

Universidad Central del Ecuador



Informe de Gemelo Digital y Práctica Física de Energía Renovable Geotérmica

Integrantes:

Chacha Amawta

Navarrete Abel

Muzo Gissela

Saransig Javier

Chicango Alex

Carrera de Sistemas de Información, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Asignatura: Infraestructura II

Profesor: Ing. Robert Enriquez

Fecha de Entrega: 19 de febrero de 2025

Contenido

1. Objetivos	4
1.1. Objetivo General.....	4
1.2. Objetivos Específicos	4
2. Introducción	5
3. Metodología.....	6
3.1. Gemelo Digital de una Planta Geotérmica	6
3.2. Sistema Físico	8
4. Resultados.....	10
4.1. Resultados de Gemelo Digital de una Planta Geotérmica	10
4.2. Resultados de Sistema Físico	11
❖ Captura de Datos.....	11
• Se almacenaron 1678 registros en la tabla sensor_data, conteniendo mediciones de potencia, voltaje, corriente, temperatura, humedad y timestamp.	11
❖ Mediciones Relevantes	11
• Voltaje: Oscila entre -2.13V y 2.13V, con variaciones significativas en valores negativos.....	11
• Corriente: Presenta valores tanto positivos como negativos, indicando fluctuaciones en la carga.....	11
• Temperatura: Registros cercanos a 23°C, manteniéndose estable en varias muestras.	¡Error! Marcador no definido.
• Humedad: Registros de 52-53%, con pequeñas variaciones.....	¡Error! Marcador no definido.
❖ Análisis de Datos	11
• Se observan valores NULL en algunas mediciones de corriente y potencia, lo que indica posibles fallos en la captura de datos o sensores desconectados.....	11
• Los valores de voltaje negativos pueden sugerir cambios en la dirección de la corriente o ruido en el sistema.....	11
❖ Almacenamiento y Consulta	11
• La base de datos permite consultar todos los registros con SELECT * FROM sensor_data;, mostrando mediciones en tiempo real con timestamps secuenciales.	11
5. Conclusiones	11
6. Recomendaciones	12
7. Anexos.....	12
8. Bibliografía	22

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Elaborar un gemelo digital en Unity y un sistema físico que simulen de manera interactiva el proceso de generación de energía geotérmica, fomentando el aprendizaje práctico y el uso de herramientas tecnológicas avanzadas en el diseño de sistemas energéticos renovables.

1.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un gemelo digital 3D interactivo en Unity que represente los componentes que conforman una planta geotérmica (pozos, tuberías, etc.).
- Integrar sensores virtuales en Unity para monitorear variables como codificador, revoluciones por minuto y producción de energía (potencia).
- Crear una interfaz gráfica en Unity que visualice los datos recopilados por los sensores virtuales en tiempo real.
- Diseñar y construir un sistema físico que incluya tuberías, sensores y otros componentes, para simular el flujo de vapor y capturar los datos en tiempo real.
- Incorporar un circuito electrónico en el sistema físico para procesar y transmitir la información capturada por los sensores físicos.
- Mostrar en un video demostrativo el funcionamiento del gemelo digital 3D en Unity, destacando su interactividad y visualización de datos.

2. Introducción

La energía geotérmica es una fuente renovable de energía que se obtiene del calor almacenado en el interior de la Tierra. Su origen radica en la desintegración de elementos radiactivos y el calor residual del proceso de formación del planeta. Este calor se encuentra en el subsuelo en forma de roca fundida, vapor o agua caliente, y puede ser aprovechado para generar electricidad o proporcionar calefacción. Se estima que la energía geotérmica tiene un potencial global de más de 13.000 GW, con países como Estados Unidos, Indonesia y Filipinas liderando su producción.

Partes de una Planta de Energía Geotérmica

Una planta geotérmica consta de varias partes clave:

- **Pozos de producción:** Extraen el fluido caliente del subsuelo.
- **Separadores de vapor:** Eliminan el agua del vapor geotérmico.
- **Turbinas y generadores:** El vapor impulsa las turbinas, generando electricidad.
- **Condensadores y torres de enfriamiento:** Condensan el vapor en agua para su reinyección en el subsuelo.
- **Sistema de reinyección:** Devuelve el agua a la fuente para mantener el equilibrio térmico.

