

Manual de uso del banco de evaporadores y del gemelo digital: Laboratorio de Ingeniería Química

Maria Paula Cuacita Fierro, Juan Francisco Martinez Rojas

Universidad Nacional de Colombia

Enero, 2024

Índice

1. Gemelo digital	2
1.1. Entorno de simulación	2
1.1.1. Caso de estudio	4
1.2. Procedimiento / Procedures	8
2. Operación del equipo	9
2.1. Protocolo de encendido	9
2.1.1. Ensayos a vacío	13
2.2. Protocolo de operación	15
2.3. Protocolo de apagado	15
3. Safety Check	16

1. Gemelo digital

El gemelo digital se encuentra disponible en una aplicación de **streamlit** en la red, se puede acceder a ella en este [link](#).



Figura 1: Vista del gemelo digital

1.1. Entorno de simulación

Para el entorno de cálculos del gemelo en el menú de navegación de clic en el botón que dice "**Simulation**".

1. Debe escoger el tipo de simulación que desea realizar, en estado estacionario o en estado dinámico.



Figura 2: Menú desplegable para modo de simulación

2. Escoja la solución de trabajo para la práctica, como se indica en la Figura 3 se encuentra disponible el caso de agua y de agua-sal.

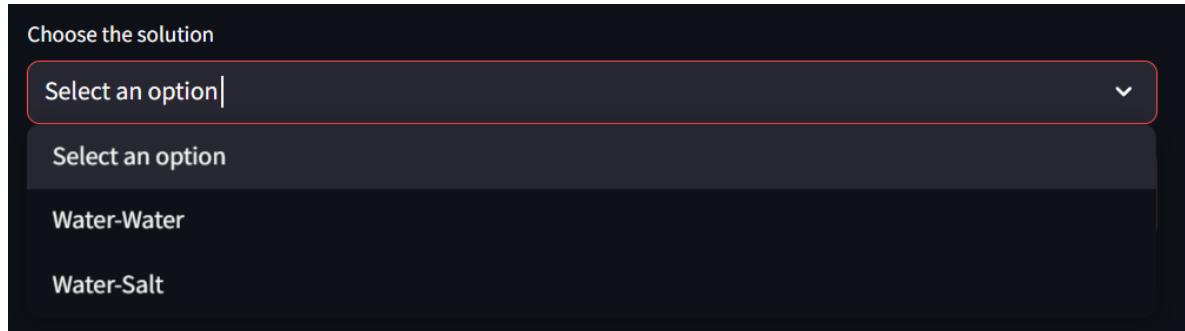


Figura 3: Menú desplegable para escoger la solución

3. Debe registrar algunos datos de entrada para que el gemelo realice los cálculos necesarios como se muestra en la imagen, la temperatura debe ingresarse en Kelvin, la presión en Pascales y el peso en kilogramos. Para la evaporación de agua se debe ingresar la masa de vapor generado que se quiere recolectar al final de la práctica, mientras que para agua sal se debe ingresar la concentración de sal en porcentaje peso/peso.



