alimenticio para peregrinos y enfermos, alojados en albergues y hospitales.

En cuanto al proceso de elaboración, desde los orígenes han intervenido ingredientes naturales como agua, cebada, levadura y lúpulo. Este último fue incorporado a la elaboración de cerveza en el siglo IX debido a sus propiedades antisépticas y además, es el principal responsable del amargor característico de esta bebida. De esta manera, el proceso productivo de la cerveza ha ido evolucionando poco a poco hasta llegar al que se utiliza actualmente.

En todo el mundo, el consumo se encuentra al alza debido, entre otros factores, a los beneficios para la salud que tiene la cerveza, tales como la alta cantidad de antioxidantes y el bajo contenido calórico (a diferencia de lo que suele pensarse).

De acuerdo con diversos reportes globales, la cerveza representa el 75% de la cuota de mercado global de bebidas alcohólicas, siendo los principales mercados del mundo, como se verá más adelante, los de China, Estados Unidos, Brasil, Rusia, Alemania y México.

El mercado global de la cerveza fue valorado en 530.000 millones de dólares en 2016 y se espera que alcance los 736.000 millones de dólares en 2021, con un crecimiento anual compuesto del 6% previsto durante ese periodo.

A nivel regional, la industria cervecera en Asia Pacífico representó el 30% de participación del mercado mundial en 2016 y se espera que domine el mercado en los próximos años. En términos de volumen e ingresos le siguen Europa y Norteamérica. [10]

En las Figuras A8, A9 y A10, se muestran respectivamente los consumos totales, consumos per cápita y la producción de los primeros países del mundo en dichos aspectos.

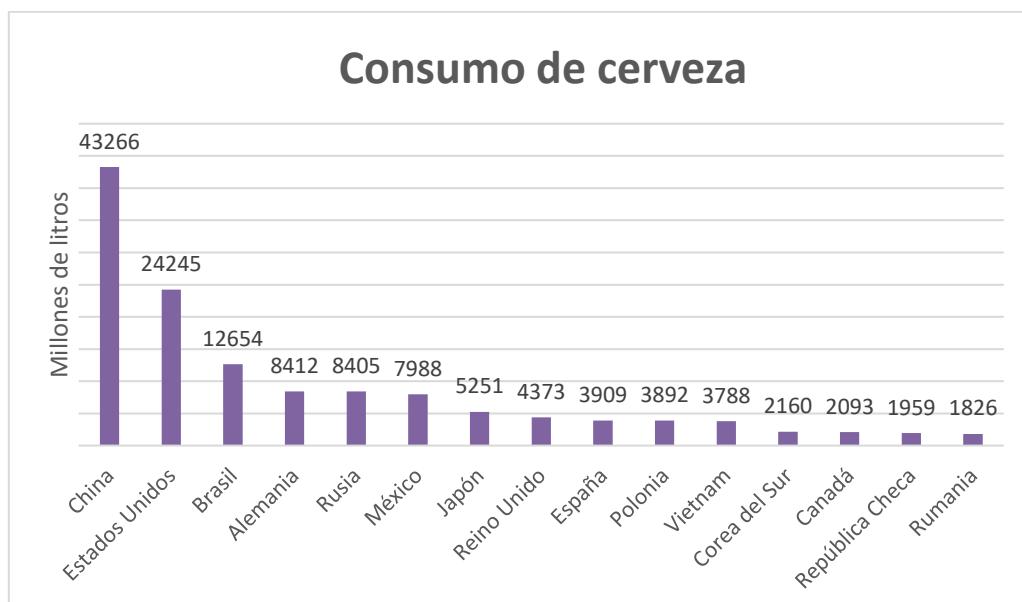


FIGURA A8. CONSUMO DE CERVEZA POR PAÍSES A NIVEL MUNDIAL (2018). [12]

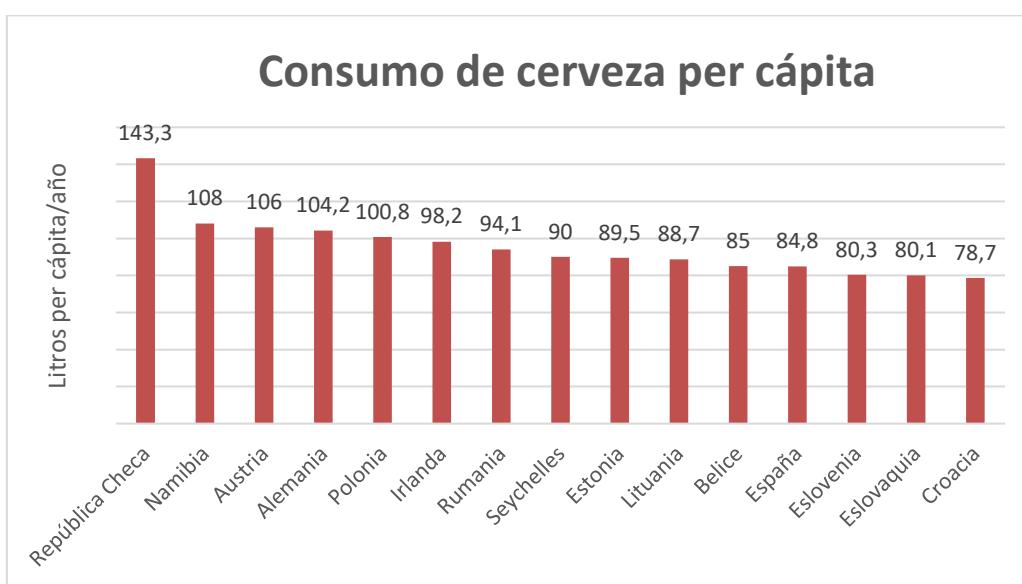


FIGURA A9. CONSUMO (LITROS) DE CERVEZA PER CÁPITA EN LOS PAÍSES DE EUROPA (2018). [12]

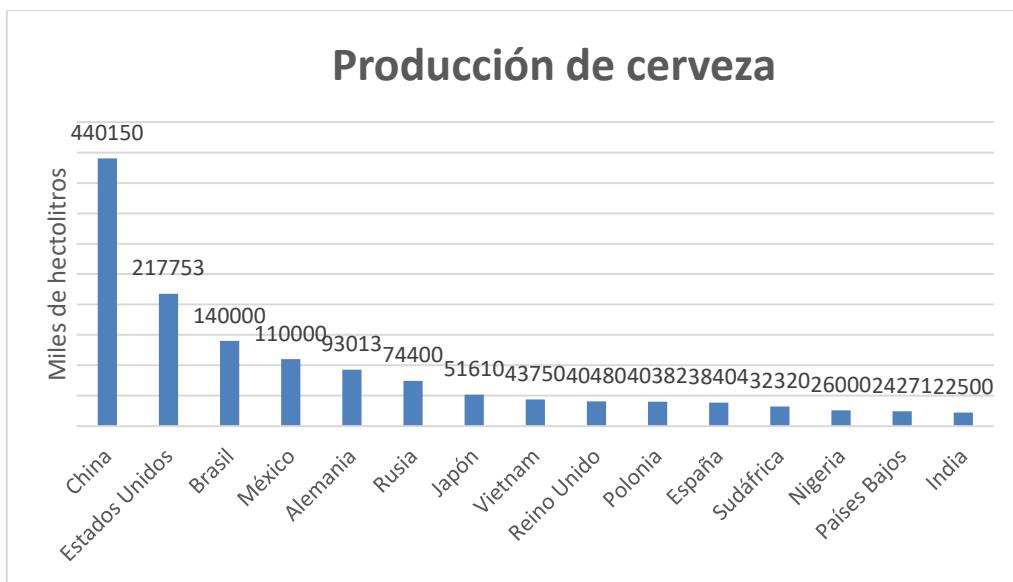


FIGURA A10. PRODUCCIÓN (MILES DE HECTOLITROS) DE CERVEZA EN LOS PAÍSES DEL MUNDO (2017). [13]

## 2.1. CONSUMO HÍDRICO Y ENERGÉTICO

### 2.1.1. CONSUMO HÍDRICO

El agua es un recurso limitado y, debido a ello, se debe optimizar al máximo posible su consumo. Se estima que el uso anual global de agua por parte de la industria sufrirá un progresivo aumento de la cantidad aproximada de  $725 \text{ km}^3$  que tenía en 1995, hasta unos  $1170 \text{ km}^3$  previstos para 2025. El uso industrial representará entonces un 24% del consumo total de agua.

Dentro del total de los consumos hídricos industriales, el realizado por la industria cervecera es bastante significativo debido a que un 90 % de su producto final es agua, sin embargo, solamente una parte de la requerida es usada directamente en la cerveza. El resto atraviesa por un largo proceso que incluye extracción y preparación o acondicionamiento para utilizarse luego como disolvente, medio de calentamiento/enfriamiento, como agua de lavado o de reposición.

Según su uso en la industria cervecera, el agua puede ser empleada con diversos fines. Los principales son los siguientes:

- Aguas de proceso: son aquellas que forman parte del producto final o que, por razones tecnológicas, entran en contacto directo con el producto durante el proceso productivo.
- Aguas de servicio: son aquellas implicadas en las actividades de generación de vapor y vacío, intercambio de calor y regeneración de equipos de tratamiento de agua.
- Aguas de limpieza: comprende toda aquella agua que se utiliza para eliminar suciedades en la materia prima, el producto final, los equipos tecnológicos y áreas de trabajo.

Se establece que se requiere, en total, entre  $4-30 \text{ m}^3$  agua/ $\text{m}^3$  de cerveza producida, que se distribuyen por áreas de producción. Las de mayor consumo son la sala de cocción y la de enfriamiento con 19-36 % y 18-23 % del total respectivamente. Le sigue embotellado con 7-19 %.

El Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH) recomienda 10 -15 L de agua por L de cerveza, sin embargo, optimizando su uso, hoy en día se pueden alcanzar consumos inferiores a 3,75 L H<sub>2</sub>O/L cerveza.

Para el caso concreto de la cervecería Tímina (Cuba), se concibió para una capacidad de producción de cervezas y maltas de 1200000-1300000 hL anuales, cuyo consumo sería de 723 m<sup>3</sup>/h de agua. Actualmente produce alrededor de 682000 hL anuales, lo cual representa el 54,56 % de la capacidad prevista.

En esta planta cervecera se hace uso de tres tipos diferentes de agua: agua para la fabricación de cervezas y maltas (agua de proceso), para los diferentes equipos que poseen transferencia de calor (agua blanda) y para uso social en comedores, baños, limpiezas de las áreas, etc. Concretamente, el uso que se le da al agua en esta industria cervecera es como sigue: 62% de agua blanda, 20% del filtro, 11% para consumo social y 7% en el molino. [14]

TABLA A1. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE LOS DATOS PROCESADOS DE CONSUMO DE AGUA EN LA CERVECERÍA TÍMINA (2013-2015). [14]

Descriptor	Molino	Filtro	Agua blanda	Uso social	Total
Recuento	1 068	866	1 084	1 078	1 092
Promedio (m <sup>3</sup> /d)	99,3	285,6	897,1	160,3	1 397,0
Desviación estándar	42,52	134,16	301,72	72,36	433,80
Coef. de variación, %	42,79	46,97	33,63	45,13	31,03
Mínimo (m <sup>3</sup> /d)	10	6	86	6	293
Máximo (m <sup>3</sup> /d)	242	732	1910	449	2977
Intervalo (m <sup>3</sup> /d)	14,3 - 213,0	74,4 - 645,7	91,05 - 1 703,1	32,4 - 352,3	239,2 - 2 556,7

Considerando el gasto promedio de agua reflejado en la Tabla A1 y una producción de 682000 hL, se obtiene un consumo de 7,48 L de agua/L de cerveza. Cabe decir que, como se ha indicado anteriormente, se pueden mejorar esos valores para lograr resultados más atractivos. [14]

## 2.1.2. CONSUMO ENERGÉTICO

Los consumos energéticos relacionados con el proceso de elaboración de la cerveza se producen de diversas maneras:

- Producción de calor
- Generación de vapor
- Agua caliente
- Electricidad

En las industrias del sector cervecero, la repercusión de la energía en los costes de fabricación se sitúa como promedio en torno al 5%. Este consumo energético se reparte generalmente en 75% de energía térmica y 25% de energía eléctrica.

La fase que produce un mayor consumo de energía térmica es la preparación del mosto con un 40-50% del total. En lo que respecta a la energía eléctrica, la refrigeración, fundamentalmente en la etapa de fermentación y bodega, es el proceso que realiza un consumo más relevante con un 30-40% del global. [15]

En la Tabla A2 se muestra el porcentaje de consumo eléctrico respecto del total que corresponde a las diferentes etapas del proceso de fabricación de la industria cervecera (fabricación, envasado, refrigeración y aire comprimido).

TABLA A2. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DENTRO DEL PROCESO PRODUCTIVO CERVECERO. [15]

Etapa del proceso	Porcentaje respecto al consumo total
Fabricación	9-17 %
Envasado	13-22 %
Refrigeración	35-41 %
Aire comprimido	11-13 %

A lo largo de estos procesos, la fase de bombeo supone un gasto energético significativo (bombeo a la salida de tanques, bombeo asociado a los procesos de tratamiento de aguas, etc.).

## 2.2. ALTERNATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA

En el presente apartado se van a describir brevemente las diferentes alternativas consideradas en este trabajo para recuperar agua en el proceso de producción de la industria cervecera.

### 2.2.1. PRECIPITACIÓN QUÍMICA

La precipitación química consiste en la dosificación de determinados productos químicos al agua, con el objetivo de producir una reacción con un contaminante o grupo de ellos, obteniéndose unos compuestos insolubles que por posterior sedimentación o filtración son eliminados del medio. Los equipos empleados para llevar a cabo el proceso de precipitación química son los decantadores. [16]

El proceso de precipitación química transcurre como se describe a continuación:

Las fuerzas existentes entre las diferentes partículas que componen los contaminantes se debilitan mediante la adición de productos químicos. Esto permite la interacción de dichas partículas mediante el movimiento molecular y la agitación física.

El rápido mezclado permite la dispersión en el agua residual del producto químico utilizado en el tratamiento y promueve el choque de partículas, lo que hace que las partículas se agrupen para formar otras de mayor tamaño formando coágulos (coagulación).

Los productos químicos añadidos para promover dicha agregación se denominan coagulantes y tienen dos propósitos básicos:

- Desestabilización de las partículas, lo que permite la interacción.
- Promover la agrupación de partículas, reforzando así la floculación.

Tras un tiempo de agitación rápida, es necesario disminuir la velocidad de la mezcla para que se generen flóculos más grandes (floculación). Debido al tamaño de las partículas, sigue siendo necesario algo de mezcla para que exista contacto entre las masas de sólidos y promover así la formación de dichos flóculos que se sedimentarán rápidamente. Para que sea posible la formación de estos, se adiciona floculante.

A lo largo del tiempo que dura la precipitación, los sólidos se separan de la fase líquida habitualmente por sedimentación, lo que debe resultar en dos capas claramente visibles, una sólida y una líquida, que pueden separarse fácilmente. [17]

La principal aplicación en el tratamiento de aguas residuales se centra en la eliminación de [16]:

- Fosfatos o compuestos fosforados: Se precipitan con sales de aluminio o hierro (generalmente sulfatos) [18].
- Metales pesados (compuestos tóxicos): Se precipitan en medio básico con hidróxido cálcico o similares [19]. Se suele hacer a dos niveles de pH:
  - pH = 8 → Precipitan: Fe, Al, Cr<sup>3+</sup>, Cu
  - pH = 10,5 → Precipitan: Pb, Mn, Hg, Ni, Cd, Zn

## 2.2.2. ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa (OI) es el nivel de filtración de mayor calidad disponible. La membrana de OI actúa como una barrera a las sales disueltas y a las moléculas orgánicas con masa molecular mayor de 100 g/mol aproximadamente. Por otro lado, las moléculas de agua pasan libremente a través de la membrana creando una corriente purificada como producto. El rechazo de sales disueltas es típicamente de 95-99%. [20]

Las aplicaciones para la OI son numerosas y variadas e incluyen desalación de agua de mar [21, 22], recuperación de agua de rechazo, alimentación, procesos industriales [23], separaciones biomédicas, etc.

Las presiones alcanzadas en OI (sección de alimentación/rechazo) se encuentran en el rango de 5 bar (agua salobre) a más de 80 bar para el caso de agua de mar.

El fenómeno de la ósmosis ocurre cuando el agua pura fluye de una disolución salina diluida a una concentrada a través de una membrana semipermeable. De este modo, la membrana permite el paso de disolvente (agua pura) a través de ella, y este fluye de la sección menos concentrada (diluida) a la que posee una mayor concentración. Esto queda reflejado en la Figura A11 A).

Este paso de disolvente del lado diluido al concentrado se produce debido a que el sistema intenta llegar al equilibrio, es decir, la igualdad de concentraciones a ambos lados de la membrana. Así pues, la disolución concentrada necesita una mayor cantidad de disolvente para tener la misma concentración que la diluida, por lo que esta última se lo cede a través de la membrana.

La ósmosis causa un aumento en el volumen (y la altura) de la disolución concentrada. Esta altura aumentará hasta que la presión de la columna de agua sea lo suficientemente alta para que se detenga el flujo de disolvente a través de la membrana (presión osmótica).

En cuanto a la ósmosis inversa, representada en la Figura A11 B), se produce exactamente el fenómeno contrario. El flujo se invierte de modo que el disolvente fluye de la disolución concentrada a la diluida al aplicar fuerza (presión) en la sección de mayor concentración de la membrana. En este caso aumenta el volumen (y la altura) de la disolución diluida, quedando en el otro lado de la membrana una disolución cada vez más concentrada. [20]

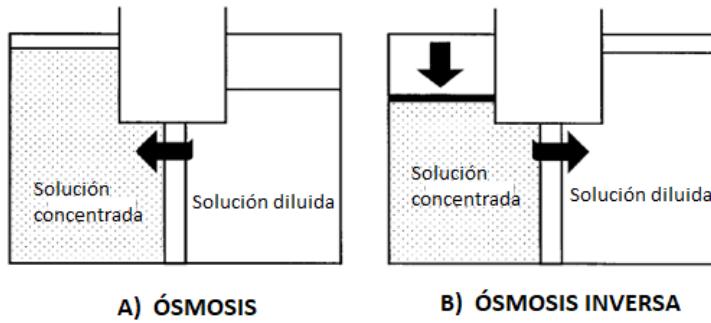


FIGURA A11. DIAGRAMAS DE LOS PROCESOS DE ÓSMOSIS Y ÓSMOSIS INVERSA. [20]

### 2.2.3. NANOFILTRACIÓN

De forma introductoria, a fin de poder ubicar y realizar una comparativa del proceso de nanofiltración respecto de otros procesos de filtración, se presenta la Figura A12. En ella se puede distinguir qué tipo de compuestos es capaz de retener cada tipo de filtración, los rangos de masa molecular que quedaría retenida y los tamaños de poro.

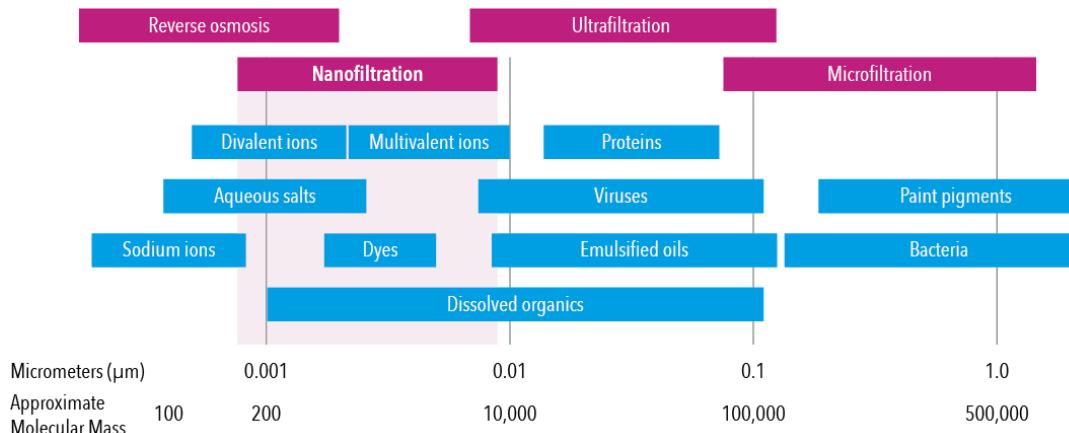


FIGURA A12. COMPARATIVA ENTRE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE FILTRACIÓN (TAMAÑO DE PORO, TIPO DE COMPUESTOS QUE RETIENE Y MASA MOLECULAR DE DICHOS COMPUESTOS). [24]

La nanofiltración es una técnica de separación por membrana diseñada inicialmente para la eliminación de iones divalentes como el calcio, el magnesio [25] o los sulfatos [26]. Unidas a la capacidad de separación de estos iones divalentes (descalcificación, desulfatación, etc.), las membranas de nanofiltración ofrecen una excelente barrera física para las moléculas orgánicas disueltas, y permiten la reducción del carbono orgánico total y de los precursores de formación de los trihalometanos. Junto a un rechazo elevado de iones divalentes y carbono orgánico total, la nanofiltración presenta un rechazo bajo de iones monovalentes (sodio, potasio, bicarbonatos, nitratos), lo que permite obtener un permeado de mayor contenido en sales respecto de la ósmosis inversa, y operar a presiones inferiores. De esta forma las membranas de nanofiltración operan típicamente entre 7 y 10 bar, admitiendo tasas de conversiones de hasta el 85%. [27]

La membrana de nanofiltración no supone una barrera total para las sales disueltas. Dependiendo del tipo de sal, tipo de membrana y de otras características, la permeabilidad puede ser alta o baja. Si la permeabilidad de la sal es baja, la diferencia de presión osmótica entre los dos lados de la membrana puede ser similar a la de OI. Por otro lado, si la permeabilidad de la membrana es alta, no se conseguirá retener demasiadas sales. En

este segundo caso, cabe destacar que la influencia de la presión osmótica será menor que para permeabilidades bajas. [20]

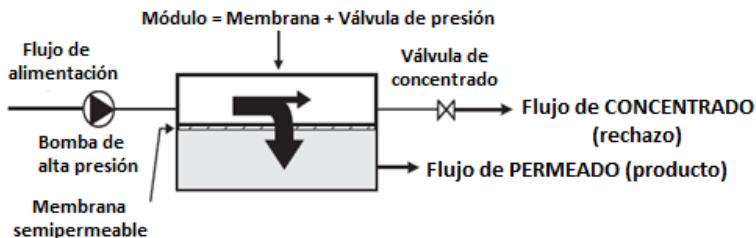


FIGURA A13. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA NANOFILTRACIÓN. [20]

En la Figura A13, se puede observar un esquema de cómo funciona la nanofiltración. Cabe decir que es similar a la forma de operación de la ósmosis inversa, teniendo como diferencias principales las membranas utilizadas y las presiones de trabajo, las cuales son considerablemente inferiores para el caso de la nanofiltración.

Con una bomba de alta presión, el agua de alimentación se alimenta de forma continua al sistema de membrana. Dentro de este, el agua de alimentación se separa en dos corrientes [20]:

- Corriente de permeado: su contenido ha pasado a través de la membrana de modo que el contenido en sales disueltas ha disminuido. Es la corriente limpia o de producto que se desea obtener.
- Corriente de concentrado o rechazo: compuesta por el líquido y las sales que no cruzan la membrana de modo que se alcanzan concentraciones más altas que en la alimentación. El contenido en sales será mayor, cuanto más retengan las membranas, lo cual depende de diversos factores (envejecimiento de membranas, incrustación, calidad de estas, averías, etc.)

Una válvula que regula el flujo, llamada válvula de rechazo (o de concentrado), controla el porcentaje del agua de alimentación que va la corriente concentrada, de modo que, para una entrada fija el permeado queda determinado.

Los parámetros principales que se controlan en la nanofiltración son los siguientes [20]:

- Recuperación: porcentaje de la alimentación que se recupera (purifica) en el permeado. El sistema de membranas se diseña teniendo como referencia un caudal y una calidad de agua de entrada, de manera que se trata de optimizar la cantidad de agua recuperada sin comprometer la calidad de esta.
- Calidad del permeado: cantidad de sales y compuestos presentes en la corriente de permeado. Se suele establecer una comparación entre la calidad del permeado y las características de agua de alimentación, lo cual permite discernir si el sistema funciona correctamente o debe optimizarse mediante una limpieza, cambio de membranas, etc. Para poder cuantificar la calidad, se miden parámetros como la conductividad, concentración en sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, etc.
- Flujo de alimentación: cantidad de agua de alimentación introducida al sistema de membrana, habitualmente medida en  $\text{m}^3/\text{h}$ . Da idea de la capacidad de la planta, es decir, del caudal de alimentación que puede tratar.
- “Flux”: es la ratio de permeado por unidad de área de membrana, generalmente medido en  $\text{L}/\text{m}^2\text{h}$ .

- Velocidad de contraflujo (“ $V_{crossflow}$ ”): es la rapidez con la que el agua fluye de manera tangencial a lo largo de la membrana desde la alimentación a la salida de concentrado o rechazo.

El flujo de permeado y de rechazo de sales son los parámetros clave del proceso de nanofiltración. Bajo condiciones de referencia específicas, el flujo de permeado y el de rechazo son propiedades intrínsecas del rendimiento de la membrana. Estas dos características del sistema de membranas están principalmente influenciadas por parámetros variables como son:

- Presión
- Temperatura
- Recuperación
- Concentración de sales en el agua de alimentación

A modo de representar el impacto de estos parámetros que se acaban de indicar, se presenta la Figura A14.

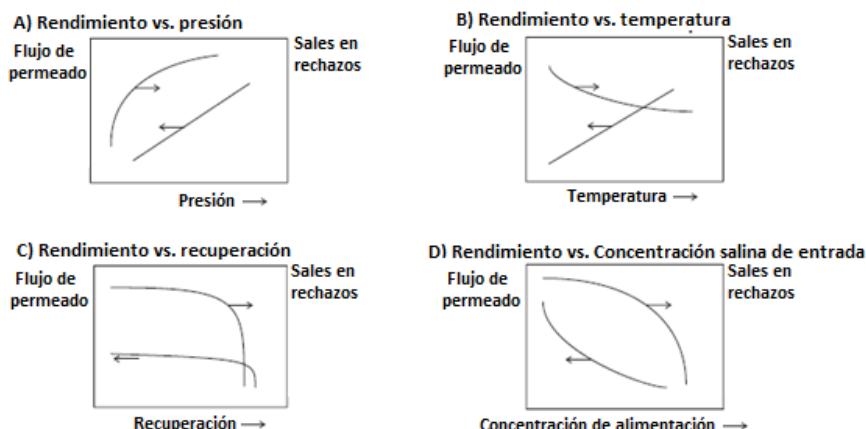


FIGURA A14. INFLUENCIA DE DIVERSAS VARIABLES (PRESIÓN, TEMPERATURA, RECUPERACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LA ALIMENTACIÓN) EN EL RENDIMIENTO DE LA NANOFILTRACIÓN. [20]

#### Influencia de la presión:

Un aumento de la presión de alimentación efectiva hace que la cantidad de sales disueltas en el permeado decrecerán mientras que el flujo de permeado aumentará como se muestra en la Figura A14 A).

#### Influencia de la temperatura:

Si se aumenta la temperatura y todos los demás parámetros se mantienen constante, el flujo de permeado y el paso de sales a través de la membrana aumentará como se puede apreciar en la Figura A14 B).

#### Influencia de la ratio de recuperación:

En caso de aumentar la recuperación el flujo de permeado (flux) decrecerá y parará si la concentración de sales alcanza un valor donde la presión osmótica del concentrado es tan alta como la aplicada a la alimentación. El rechazo de sales caerá si se incrementa la recuperación. Esto puede observarse en la Figura A14 C).

#### Influencia de la concentración de sales:

La Figura A14 D) muestra el impacto de la concentración de sales de la alimentación en el flujo de permeado y en el rechazo de sales. [20]

## 2.3. AHORRO ENERGÉTICO

En cuanto a posibles modos de ahorrar energía en el proceso productivo de la cerveza, algunos de los más significativos son los siguientes [15, 28]:

- Aprovechar al máximo la presión que llevan algunas corrientes de fluido para no tener que bombearlas y que ello suponga un gasto energético.
- Recircular o poner en contacto corrientes con energía (temperatura media-alta) que no vaya a ser utilizada en el proceso para precalentar otras frías. En definitiva, realizar una recuperación de calor en proceso, en purgas o en procedimientos de enfriamiento.
- Aumentar la eficiencia de los procesos de generación de vapor.
- Aislamiento en redes de tuberías para disminuir las pérdidas de energía.
- Alternativas al proceso de cocción convencional utilizado en España (cocción atmosférica), el cual presenta un consumo energético elevado. Un ejemplo de esto es la cocción a baja presión. Dicho método consigue un ahorro de vapor del 38% respecto de los atmosféricos.
- Optimizar el uso de la iluminación y la gestión del aire comprimido.

## **ANEXO B: GRÁFICAS DE RESULTADOS**

En el presente apartado de los anexos, se van a mostrar las gráficas de resultados obtenidas para cada uno de los test realizados. Para cada uno de ellos se han recogido seis gráficas:

- Gráfica 1: datos de presión transmembrana (TMP), velocidad de contraflujo ( $V_{cf}$ ), Flux ( $L/m^2h$ ) y caída de presión en la membrana  $dP$  (bar).
- Gráfica 2: Recuperación (%), Permeabilidad y Flux ( $L/m^2h$ ).
- Gráfica 3 (conductividades):

	Conductividad de alimentación (Sensor: 00_QIT_02) [mS/cm]
	Conductividad del permeado (Sensor: 01_QIT_02) [mS/cm]

- Gráfica 4 (caudales):

	Caudal de alimentación (Sensor: 00_FIT_01) [ $m^3/h$ ]
	Caudal de permeado (Sensor: 01_FIT_02) [ $m^3/h$ ]
	Caudal de concentrado (Sensor: 01_FIT_03) [ $m^3/h$ ]

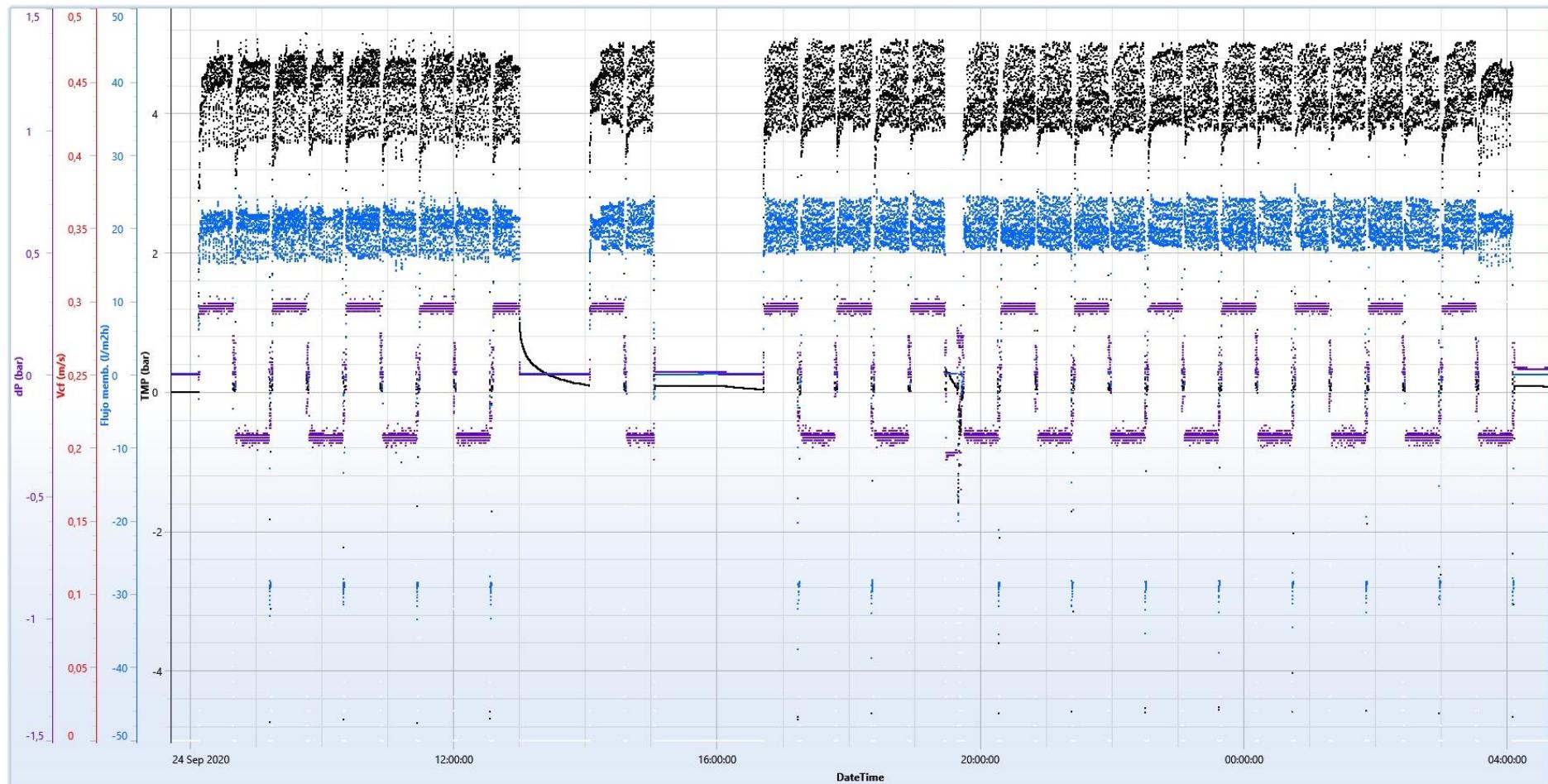
- Gráfica 5 (presiones):

	Presión de memb. 1 (Sensor: 01_PIT_01) [bar]
	Presión de memb. 2 (Sensor: 01_PIT_02) [bar]
	Presión del permeado (Sensor: 01_PIT_03) [bar]
	Presión del concentrado (Sensor: 01_PIT_04) [bar]

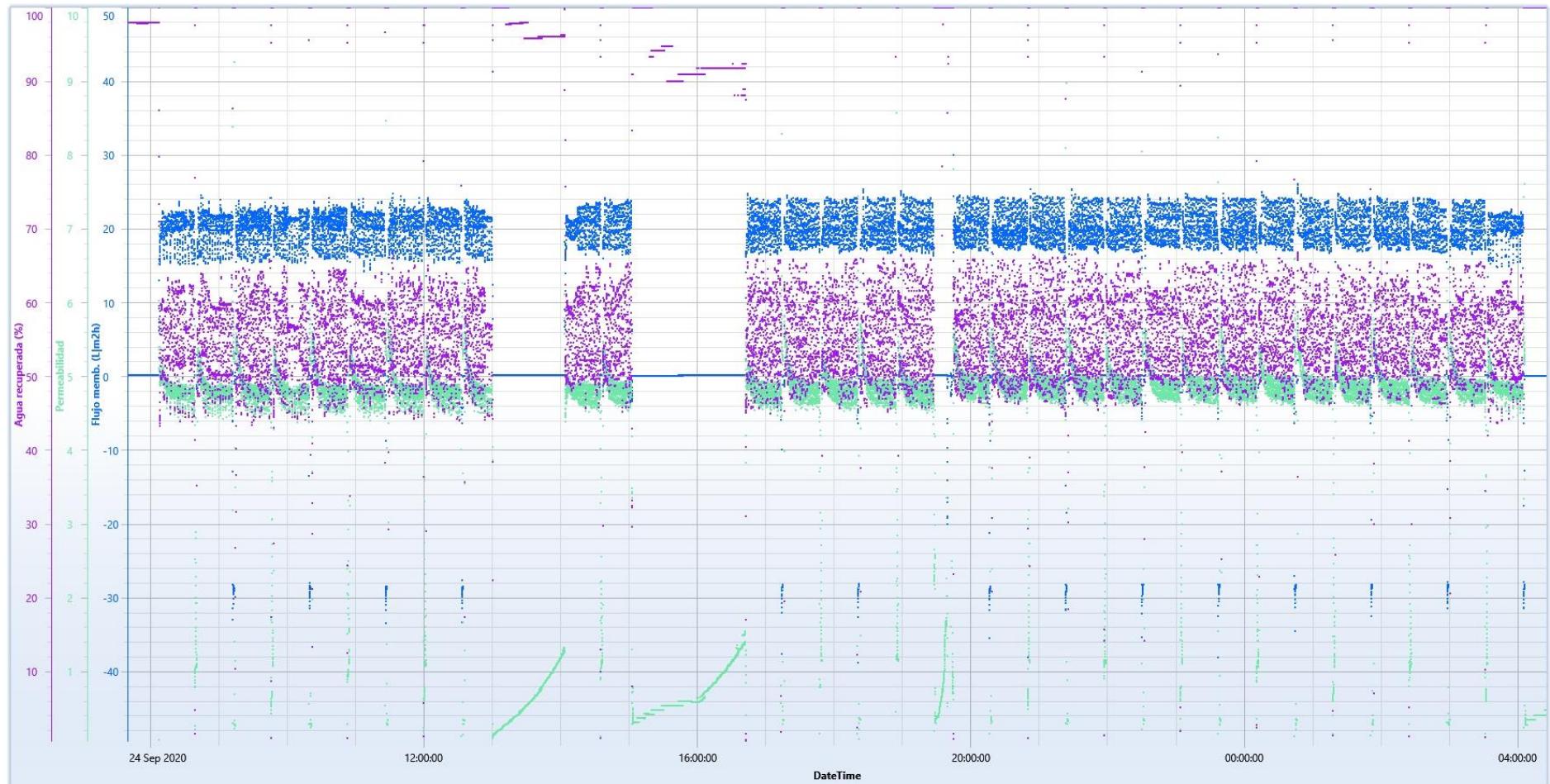
- Gráfica 6 (alimentación):

	Apertura de válvula (Sensor: 00_SC_01) [%]
	Bomba (Sensor: 00_P_01) [Activa = 1 / Parada = 0]