Generación de Energía con Vapor Geotérmico

El proceso inicia cuando el agua subterránea entra en contacto con rocas calientes y se convierte en vapor. Este vapor es dirigido hacia turbinas conectadas a generadores eléctricos, produciendo electricidad. Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, una planta geotérmica puede generar entre 25 y 500 MW, dependiendo del codificador del recurso y la tecnología utilizada.

[2].

Herramientas Utilizadas en el Gemelo Digital

Para la representación digital de la planta geotérmica, se utilizó **Unity**, un motor de renderizado 3D que permite crear simulaciones interactivas. Dentro de Unity, se emplearon **assets**, que son elementos predefinidos como modelos 3D, texturas y scripts que facilitan el desarrollo del entorno virtual. Entre los assets usados, destacan:

- **Path Creator:** Herramienta para definir trayectorias por las que se mueven objetos, como el vapor.
- **DOTween:** Biblioteca para animaciones avanzadas dentro del motor de Unity.

Además, para el sistema físico se utilizó **Visual Studio Code** con la extensión **Espressif IDF**, para programar el microcontrolador **ESP32**, el cual gestiona la recopilación de datos en tiempo real.

Con este enfoque, el proyecto combina el gemelo digital y el sistema físico para proporcionar una representación integral del proceso de generación de energía geotérmica.

3. Metodología

3.1. Gemelo Digital de una Planta Geotérmica

Herramientas y Tecnologías Utilizadas

Para la creación del gemelo digital, se emplearon las siguientes herramientas y tecnologías:

- **Unity (versión 6000.33):** Motor de renderizado y simulación del modelo 3D.
- **SketchUp (versión 2023):** Diseño y modelado 3D de los componentes del sistema.
- **Visual Studio 2022:** Programación de los scripts que controlan la lógica del sistema.

Assets de Unity

Se utilizaron varios assets de Unity para mejorar la simulación:

- **Path Creator:** Para simular el recorrido del vapor a través de las tuberías.
- **DOTween:** Para animar y visualizar el movimiento del vapor.
- **Bitgem:** Para efectos visuales de agua y lava.
- **Carpeta de materiales:** Contiene los materiales utilizados en los sistemas de partículas para simular el vapor.
- **Carpeta de Scripts:** Aloja todos los códigos desarrollados durante el proyecto.

Estructura del Proyecto en Unity

La escena en Unity se organizó jerárquicamente de la siguiente manera:

- **PlantaGeotermica:** Contiene todos los objetos principales del modelo 3D.
- **VaporCamino:** Contiene el vapor que sigue un camino predeterminado y el que impulsa la turbina.
- **VaporSubteraneo:** Representa el vapor que se encuentra debajo junto con el agua caliente.
- **Agua y Lava:** Objetos y efectos visuales relacionados con estos elementos.
- **TurbinaRotor:** Contiene un cubo 3D que actúa como padre de la turbina, facilitando colisiones y rotaciones.
- **VaporCaja:** Contiene Objetos de vapor que se activan mediante triggers.
- **Triggers:** Activadores que detectan el paso del vapor y activan eventos (como la liberación de vapor o la rotación de la turbina).
- **FocoFuncional:** Contiene el foco y los efectos de luz asociados.

- **DatosCubo:** Muestra datos de sensores (encoder , revoluciones y potencia) en un panel de texto.
- **Soporte:** Tablero donde se visualizan los datos generados por el sistema.

Procesos de Desarrollo

- **Modelado 3D:** Los componentes del sistema, como la turbina, los contenedores, los separadores y el transformador, fueron diseñados en SketchUp y exportados en formato FBX para su integración en Unity.
- **Integración en Unity:** Los modelos 3D se importaron y organizaron en una escena jerárquica.
- **Desarrollo de Scripts:**
 - **ConsoleToUI:** Muestra los datos de los sensores en un panel de visualización.
 - **DetectorMetaTrigger:** Activa eventos cuando el vapor entra en contacto con ciertos objetos.
 - **InerciaTurbina:** Extrae los datos necesarios de la turbina para calcular su inercia, formula que se mencionara más adelante.
 - **SensorTurbinaConDamping:** Controla la rotación de la turbina, activa la luz del foco y calcula el torque necesario para su movimiento.