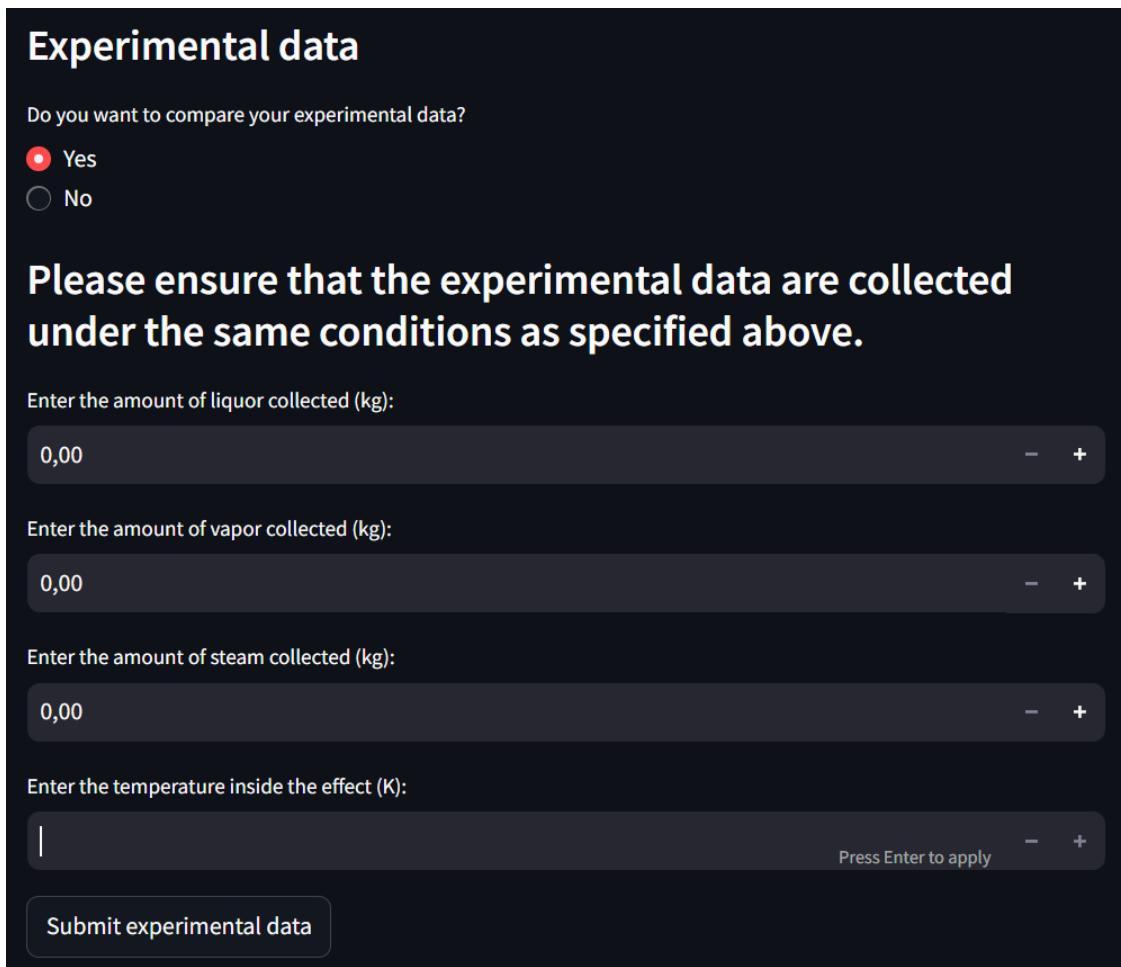
The image shows a dark-themed web application for a stationary state simulation. At the top, it says "Stationary state simulation". Below that, it says "Enter Initial Conditions". There are five input fields with minus and plus buttons for adjusting values:

- Enter the initial mass (kg): 0,00
- Enter the feed temperature (K): 0,00
- Enter the absolute pressure inside the effect (Pa): 0,00
- Enter the steam absolute pressure (Pa): 0,00
- Enter the vapor mass to be collected (kg): 0,00

A "Submit" button is located at the bottom left.

Figura 4: Ingreso de datos

4. Luego presione el botón **Submit**, aparecerá un mensaje con el texto **The initial data has been successfully uploaded** esto significa que el modelo ha registrado los datos y puede entregarlos al usuario. En caso de que no desee comparar datos experimentales presione "No", se habilitará una tabla con los resultados obtenidos.
5. Al presionar "Yes" se habilita la opción de ingresar sus datos experimentales para comparar con lo obtenido por el modelo, luego de cargarlos los datos presione el botón de "**Submit experimental data**" para obtener una comparación de sus datos con los obtenidos por el modelo.



Experimental data

Do you want to compare your experimental data?

Yes
 No

Please ensure that the experimental data are collected under the same conditions as specified above.