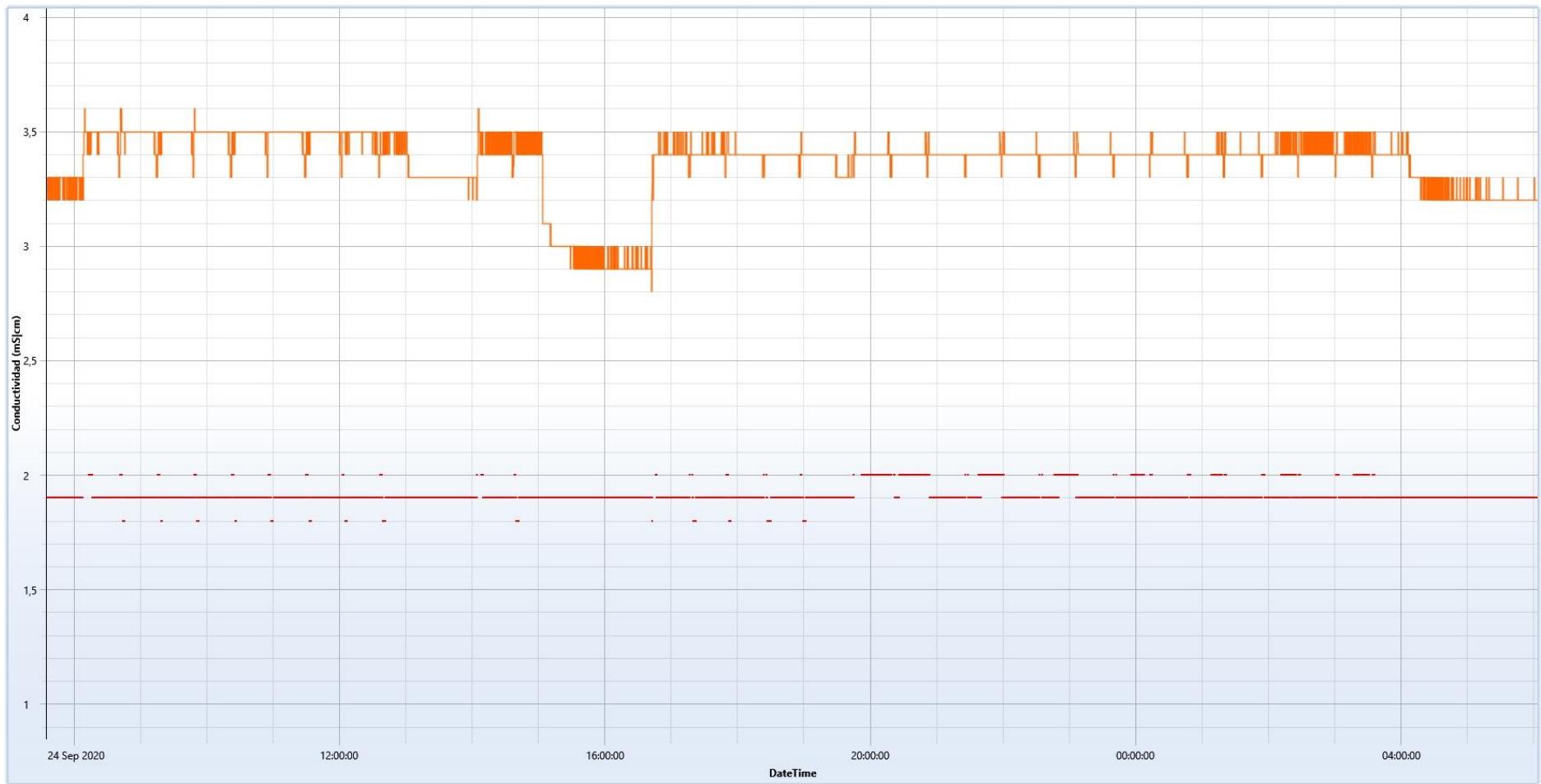
## TEST 1 – GRÁFICA 1



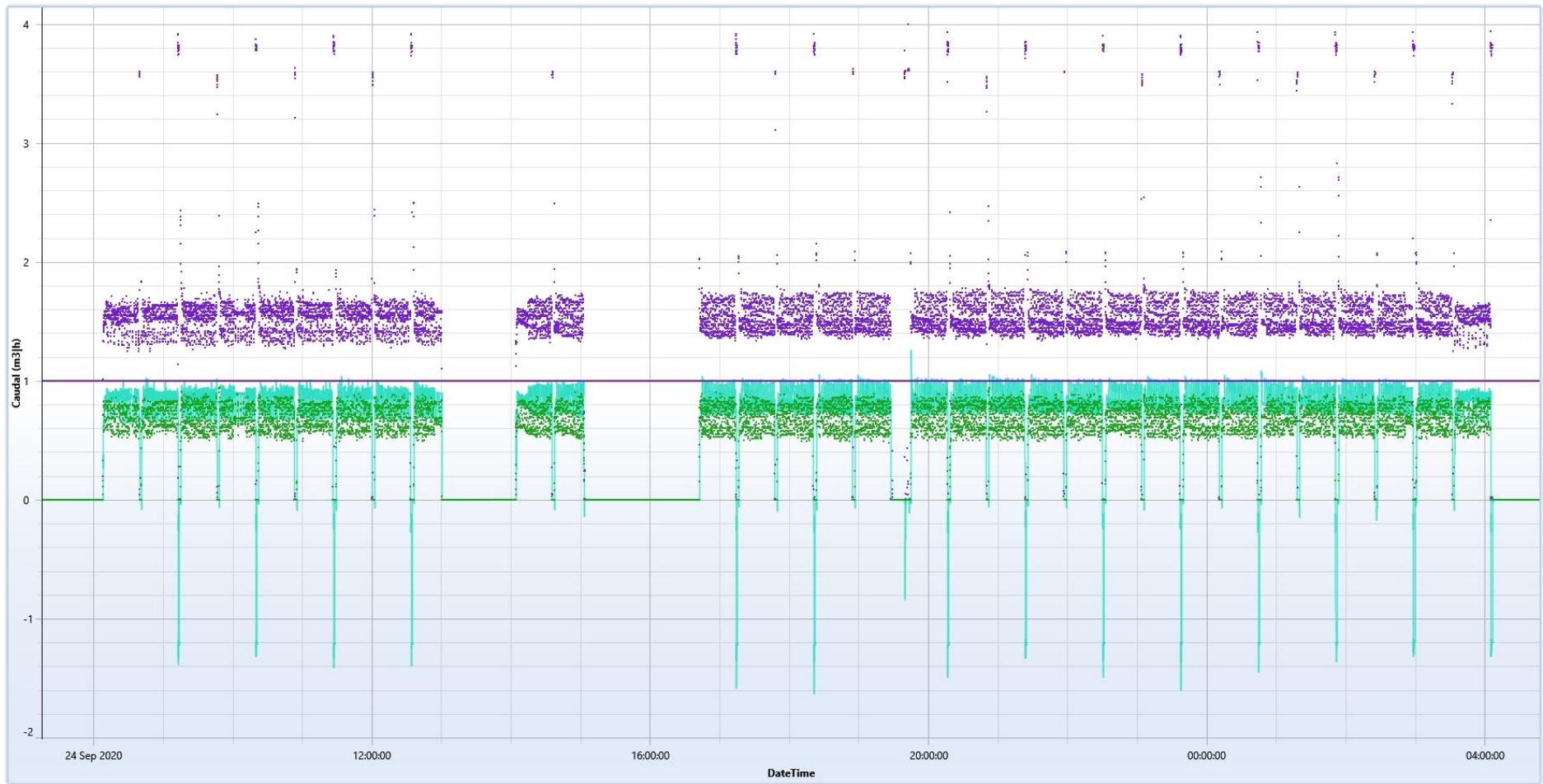
## TEST 1 – GRÁFICA 2



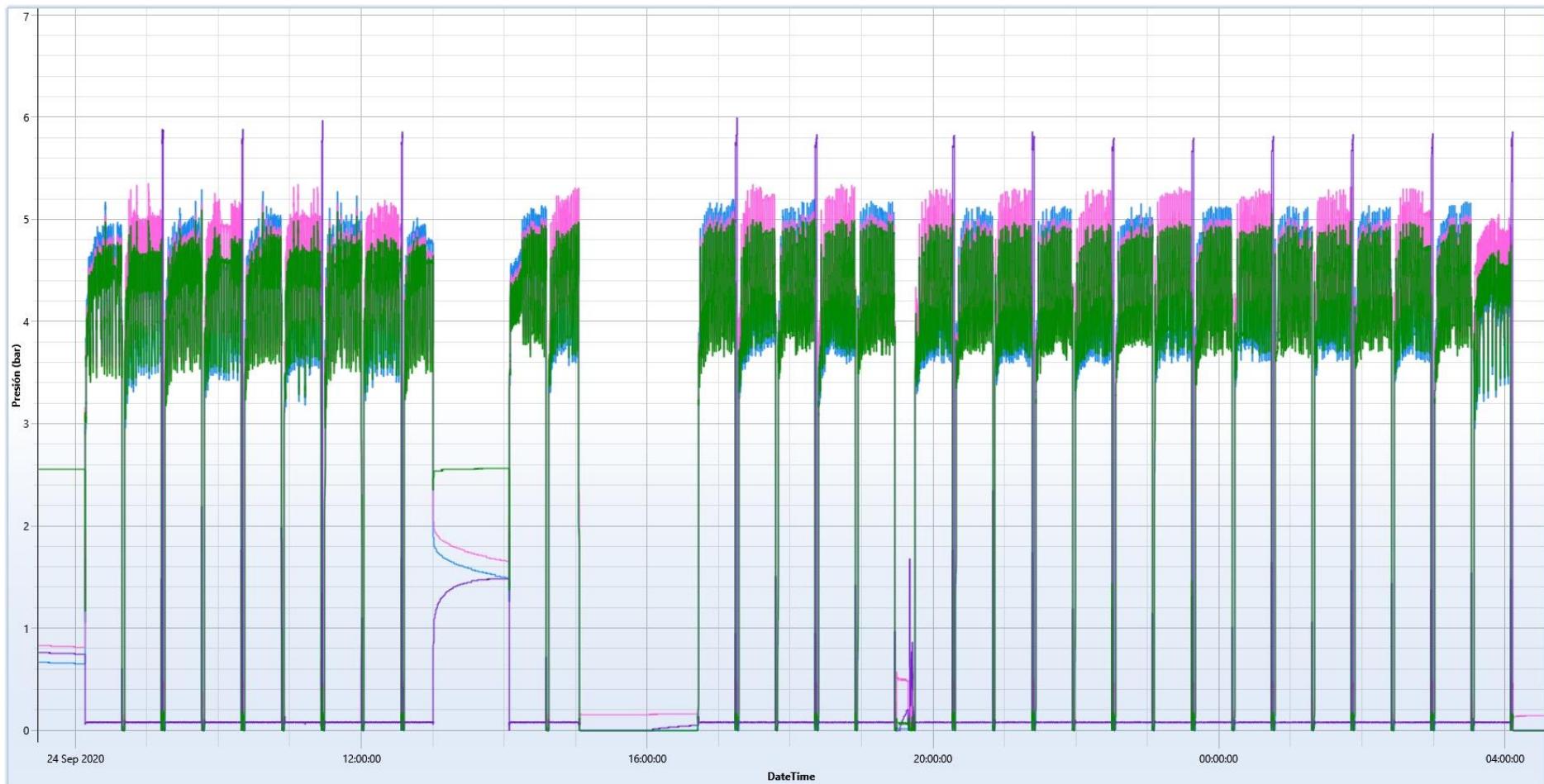
## **TEST 1 – GRÁFICA 3**



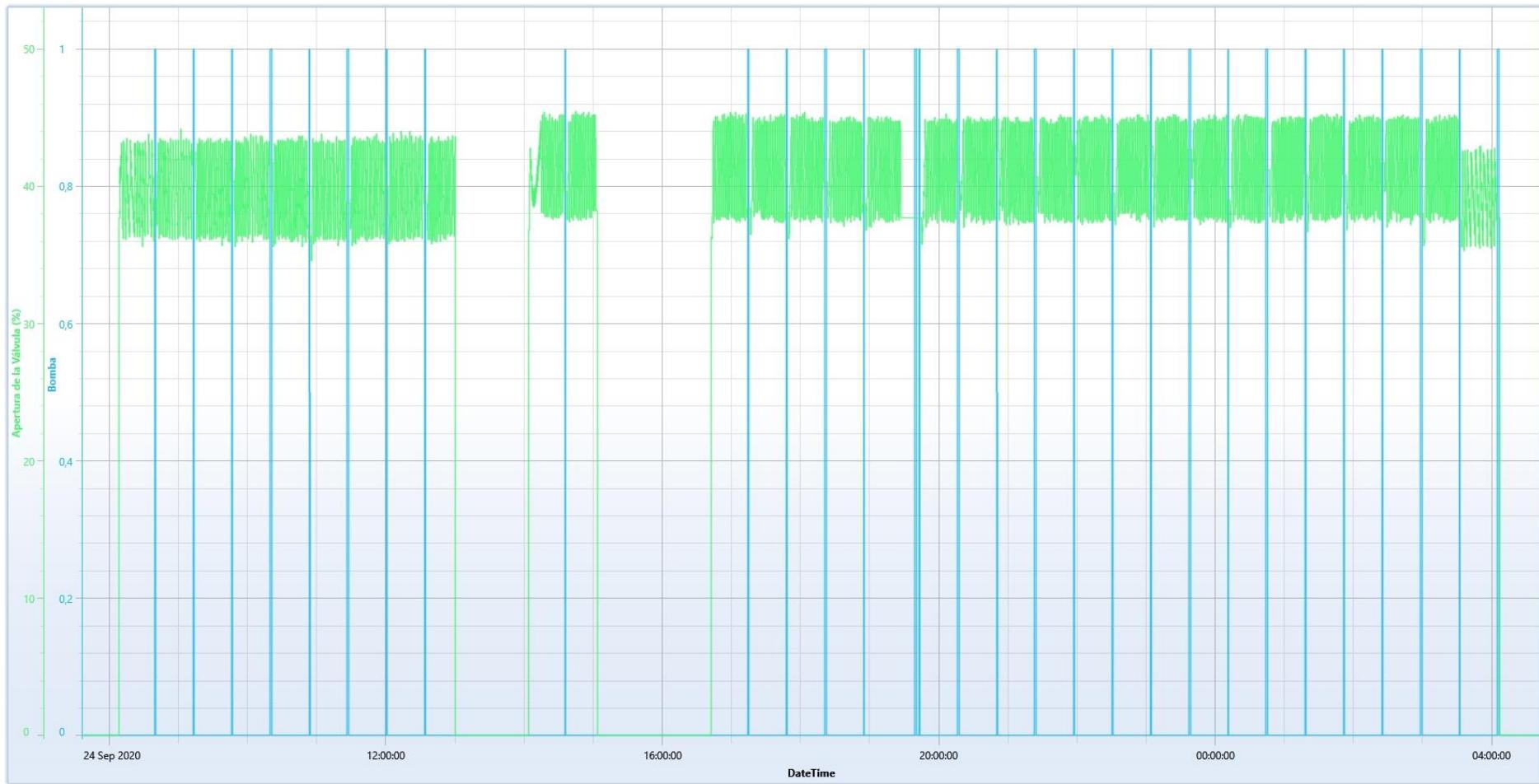
## **TEST 1 – GRÁFICA 4**



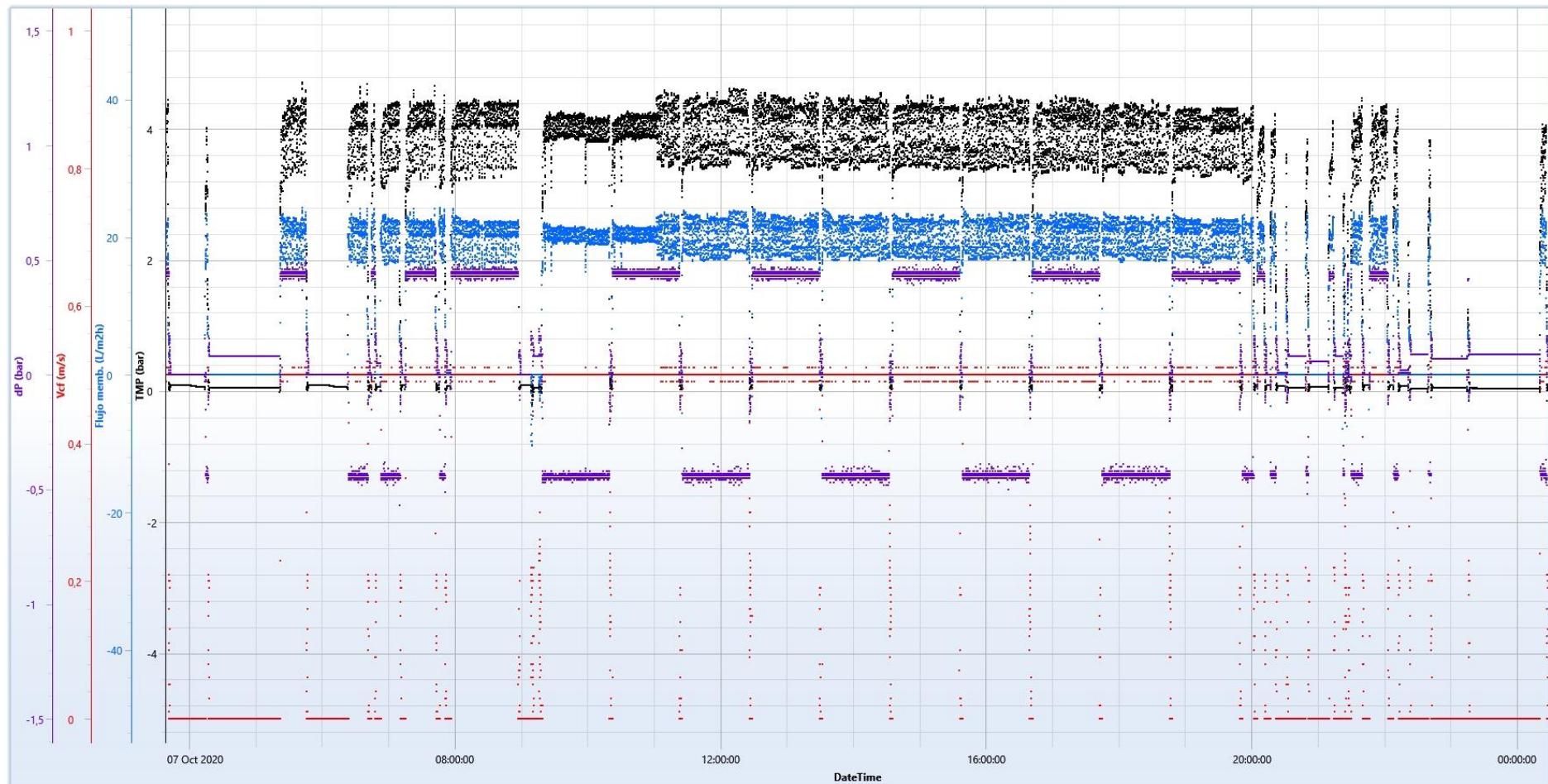
## **TEST 1 – GRÁFICA 5**



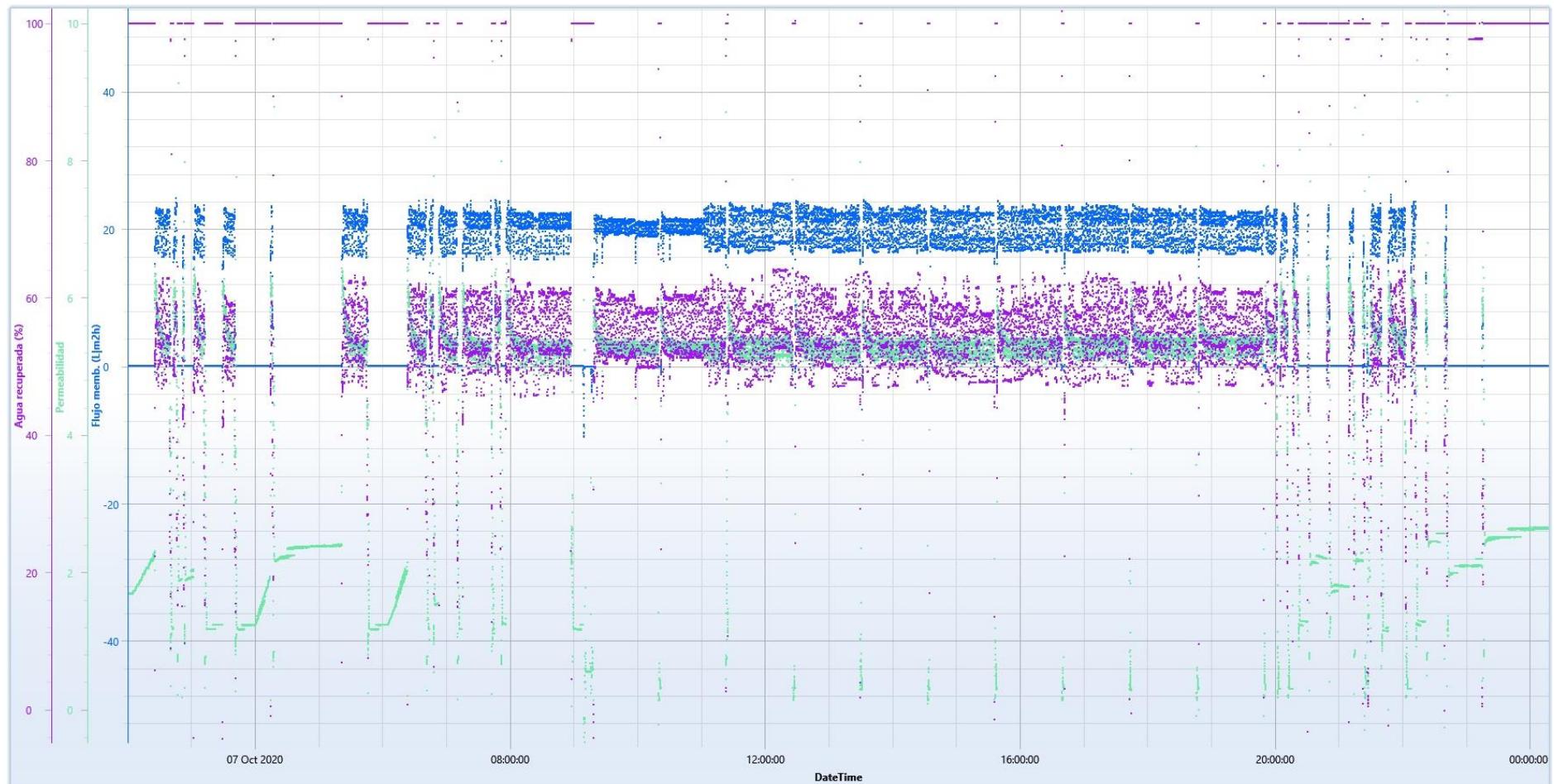
## **TEST 1 – GRÁFICA 6**



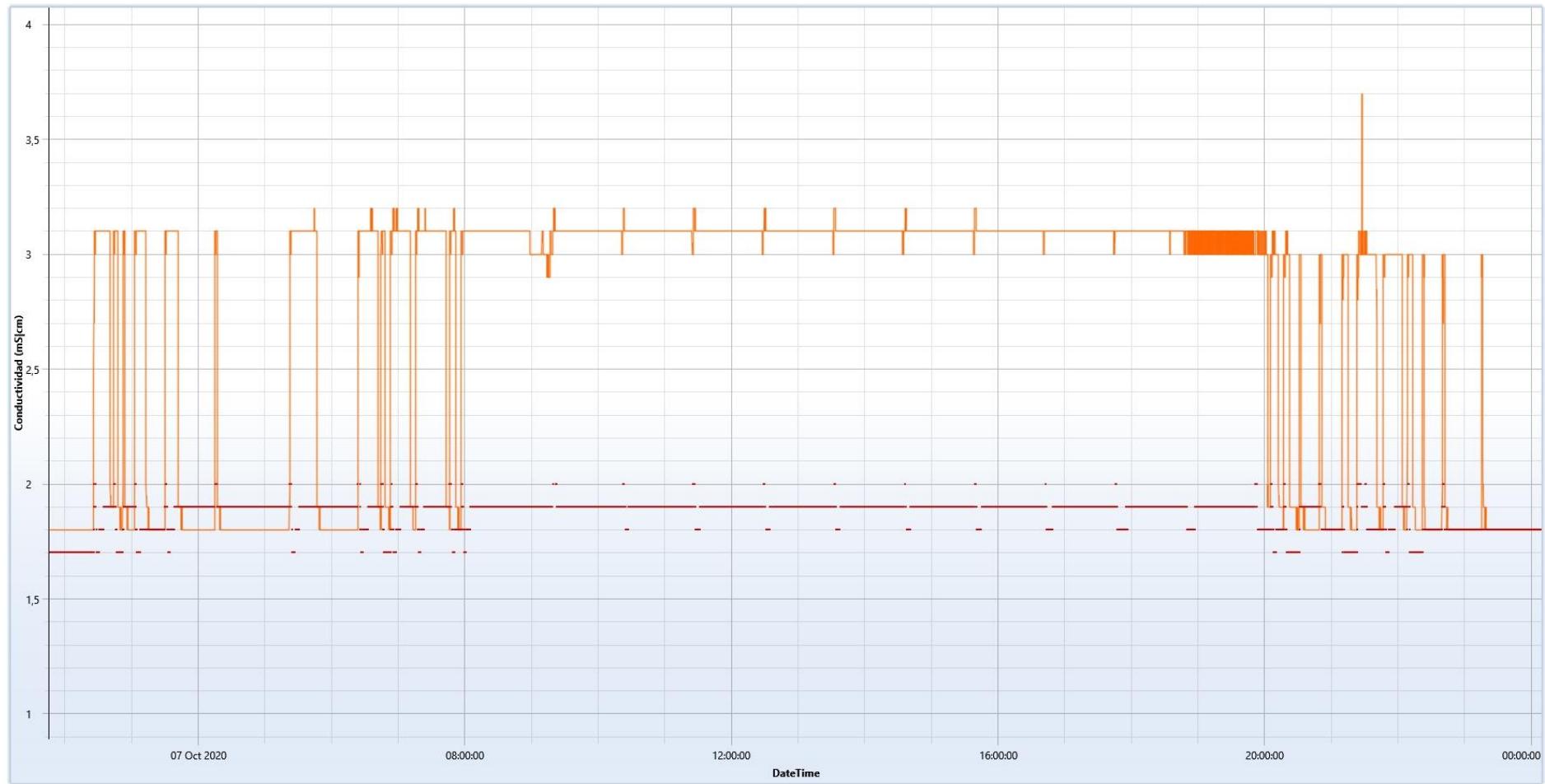
## TEST 2 – GRÁFICA 1



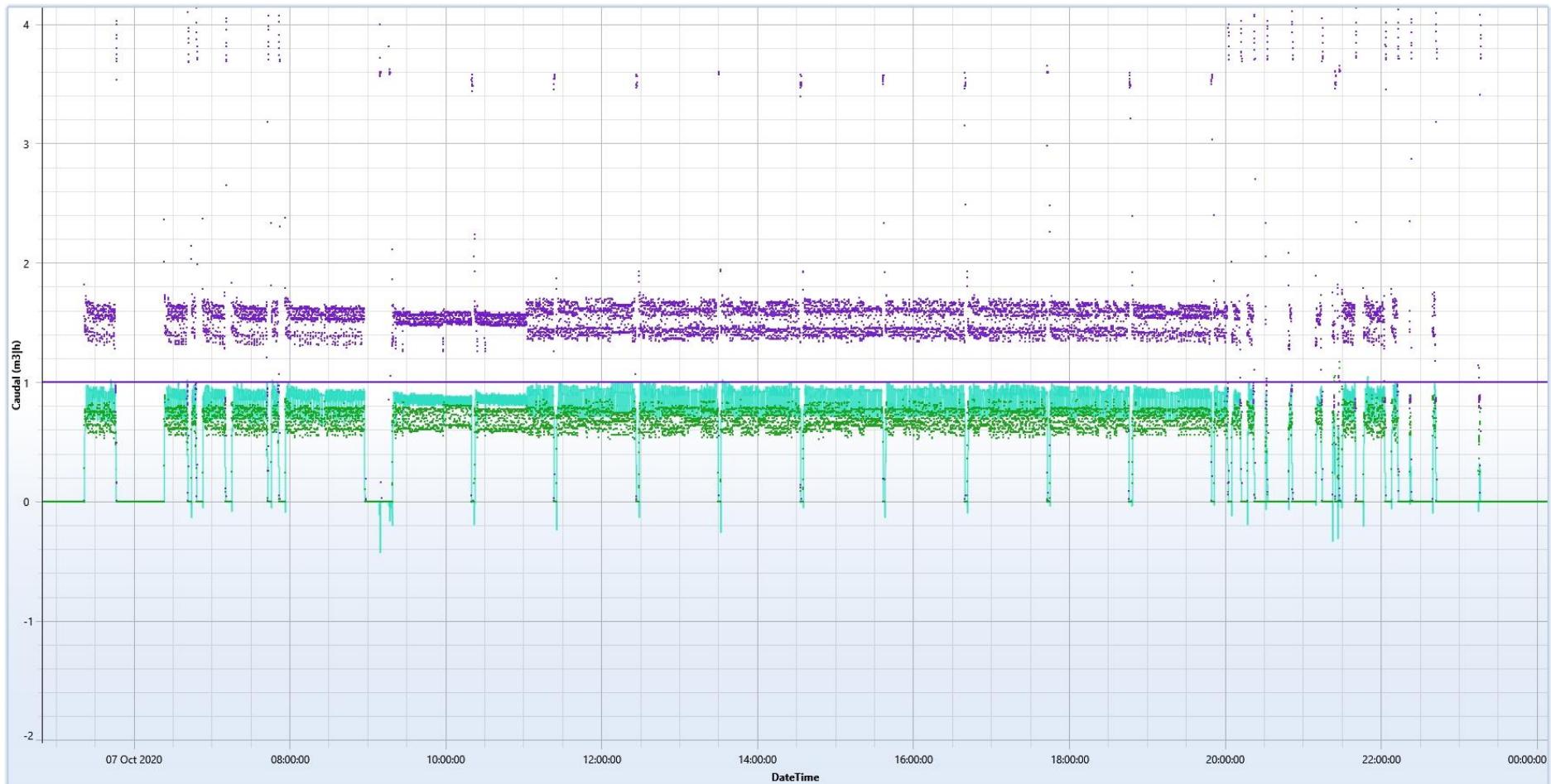
## TEST 2 – GRÁFICA 2



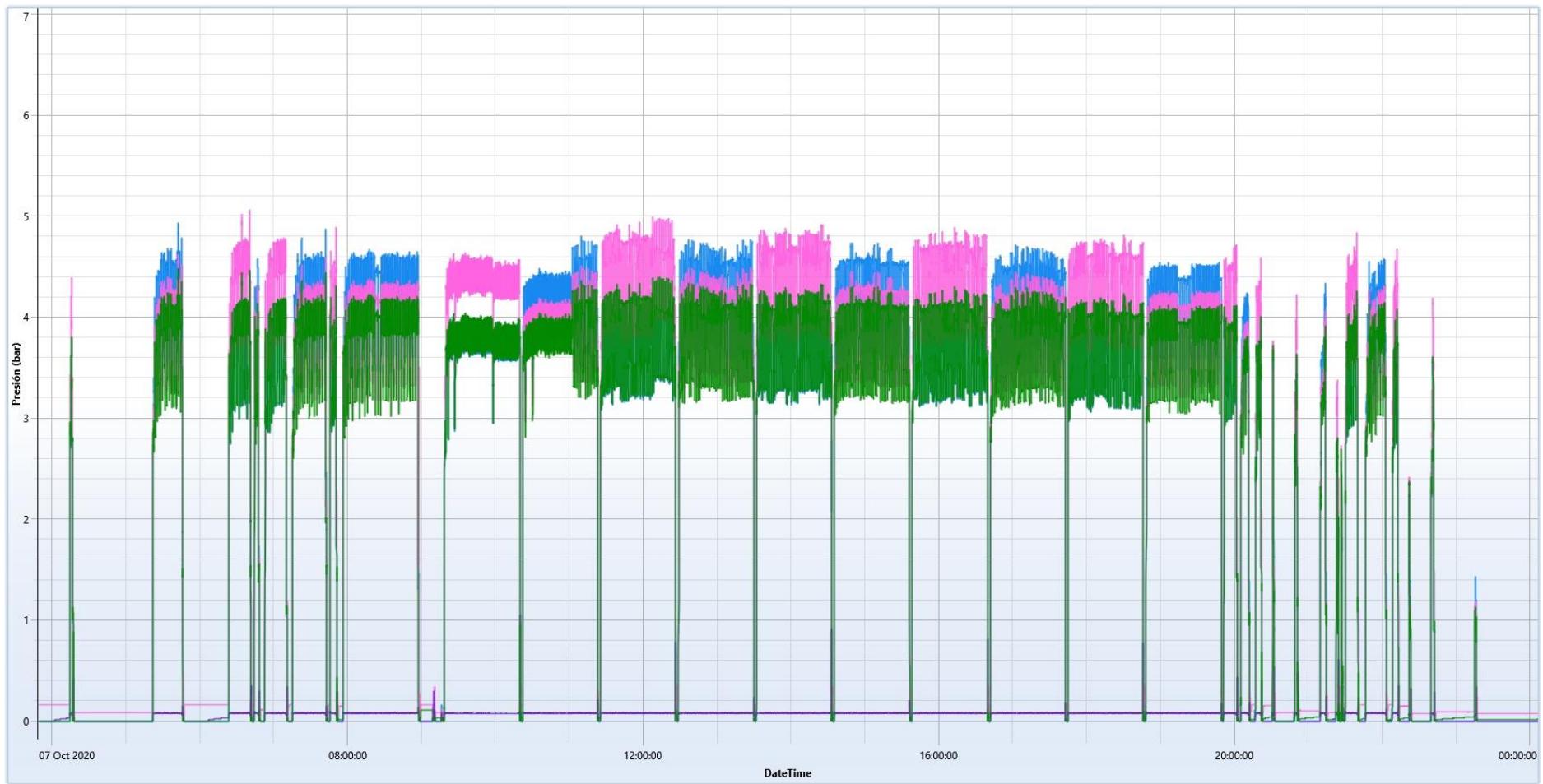
## **TEST 2 – GRÁFICA 3**



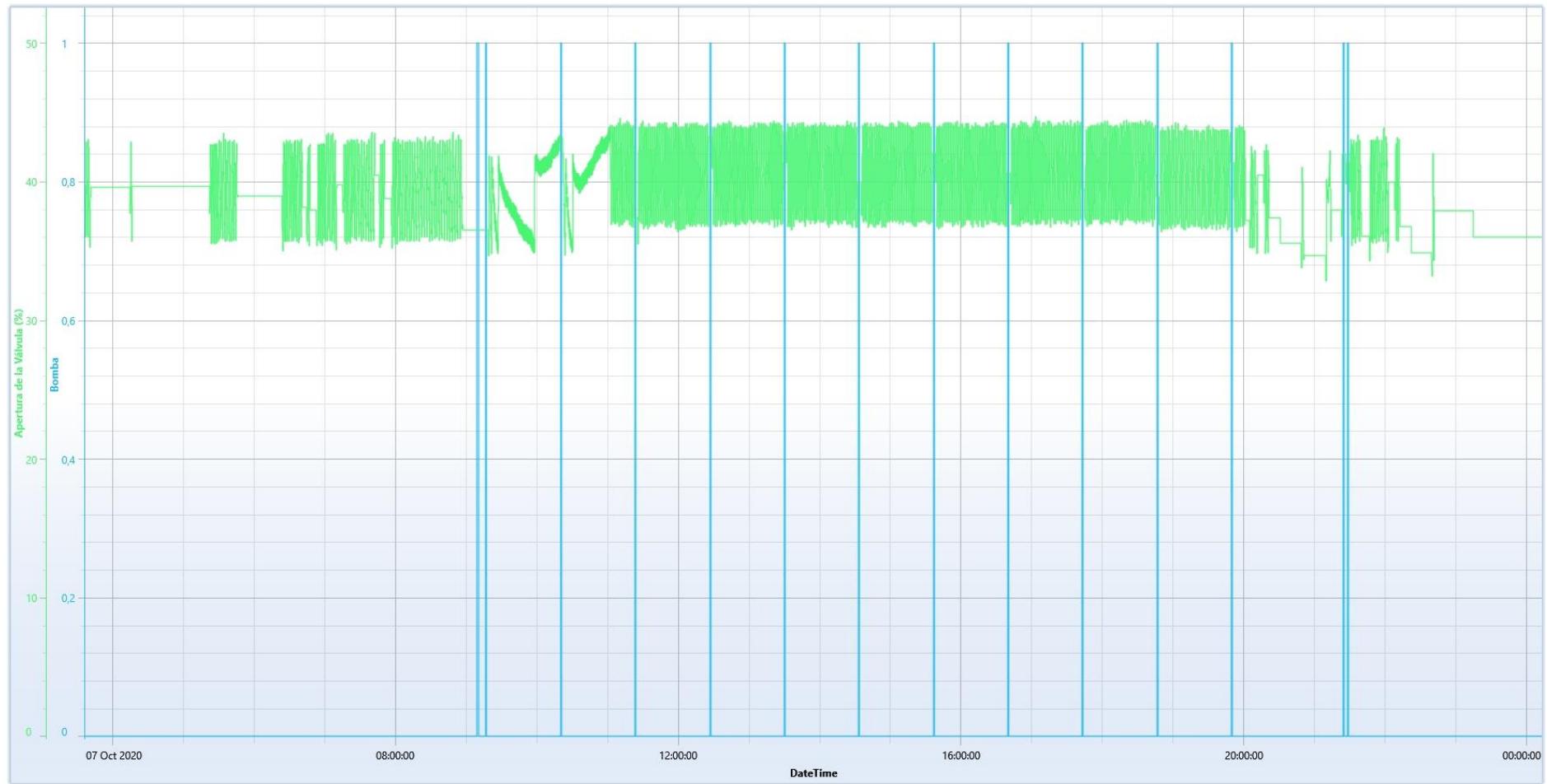
## **TEST 2 – GRÁFICA 4**



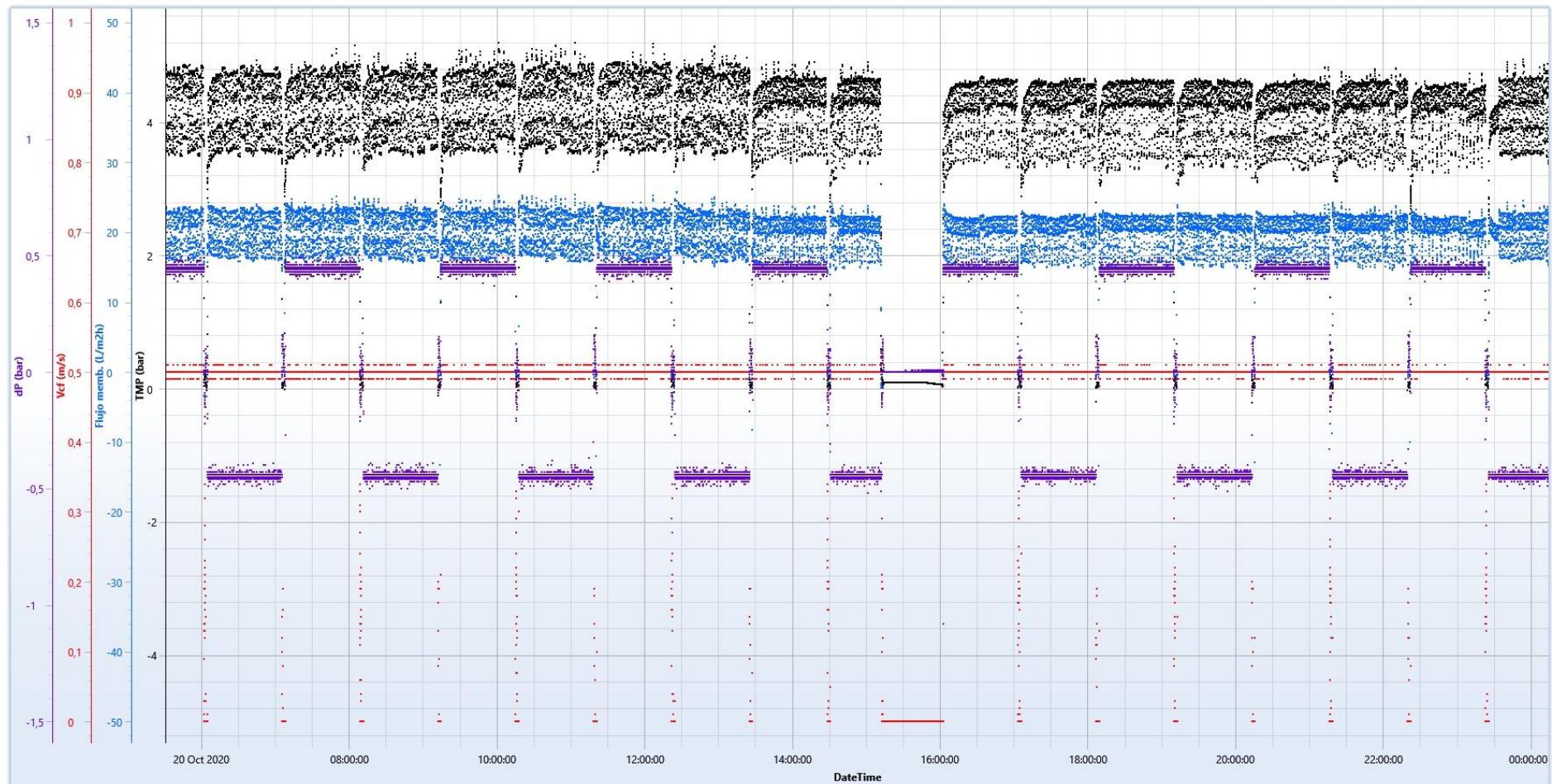
## **TEST 2 – GRÁFICA 5**



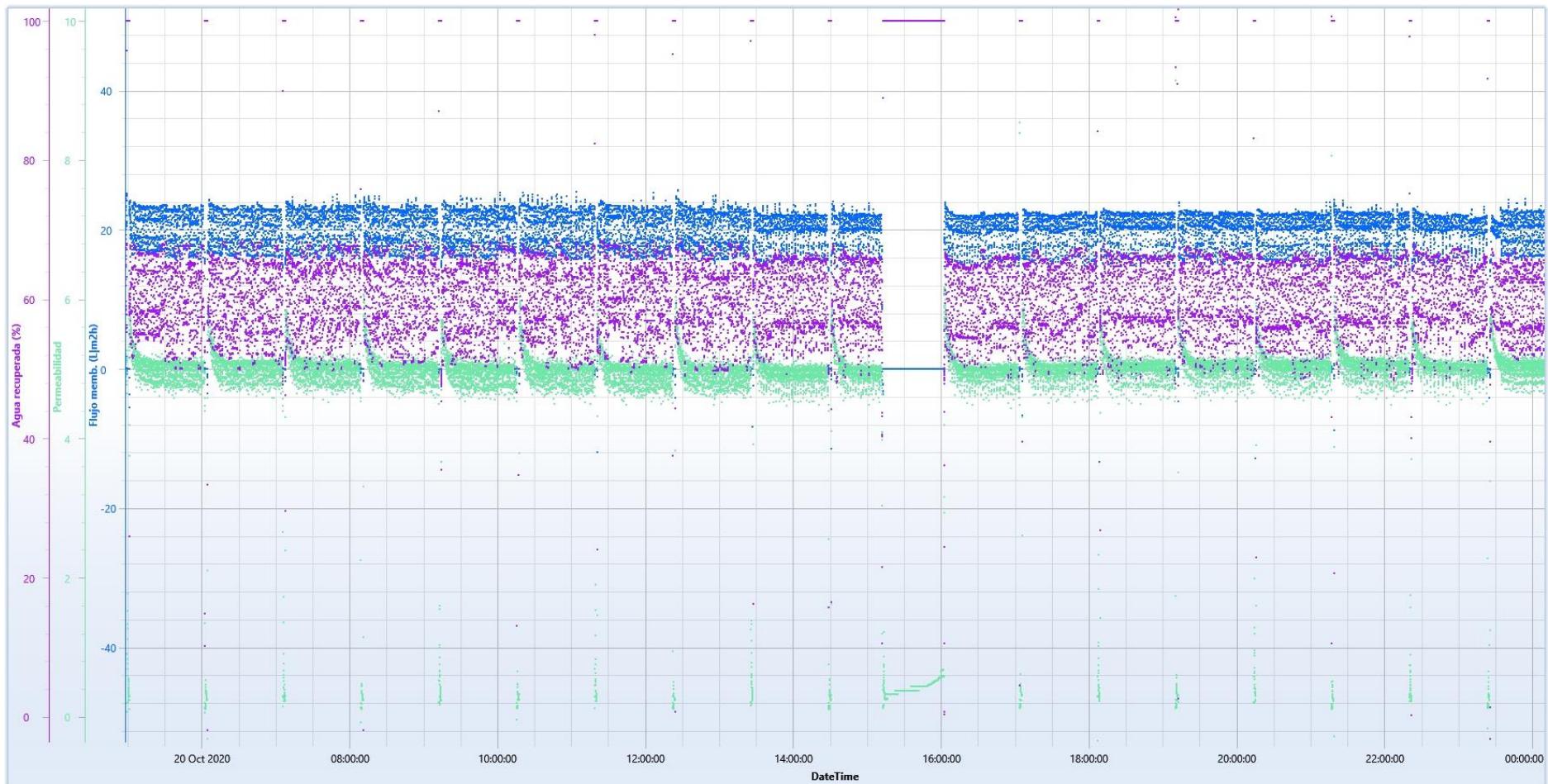
## **TEST 2 – GRÁFICA 6**



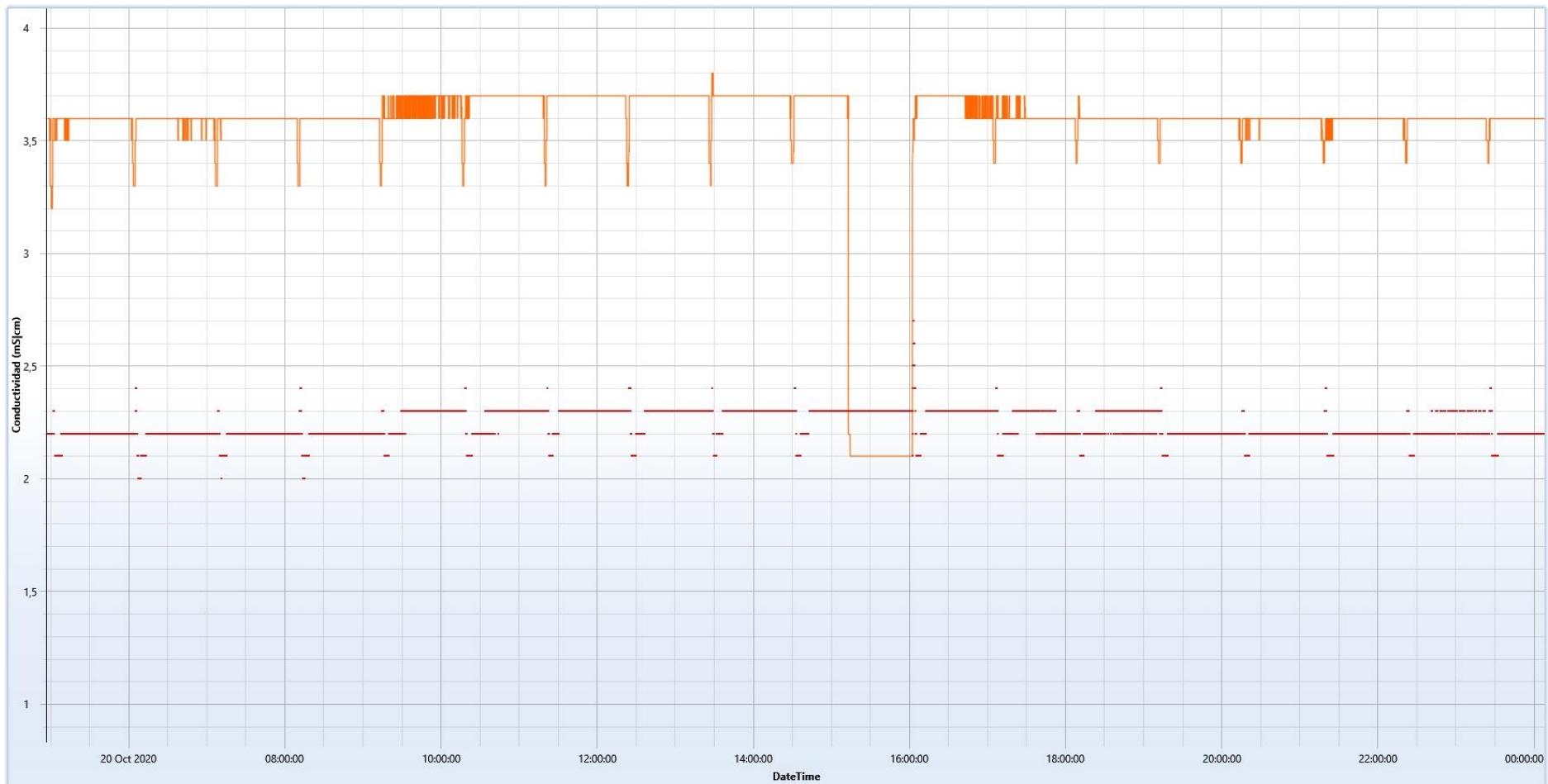
## TEST 3 – GRÁFICA 1



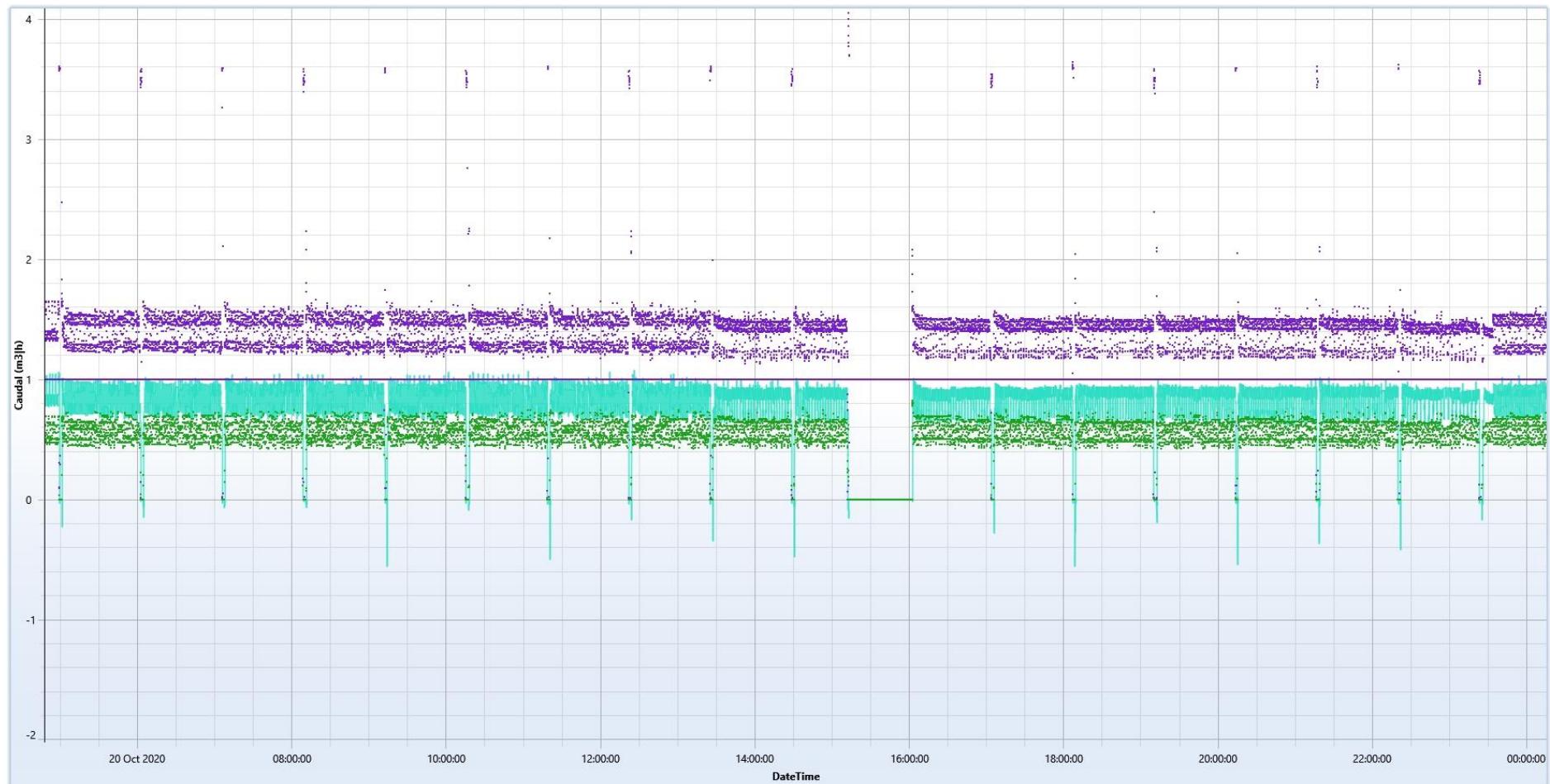
## **TEST 3 – GRÁFICA 2**



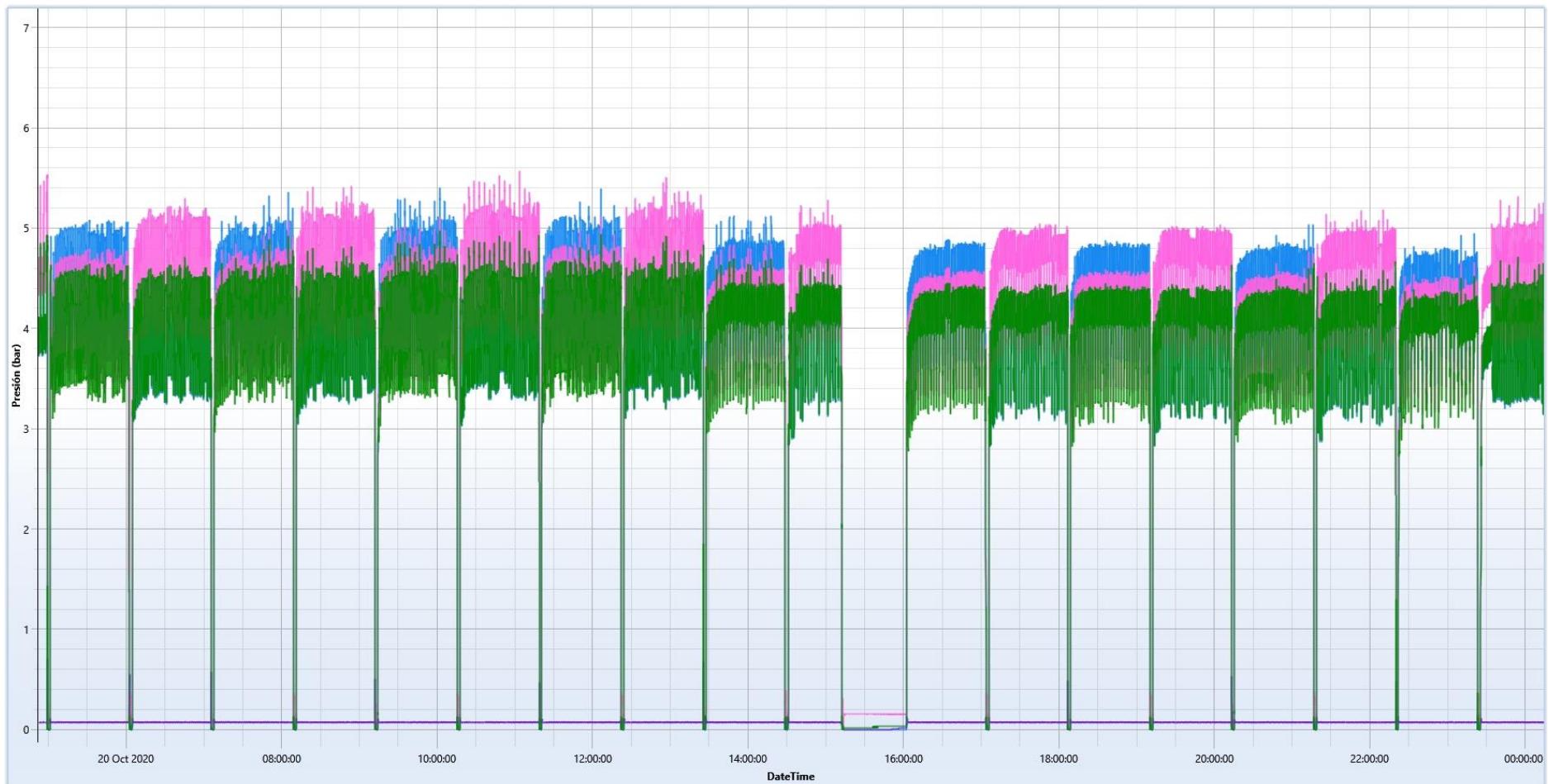
### **TEST 3 – GRÁFICA 3**



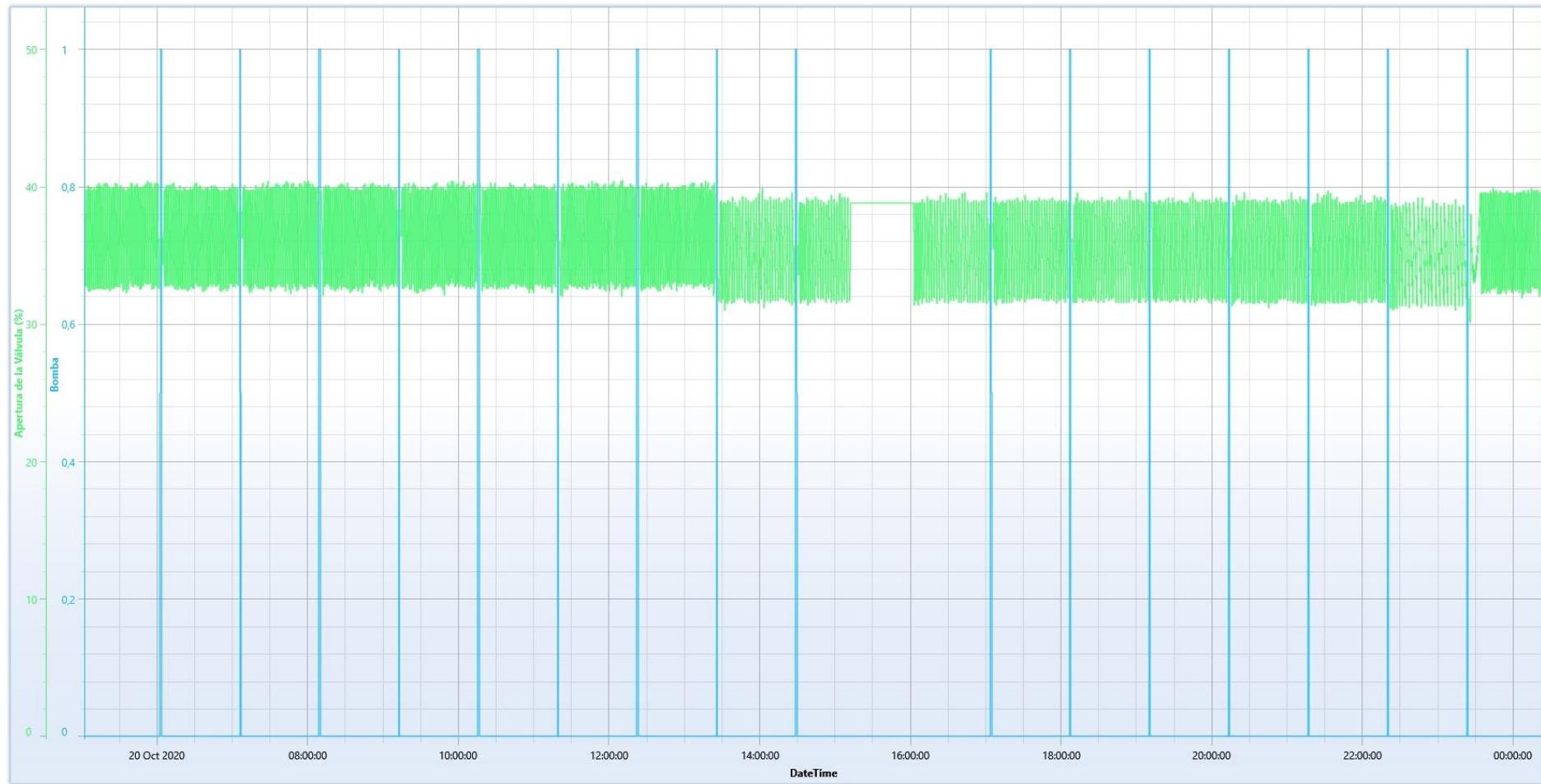
### **TEST 3 – GRÁFICA 4**



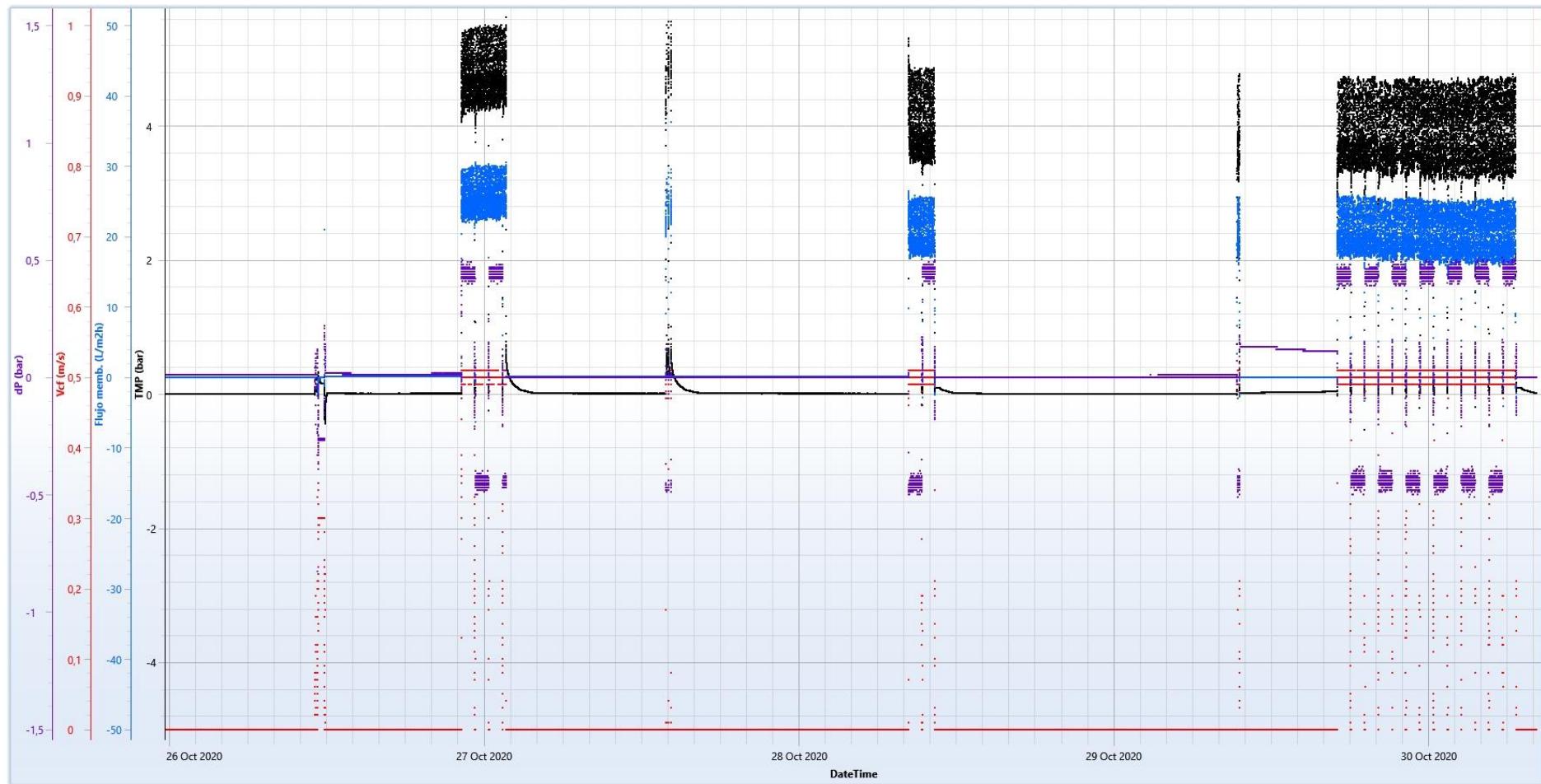
### **TEST 3 – GRÁFICA 5**



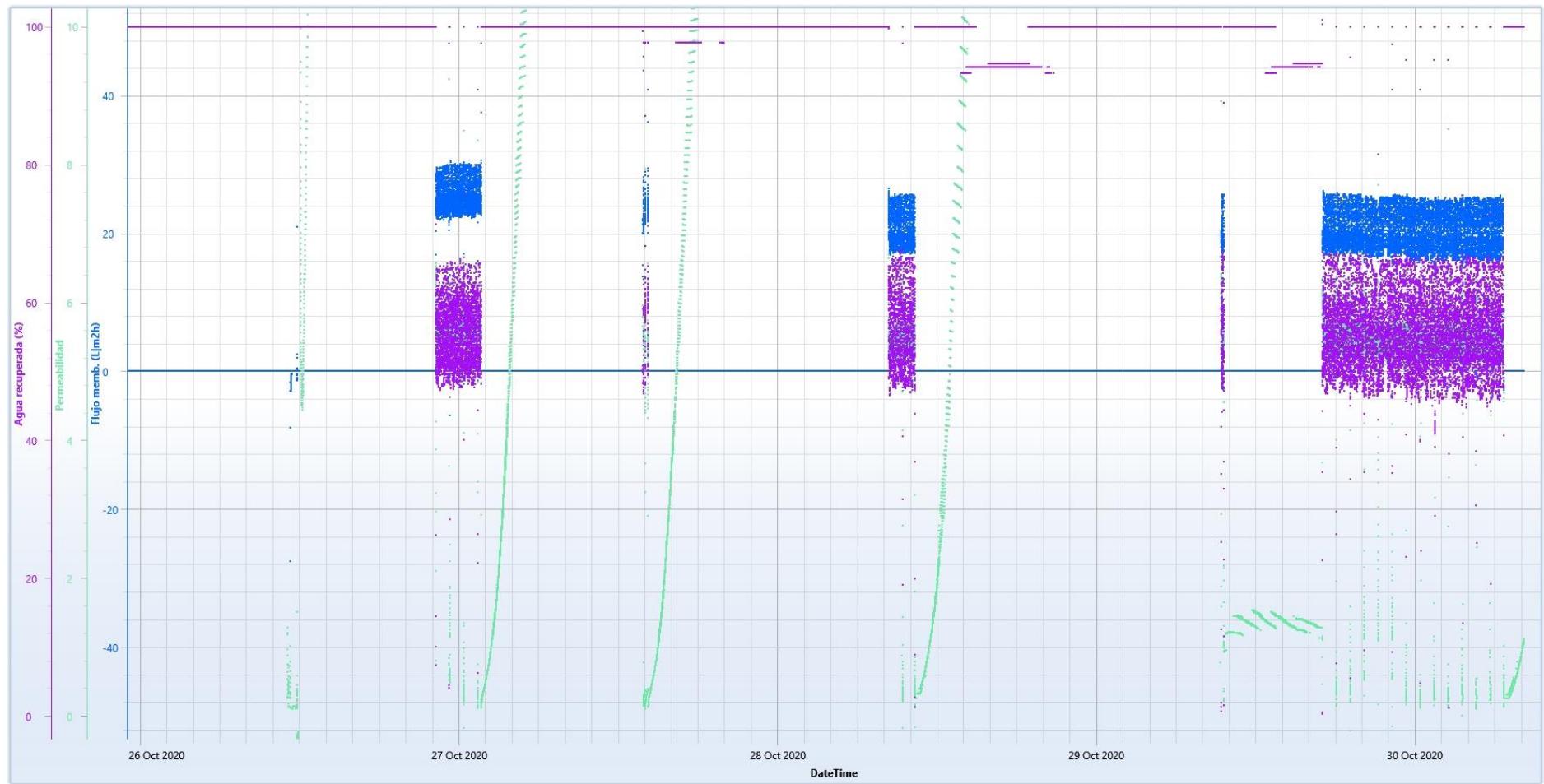
### **TEST 3 – GRÁFICA 6**



## TEST 4 – GRÁFICA 1



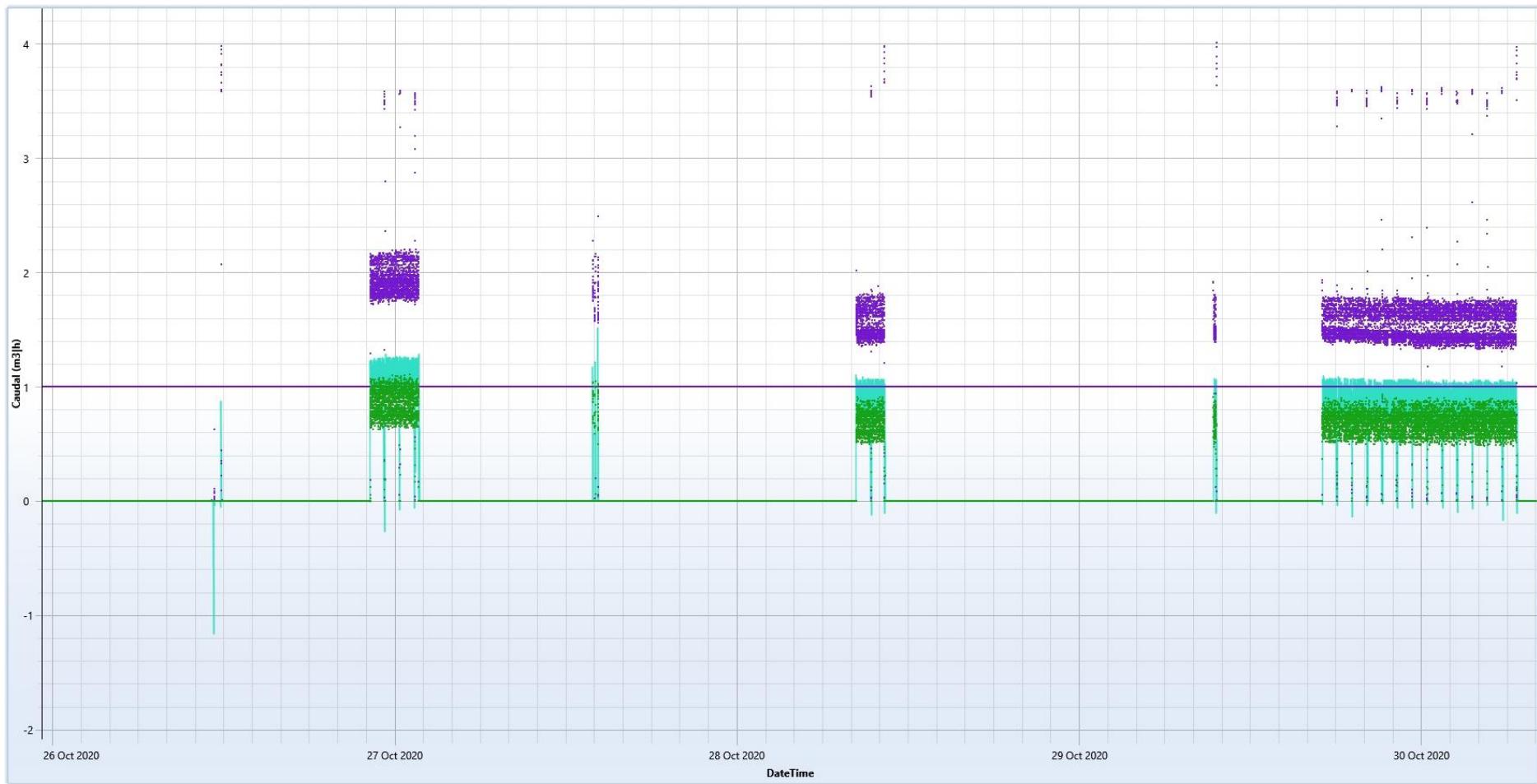
## TEST 4 – GRÁFICA 2



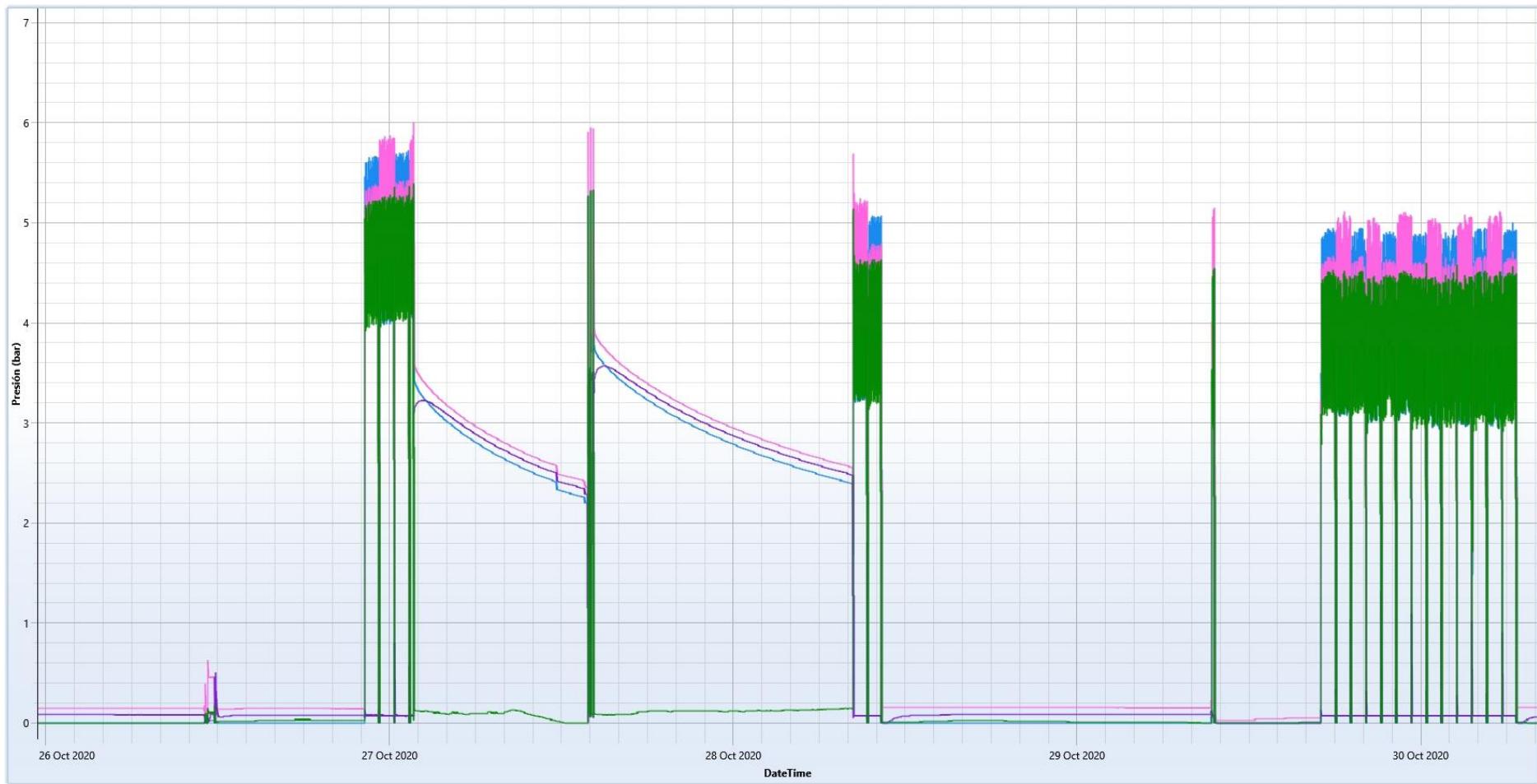
## TEST 4 – GRÁFICA 3



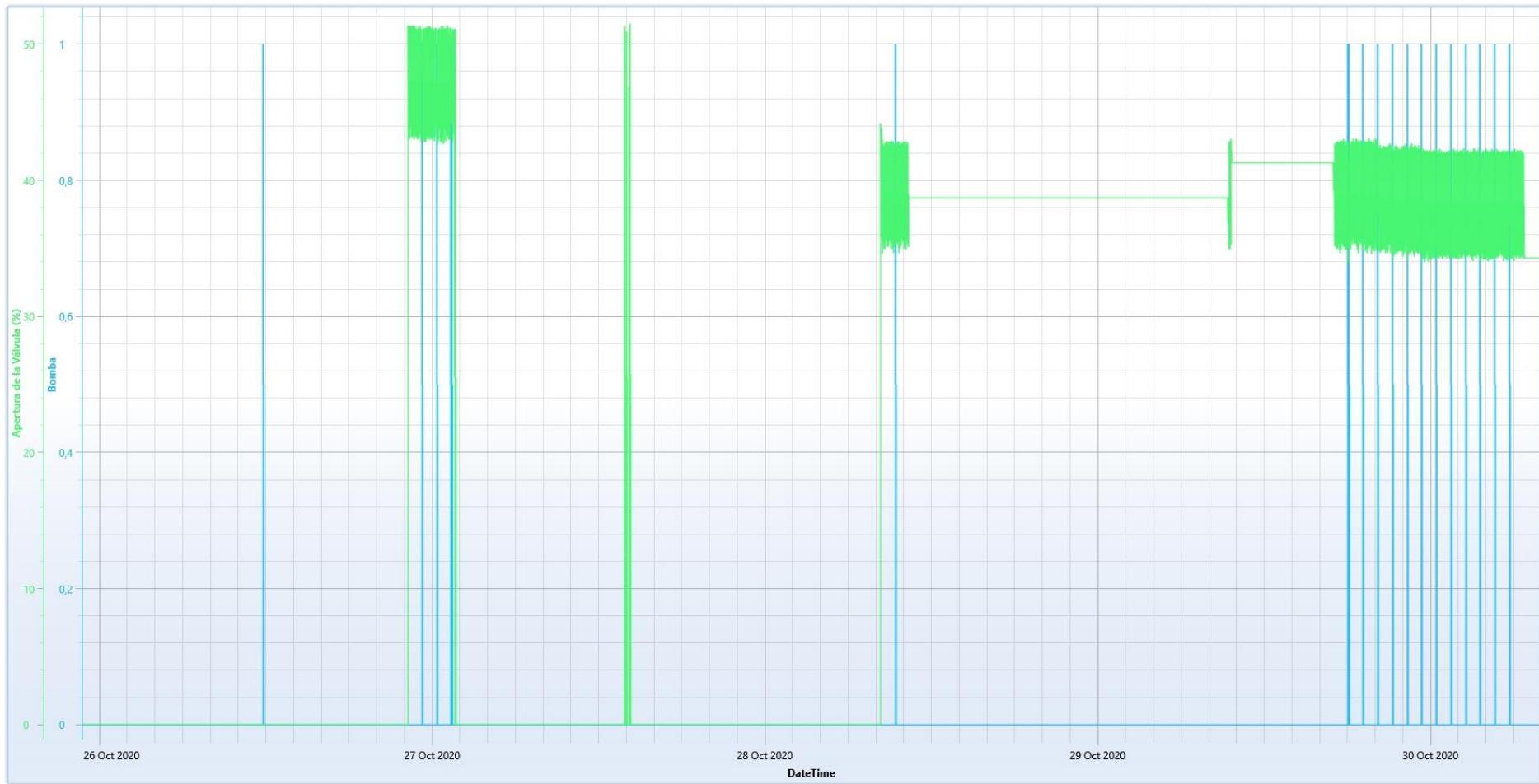
## TEST 4 – GRÁFICA 4



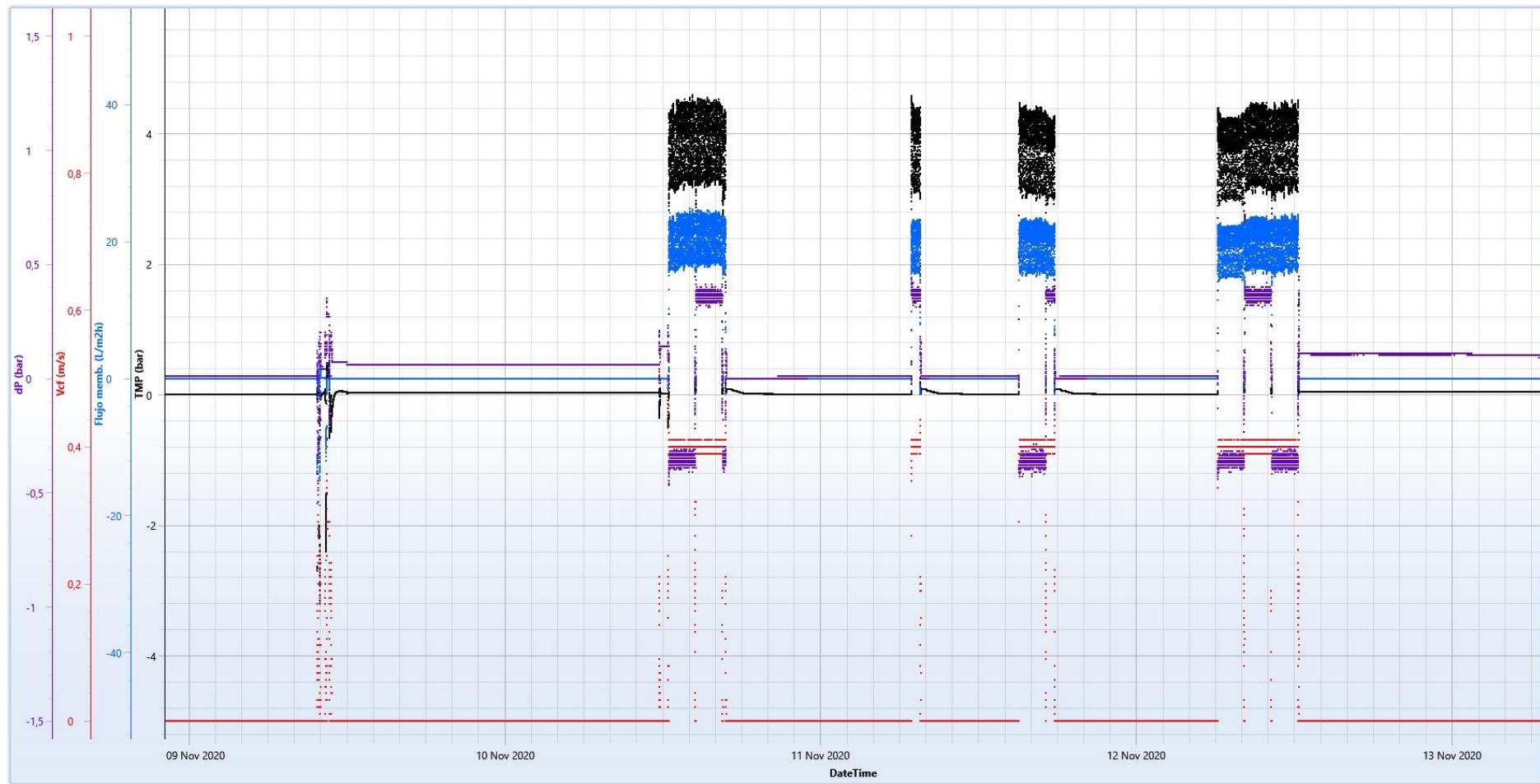
## TEST 4 – GRÁFICA 5



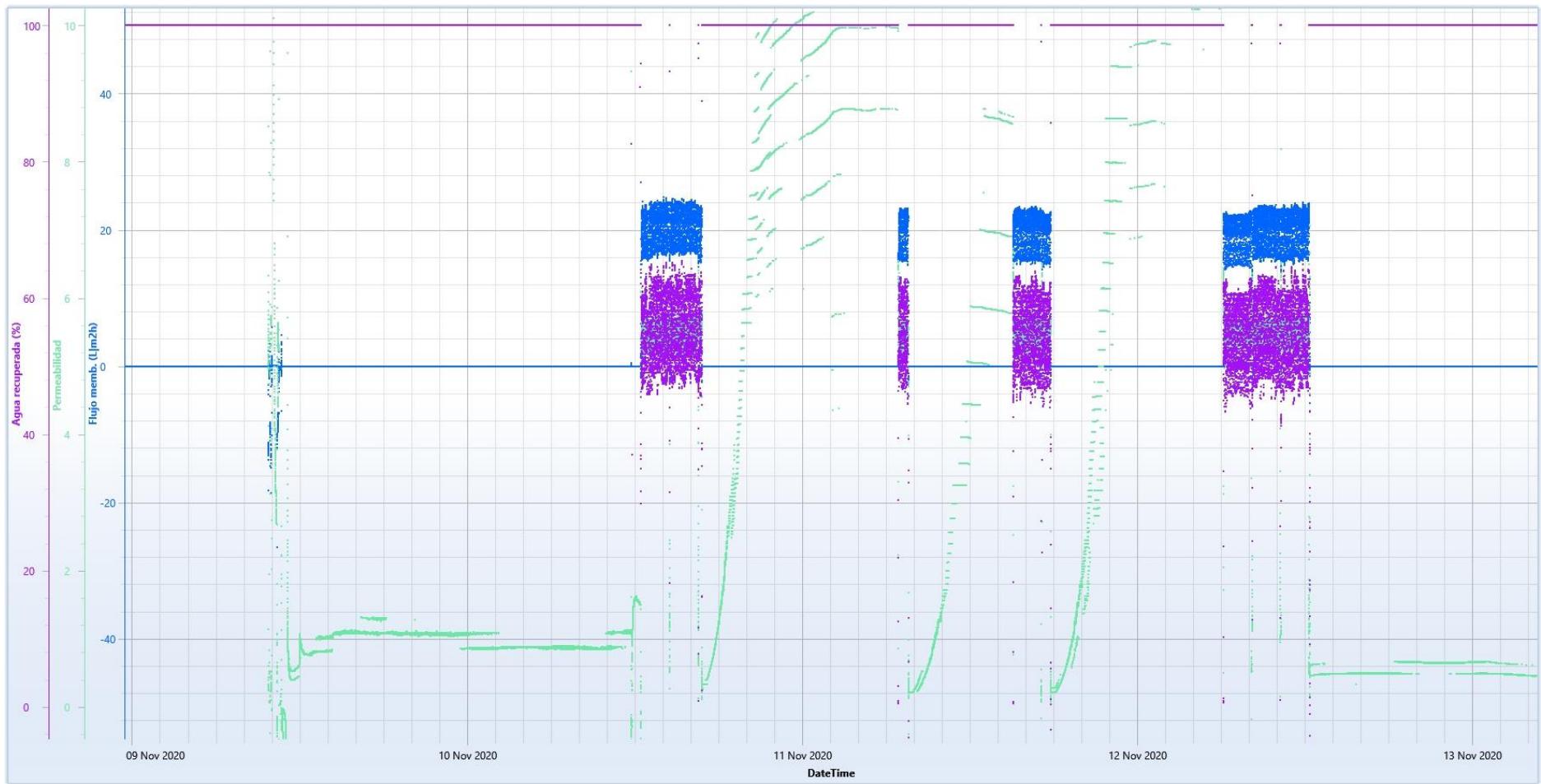
## **TEST 4 – GRÁFICA 6**



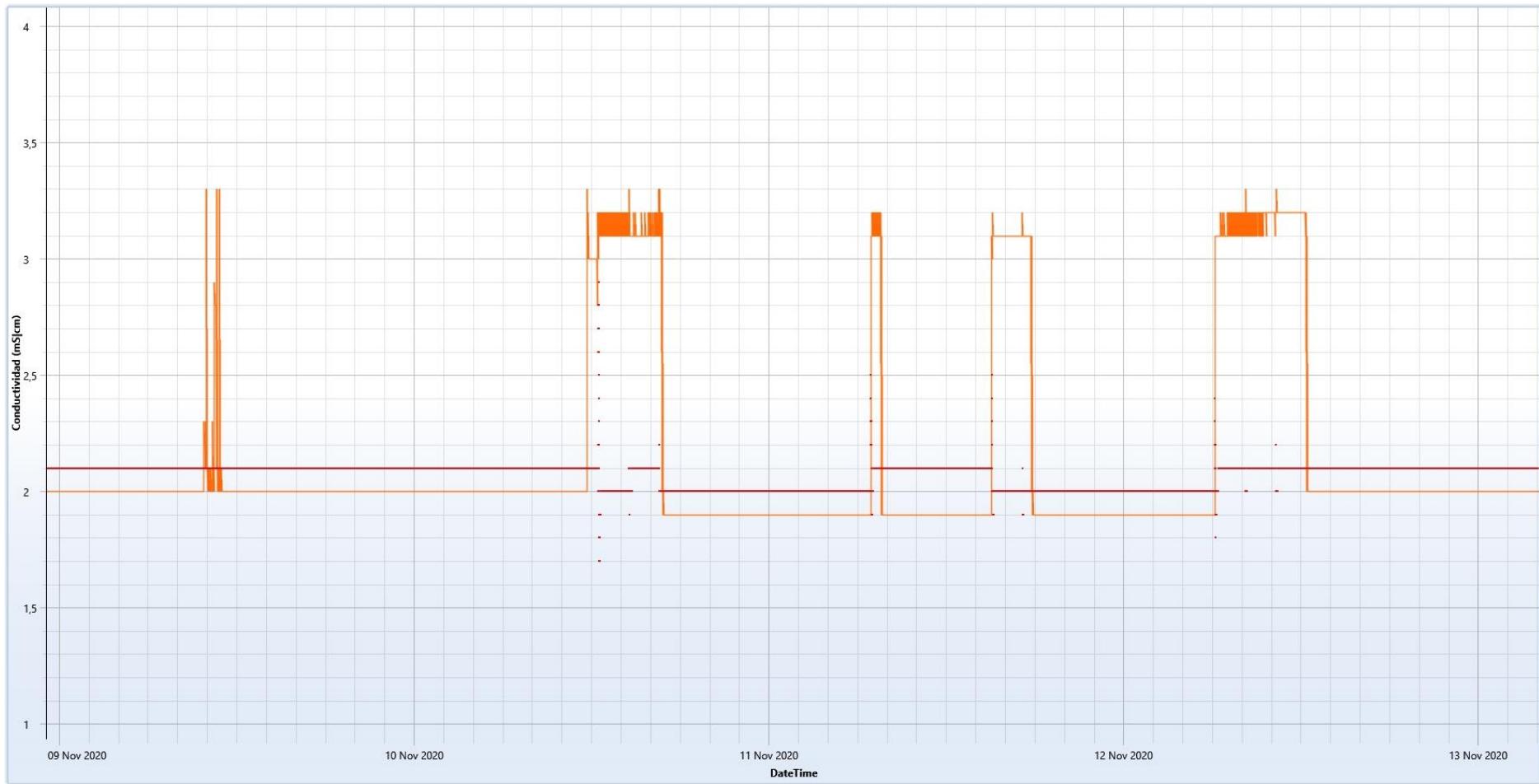
## TEST 5 – GRÁFICA 1



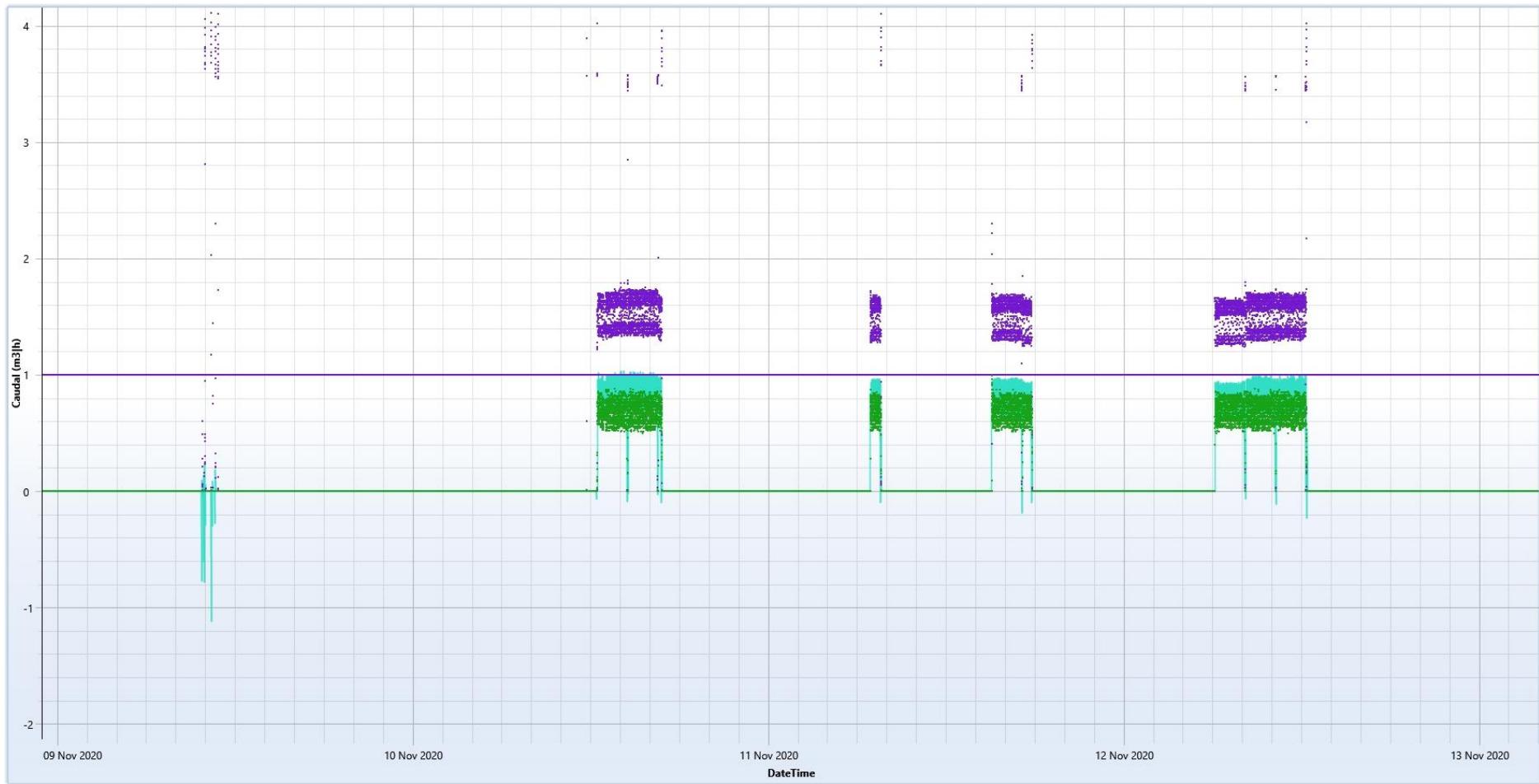
## TEST 5 – GRÁFICA 2



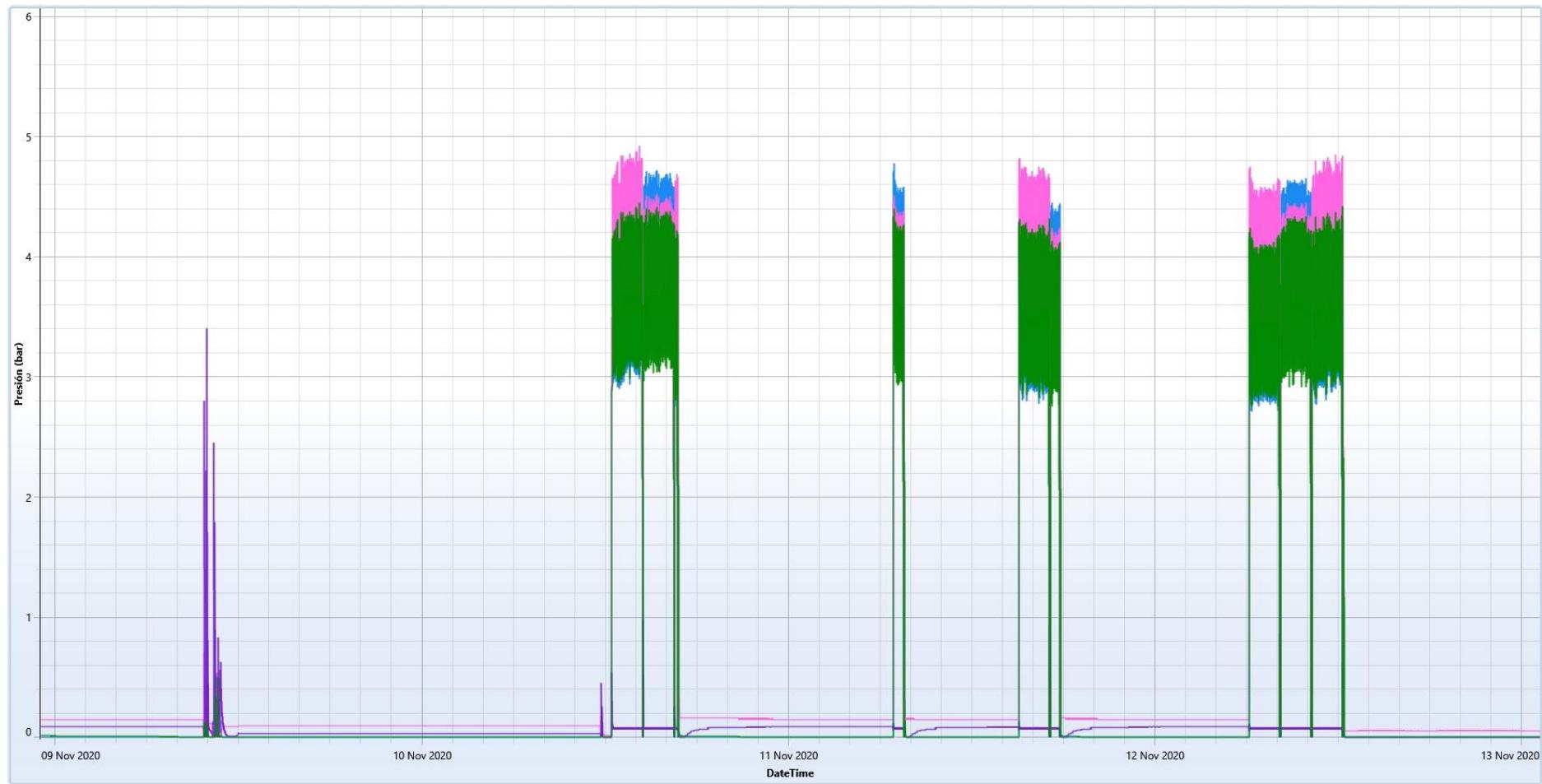
## TEST 5 – GRÁFICA 3



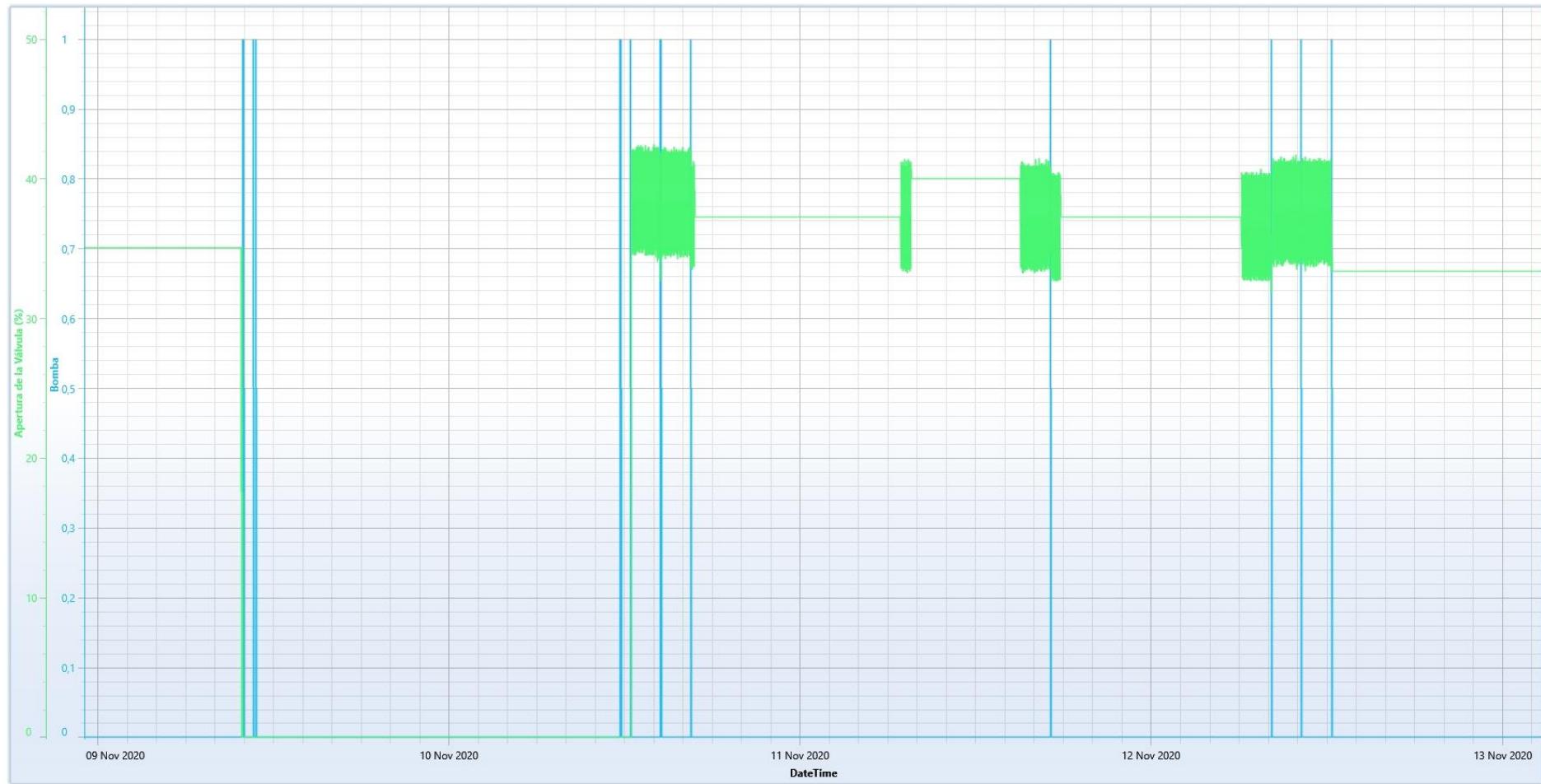
## **TEST 5 – GRÁFICA 4**



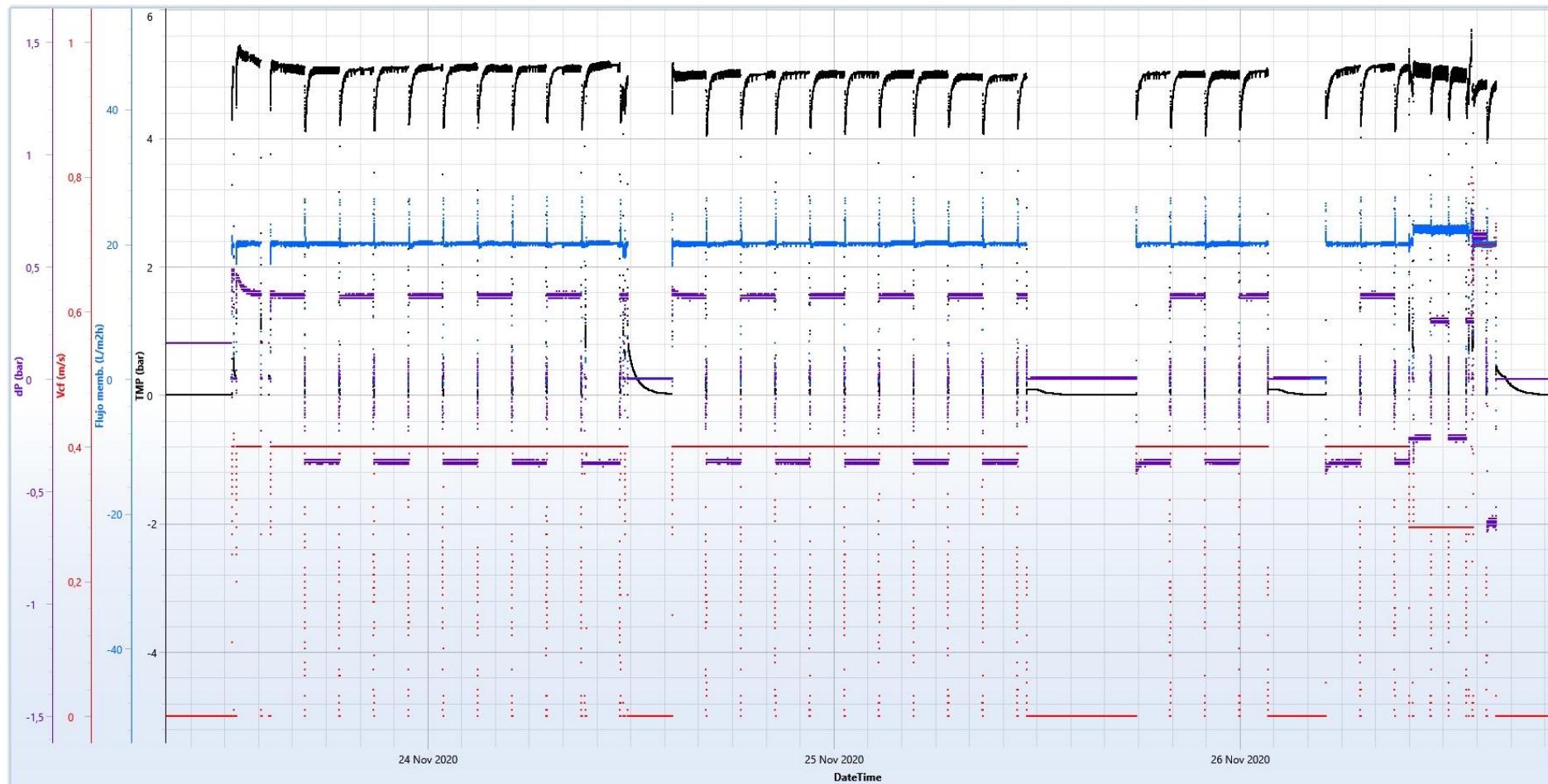
## TEST 5 – GRÁFICA 5



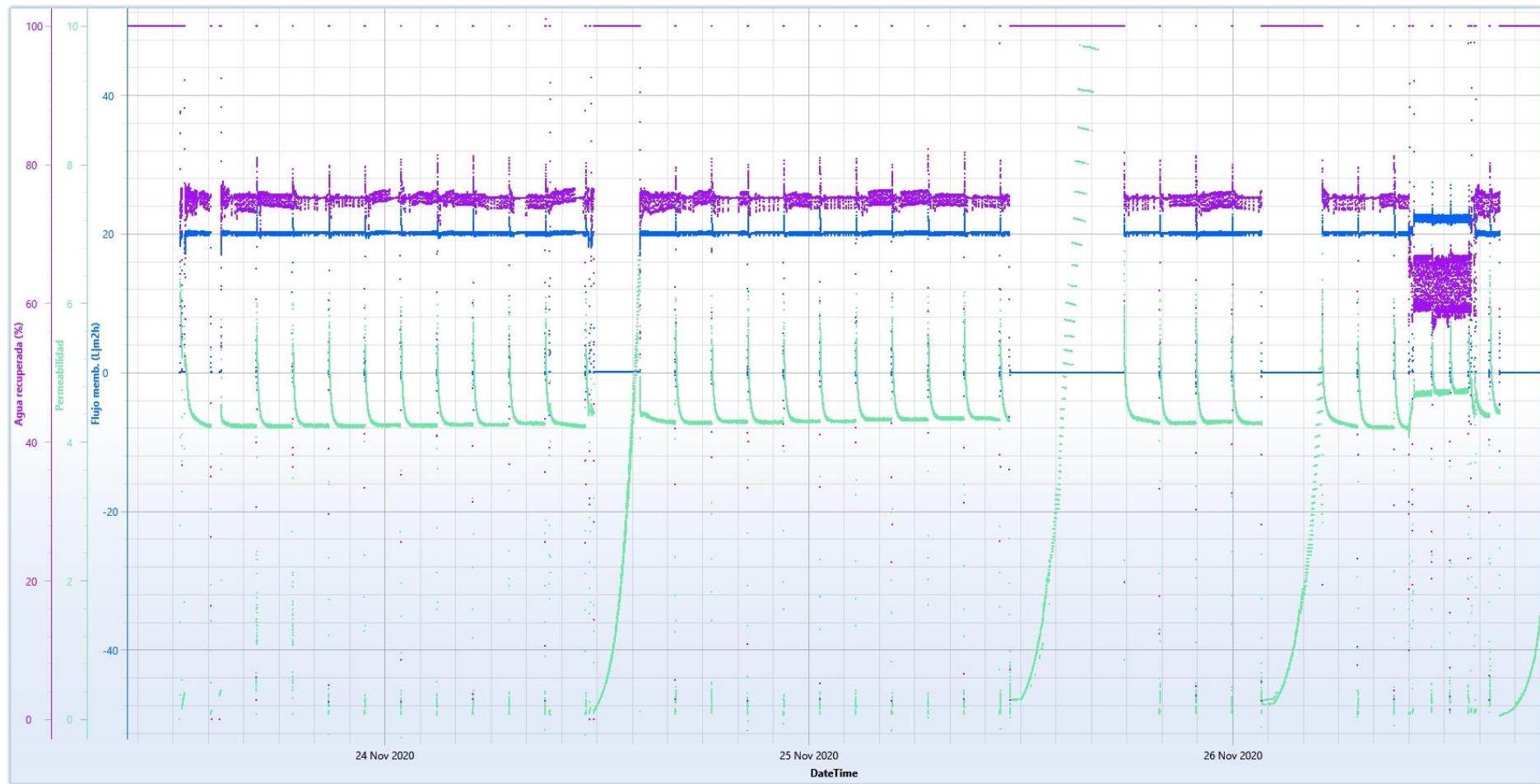
## TEST 5 – GRÁFICA 6



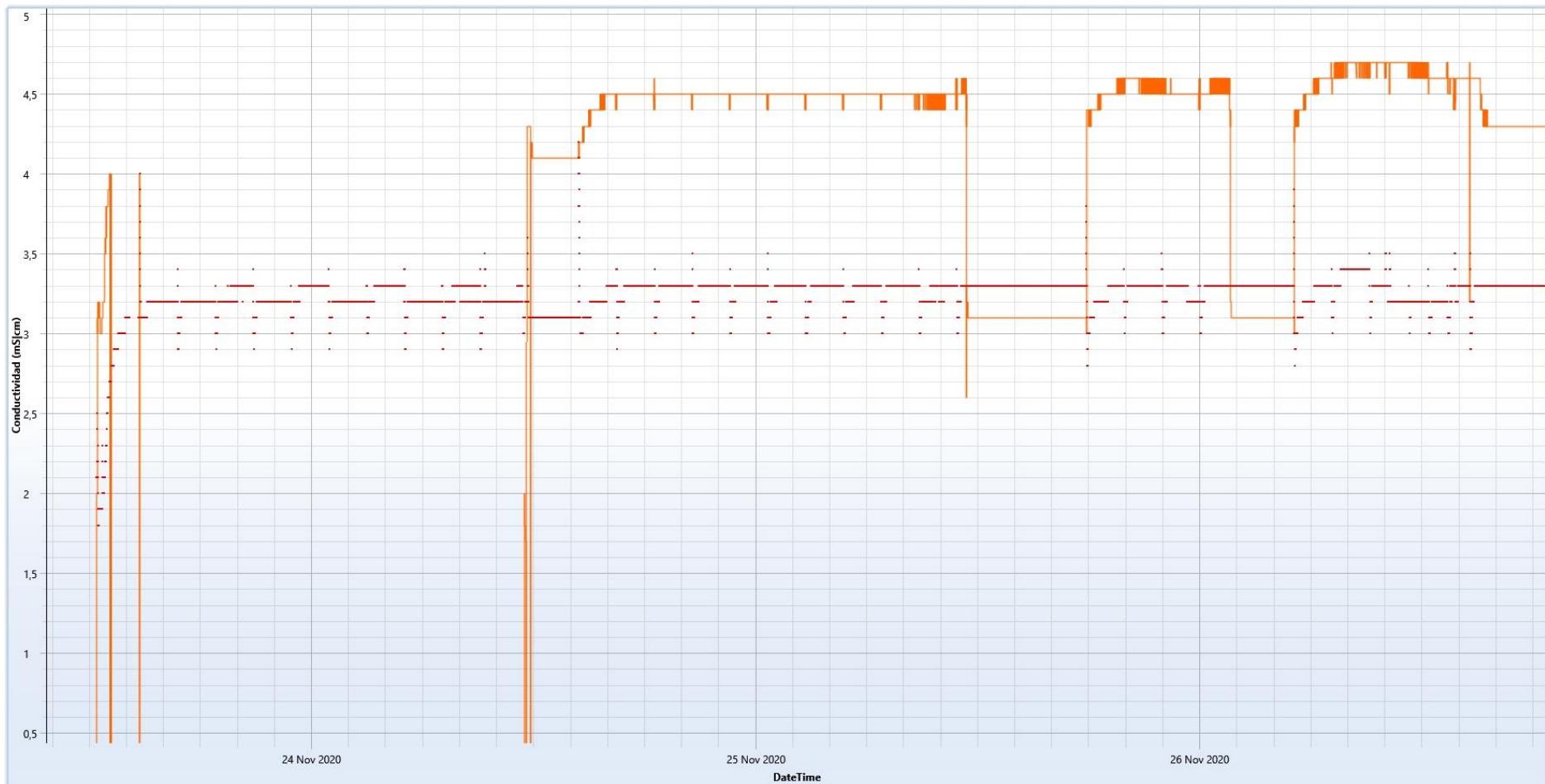
## TEST 6 – GRÁFICA 1



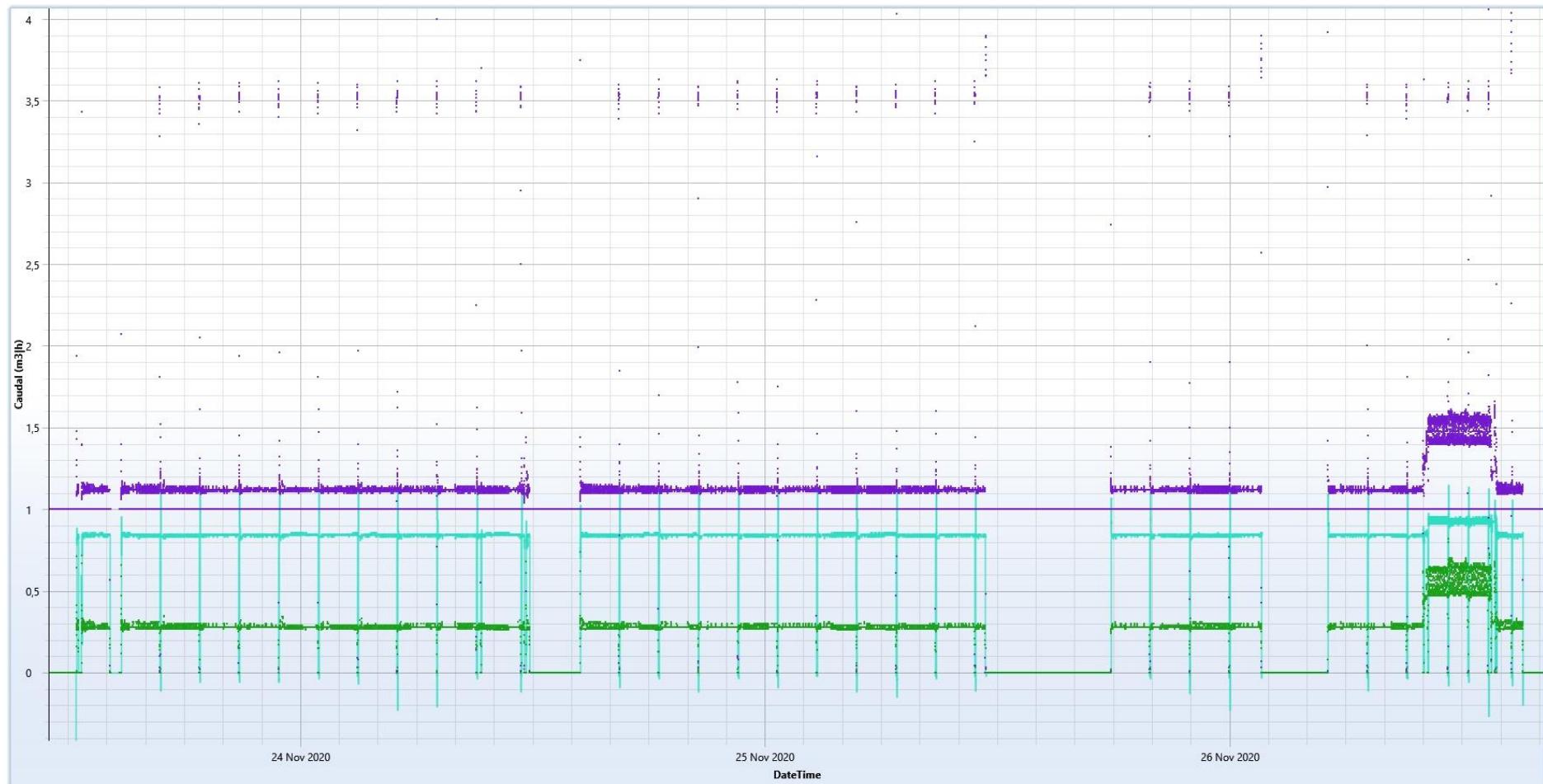
## TEST 6 – GRÁFICA 2



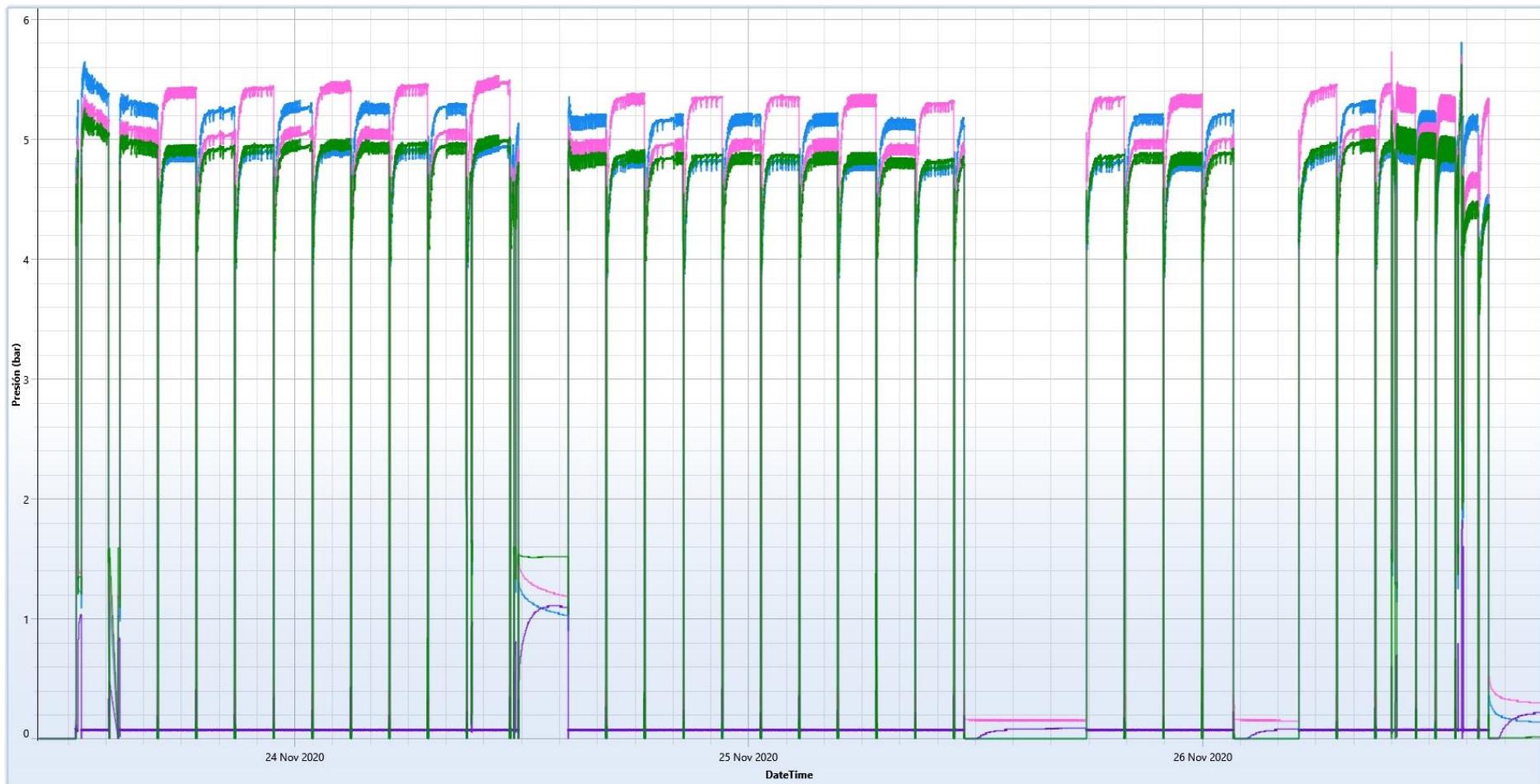
## **TEST 6 – GRÁFICA 3**



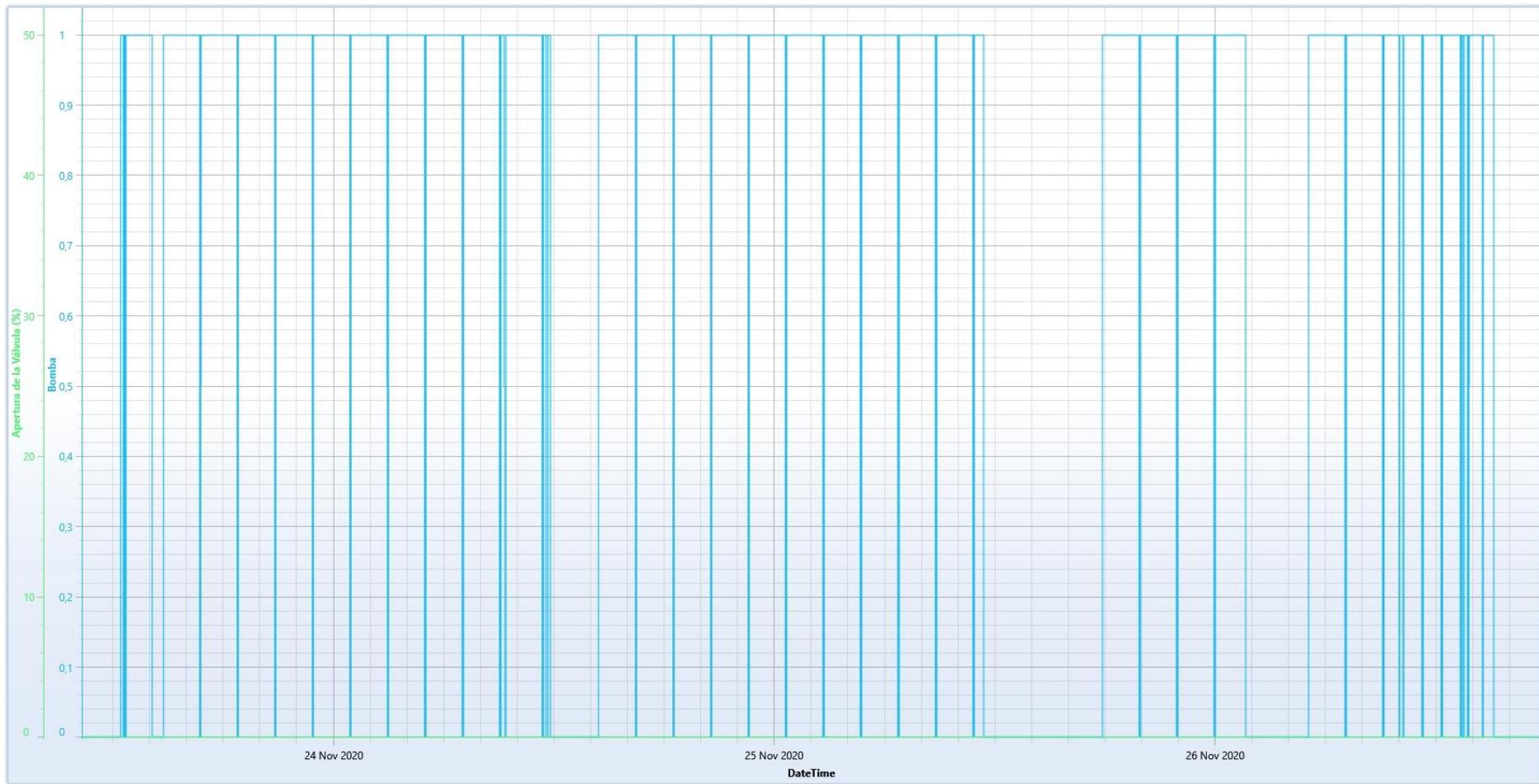
## **TEST 6 – GRÁFICA 4**



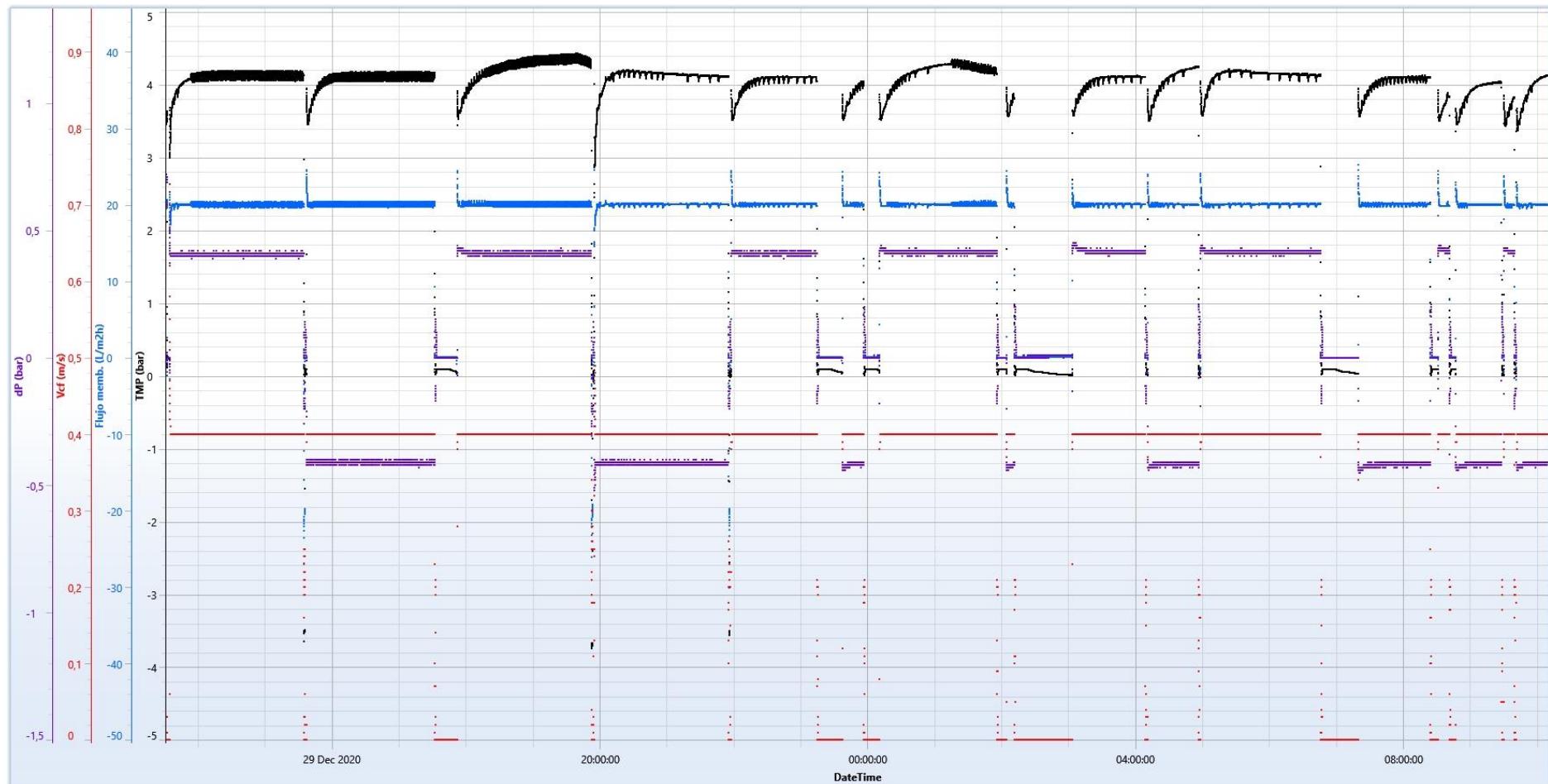
## TEST 6 – GRÁFICA 5



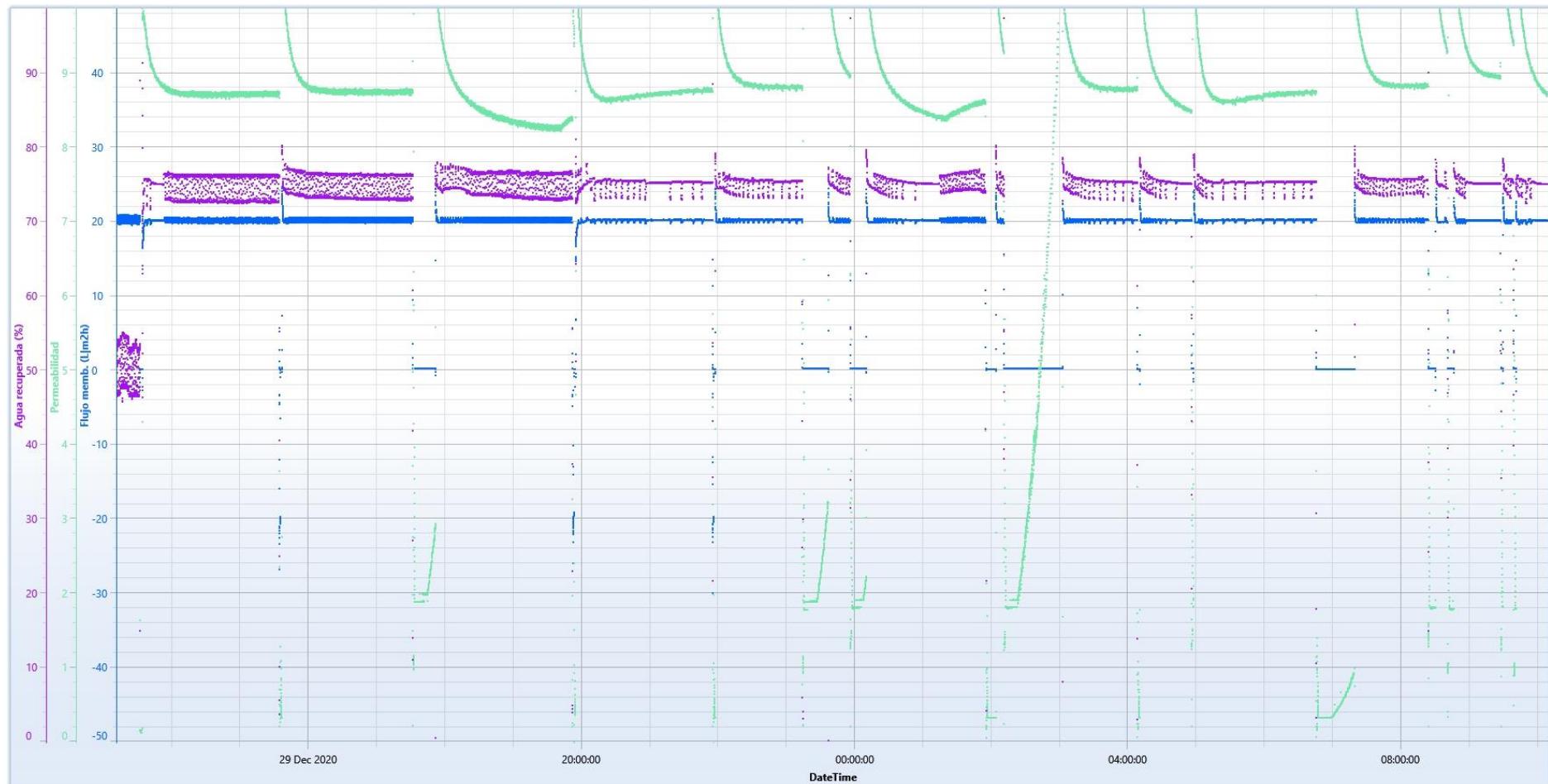
## **TEST 6 – GRÁFICA 6**



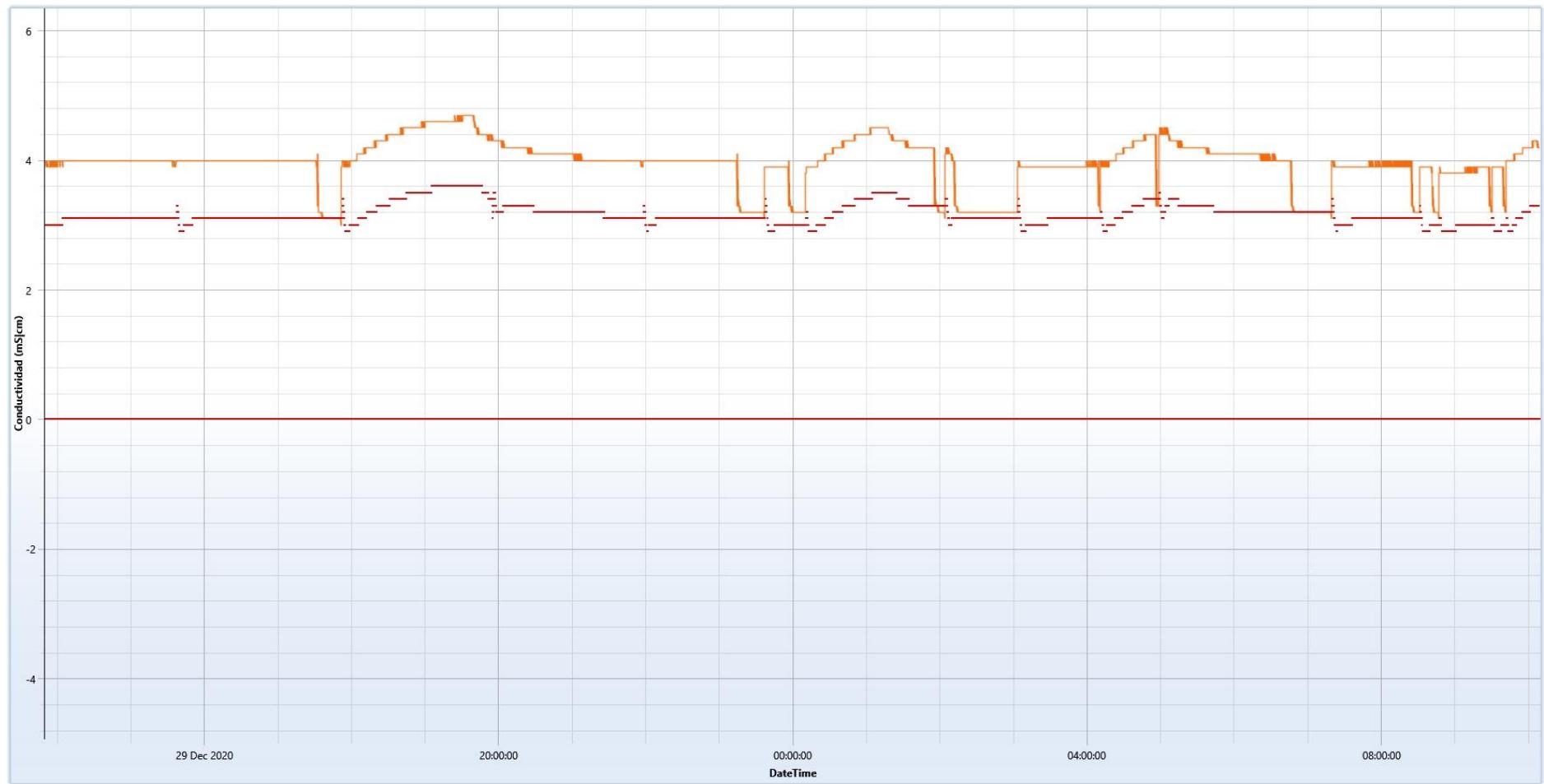
## TEST 7 – GRÁFICA 1



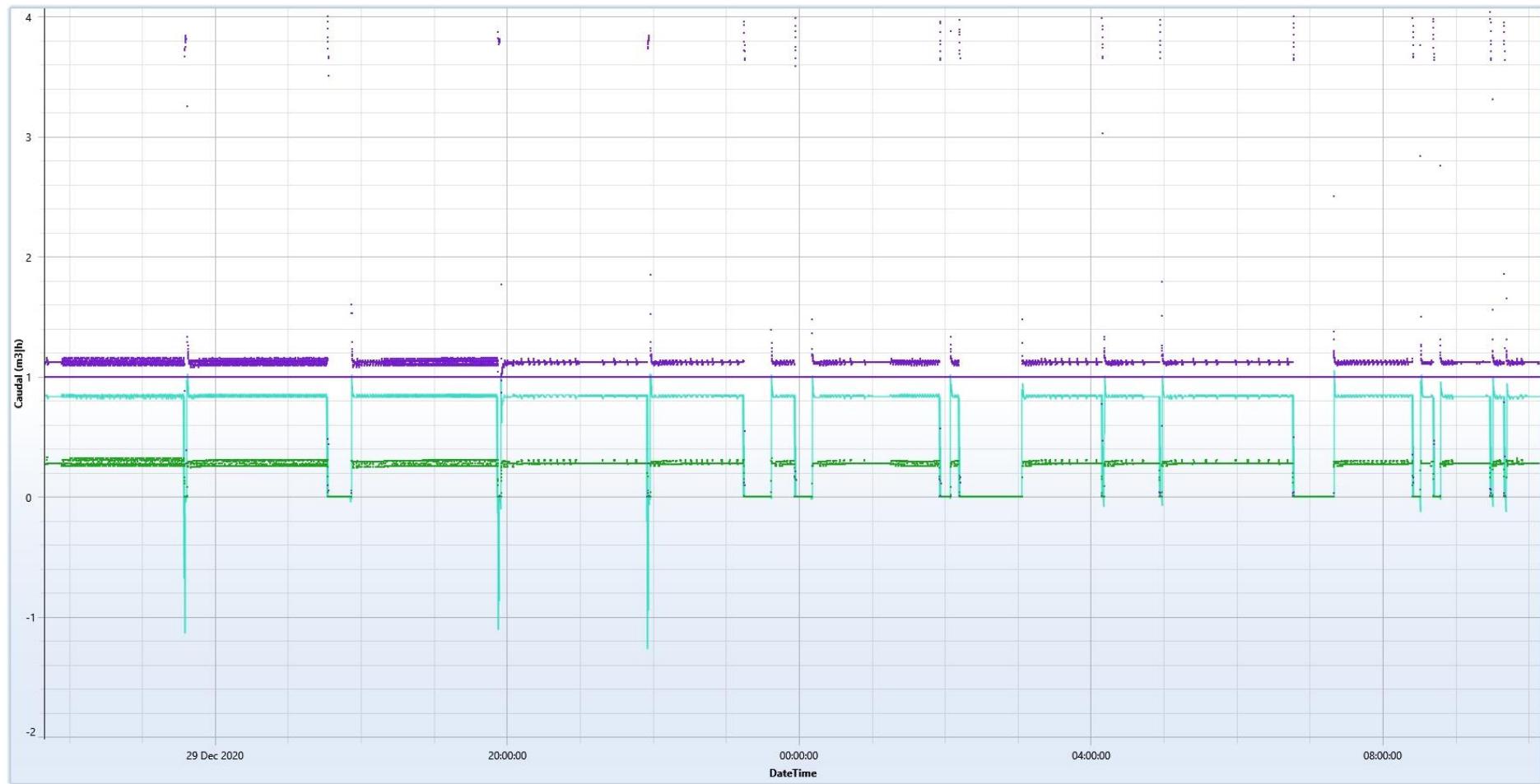