Fórmulas físicas utilizadas

- **Inercia:**

$$I = m * r^2$$

Donde:

- I : Inercia (kgm^2)
- m : masa (kg)
- r : radio (m)

- **Torque:**

$$T = I * \alpha$$

Donde:

- T : Torque (Nm)
- I : Inercia (kgm^2)
- α : aceleracion angular (rad/s^2)

- **Potencia:**

$$P = \omega * T$$

Donde:

- P : Potencia (W)
- ω : velocidad angular (rad/s)
- T : Torque (Nm)

- **Revoluciones por minuto (RPM):**

$$RPM = \frac{\omega * 60(s)}{2\pi}$$

Donde:

- RPM : Revoluciones por minuto
- ω : velocidad angular (rad/s)
- T : Torque (Nm)

- Codificador: dispositivo que convierte el movimiento mecánico en señales eléctricas, permitiendo medir parámetros como la posición, velocidad y dirección de giro de un eje.
- Se utilizaron Box Colliders y Rigidbody para manejar colisiones y triggers.
- Los triggers detectan el paso del vapor y activan eventos como la rotación de la turbina o la generación de datos.
- Los sistemas de partículas se configuraron para simular efectos visuales como el vapor, ajustando parámetros como velocidad, dirección y densidad.

Pruebas de simulación

- Durante el desarrollo, se realizaron pruebas iterativas para validar el movimiento del vapor, la rotación de la turbina, la detección de colisiones y la activación de eventos.
- Se utilizó la consola de Unity para depurar scripts y asegurar que los datos de los sensores se mostraran correctamente en el panel de visualización.

Componentes y Explicación del Flujo de Vapor y Energía de la Planta Geotérmica en el Simulador

- **Extracción:** El vapor es extraído del subsuelo por **Pozos Geotérmicos**.
- **Purificación:** El vapor pasa por el **Separador Sincrónico** para eliminar impurezas.
- **Transporte:** El vapor es transportado a través de las **Tuberías del Sistema de Acarreo**.
- **Generación de Energía:** El vapor llega a la **Turbina**, haciendo girar el **rotor** y generando energía mecánica.

3.2. Sistema Físico

El circuito desarrollado se compone de diversos elementos electrónicos que permiten medir la energía generada por un **motor a pasos con un ventilador acoplado** y analizar cómo los factores ambientales afectan su rendimiento.

➤ 1. Microcontrolador principal ESP32

Es un microcontrolador potente con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, utilizado para la adquisición y procesamiento de datos.

- Recibe los datos de los sensores (voltaje, corriente, temperatura y humedad).
- Procesa la información y puedes enviarla a una computadora o una plataforma en la nube.
- Controle los indicadores LED según los valores medidos.

➤ 2. Elementos de conexión

Placa de pruebas

Es una base de pruebas que permite realizar conexiones sin necesidad de soldadura.

- Facilita la organización de los módulos y la conexión de los componentes.
 - Permite realizar pruebas y ajustes sin necesidad de conexiones permanentes.
- **Cables puente**
Son cables flexibles utilizados para conectar diferentes partes del circuito.
- Permiten la comunicación entre sensores, el ESP32 y otros elementos.
 - Facilitan la conexión temporal y modificación rápida del circuito.
- **3. Sensores para la Medición de Parámetros**
- Módulo Encoder**
convierte el movimiento mecánico en señales eléctricas, permitiendo medir parámetros como la posición, velocidad y dirección de giro de un eje.
- Para medir la velocidad y dirección de giro.
- Módulo Sensor de Corriente**
Un sensor que mide la cantidad de corriente eléctrica en el circuito.
- Determine cuánta electricidad está generando el motor a pasos cuando el ventilador gira.
- Módulo sensor de voltaje**
Un sensor que mide el voltaje presente en el circuito.
- Permite conocer el voltaje generado por el motor a pasos.
 - Ayuda a calcular la potencia eléctrica total generada.
- **4. Elementos de Generación y Regulación de Energía**
- Motor a Pasos con Ventilador Acoplado**
Un motor que, al ser movido mecánicamente, puede generar electricidad.
- Actúa como un generador: cuando el ventilador gira (por viento u otra fuente mecánica), el motor produce voltaje y corriente.
- Regulador de voltaje**
Un componente que estabiliza la alimentación eléctrica.
- Evite que el ESP32 y otros módulos reciban sobrecargas de voltaje.
 - Mantenga la alimentación del circuito dentro de parámetros seguros.
- Capacitor electrolítico**
Un componente que almacena y regula la energía para evitar fluctuaciones.
- Filtra variaciones del voltaje generado por el motor a pasos.
 - Mejora la estabilidad de las mediciones de los sensores.
- **5. Indicadores visuales**
- LEDs Rojos (4 unidades)**
Diodos emisores de luz que actúan como indicadores visuales.
- Pueden encenderse para mostrar diferentes estados del sistema, como detección de voltaje o corriente.