Enter the amount of liquor collected (kg):

0,00 - +

Enter the amount of vapor collected (kg):

0,00 - +

Enter the amount of steam collected (kg):

0,00 - +

Enter the temperature inside the effect (K):

| Press Enter to apply - +

Submit experimental data

Figura 5: Menú de comparación de datos

1.1.1. Caso de estudio

Para ilustrar la manera correcta de ingresar los datos se ingresarán los datos obtenidos experimentalmente presentes en la Tabla tomados durante una práctica con agua usando el

Evaporador 1 con efecto simple a presión atmosférica, que en el caso de Bogotá es de 74000 Pascales.

Masa alimentada (kg)	9,1
Temperatura del alimento (K)	298,15
Presión del efecto (Pa)	74000
Presión de Steam (psig)	20
Presión de Steam (Pa)	211895,15
Masa de vapor a recoger (kg)	2,1

Tabla 1: Datos del proceso

Se usa el modo de simulación en **estado estacionario** y se escoge la solución de trabajo.

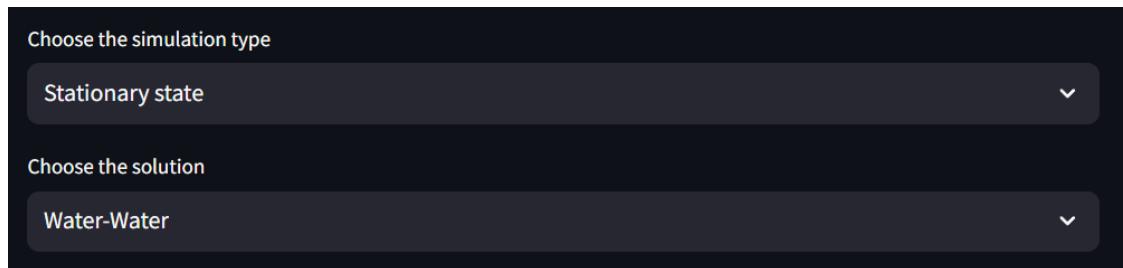


Figura 6: Opciones iniciales correspondientes

Se ingresan los datos de la Tabla 1, el valor de presión que debe ingresar en el gemelo para el vapor de la caldera o vapor vivo debe ser de presión absoluta.

Enter Initial Conditions

Enter the initial mass (kg):

Enter the feed temperature (K):

Enter the absolute pressure inside the effect (Pa):

Enter the steam absolute pressure (Pa):

Enter the vapor mass to be collected (kg):

Submit

The initial data has been successfully uploaded.

Figura 7: Datos de la práctica

En este caso se escoge la opción de comparar los datos del gemelo con datos experimentales, los cuales se presentan en la Tabla 2. Se presiona el botón de **"Submit experimental data"** para cargarlos al sistema como se muestra en la Figura 8.

Volumen de licor (kg)	7
Masa total de vapor vivo usado (kg)	11,84
Temperatura dentro del efecto (K)	365,38
Masa de vapor a recoger (kg)	2,1

Tabla 2: Datos experimentales obtenidos

Do you want to compare your experimental data?

- Yes
 No

Please ensure that the experimental data are collected under the same conditions as specified above.

Enter the amount of liquor collected (kg):

7,00

- +

Enter the amount of vapor collected (kg):

2,10

- +

Enter the amount of steam collected (kg):

11,40

- +

Enter the temperature inside the effect (K):

365,38

- +

Submit experimental data

The experimental data has been successfully uploaded.

Figura 8: Ingreso de datos experimentales para comparar

Finalmente, obtendrá una tabla con sus resultados y el error relativo respecto a lo calculado por el gemelo digital.