## TEST 7 – GRÁFICA 2



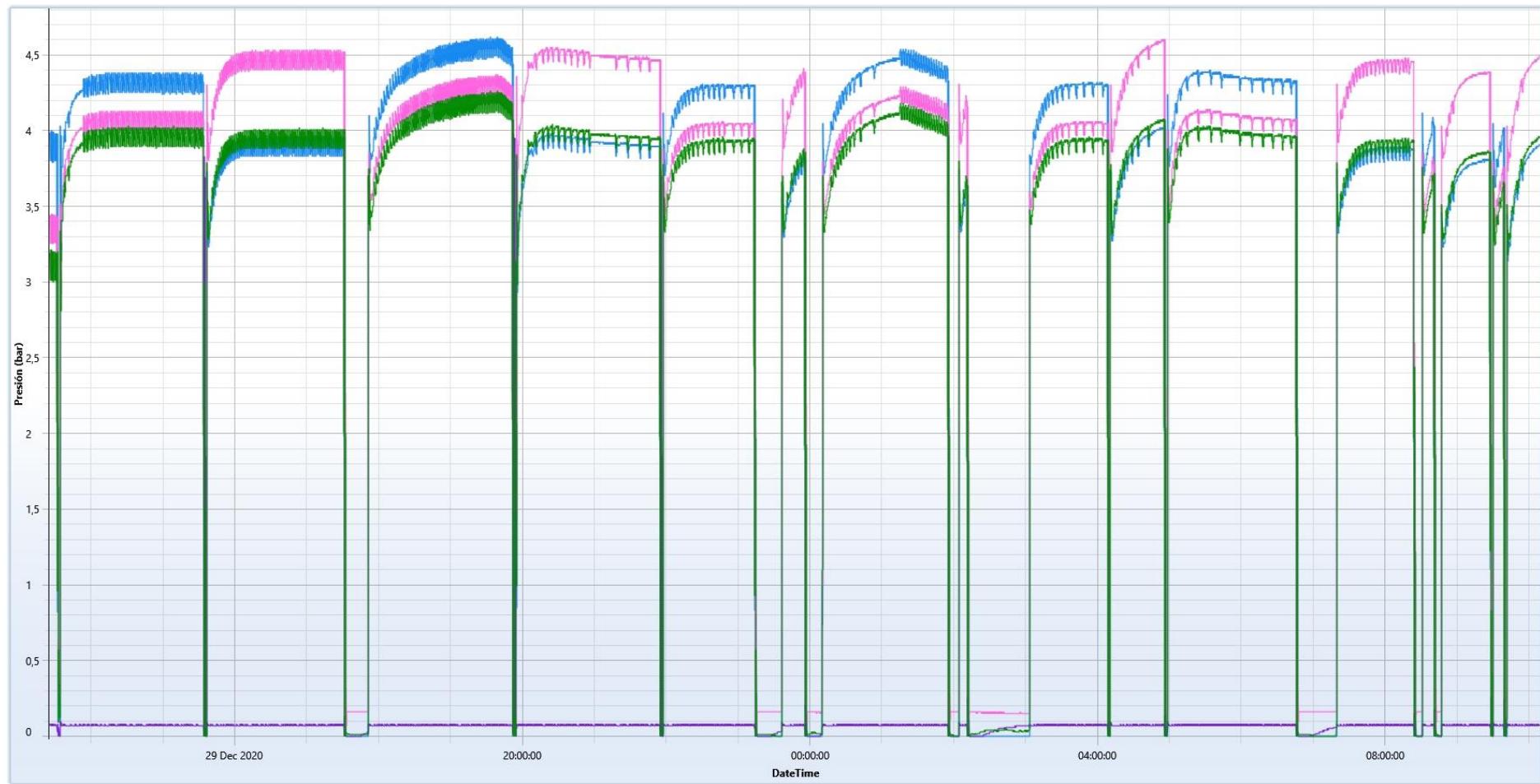
## **TEST 7 – GRÁFICA 3**



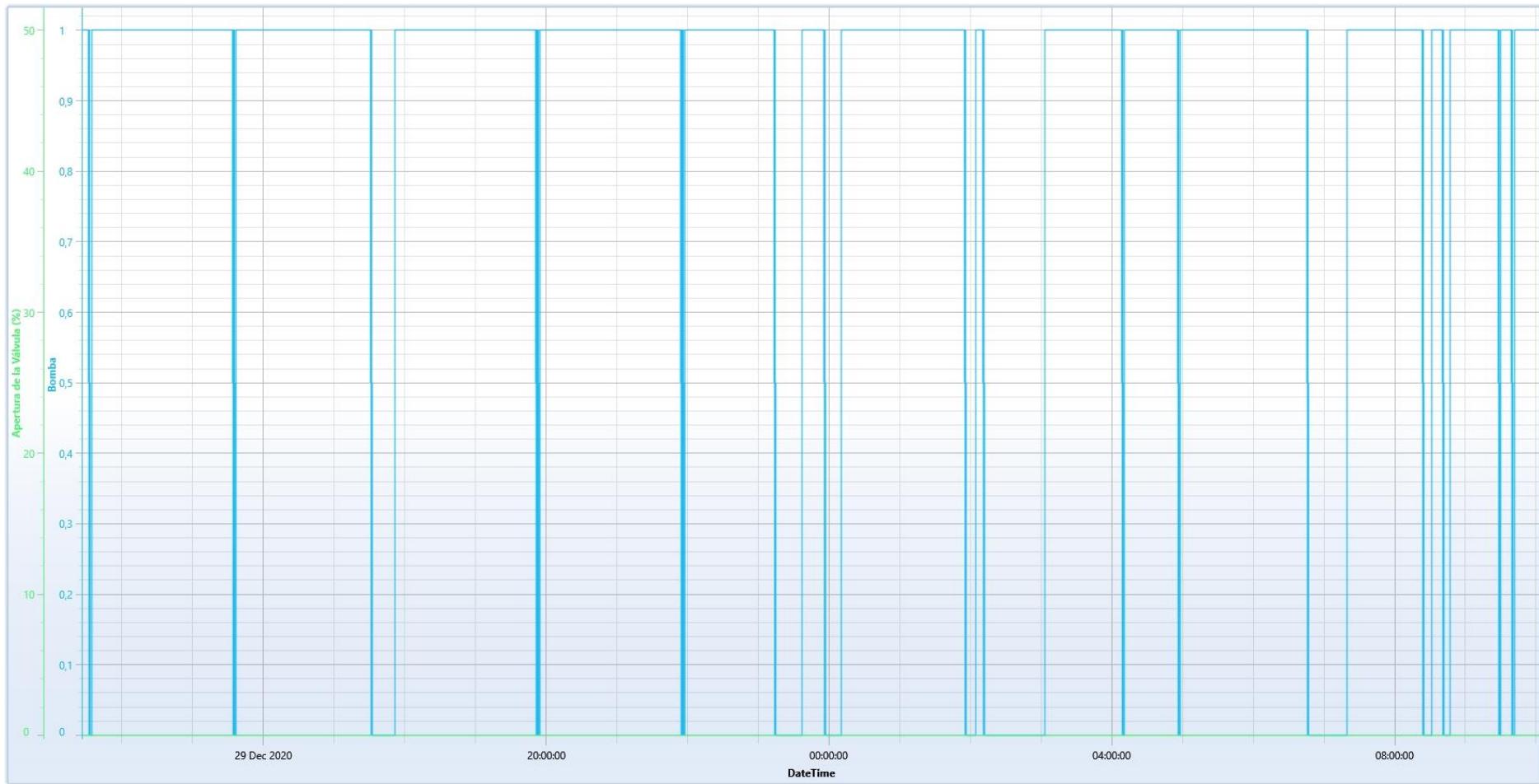
## **TEST 7 – GRÁFICA 4**



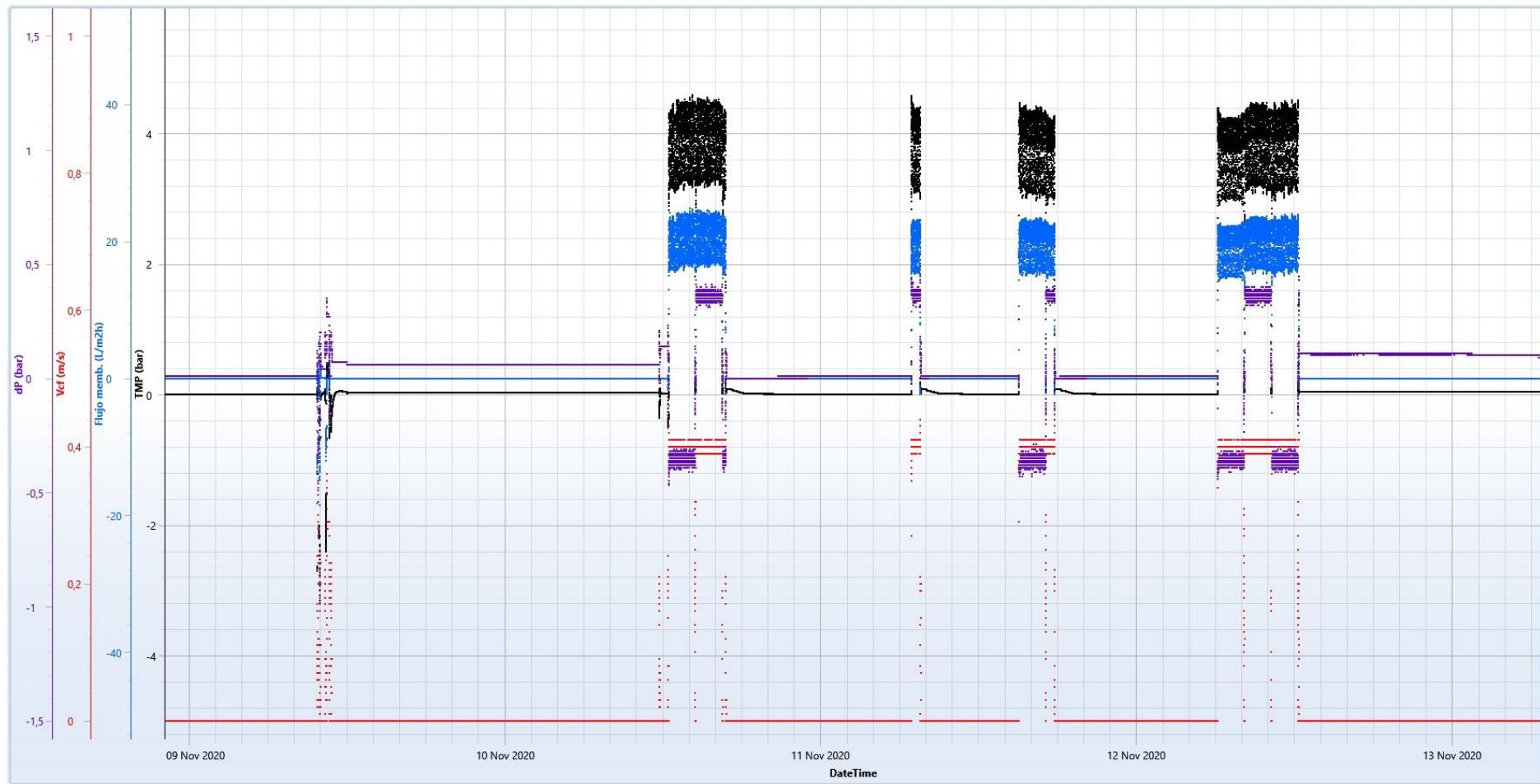
## TEST 7 – GRÁFICA 5



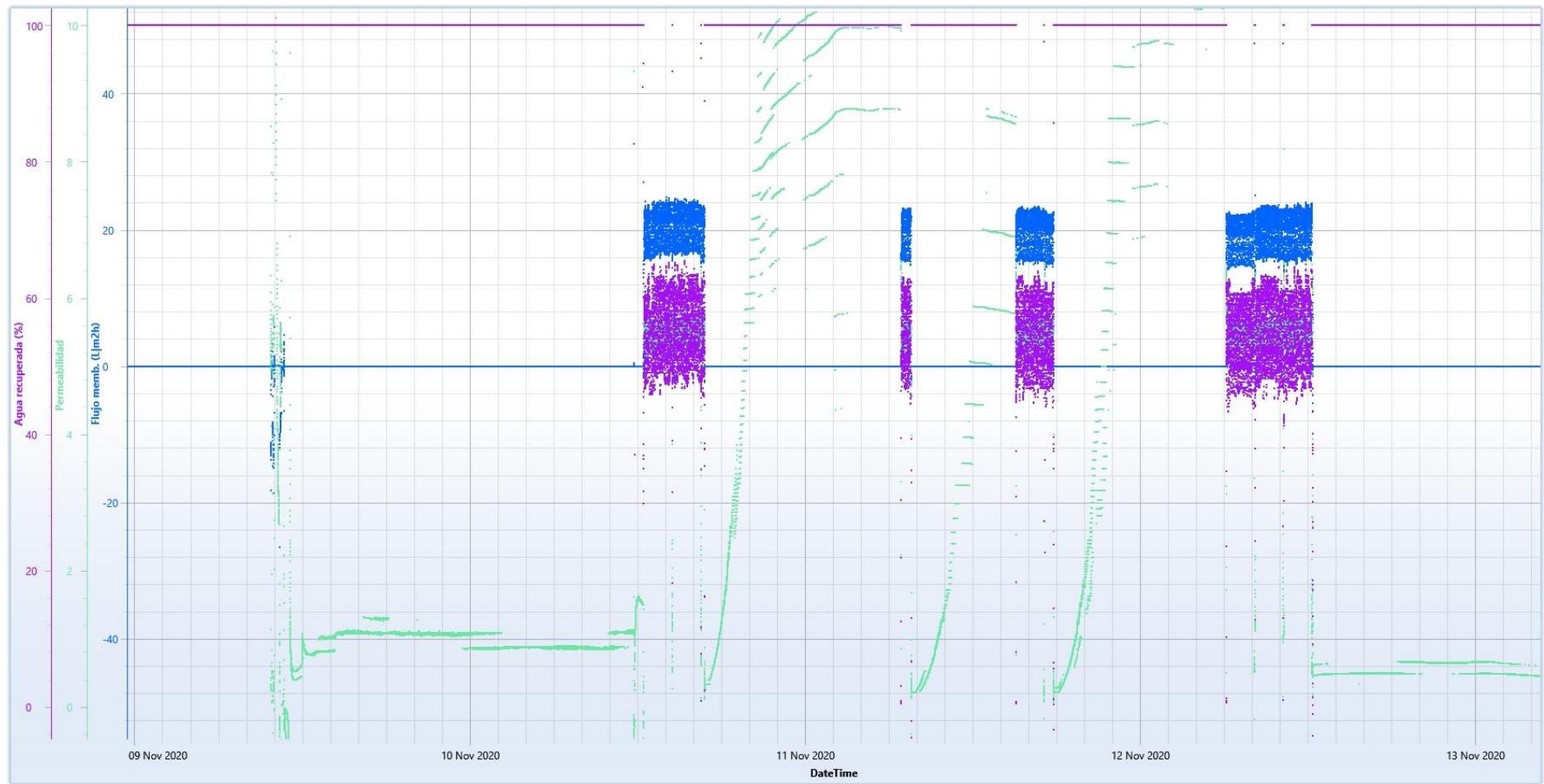
## **TEST 7 – GRÁFICA 6**



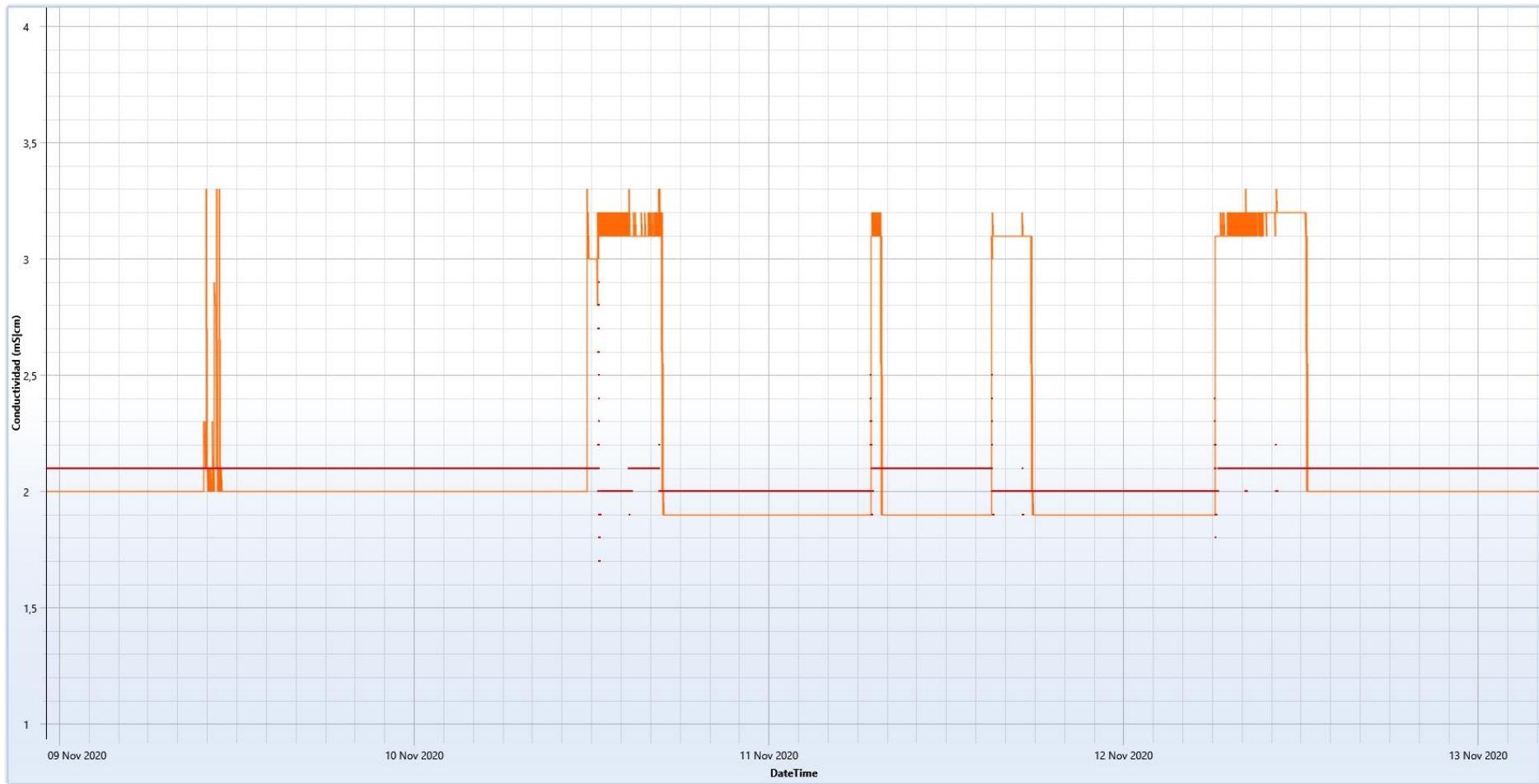
## TEST 8 – GRÁFICA 1



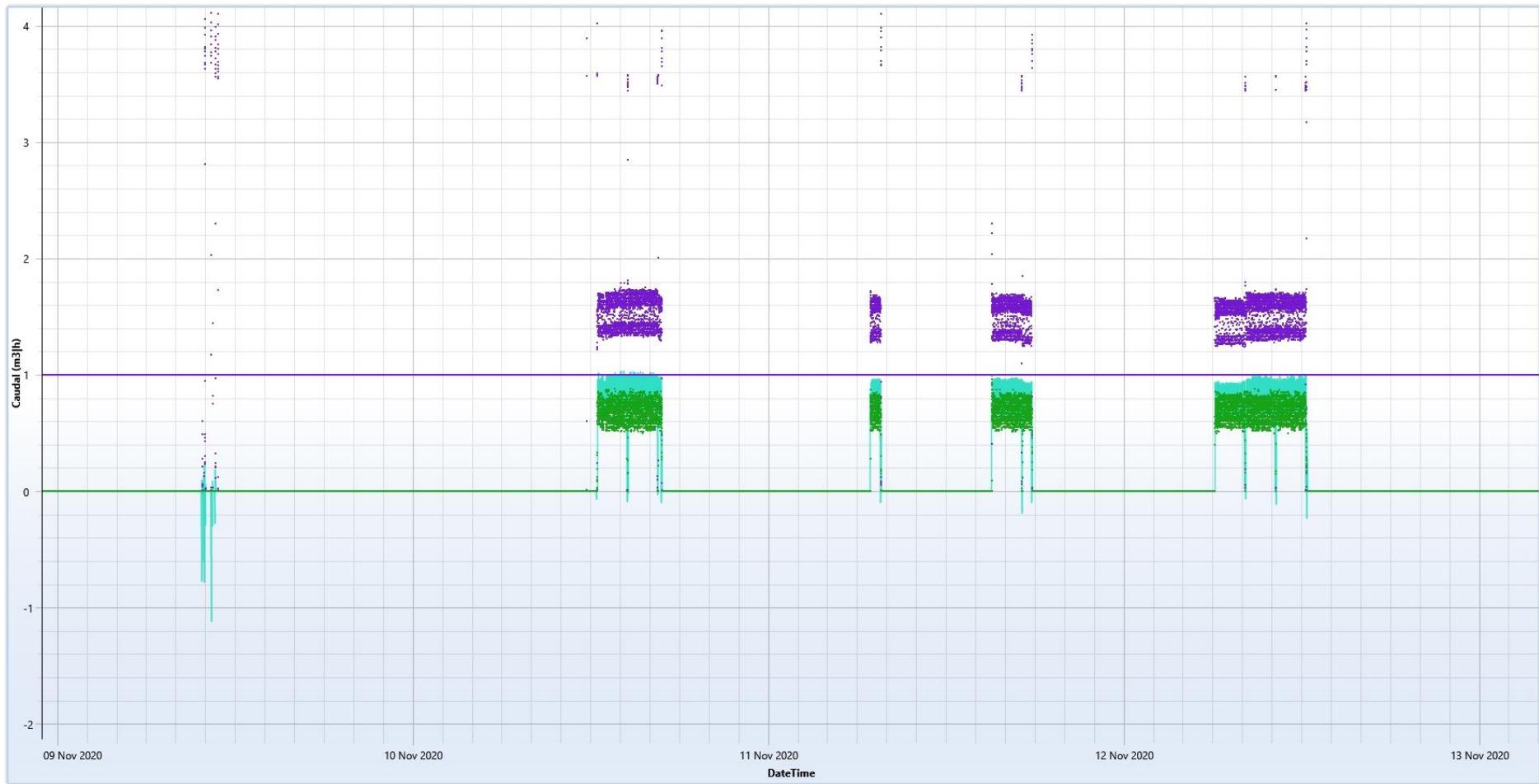
## TEST 8 – GRÁFICA 2



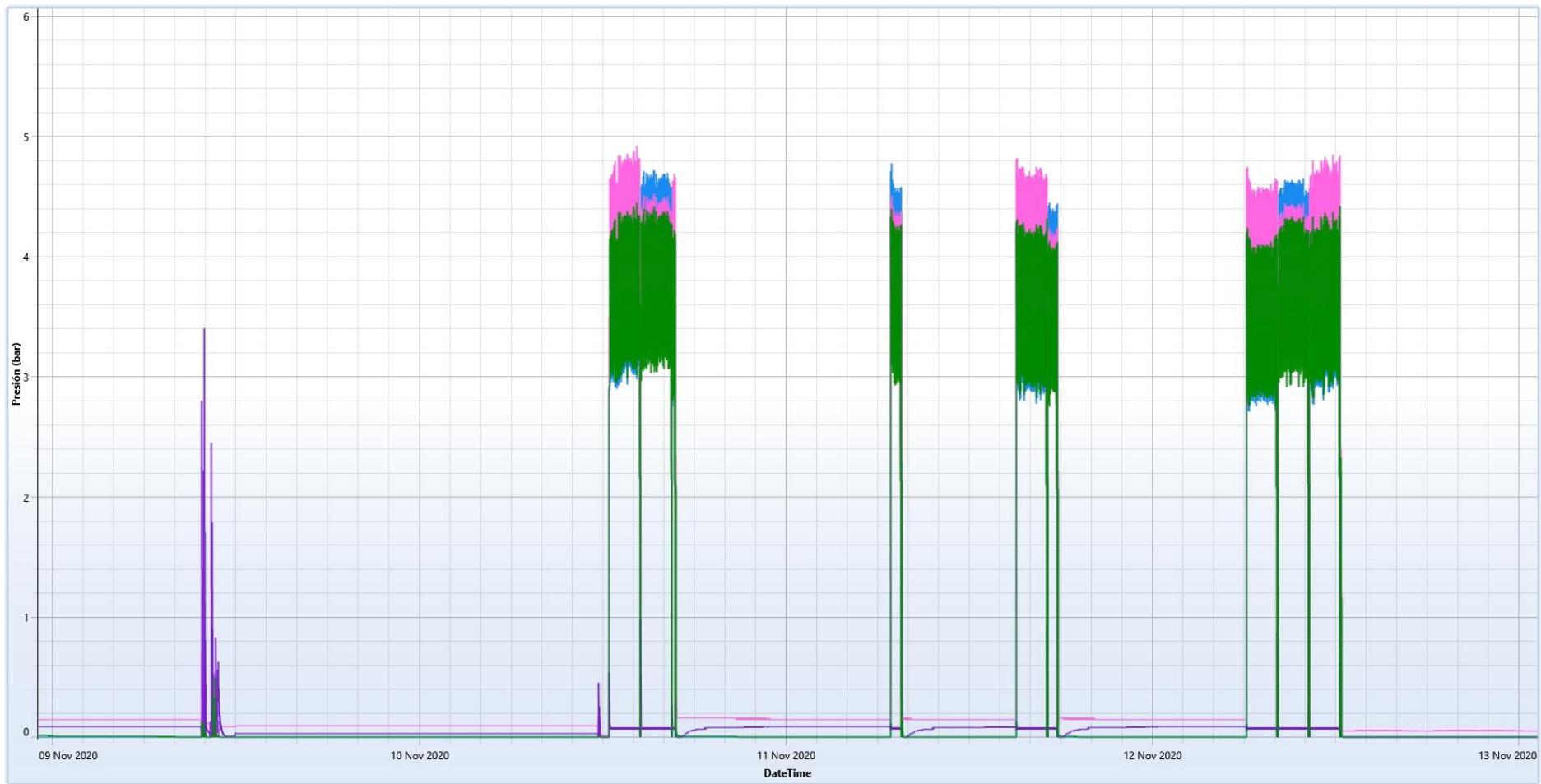
## **TEST 8 – GRÁFICA 3**



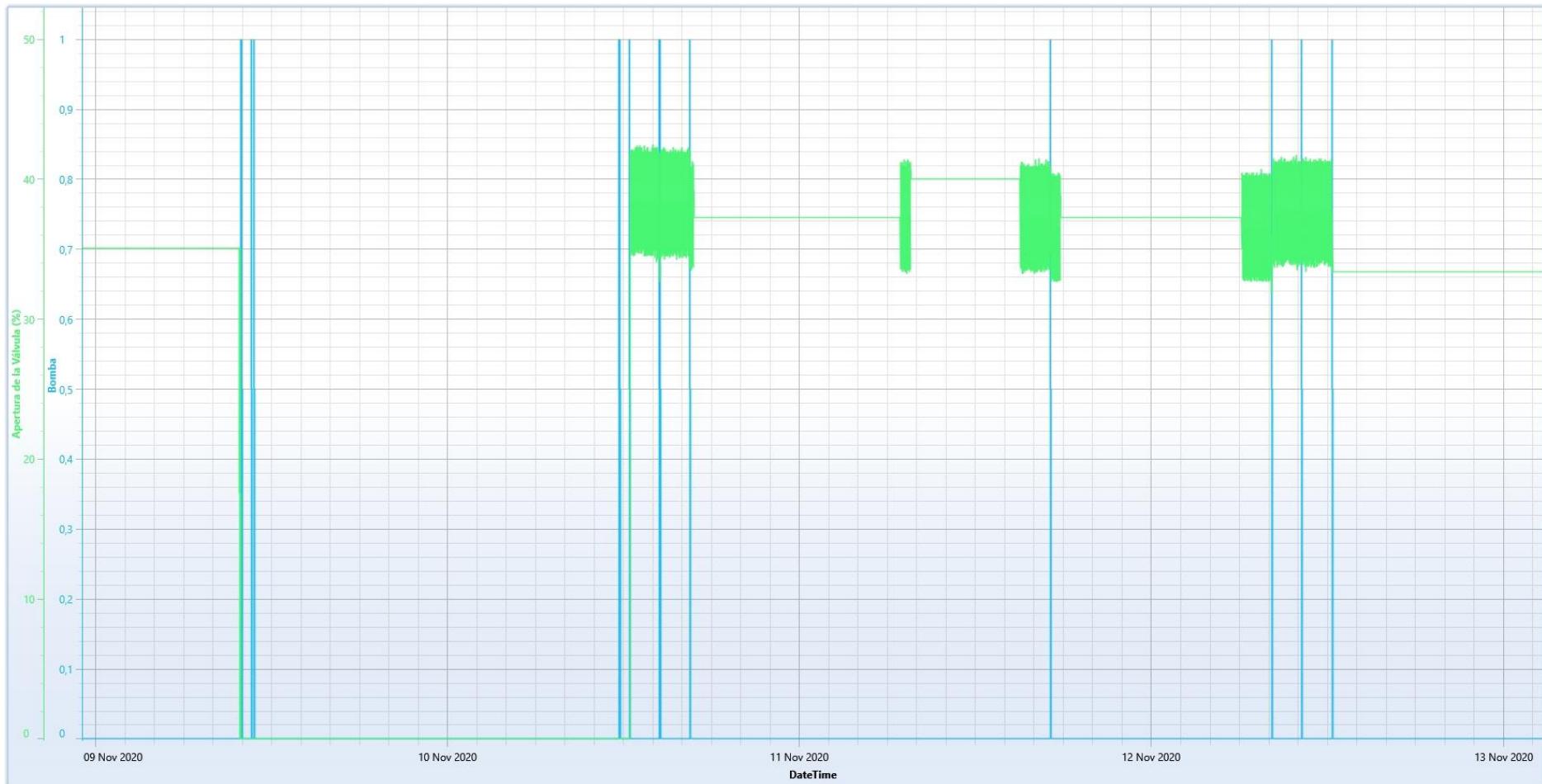
## **TEST 8 – GRÁFICA 4**



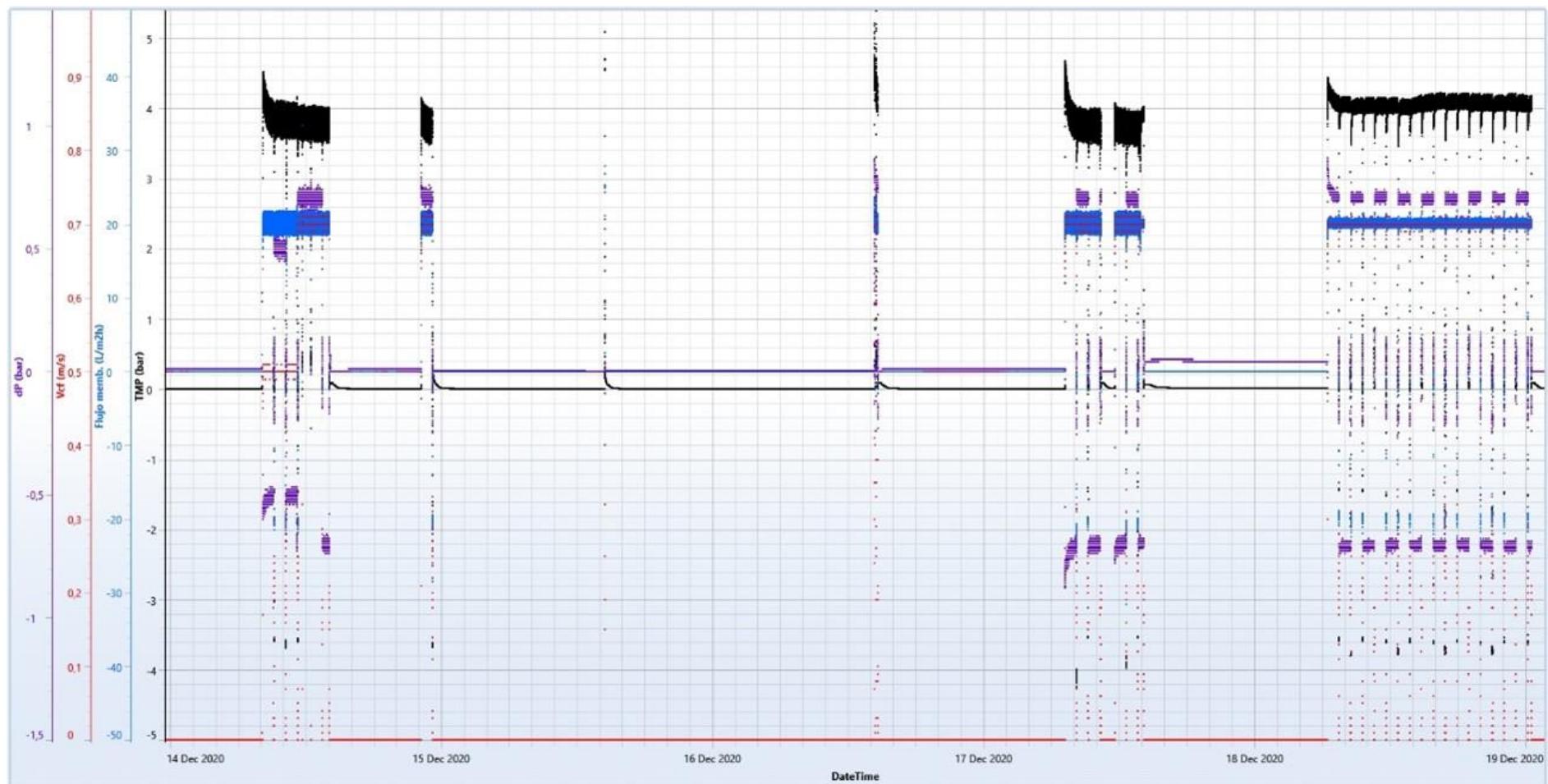
## TEST 8 – GRÁFICA 5



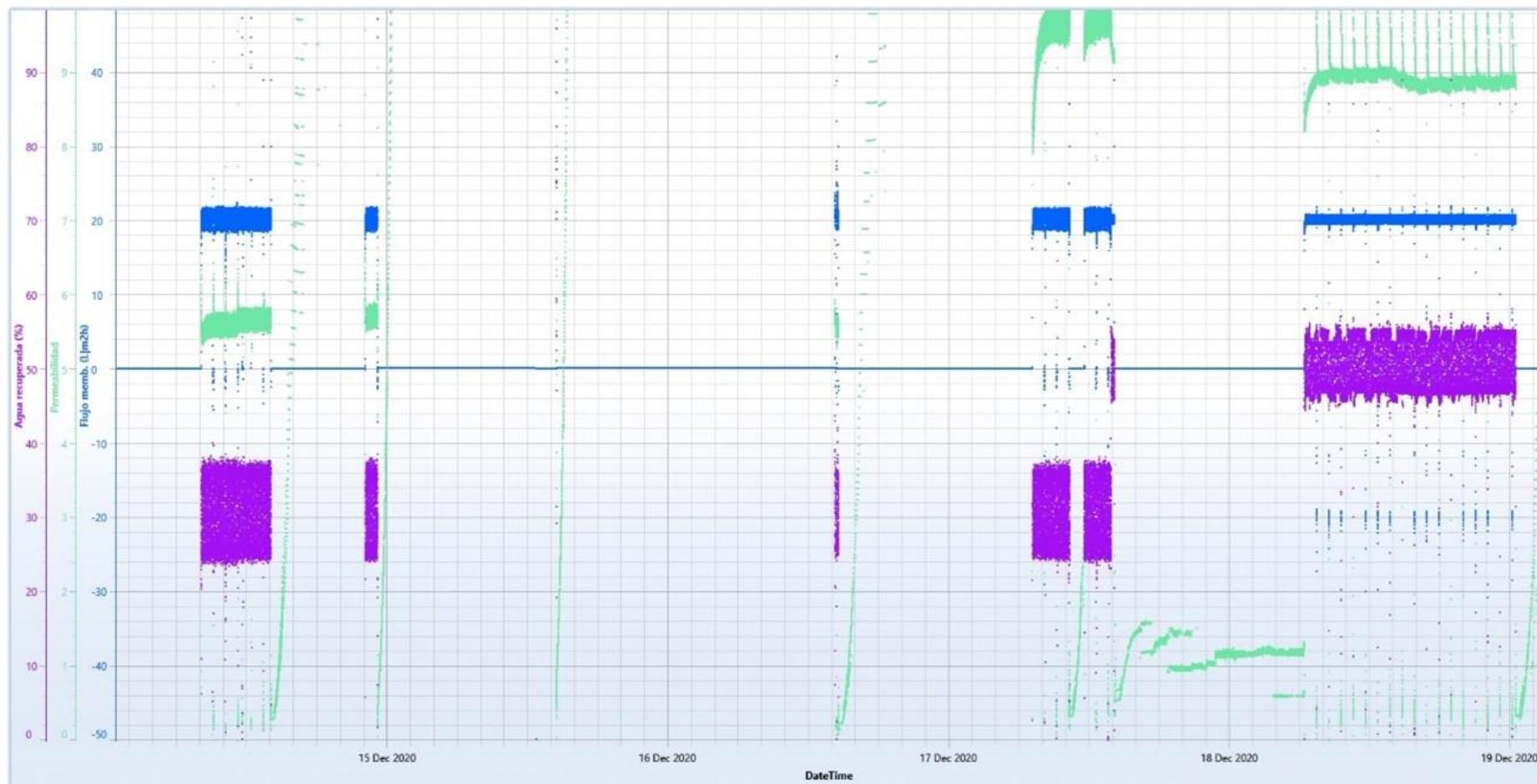
## **TEST 8 – GRÁFICA 6**



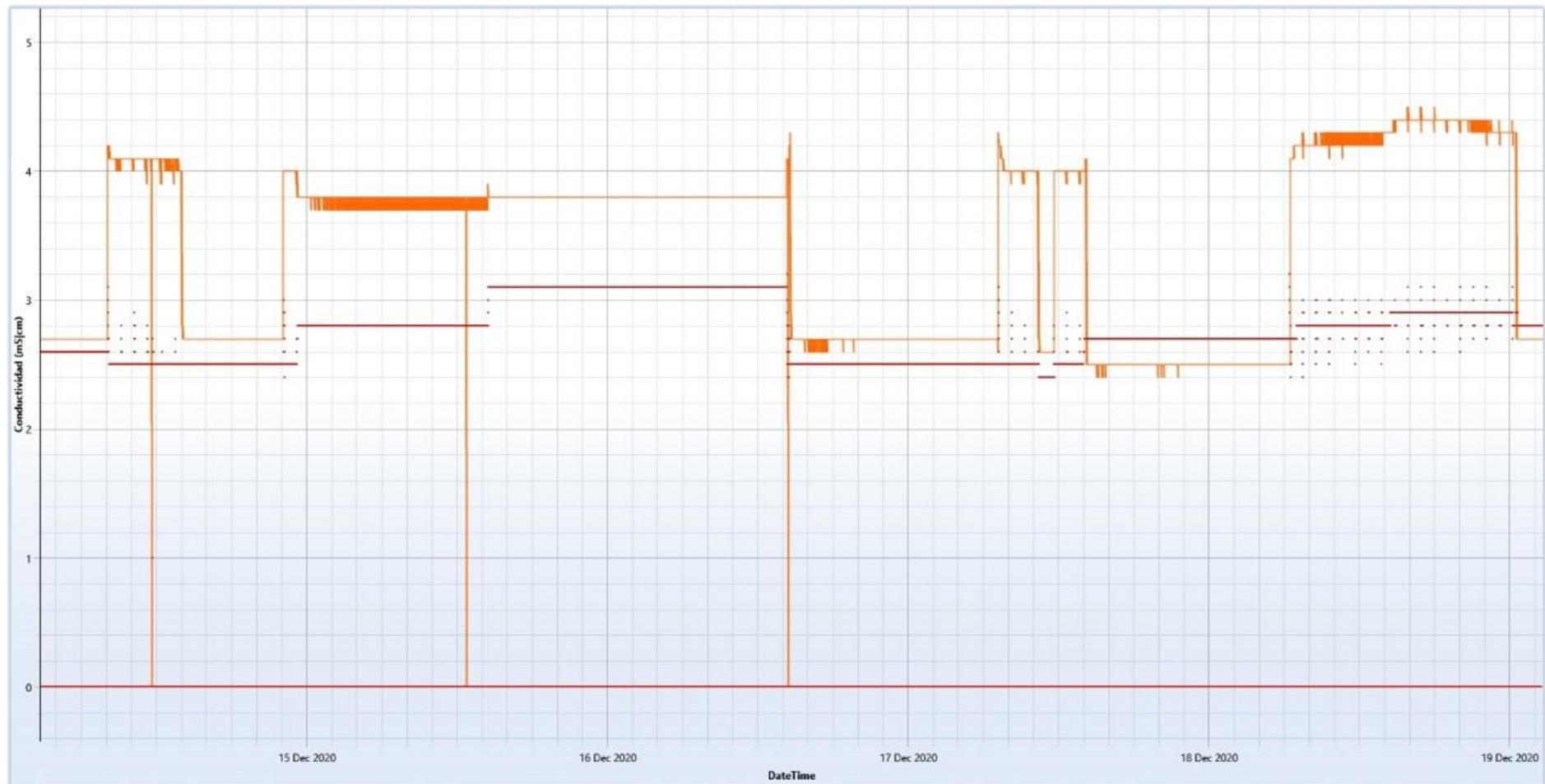
## TEST 9 – GRÁFICA 1



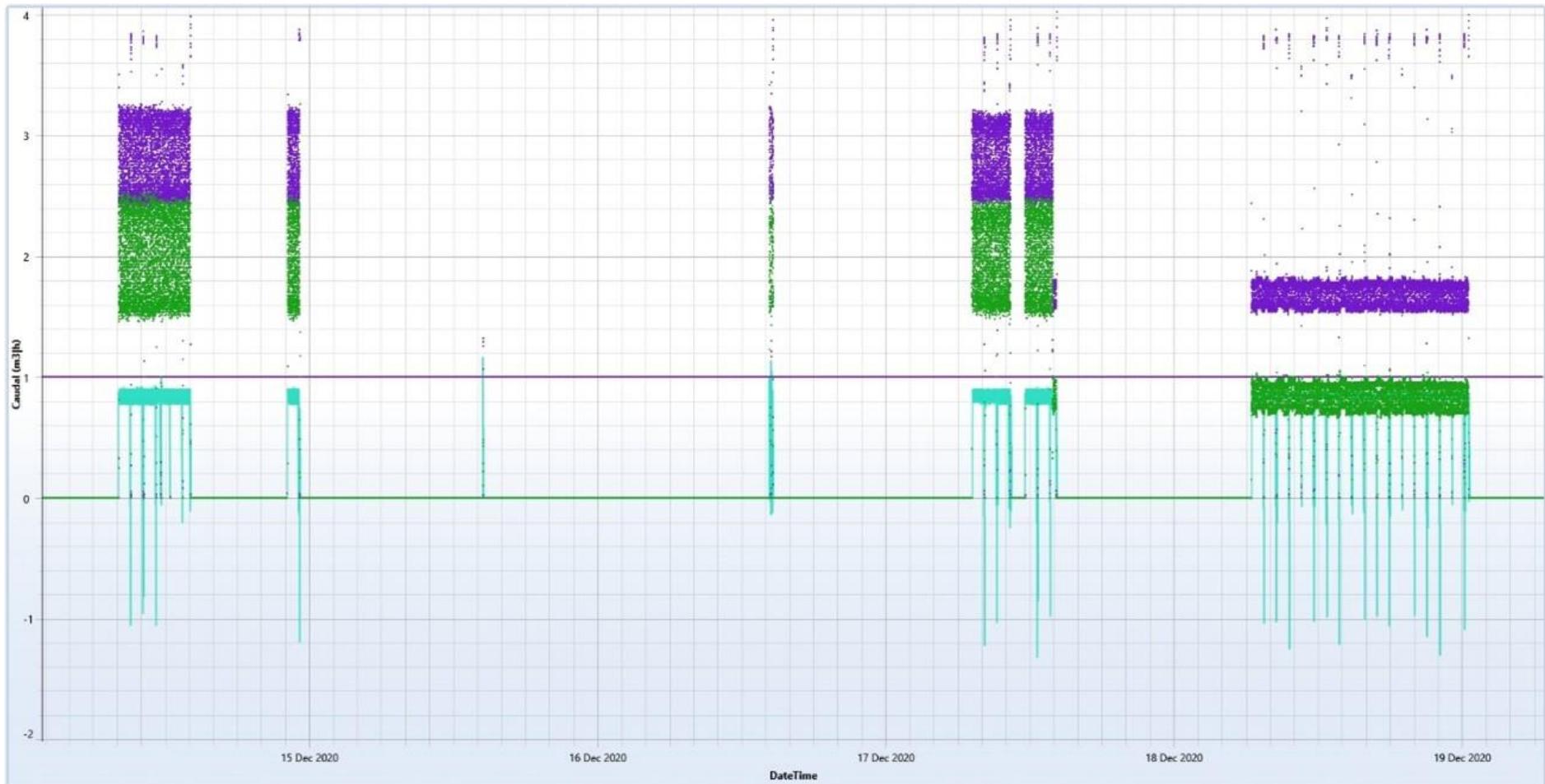
## TEST 9 – GRÁFICA 2



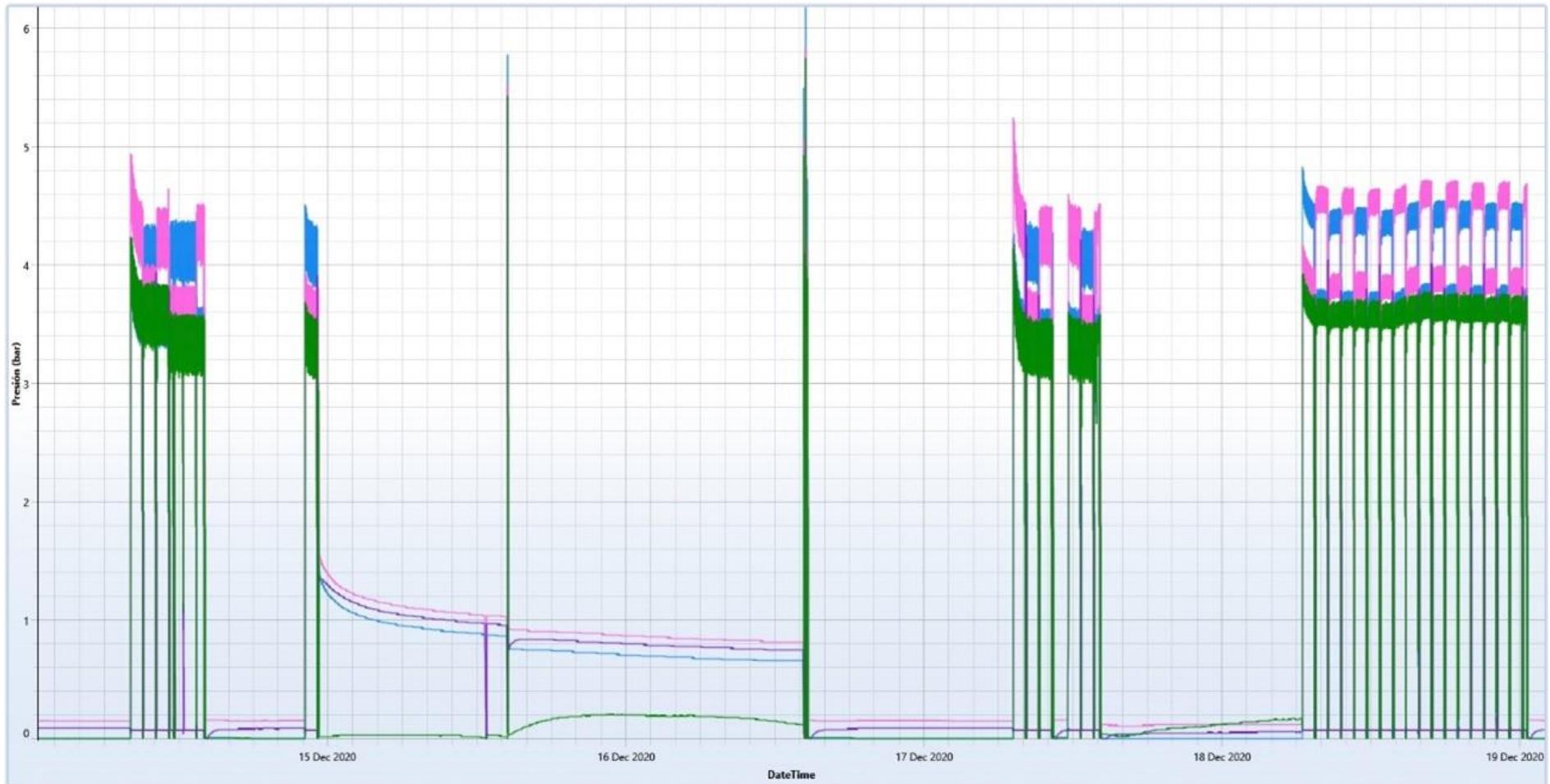
## TEST 9 – GRÁFICA 3



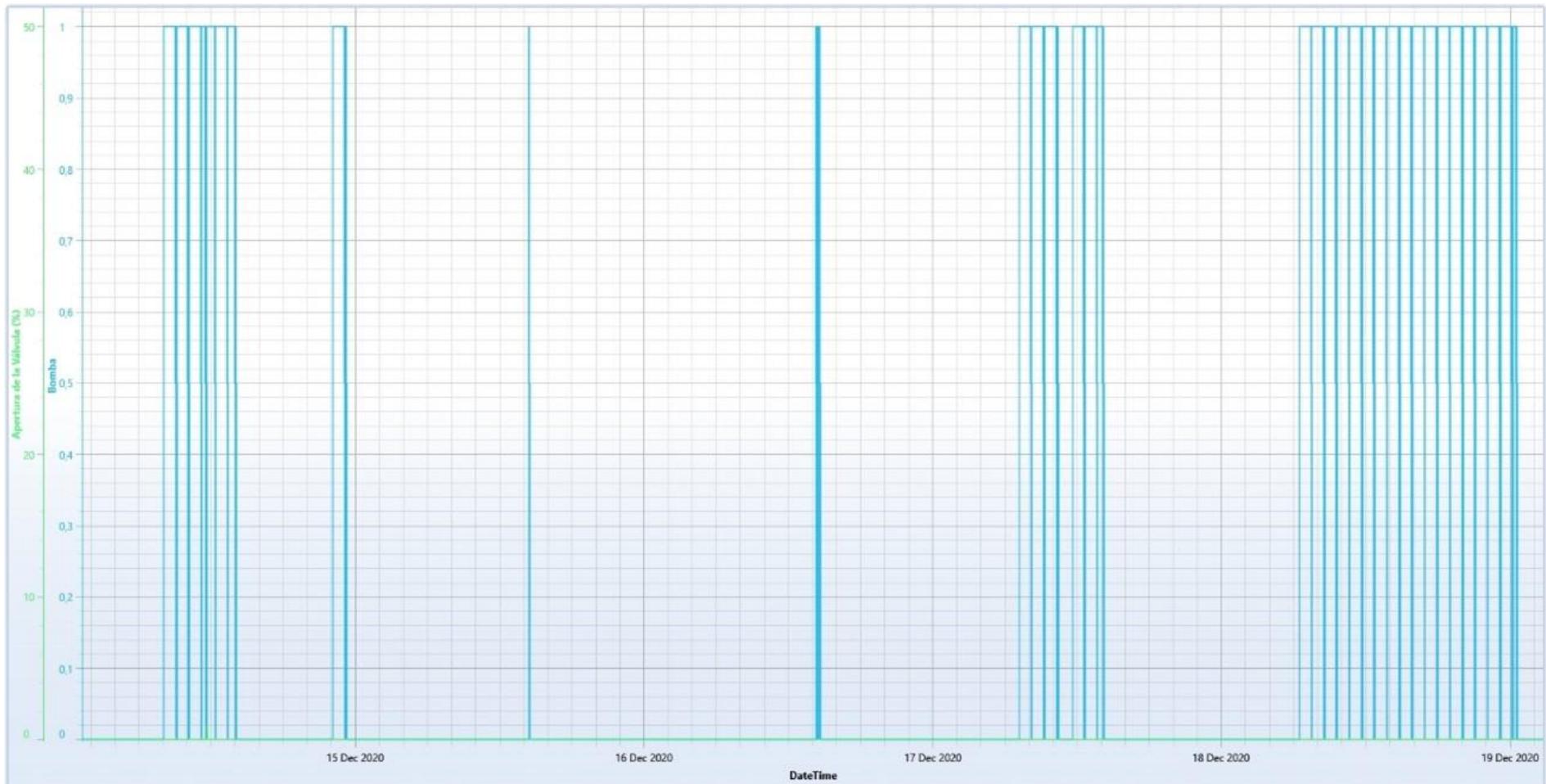
## TEST 9 – GRÁFICA 4



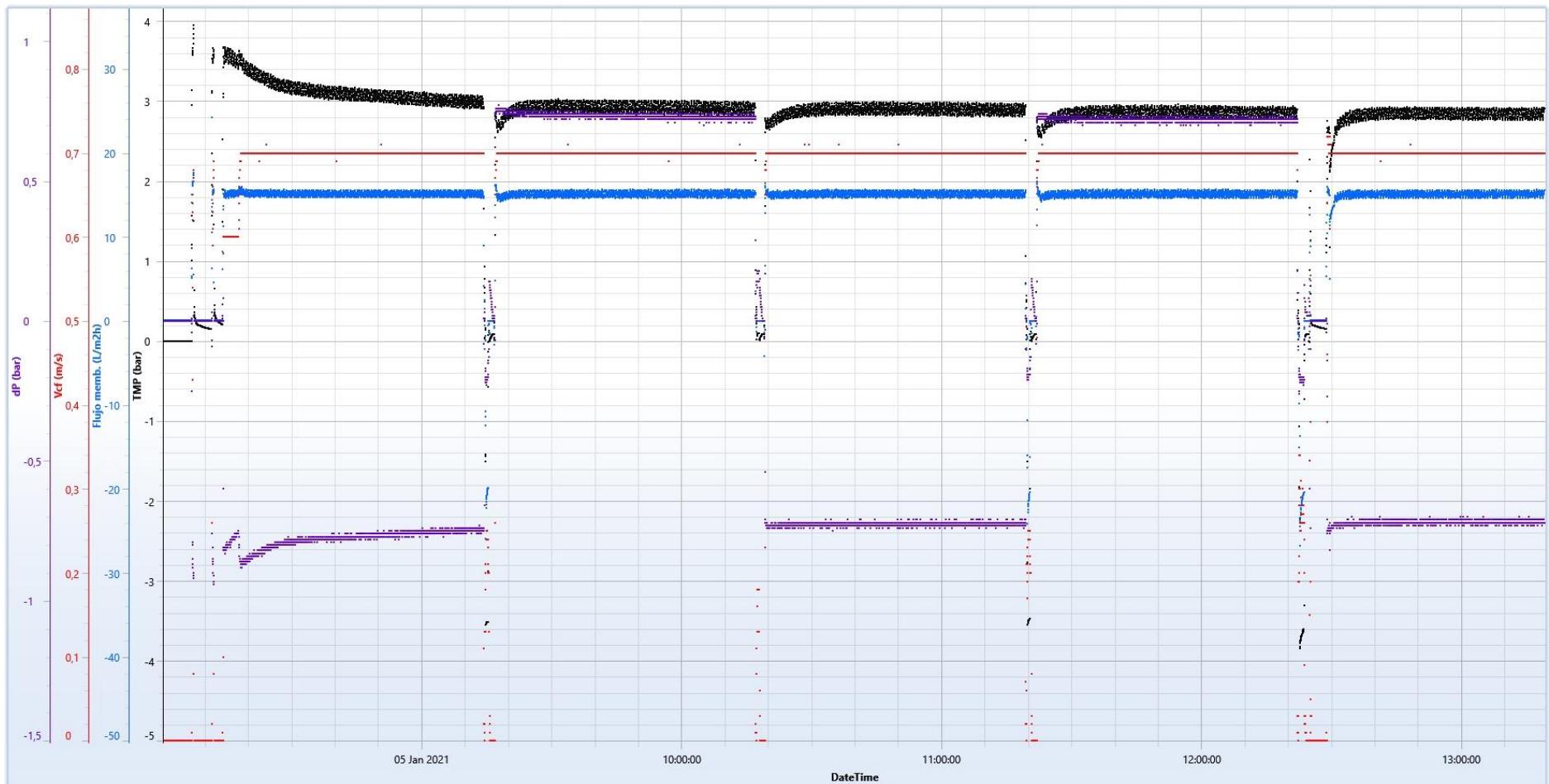
## TEST 9 – GRÁFICA 5



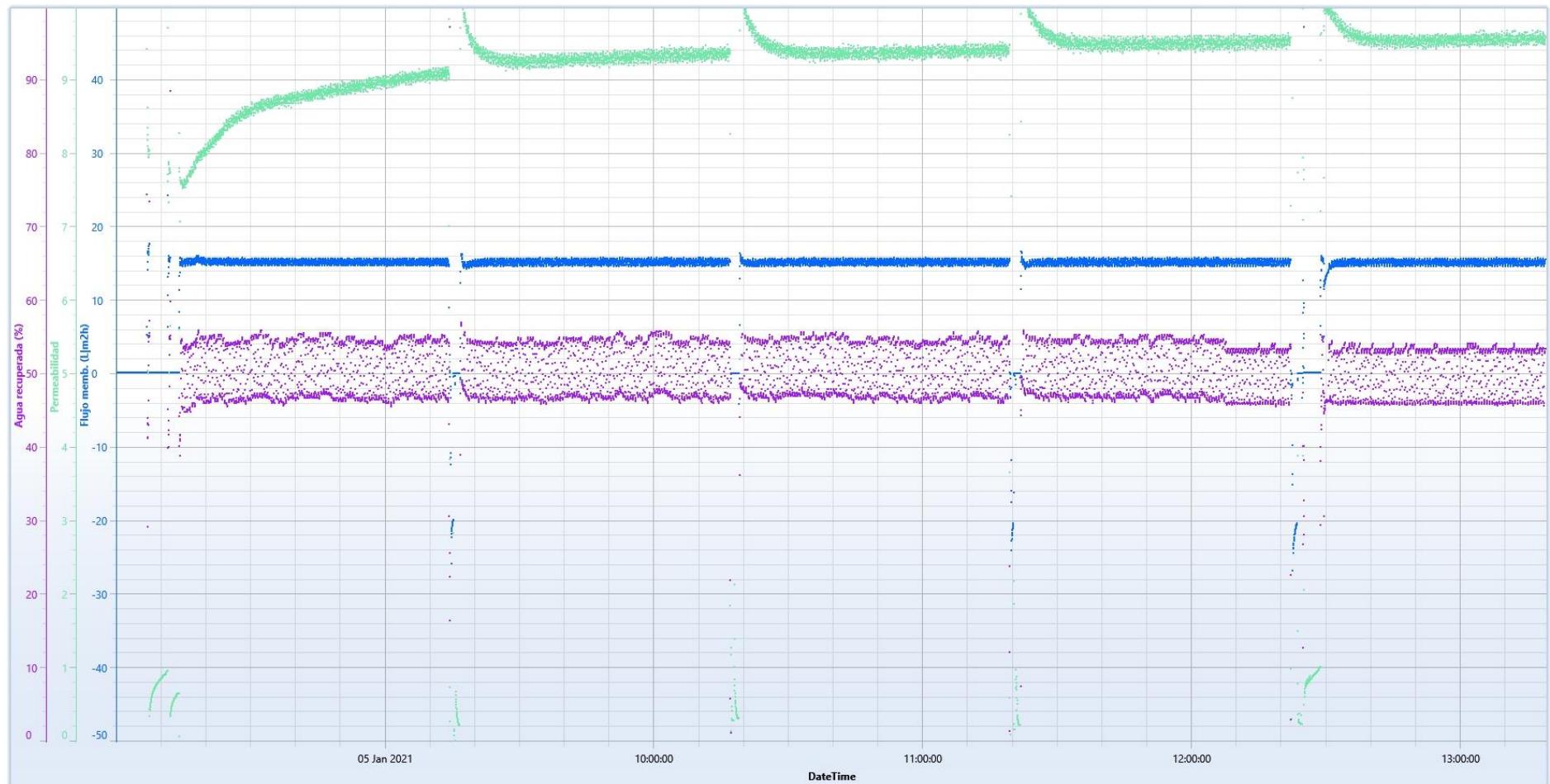
## TEST 9 – GRÁFICA 6



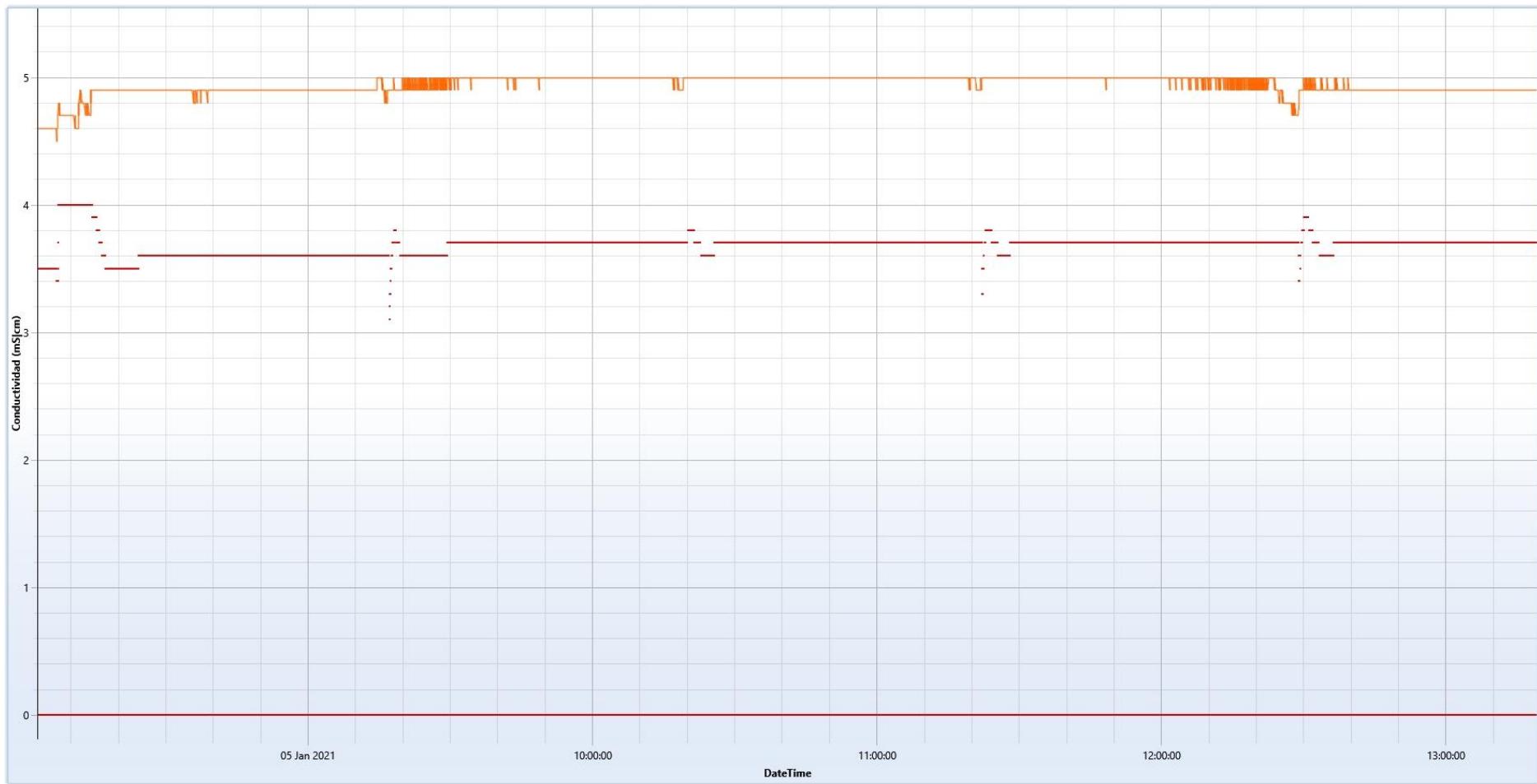
## TEST 10 – GRÁFICA 1



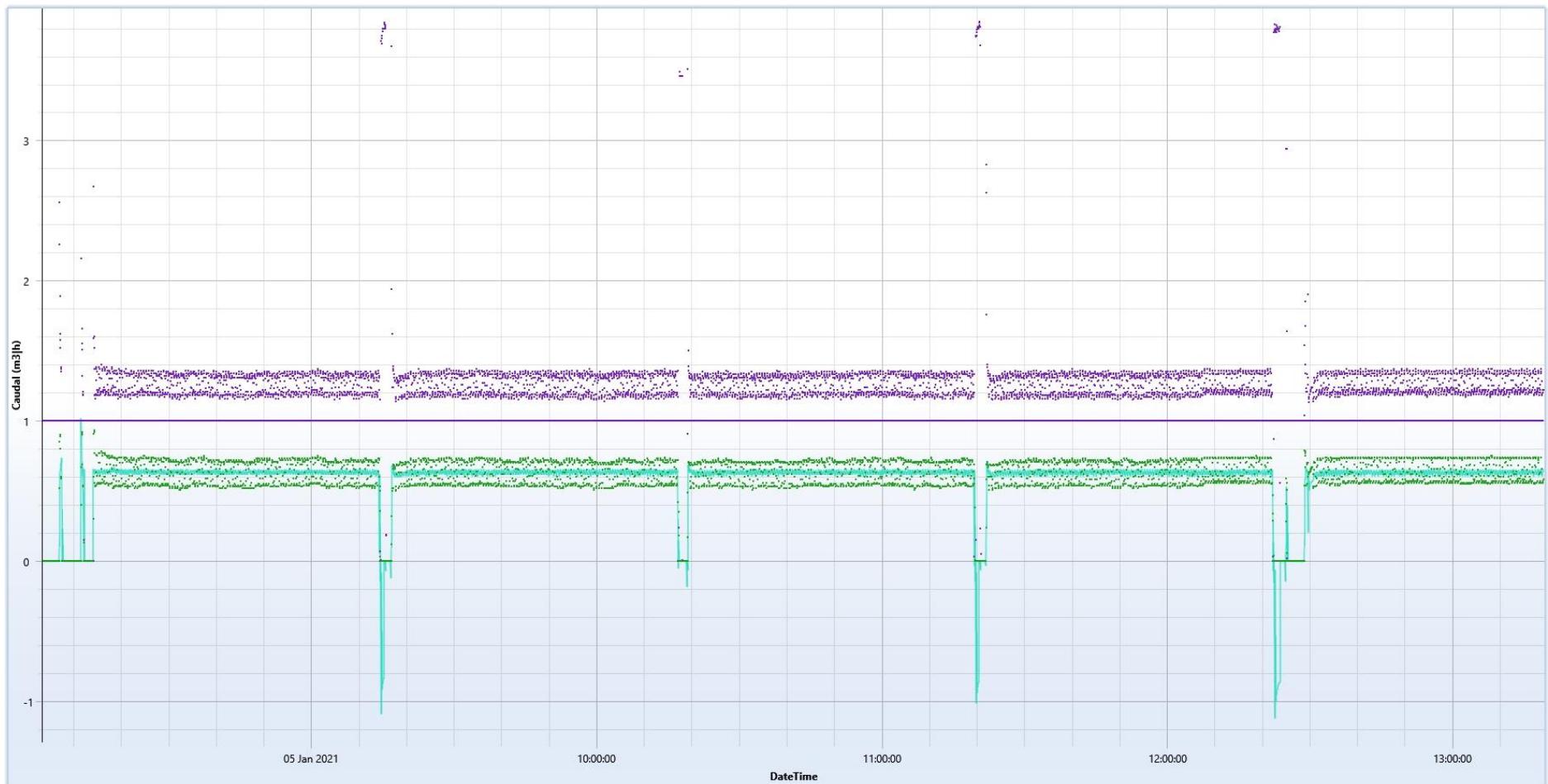
## TEST 10 – GRÁFICA 2



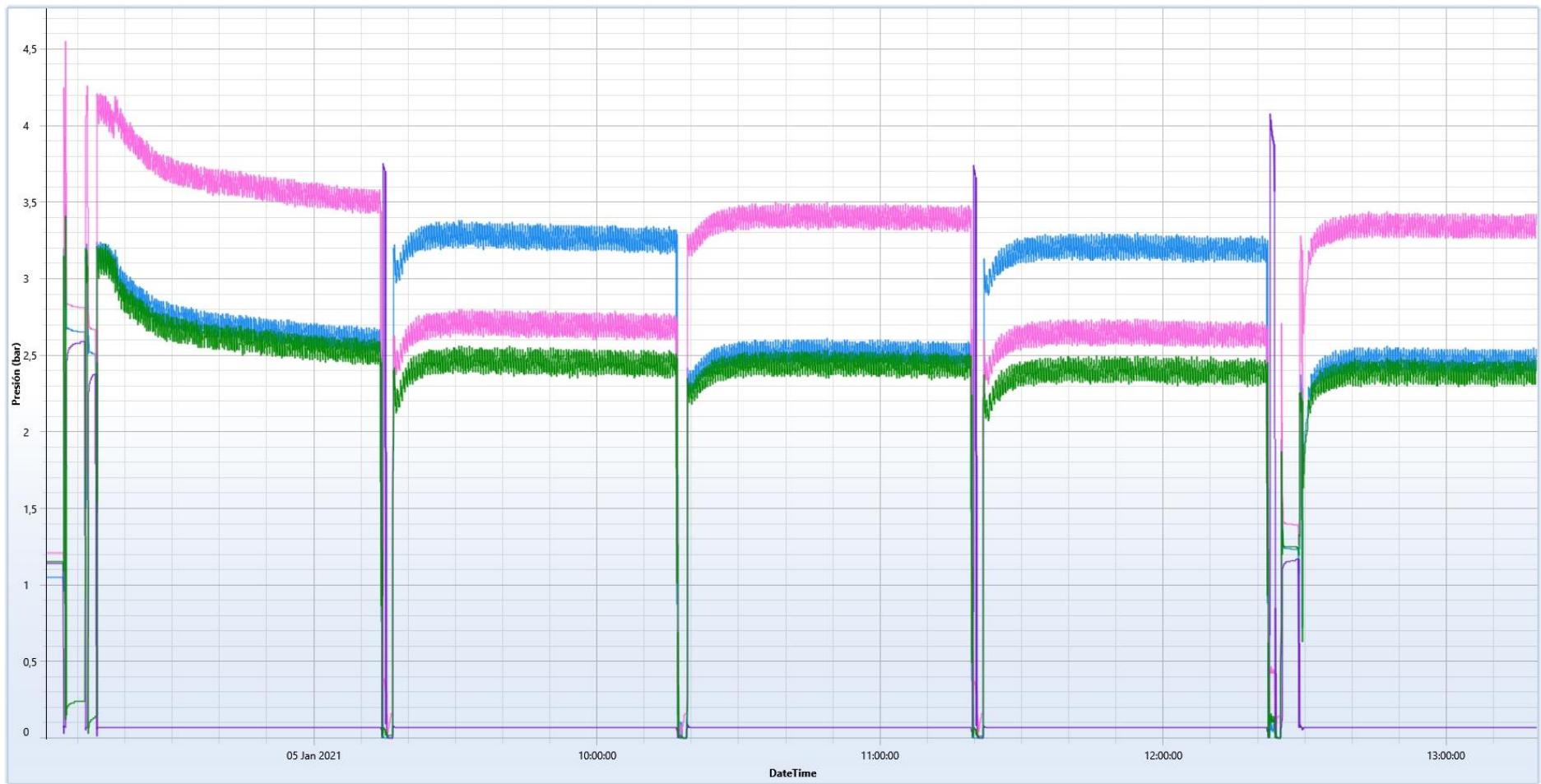
## TEST 10 – GRÁFICA 3



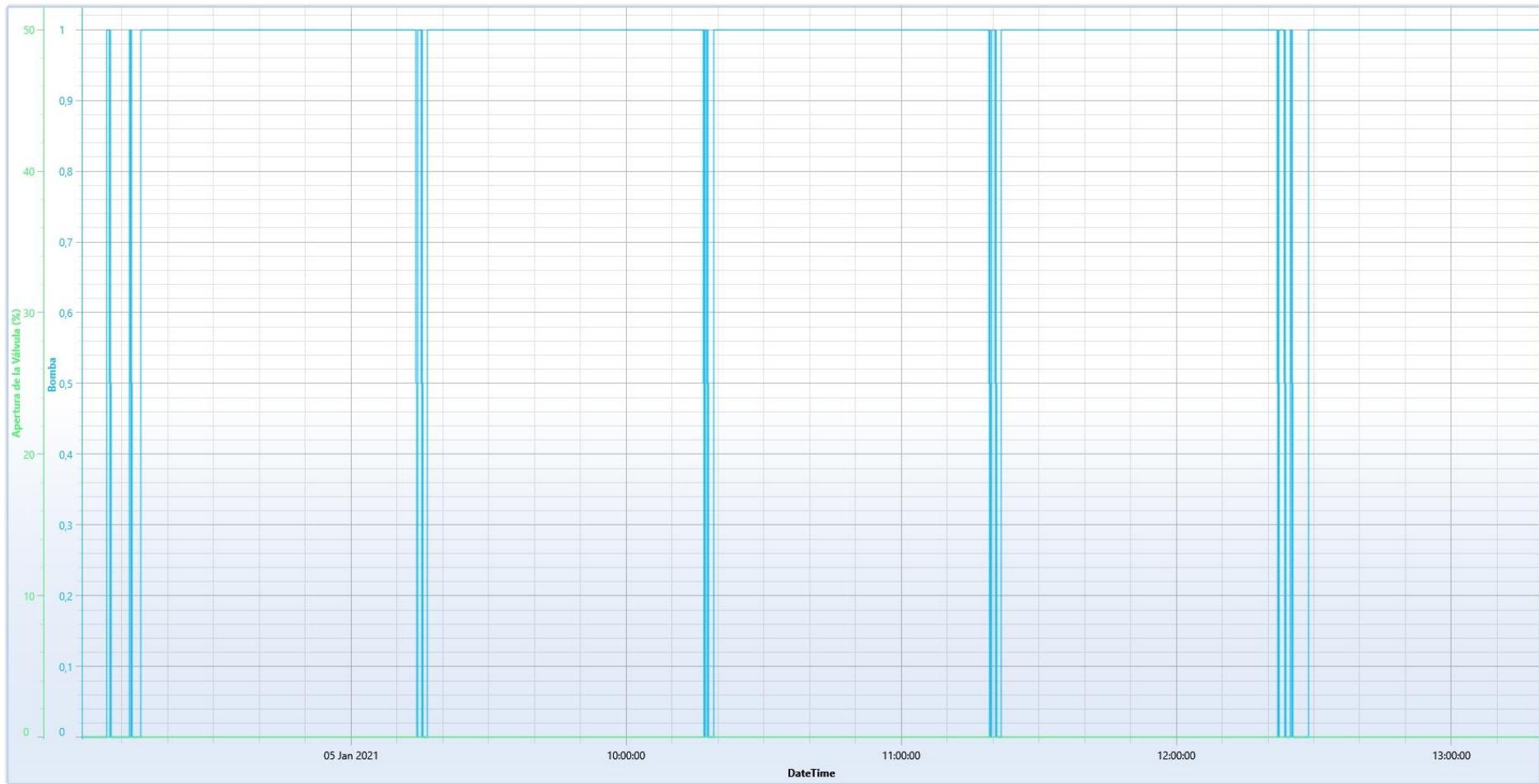
## TEST 10 – GRÁFICA 4



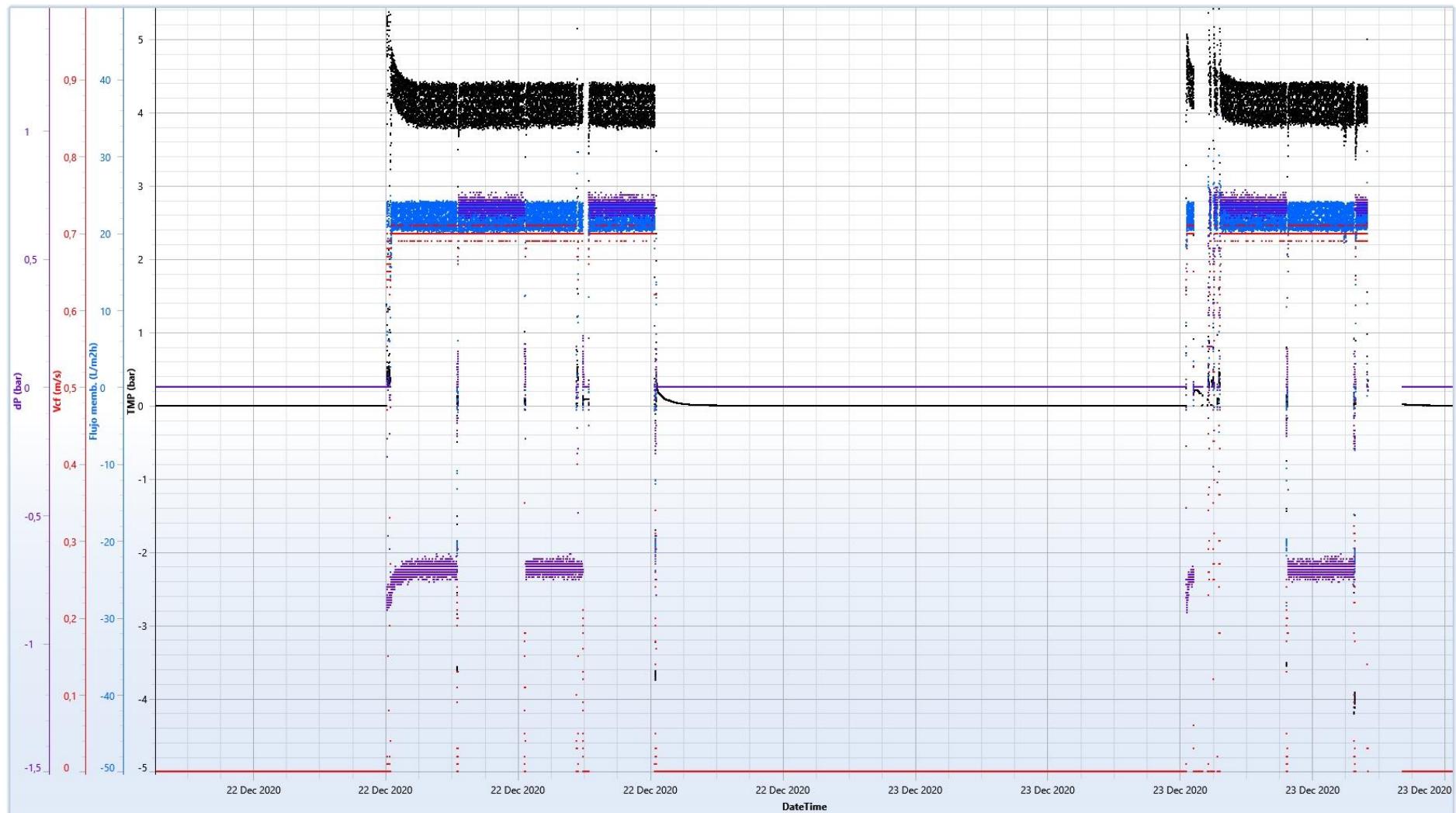
## TEST 10 – GRÁFICA 5



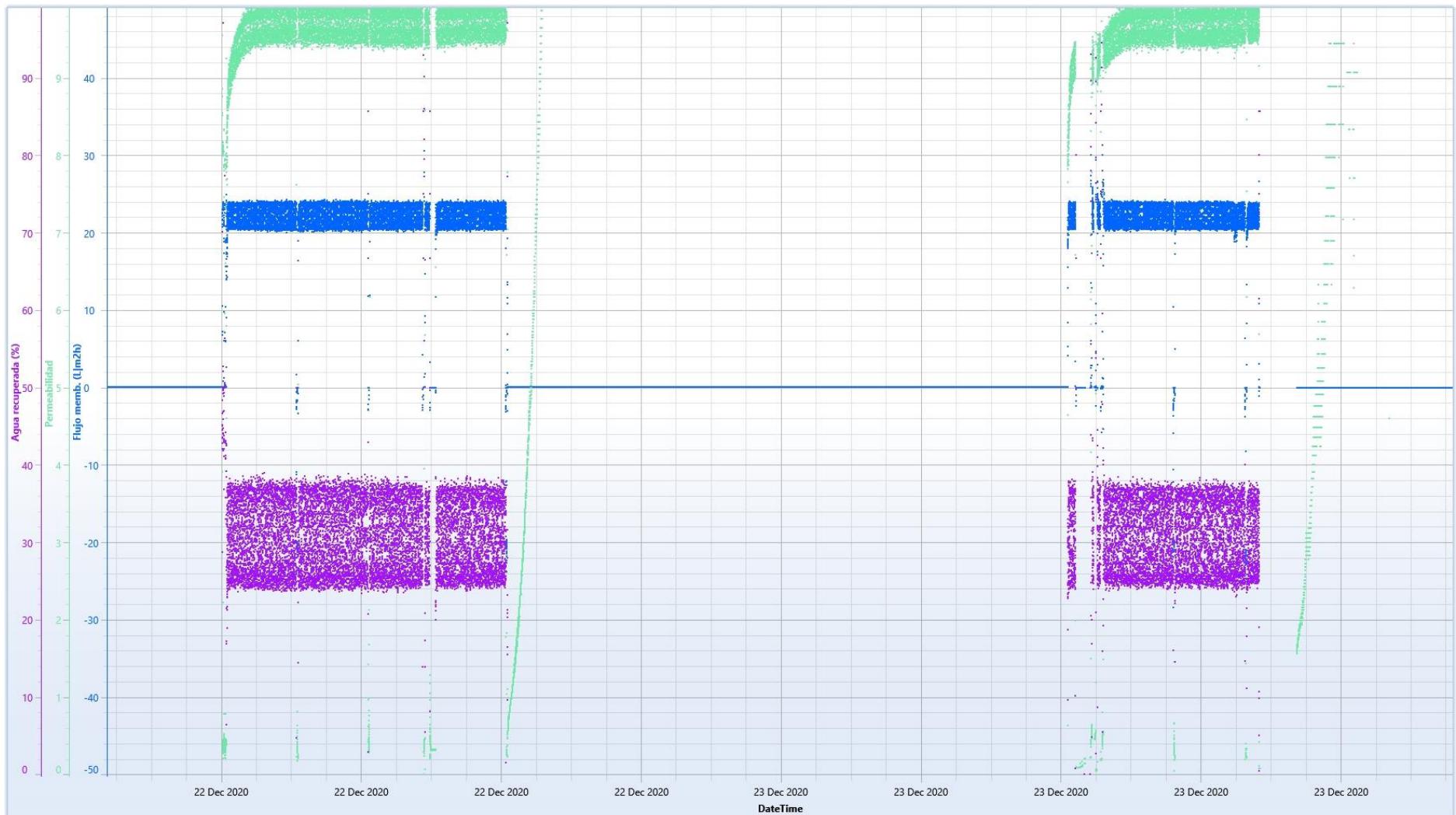
## TEST 10 – GRÁFICA 6



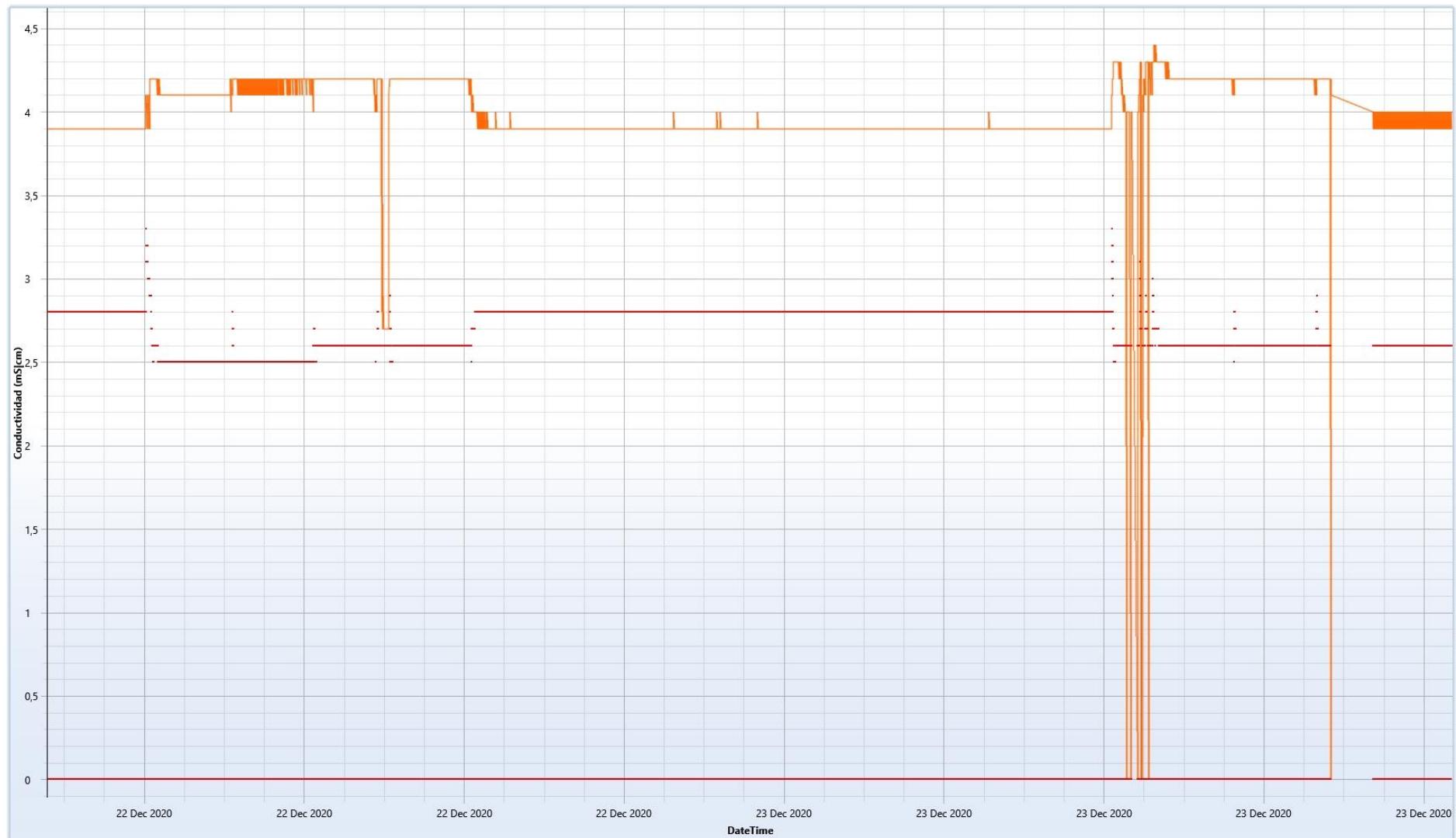
## TEST 11 – GRÁFICA 1



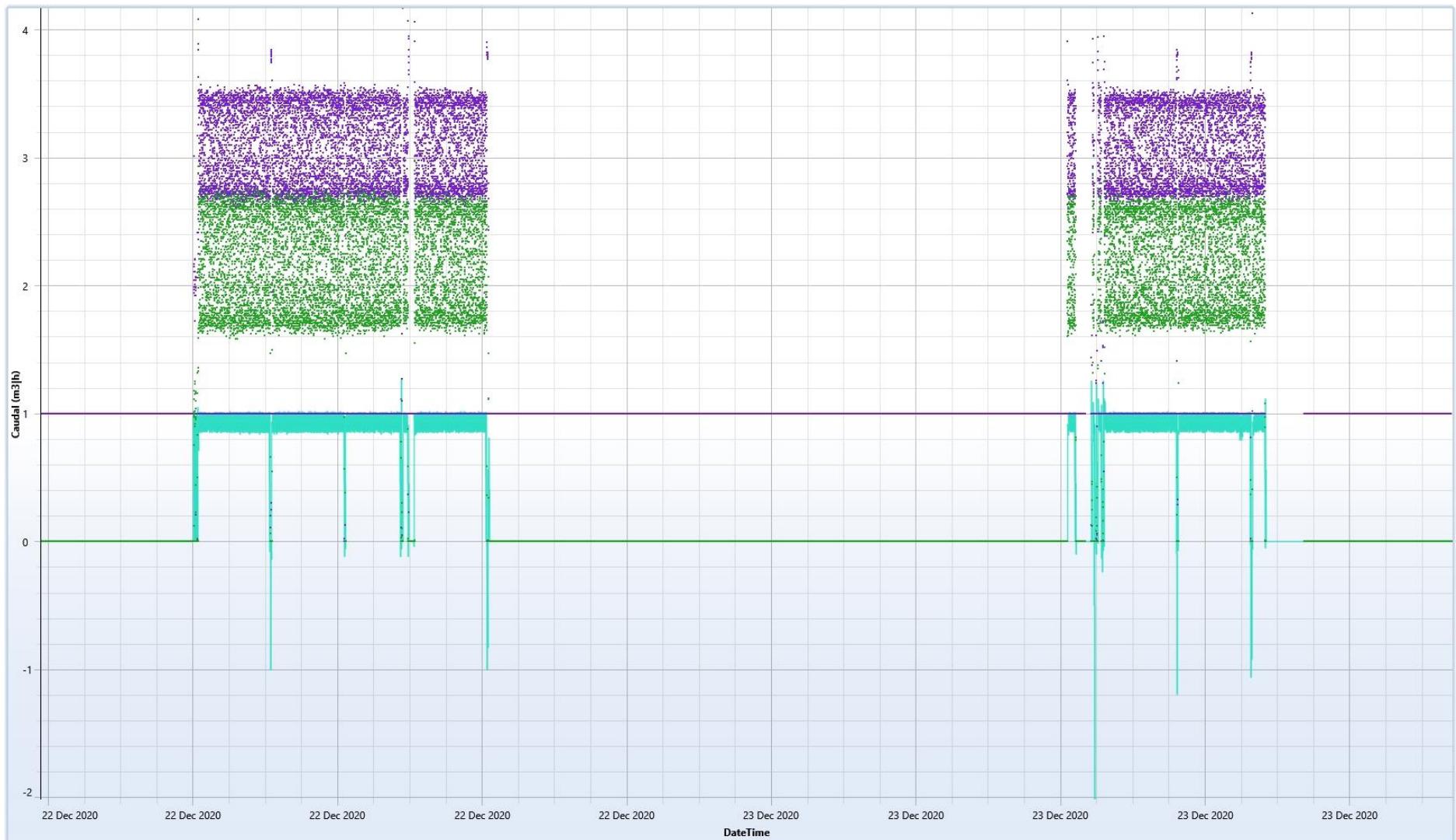
## TEST 11 – GRÁFICA 2



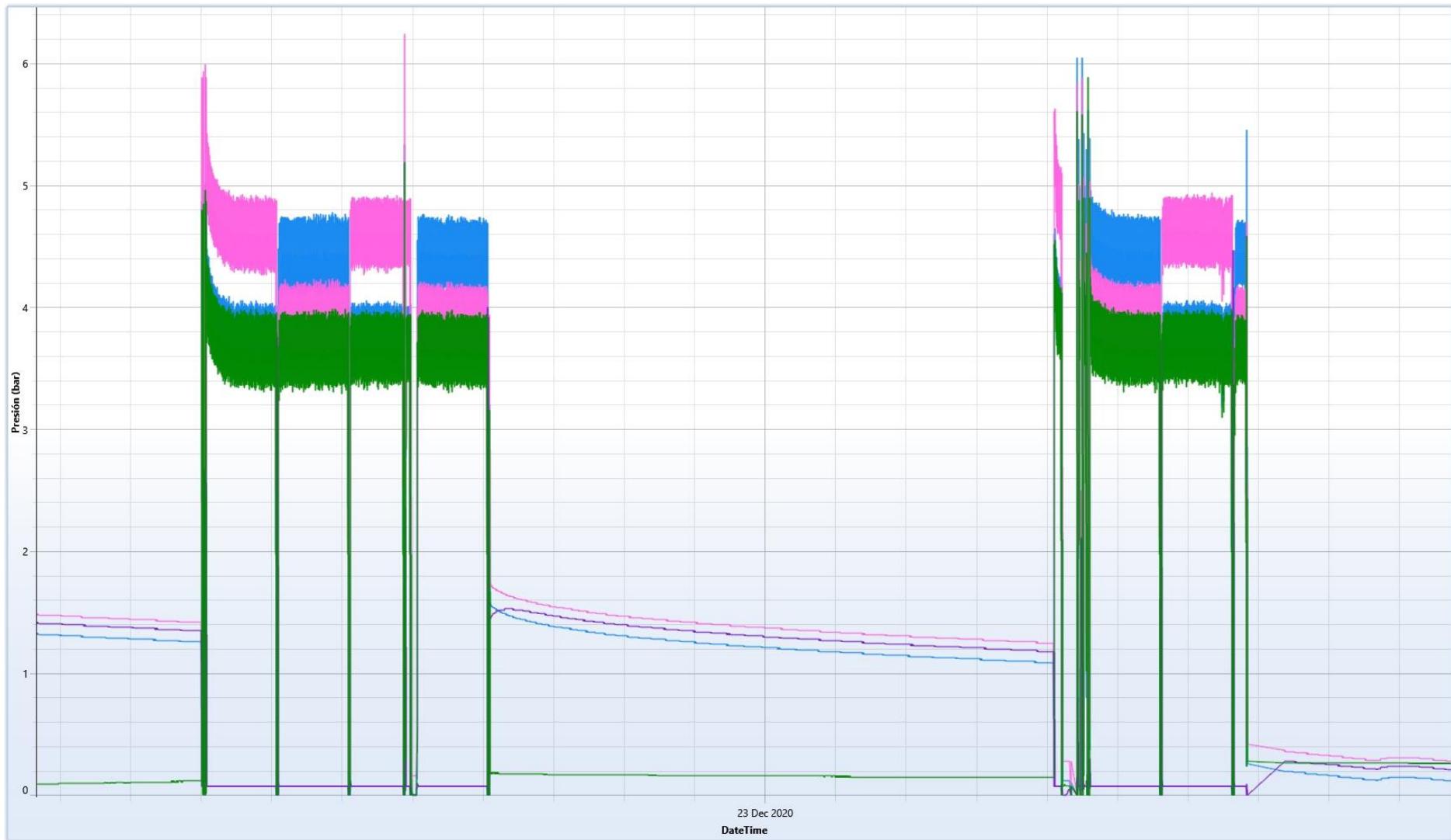
### **TEST 11 – GRÁFICA 3**



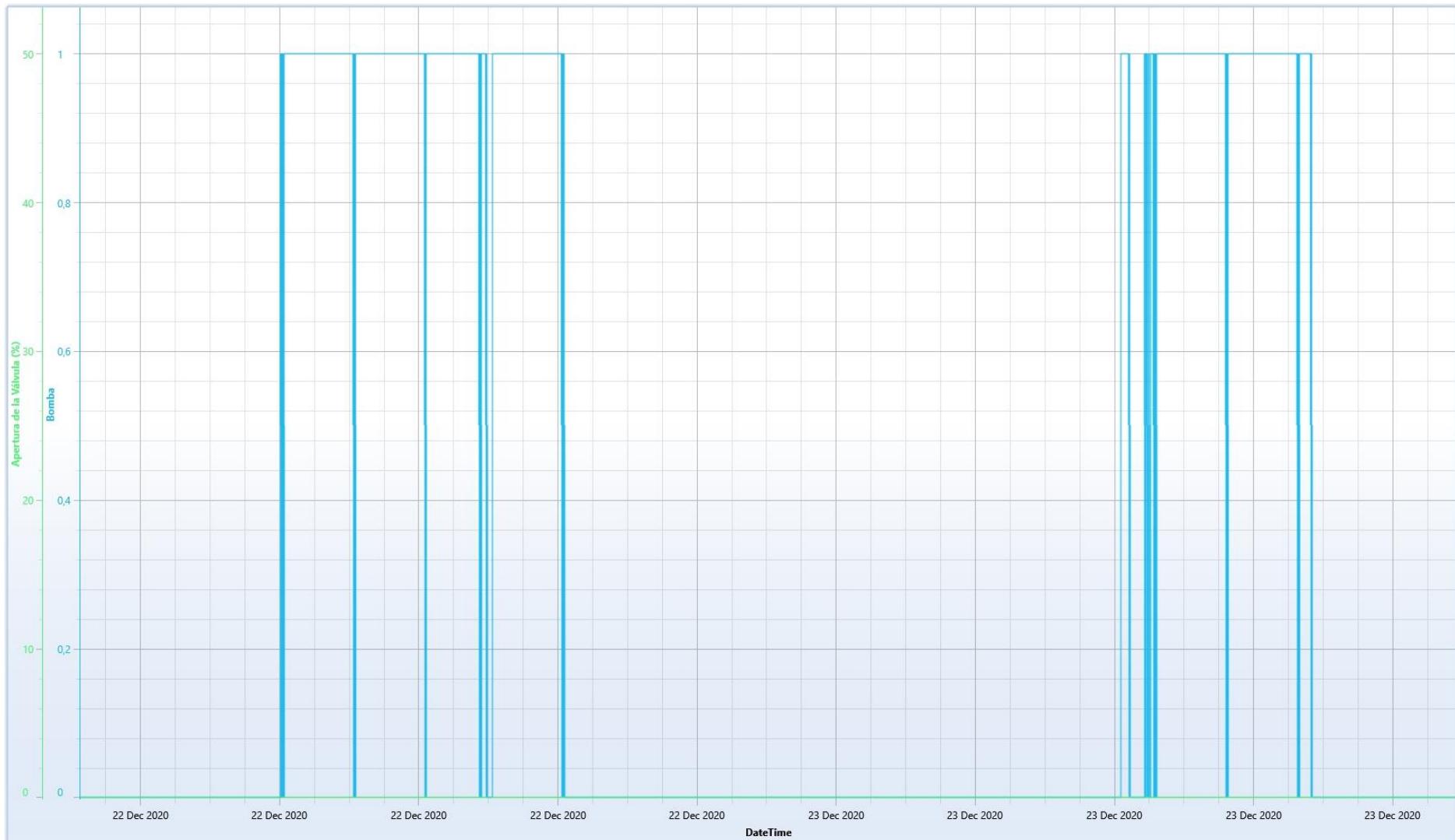
## TEST 11 – GRÁFICA 4



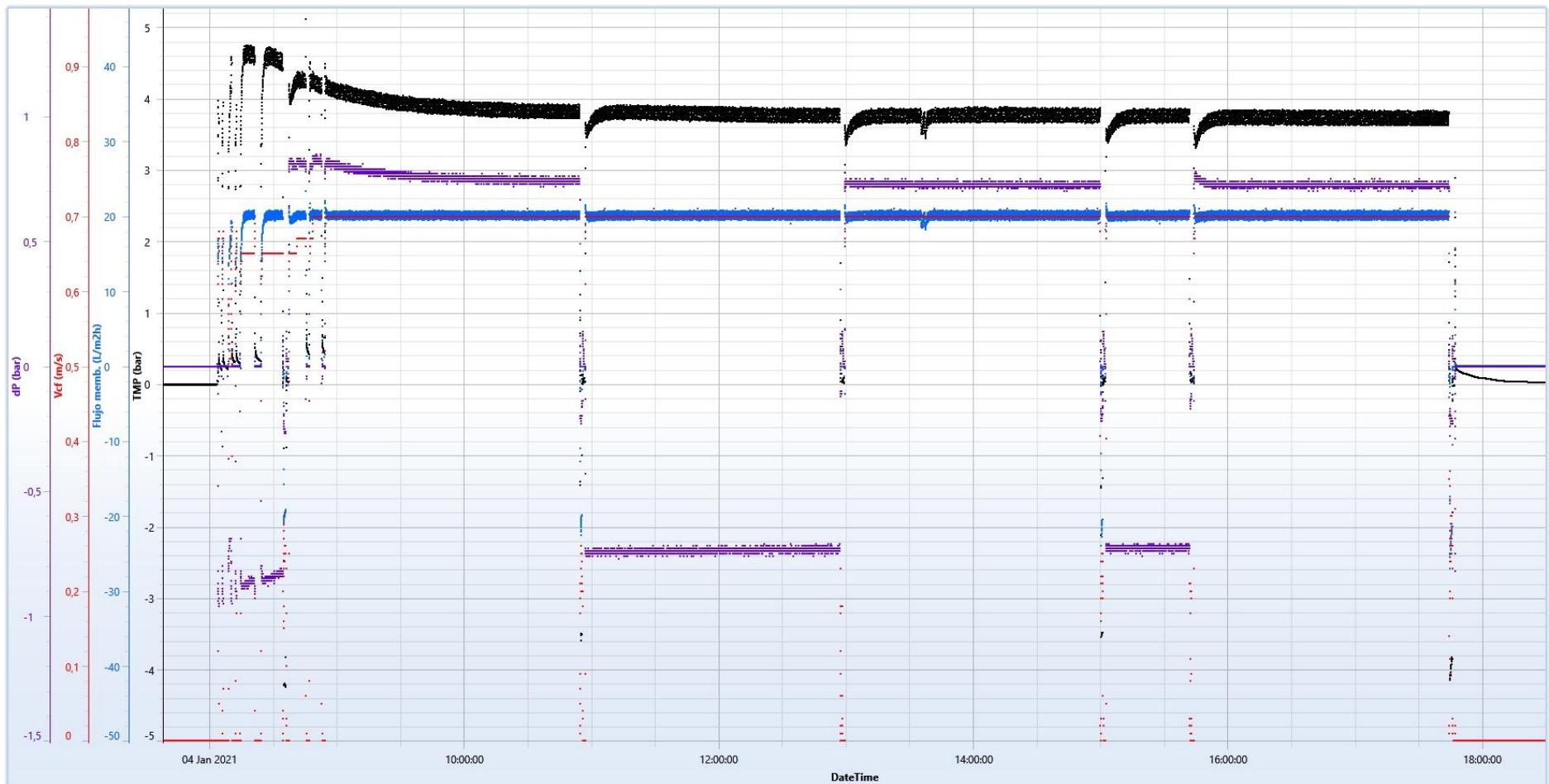
## TEST 11 – GRÁFICA 5



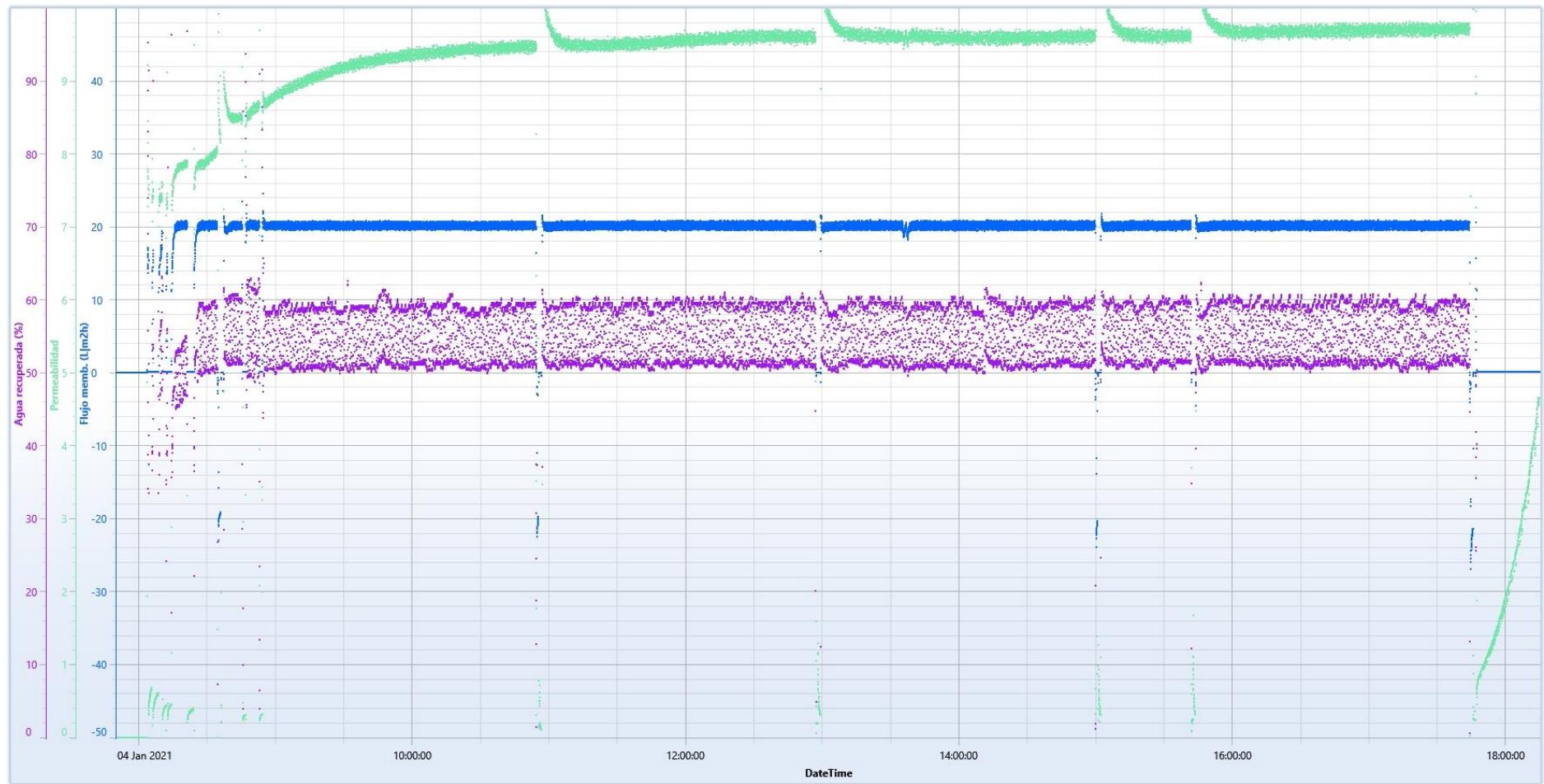
## TEST 11 – GRÁFICA 6



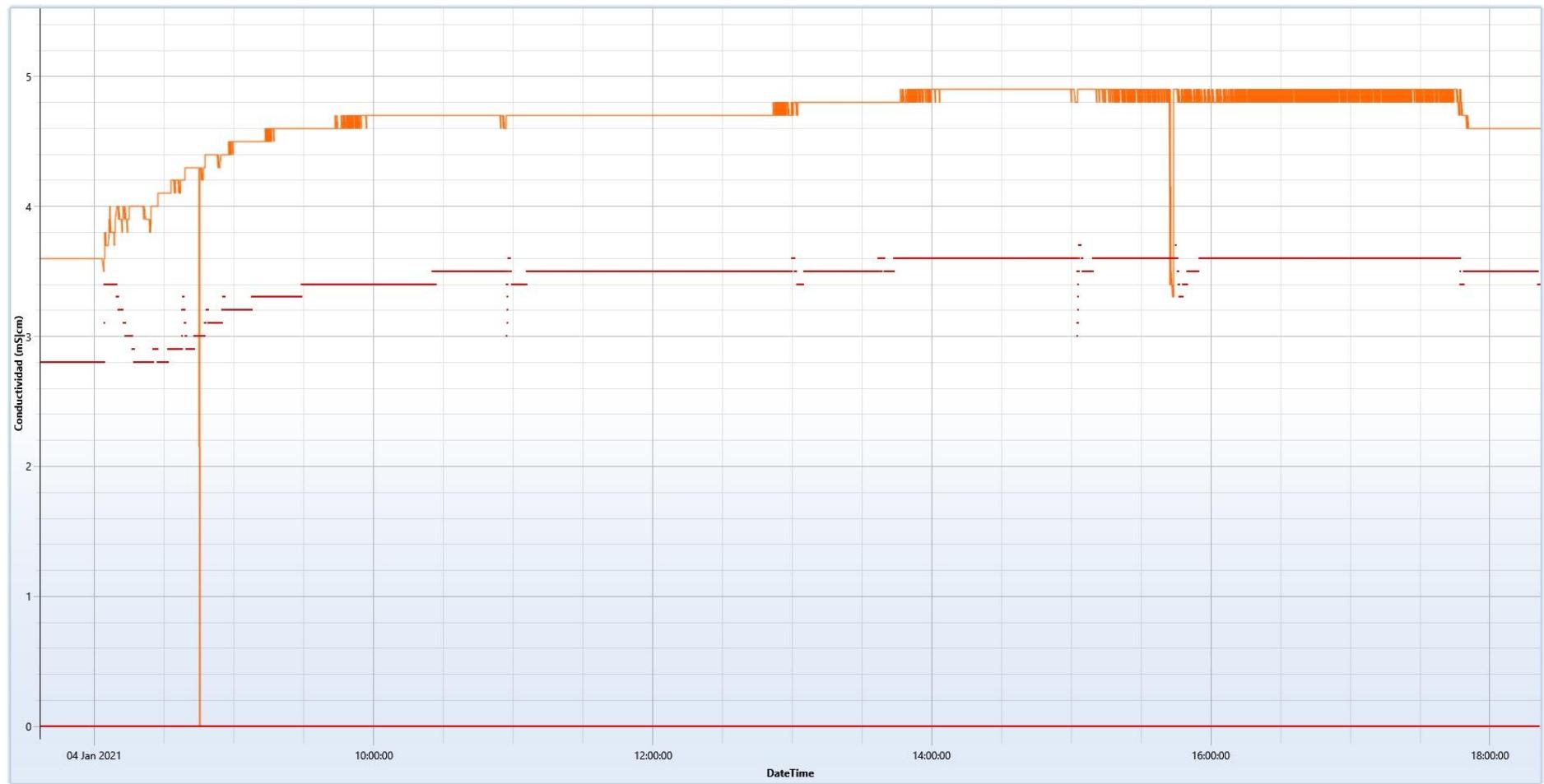
## TEST 12 – GRÁFICA 1



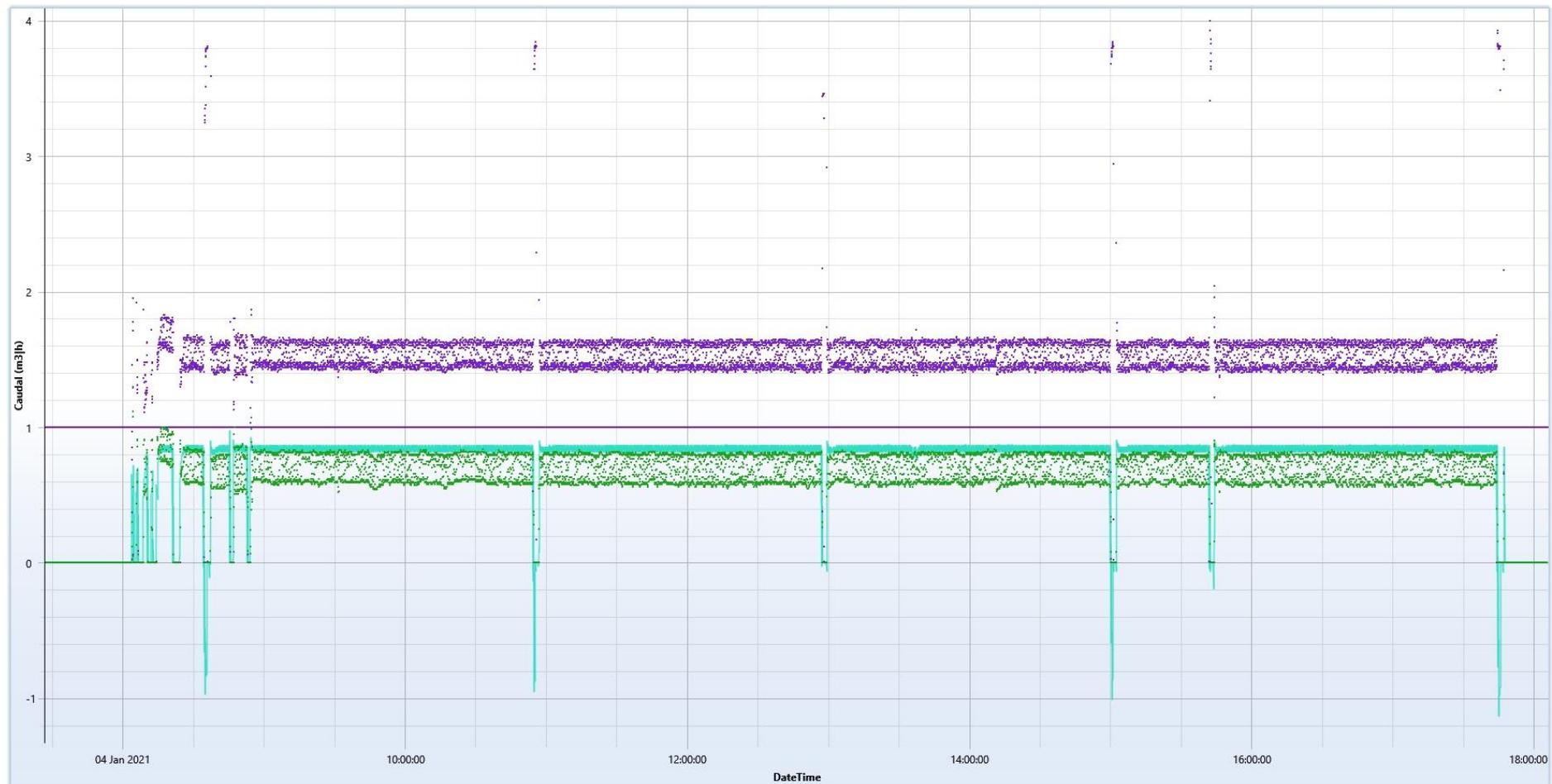
## TEST 12 – GRÁFICA 2



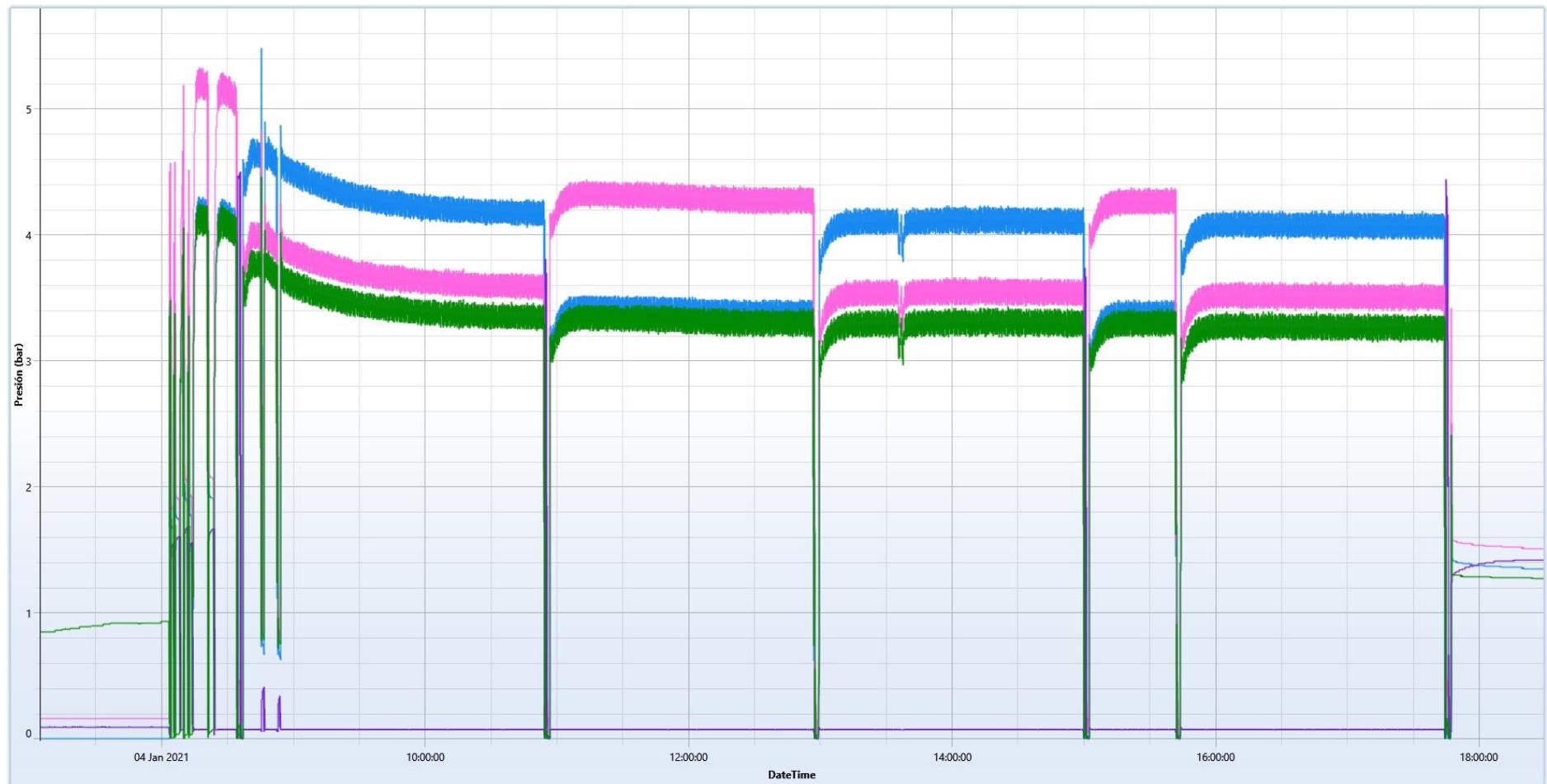
## TEST 12 – GRÁFICA 3



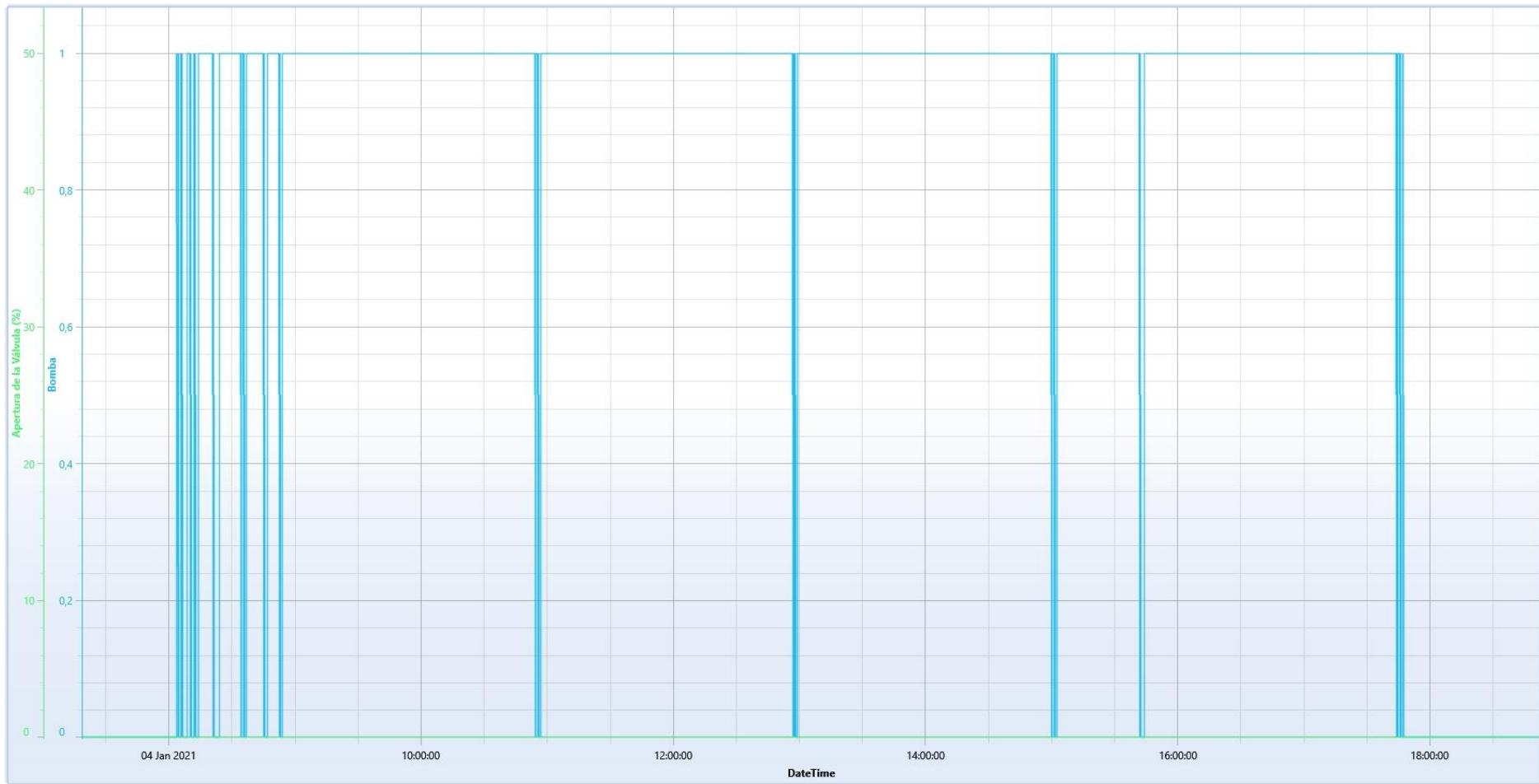
## TEST 12 – GRÁFICA 4



## TEST 12 – GRÁFICA 5



## TEST 12 – GRÁFICA 6



## ANEXO C: ANALÍTICAS

En el presente apartado de los anexos se van a mostrar las Tablas C1 (Resultados de analíticas de agua de entrada a la ósmosis), C2 (Resultados de analíticas de agua de entrada a la nanofiltración), C3 (Resultados de analíticas de agua de permeado) y C4 (Resultados de analíticas de agua de rechazo).