LED azul

Un diodo emisor de luz azul que indica el estado del sistema.

- Muestra si el ESP32 está encendido y en funcionamiento.

➤ **6. Elementos de Protección y Control de Flujo de Corriente**

Resistencias

Componentes que limitan el paso de corriente eléctrica.

- Ajustan la corriente que pasa por los LED y otros módulos.
- Protegen los componentes electrónicos de sobrecargas.

➤ **Resumen del Funcionamiento del Circuito**

Generación de Energía: El ventilador gira, impulsando el motor a pasos, que genera voltaje y corriente.

Medición de Parámetros: Los sensores capturan datos de voltaje, corriente, revoluciones por minuto.

Procesamiento de Datos: El ESP32 recibe y analiza los datos, permitiendo visualizar el estado del sistema.

Indicadores Visuales: Los LED muestran información sobre el funcionamiento del circuito.

Este sistema permite evaluar cómo las condiciones ambientales afectan la generación de energía y puede integrarse en aplicaciones más avanzadas con monitoreo remoto.

4. Resultados

4.1. Resultados de Gemelo Digital de una Planta Geotérmica

- ❖ El sistema permite observar dinámicamente el flujo de vapor, la rotación de la turbina y la generación de electricidad en tiempo real.
- ❖ Un panel de visualización interactivo muestra datos clave como las revoluciones de la turbina (RPM), la potencia generada (W), y torque de la turbina, facilitando el análisis del sistema bajo diferentes condiciones.
- ❖ El modelo de simulación del vapor se ha refinado para representar con mayor precisión su flujo y su interacción con la turbina, ajustando los scripts para garantizar una representación más realista.

4.2. Resultados de Sistema Físico

❖ Captura de Datos

- Se almacenaron 1678 registros en la tabla sensor_data, conteniendo mediciones de potencia, voltaje, corriente, RPM y timestamp.

❖ Mediciones Relevantes

- Voltaje: Oscila entre -2.13V y 2.13V, con variaciones significativas en valores negativos.
- Corriente: Presenta valores tanto positivos como negativos, indicando fluctuaciones en la carga.

❖ Análisis de Datos

- Se observan valores NULL en algunas mediciones de corriente y potencia, lo que indica posibles fallos en la captura de datos o sensores desconectados.
- Los valores de voltaje negativos pueden sugerir cambios en la dirección de la corriente o ruido en el sistema.

❖ Almacenamiento y Consulta

- La base de datos permite consultar todos los registros con `SELECT * FROM sensor_data;`, mostrando mediciones en tiempo real con timestamps secuenciales.

5. Conclusiones

Al finalizar este proyecto de fin de semestre sobre el uso de un gemelo digital en la práctica física de energía renovable geotérmica, hemos logrado obtener varios aprendizajes clave:

1. Comprensión de la Energía Geotérmica

Durante la investigación y experimentación, comprendimos mejor cómo funciona la energía geotérmica y su potencial como fuente renovable. Nos dimos cuenta de que su aprovechamiento depende de múltiples factores, como la eficiencia del sistema de conversión de energía.

2. Uso del Gemelo Digital para la Simulación y Análisis del Sistema

Implementar un gemelo digital nos permitió no solo visualizar y analizar datos sin necesidad de realizar pruebas físicas constantemente, sino también entender mejor el funcionamiento de una planta geotérmica. A través de la simulación, pudimos observar cómo las variables de presión y flujo de calor afectan la eficiencia del sistema, lo que nos ayudó a comprender el comportamiento de una planta real y sus posibles optimizaciones.

3. Diferencias entre la Simulación y la Realidad

Aunque el modelo digital nos dio resultados bastante precisos, al compararlos con los datos obtenidos en la práctica física notamos pequeñas diferencias debido a condiciones externas no consideradas en la simulación. Esto nos enseñó la importancia de ajustar los modelos para hacerlos más realistas y mejorar su precisión en la toma de decisiones.

4. Importancia del Monitoreo en Tiempo Real

Gracias a los sensores utilizados, pudimos medir variables como voltaje en tiempo real. Esto nos mostró cómo los datos en vivo pueden ayudar a tomar decisiones rápidas y mejorar la eficiencia del sistema. Además, nos permitió validar la información generada por el gemelo digital y hacer ajustes según las condiciones reales del entorno.