	Variable	Unit	Calculated Value	Experimental Values	Error (%)
0	Liquor Flow (L)	kg	7.00	7.00	0.0
1	Vapor Flow (V)	kg	2.10	2.10	0.0
3	Temperature inside the effect (T1)	K	364.56	365.38	0.2
4	Steam Mass Flow (S)	kg	10.59	11.40	7.6
5	Temperature of the Steam (Ts)	K	395.20	395.20	0.0
6	Overall Heat Transfer Coefficient (U)	J/K*cm ²	248.69	274.97	10.6
7	Coefficient of Performance (COP)	N/A	0.20	0.18	7.1

Figura 9: Tabla de resultados final

Para el uso de soluciones de agua sal en el menú de la Figura 6 seleccione "water-salt" e ingrese las concentraciones inicial de su solución y la concentración que espera tenga su solución o de salida o licor.

1.2. Procedimiento / Procedures

En esta sección puede acceder al manual de operación del equipo también adjunto en este documento con imágenes del banco de evaporadores, recomendaciones generales para las prácticas y diagramas de flujo propuestos.

Procesos importantes

En esta sección presione el botón de la información que desea consultar

Manual de operación

Recomendaciones

Diagramas de flujo

Figura 10: Opciones en la ventana

2. Operación del equipo

Estos protocolos de operación se describen para el uso del Evaporador 1 como efecto simple.

2.1. Protocolo de encendido

1. Antes de iniciar la práctica cerciórese de que todos los tanques de recolección se encuentren vacíos, al igual que el cuerpo del evaporador.
2. Con el propósito de indicar el uso de las válvulas para efecto simple con el Evaporador 1 se identifican las válvulas que deben estar abiertas durante la operación de un efecto con cinta de color azul.



Figura 11: Identificación de líneas a usar

3. Las válvulas del control de nivel del tanque de recolección del vapor producido en el efecto se deben encontrar cerradas siempre para evitar romper el cristal del mismo. Las válvulas del control de nivel tanque de alimentación deben permanecer abiertas.
4. Permita el paso de agua al cuerpo del evaporador abriendo las válvulas mostradas a continuación:



Figura 12: Válvula para permitir paso del agua al equipo

5. Encienda y tare todas las balanzas que se encuentran en los tanques de recolección
6. Llene el tanque de alimentación con la solución que va a evaporar, llénela con al menos 20kg, recuerde que este tanque nunca debe estar vacío, preste atención al nivel de este durante la práctica. Se recomienda que las válvulas que le permitirán vigilar el nivel de los tanques,
7. Conecte el enchufe trifásico para el encendido general del equipo.
8. Conecte el computador al equipo, confirme que este tiene carga antes de iniciar.



Figura 13: Conexión USB del computador

9. Para encender debe girar por completo hacia la derecha la perilla, **en color azul** está el encendido general del equipo, el recuadro **de color verde** es el encendido de la bomba de alimento, el recuadro **de color naranja** es el indicador de luz que permite saber si la electroválvula está activa y llenando el evaporador 1, en el momento en que el evaporador esté lleno esta luz se apagará.

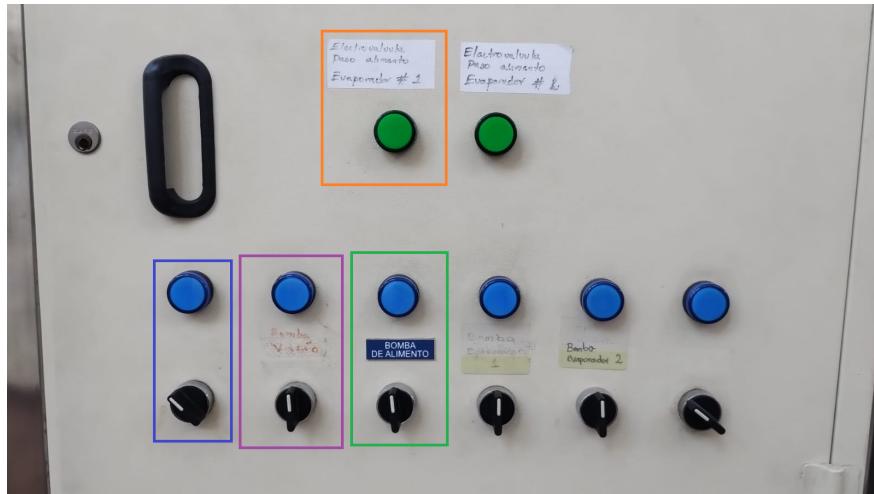


Figura 14: Tablero de control actual

10. Encienda la **bomba de alimento** para cargar el evaporador con la solución a usar, este se llena con aproximadamente 8 kg de solución.
11. Acceda al programa **ASTRA RUN** el cual permite ver las temperaturas a lo largo del equipo.