TABLA C1. RESULTADOS DE ANALÍTICAS DE AGUA DE ENTRADA A LA ÓSMOSIS.

RESULTADOS DE ALIMENTACIÓN A LA ÓSMOSIS																		
TEST	pH	Conductividad (μS/cm)	TDS (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Carbonatos (mg/L)	Dureza Total (°HF)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fluoruro (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Índice de Langelier (adim.)	Índice de Ryznar (adim.)
3.2	7,4	1867	1195	404	0	74,2	271	372	35,1	<0,05	0,23	<0,20	250	28,5	187	6,96	-	-
6	7,3	1802	1153	385	0	79,3	265	351	35,1	<0,05	0,25	<0,20	263	33,2	180	6,87	-	-
12	7,2	1970	1261	430	0	89,1	282	429	33,2	<0,05	0,37	0,20	296	36,3	192	6,31	0,92	5,35

TABLA C2. RESULTADOS DE ANALÍTICAS DE AGUA DE ENTRADA A LA NANOFILTRACIÓN.

RESULTADOS DE AGUA BRUTA																			
TEST	pH	Conductividad (μS/cm)	TDS (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Carbonatos (mg/L)	Dureza Total (°HF)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fluoruro (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Índice de Langelier (adim.)	Índice de Ryznar (adim.)	Recuento de colonias (UFC/mL)
1	7,5	3080	1971	641	0	135	458	678	54	<0,05	0,44	0,30	447	55,6	284	9,08	-	-	-
2	7,4	2270	1453	499	0	76,1	379	295	48,9	<0,05	0,32	0,44	256	29,5	273	10,3	-	-	-
3.1	7,4	2860	1830	629	0	127	425	595	57,2	<0,05	0,44	0,29	426	51,0	289	10,8	-	-	-
3.2	7,3	2950	1888	653	0	139	438	642	55,5	<0,05	0,43	<0,20	464	57,2	298	9,97	-	-	-
4	7,5	2770	1773	541	0	129	428	573	56,0	<0,05	0,39	0,382	423	55,8	281	9,76	-	-	-
5	7,5	2690	1722	614	0	126	415	569	55,2	<0,05	0,43	<0,20	420	51,9	291	11,5	-	-	-
6	7,7	3800	2432	927	0	188	601	816	74,0	<0,05	0,58	>0,20	634	72,4	430	17,3	-	-	-
7	7,7	3850	2464	933	0	184	601	824	73,4	<0,05	0,57	<0,20	613	75,9	401	14,4	2,04	3,61	-
8	7,5	3810	2438	854	0	200	584	867	65,1	<0,05	0,54	0,50	667	80,4	423	14,3	-	-	-
9	7,7	3510	2246	806	0	163	538	709	64,8	<0,05	0,50	0,38	537	70,1	363	12,5	1,93	3,84	-
10	7,7	3700	2368	854	0	173	587	806	69,8	<0,05	0,54	<0,20	574	73,1	391	13,5	1,98	3,74	-
11	7,6	3550	2272	842	0	172	555	807	62,8	<0,05	0,59	<0,20	576	68,4	374	12,6	1,88	3,85	1700
12	7,6	4100	2624	1016	0	200	651	983	71,3	<0,05	0,68	<0,20	663	82,7	430	14,3	2,01	3,75	-

TABLA C3. RESULTADOS DE ANALÍTICAS DE AGUA DE PERMEADO.

TEST	pH	RESULTADOS DE PERMEADO																	
		Conductividad (µS/cm)	TDS (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Carbonatos (mg/L)	Dureza Total (°HF)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fluoruro (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Recuento de colonias (UFC/mL)	Índice de Langelier (adim.)	Índice de Ryznar (adim.)