5. Impacto de la Tecnología en las Energías Renovables

Una de las principales conclusiones es que el uso de herramientas digitales, como los gemelos digitales, puede mejorar la forma en que diseñamos y optimizamos los sistemas de energía renovable. Nos dimos cuenta de que este tipo de tecnología no solo reduce costos, sino que también hace que la implementación de energías limpias sea más accesible y eficiente.

6. Recomendaciones

Para mejorar el proyecto, se recomienda integrar una sincronización más precisa entre el gemelo digital en Unity y el sistema físico usando protocolos en tiempo real como MQTT o WebSocket. También sería útil incorporar un modelo termodinámico más detallado que considere entalpía, presión y temperatura, para mejorar la precisión de la simulación. Ampliar el conjunto de sensores para incluir variables adicionales como la presión y las vibraciones mejorará el monitoreo, mientras que la implementación de controladores como los algoritmos PID podría optimizar el rendimiento. Es importante llevar un registro detallado de las métricas y analizar los resultados de la simulación para ajustes, y enriquecer la visualización en Unity con gráficos interactivos y representaciones en tiempo real. Finalmente, considerar la escalabilidad del proyecto permitiría expandirlo para incluir diferentes tipos de plantas o fuentes de energía, promoviendo un enfoque más integral y educativo.

7. Anexos

7.1. Anexos de Gemelo Digital de una Planta Geotérmica

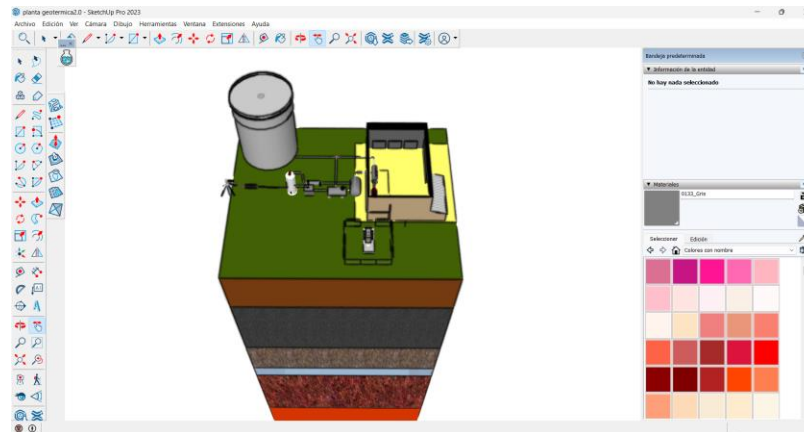


Imagen 1. Elaboración del Modelo 3D de la planta geotérmica en SketchUp.

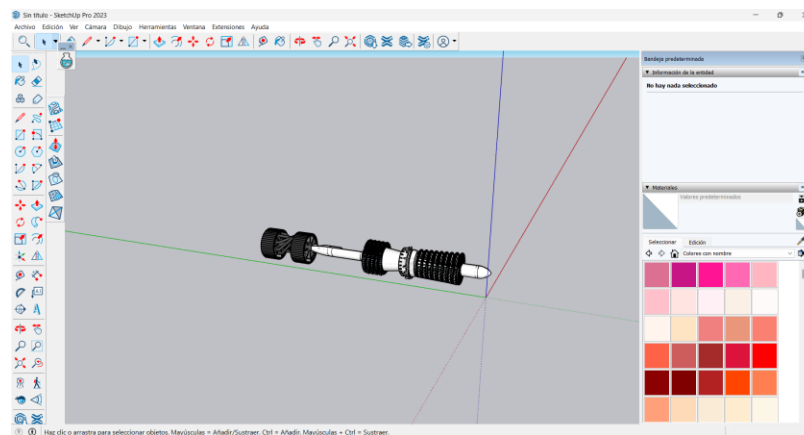


Imagen 2. Elaboración de la Turbina y Rotor para la planta geotérmica en SketchUp.