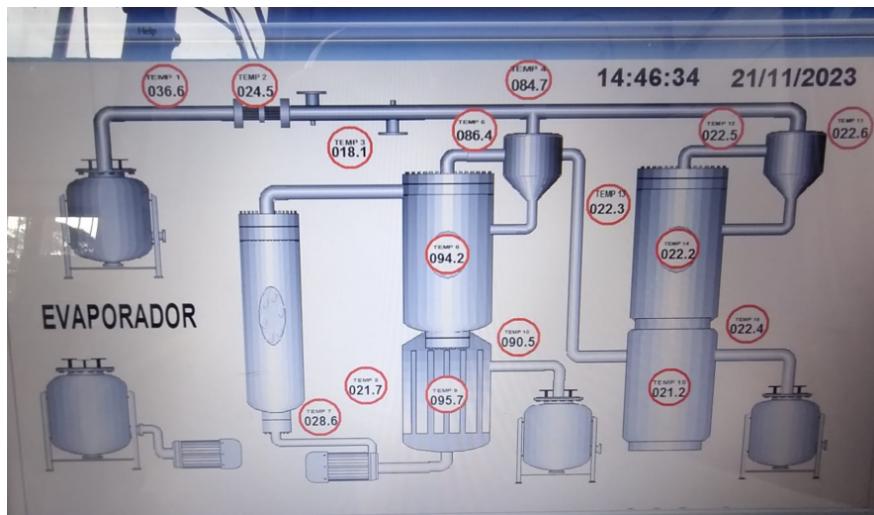


Figura 15: Software actual del equipo

12. La línea de vapor que proviene de la caldera debe ser la última en ser activada y la primera en cerrarse, recuerde obtener autorización del docente para permitir el paso de vapor al equipo y previamente debe solicitar que se encienda la caldera del LIQ.

13. Realice la apertura de las válvulas de la línea de vapor de forma lenta. El procedimiento a seguir es:

- a) Antes de permitir el flujo de vapor por el equipo, cargue todo el cuerpo del efecto con la solución a trabajar.
- b) Primer manómetro (naranja): mantener cerca a 20psi.



Figura 16: Primera válvula de manejo del vapor de alta

- c) Segundo manómetro (azul): Manipular hasta aproximadamente 10psi.



Figura 17: Segunda válvula de manejo del vapor de alta

- d) Manómetro con válvula roja de entrada de vapor de alta al equipo, mantener en 5-10 psi.



Figura 18: Tercera válvula de manejo del vapor de alta

14. Permitir el paso de vapor al equipo, registrando la temperatura del evaporador en función del tiempo, al igual que el vapor de alta usado.
15. La evaporación de la solución se evidencia al obtener masa en el tanque de recolección del condensado, registre la temperatura en la cual se empieza a recoger este vapor condensado.

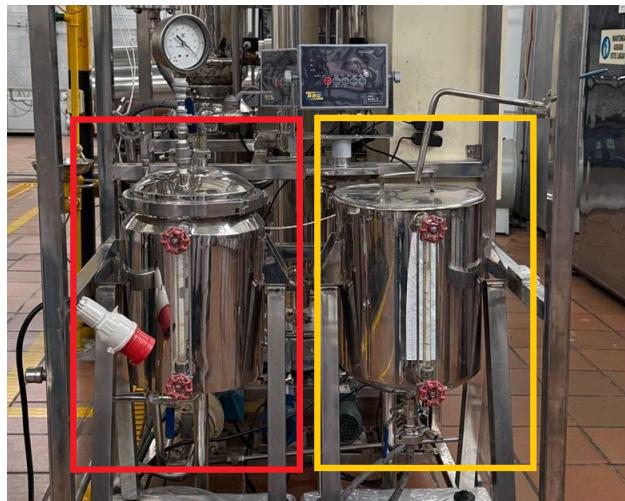


Figura 19: Tanque de recolección del vapor condensado (recuadro **rojo**), Tanque de alimentación (recuadro **amarillo**)