1	7,2	1689	1081	427	0	27,5	358	42,2	42,2	<0,05	0,21	<0,20	96	8,7	290	9,89	-	-	-
2	7,3	1724	1103	404	0	39,2	348	45,7	45,8	<0,05	0,22	<0,20	136	12,7	271	9,92	42	-	-
3.1	7,5	1751	1121	439	0	35,0	360	38,1	49,3	<0,05	0,24	<0,20	122	11,3	264	0,47	-	-	-
3.2	7,4	1919	1228	510	0	44,1	397	61,0	51,3	<0,05	0,30	<0,20	150	16,1	277	9,04	69	-	-
4	7,3	1809	1158	451	0	40,4	382	38,5	50,3	<0,05	0,28	<0,20	143	11,5	264	10,6	580	-	-
5	7,3	1851	1185	469	0	48,5	384	42,7	52,1	<0,05	0,27	<0,20	169	15,3	262	10,0	1300	-	-
6	7,6	2760	1766	710	0	83,4	575	103,0	75,5	<0,05	0,47	<0,20	291	26,0	407	15,6	890	-	-
7	7,7	2920	1869	813	0	97,4	590	155,0	78,0	<0,05	0,48	<0,20	338	31,5	414	15,6	<1	1,74	4,22
8	7,5	2510	1606	628	0	70,3	533	76,0	63,6	<0,05	0,35	<0,20	246	21,5	415	14,2	250	-	-
9	7,4	2260	1446	554	0	52,5	471	52,8	61,9	<0,05	0,32	<0,20	182	17,0	342	12,0	460	1,01	5,37
10	7,6	2440	1562	686	0	62,2	530	74,0	69,0	<0,05	0,40	<0,20	217	19,5	383	13,7	1200	1,38	4,84
11	7,3	2270	1453	602	0	57,6	499	55,8	61,5	<0,05	0,40	<0,20	203	16,8	351	12,2	270	0,998	5,3
12	7,4	3110	1990	885	0	110	672	131	78,7	<0,05	0,511	<0,20	367	44,2	367	11,3	1100	1,51	4,38

TABLA C4. RESULTADOS DE ANALÍTICAS DE AGUA RECHAZO.

TEST	pH	RESULTADOS DE RECHAZO																
		Conductividad (µS/cm)	TDS (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Carbonatos (mg/L)	Dureza Total (°HF)	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Fluoruro (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Calcio (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Potasio (mg/L)	Índice de Langelier (adim.)	Índice de Ryznar (adim.)
1	8,1	4520	2893	985	0	281	600	1464	58,2	0,47	0,53	1,64	933	116,0	329	9,66	-	-
2	7,7	4020	2573	843	0	206	527	1197	58	<0,05	0,50	4,48	654	103,0	298	11,5	-	-
3.1	7,6	3960	2534	831	0	>207	538	1171	57,5	<0,05	0,58	2,87	742	92,0	350	11,9	-	-
3.2	7,7	4190	2682	879	0	268	519	1479	56,1	<0,10	0,57	1,23	890	112,0	335	11,3	-	-
4	7,7	3700	2368	855	0	>207	484	>1000	48,8	<0,10	0,53	0,39	757	99,1	306	10,7	-	-
5	7,7	3740	2394	830	0	223	458	1197	56,5	<0,05	0,55	0,30	728	101,0	310	11,4	-	-
6	7,8	5880	3763	1227	0	443	673	2603	84,7	<0,10	0,79	<0,40	1446	199,0	498	18,9	-	-
7	7,8	6160	3942	1231	0	484	658	2877	85,0	<0,1	0,99	0,60	1577	219,0	463	16,7	2,66	2,49
8	7,8	4350	2784	963	0	264	628	1286	74,4	<0,10	0,59	0,67	879	107,0	445	14,9	-	-
9	7,7	3870	2477	902	0	214	562	1015	67,1	<0,05	0,57	0,55	704	92,5	381	13,7	2,09	3,52
10	7,7	4720	3021	1095	0	293	642	1490	80,8	<0,10	0,85	0,55	964	126,0	433	15,2	2,30	3,10
11	7,7	4070	2605	987	0	229	586	1165	65,1	<0,05	0,68	0,59	764	92,3	397	13,6	2,16	3,37
12	7,9	5220	3341	1184	0	316	626	2041	71,8	<0,1	0,78	0,20	1036	138	511	15,9	2,56	2,77

# **ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE LA MEMBRANA**

## **WMC200 dNF40**

Nanofiltration membrane module for water and wastewater applications

### **Product description**

The WMC200 dNF40 nanofiltration modules have the following features:

- Use for treatment of ground and surface water; reuse of industrial and municipal wastewater effluents
- Excellent removal of color, divalent ions and dissolved organics, including micropollutants
- Inside-out operation in a cross-flow filtration mode, backwashable
- Limited pretreatment required, no coagulation and no sludge production
- Vertical mounting in a skid
- Excellent pH and chlorine tolerance

### **Membrane specifications**

Membrane material	Modified PES
MWCO <sup>1</sup>	400 Dalton
Min. MgSO <sub>4</sub> rejection <sup>2</sup>	91%
Membrane charge	Negative @ pH=7
Membrane fiber inner diameter	0.7 mm

<sup>1</sup> Molecular Weight Cut-Off (MWCO) is an estimation as it depends on size, shape, charge and polarity of the compound being tested, as well as test conditions.

<sup>2</sup> Test conditions: 5.0 mMol/L MgSO<sub>4</sub>, 3.0 bar, 25°C, v=0.5 m/s

### **Typical operating ranges**

Max. system pressure <sup>3</sup>	6 bar
Max. transmembrane pressure <sup>3</sup>	6 bar
Max. backwash pressure <sup>3</sup>	6 bar
Max. temperature during operation & cleaning	40°C
pH range during operation	2-12
pH range during cleaning	1-13
Max. active chlorine concentration	500 ppm @ pH>10
Max. cumulative active chlorine exposure	250,000 ppm-hours @ pH>10
Cross-flow velocity range	0.1 – 2.0 m/s (2 - 38m <sup>3</sup> /h per module)

<sup>3</sup> Maximum pressures at 20°C.

### **Feed water specifications**

Max. TSS	300 ppm
Max. turbidity	150 NTU
Max. particle size	150 µm

## WMC200 dNF40

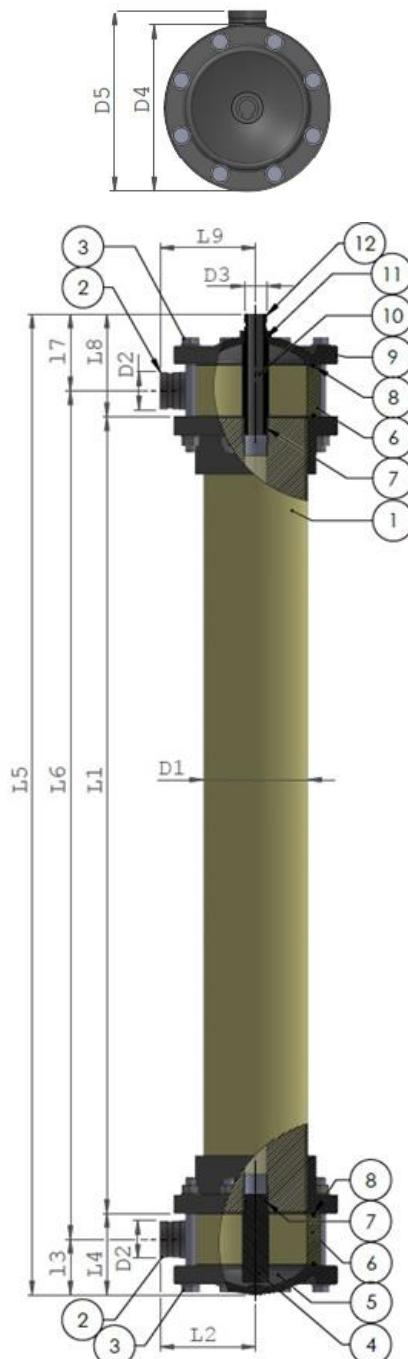
Nanofiltration membrane module for water and wastewater applications

### Module specifications

**Membrane Surface Area** 43 m<sup>2</sup>

### Module Dimensions

L1	1537 mm	D1	200 mm
L2	184 mm	D2	2 ½"
L3	107 mm	D3	1 ¼"
L4	157 mm	D4	315 mm
L5	1892 mm	D5	342 mm
L6	1637 mm		
L7	148 mm		
L8	198 mm		
L9	184 mm		



### Materials of construction

<b>Housing</b>	PVC-U Cream
<b>Internals</b>	ABS/PP/PE