16. Se debe considerar que el acero como tal del equipo debe tener un pre-calentamiento para asegurar un buen desarrollo de la práctica. Mientras mayor sea el tiempo de este pre-calentamiento mejores serán los resultados, se recomienda que sea de mínimo 20 min.
17. Si el equipo es utilizado con fines de llegar a una concentración en específico, se pueden utilizar las muestras obtenidas del licor final para someterlas a una cromatografía, espectrofotometría e incluso a un difractómetro para ver con precisión cuál es la concentración de la solución final. Adicional, en caso de trabajar con solución salina se propone la opción de realizar este análisis de la concentración haciendo uso de la conductividad.

2.1.1. Ensayos a vacío

A partir del **paso 11** de la sección de **Protocolo de encendido** se debe seguir el siguiente proceso:

1. Abra las válvulas que permiten el paso de agua a la bomba de vacío, son las que se muestran en las Figuras 20 y 21 en un recuadro verde. **Sin verificar que las válvulas estén abiertas, no encienda la bomba de vacío.**

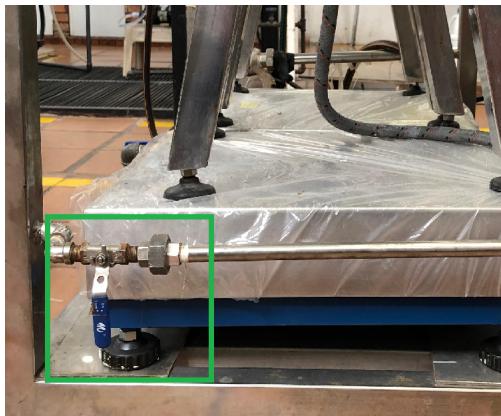


Figura 20: Llave de suministro de agua a la bomba de vacío

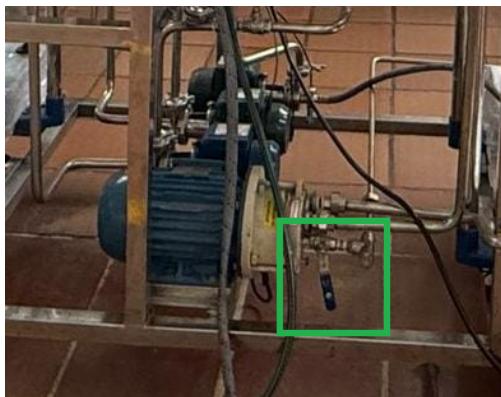


Figura 21: Bomba de vacío

2. Luego de verificar el suministro de agua a la bomba de vacío, encienda la bomba girando hacia la derecha la perilla presente en el tablero de la Figura 14 encerrada en el recuadro **morado**, etiquetada como "**Bomba vacío**".
3. El control del vacío se realiza cerrando la válvula mostrada en la Figura 22. Cierre lentamente hasta llegar al vacío deseado que se recomienda este entre -0.3 bar y -0.4 bar.

Si genera más vacío del deseado, inmediatamente para presurizar el sistema, deje el valor en el que se encuentra y rectifique sus cálculos según corresponda.



Figura 22: Válvula de control del vacío

4. A partir de este punto, continúe con el paso 12 de la sección de **Protocolo de encendido**.

2.2. Protocolo de operación

1. Durante la práctica debe mantener el tanque de alimentación con líquido.
2. Las válvulas de la línea de vapor vivo debe ser monitoreadas constantemente para mantenerlas en los valores mencionados anteriormente, recuerde usar guantes de carnaza.
3. Tome datos en función del tiempo de la masa alimentada al evaporador, masa de vapor vivo recolectado, masa de vapor producido, temperatura dentro del efecto y de presión de la línea de vapor vivo.