<b>Material</b>	Epoxy resin

### Assembly components

1. Module
2. Feed/concentrate connection
3. Nut & bolt
4. Permeate interconnector (closed; bottom side)
5. Flange (bottom side)
6. Intermediate flange
7. O-ring (permeate side)
8. Flange O-ring
9. Flange (top side)
10. Permeate interconnector (open; top side)
11. O-ring (feed side)
12. Permeate connection

### Product certifications



**kiwa**

**KTW**

# **BIBLIOGRAFÍA:**

- [1] A.E.d.M. Ambiente, <https://www.eea.europa.eu/es/highlights/europan-ympariston-tila-2020-suuntaa> Última consulta: 25/11/2020.
- [2] L.F. Zarza, <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-agua>, Última consulta: 25/11/2020.
- [3]I. OXFAM, <https://blog.oxfamintermon.org/cuales-son-las-principales-causas-de-la-contaminacion-del-agua/>, Última consulta: 25/11/2020.
- [4]Vida+Verde, <https://vidamasverde.com/2013/8-tipos-de-contaminacion-del-agua/>, Última consulta: 25/11/2020.
- [5]Iberdrola, <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua> Última consulta: 25/11/2020.
- [6] G.C. Energy, <https://greencorporatenergy.com/es/conoces-la-importancia-del-ahorro-de-la-energia-electrica/> Última consulta: 25/11/2020.
- [7] A.d.E.d.E. Renovables, <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-en-el-mundo-y-en-europa/> Última consulta: 25/11/2020.
- [8] E. Renovables, <https://www.energias-renovables.com/panorama/el-aumento-de-la-demanda-de-energia-20191107>, Última consulta: 26/11/2020.
- [9] [https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591\\_352717.html](https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591_352717.html) El País, Última consulta: 26/11/2020.
- [10] D. Erick Calvillo, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/consumer-business/2017/Cerveza-Artesanal-Mexico-2017.pdf>, Última consulta: 27/11/2020.
- [11] Ambar, <https://ambar.com/noticias/historia-cerveceria-i/>, (Última consulta: 12/12/2020).
- [12][https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses\\_por\\_consumo\\_de\\_cerveza\\_por\\_persona#cite\\_ref-3](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses_por_consumo_de_cerveza_por_persona#cite_ref-3) Última consulta: 27/11/2020.
- [13][https://cerveceros.org/uploads/5d1b32241b8be\\_Informe%20SocioeconomicoCerveza\\_2018.pdf](https://cerveceros.org/uploads/5d1b32241b8be_Informe%20SocioeconomicoCerveza_2018.pdf) Última consulta: 27/11/2020.
- [14] H.A.V. Sarah Isabel Barreto Torrella, Consumo de agua en la cervecería Tíñima, Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 39 (2018) 28-36.