2.3. Protocolo de apagado

1. **La primera línea que debe ser apagada es la de vapor**, para lograr esto debe cerrar en el orden de los pasos de la sección de protocolo de encendido en los numerales **(b,c,d)**
2. En el caso de estar usando vacío, apague la bomba de vacío girando la perilla hacia la izquierda (recuadro morado en la Figura 14).
3. Apague la bomba de alimento girando la perilla hacia la izquierda en su totalidad y abra lentamente la válvula gris para presurizar el sistema hasta que llegue a 0 el manómetro.

4. Realice el apagado general del equipo en el tablero presente en la Figura 14.
5. Desconecte el enchufe trifásico.
6. Cierre las válvulas que permiten el paso de agua al equipo.
7. Al final, vacíe todos los tanques, incluyendo el cuerpo del efecto, esto garantiza conservar los equipos en estado óptimo.

3. Safety Check

En esa sección puede confirmar si las condiciones de manejo del evaporador planteadas son las adecuadas para trabajar en el equipo.

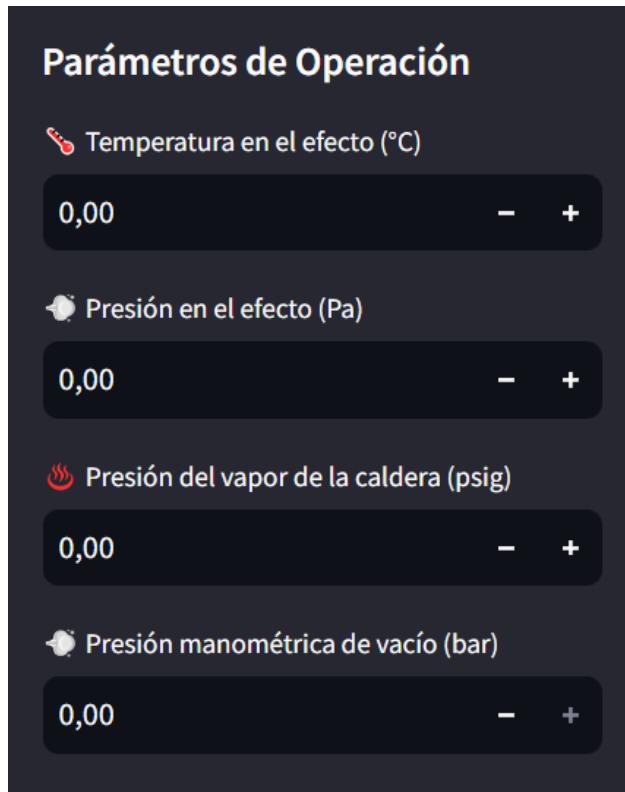


Figura 23: Menú para revisar condiciones de operación

En caso de que este ingresando condiciones de operación no compatibles o no seguras, el gemelo le mostrará una alerta.

● Control de Seguridad del Evaporador

Estado del Sistema

⚠️ **ALERTA:** Se han detectado condiciones fuera de los límites seguros.

- ⚠️ *Temperatura muy baja:* 0.0 °C (mínimo permitido 15 °C)
- ⚠️ *Presión demasiado baja:* 0.0 Pa (mínimo permitido 39000 Pa)
- ⚠️ *Presión del vapor muy baja:* 0.0 psig (mínimo permitido 5 psig)

Registro de Eventos de Seguridad

	Mensaje de Alerta
0	⚠️ *Temperatura muy baja*: 0.0 °C (mínimo permitido 15 °C)
1	⚠️ *Presión demasiado baja*: 0.0 Pa (mínimo permitido 39000 Pa)
2	⚠️ *Presión del vapor muy baja*: 0.0 psig (mínimo permitido 5 psig)

Figura 24: Alertas presentadas en caso de exceder los parámetros de operación adecuados