- [15]<http://www.prtr-es.es/data/images/la%20industria%20cervecera-74f8271308c1b002.pdf> Última consulta: 1/12/2020.
- [16] M.J.M.L. Juan Carlos Cerón García, Manuel Olías Álvarez, Contaminación y tratamiento de aguas, Universidad de Huelva, 2005.
- [17] C.E.d. Postgrado, <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-precipitacion-quimica.html>, Última consulta: 06/12/2020.
- [18] C.-M. Du, X. Gao, S. Ueda, S.-Y. Kitamura, Separation and recovery of phosphorus from steelmaking slag via a selective leaching–chemical precipitation process, Hydrometallurgy, 189 (2019).
- [19] Q. Chen, Y. Yao, X. Li, J. Lu, J. Zhou, Z. Huang, Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates, Journal of Water Process Engineering, 26 (2018) 289-300.
- [20] D.C. Company, Dow Water & ProcessSolutions, FILMTEC Reverse Osmosis Membranes, Technical Manual, Última consulta: 10/12/2020.
- [21] S. Lin, H. Zhao, L. Zhu, T. He, S. Chen, C. Gao, L. Zhang, Seawater desalination technology and engineering in China: A review, Desalination, 498 (2021).
- [22] X. Lai, R. Long, Z. Liu, W. Liu, Solar energy powered high-recovery reverse osmosis for synchronous seawater desalination and energy storage, Energy Conversion and Management, (2020).
- [23] N. Emamdoost, A. Jafarian, R. Kouhikamali, Implementing multiple-effect distillation and reverse osmosis thermal coupling to improve desalination process performance in combined water and power plants, Energy Conversion and Management, 221 (2020).

- [24] G.W. Intelligence, <https://www.globalwaterintel.com/global-water-intelligence-magazine/19/9/market-map/nanofiltration-steps-up-to-the-main-stage>, Última consulta: 07/12/2020.
- [25] S.-Y. Sun, L.-J. Cai, X.-Y. Nie, X. Song, J.-G. Yu, Separation of magnesium and lithium from brine using a Desal nanofiltration membrane, Journal of Water Process Engineering, 7 (2015) 210-217.
- [26] K. D'Costa, Seawater sulfate removal with nanofiltration, Filtration + Separation, 52 (2015) 22-24.
- [27] J.S.A. Leopoldo Guerrero Gallego, Nanofiltración aplicada a la eliminación de compuestos orgánicos de aguas superficiales con destino a consumo humano, Vivendi Water Systems, Última consulta: 10/12/2020, pp. 145-158.
- [28] J.A.L.A. Damm, [https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/01/2\\_Juan-Antonio-L%C3%B3pez-DAMM.pdf](https://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/01/2_Juan-Antonio-L%C3%B3pez-DAMM.pdf), Última consulta: 01/12/2020.