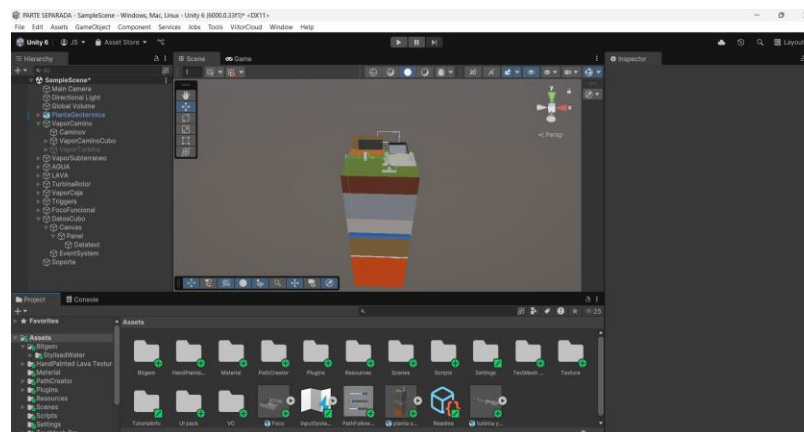


Imagen 3. Importación del modelo 3D, junto con la turbina y rotor a Unity.

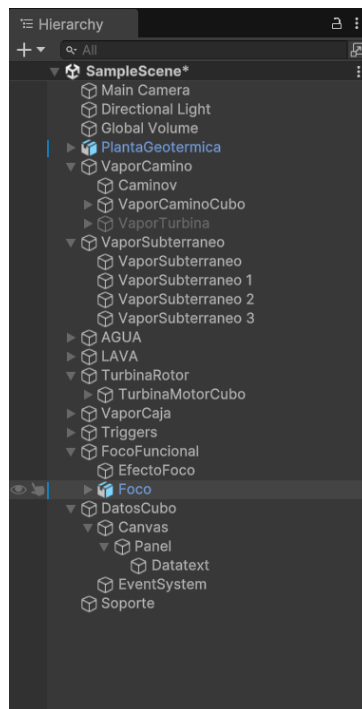


Imagen 4. Estructura del proyecto organizado jerárquicamente.

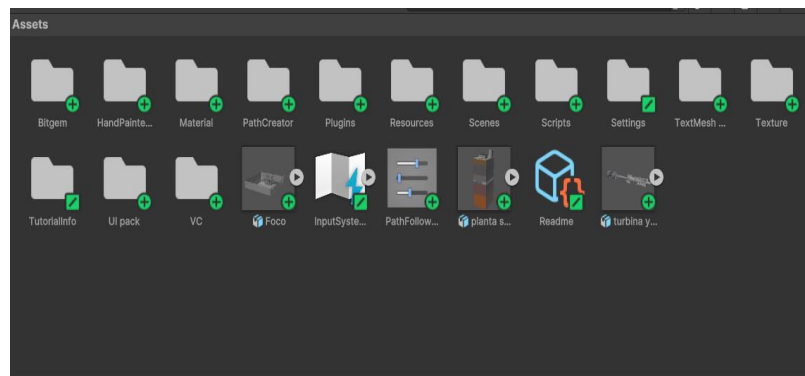


Imagen 5. Espacio destinado a los Assets ocupados en el proyecto (como PathCreator, Bitgem, los materiales para el vapor y los Scripts).

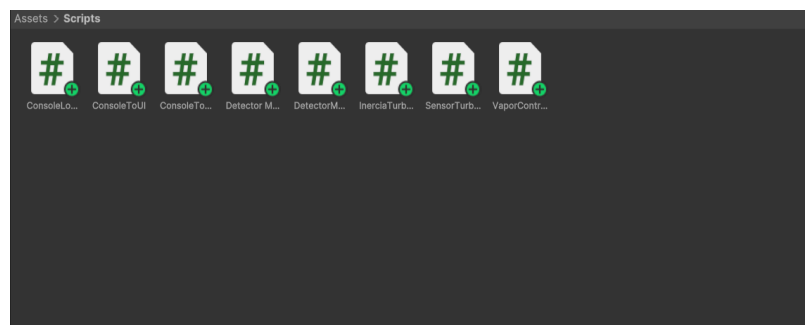


Imagen 6. Todos los Scripts utilizados en el proyecto.

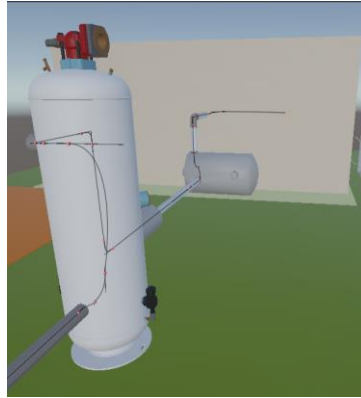


Imagen 7. Implementación del camino, usando la herramienta PathCreator.

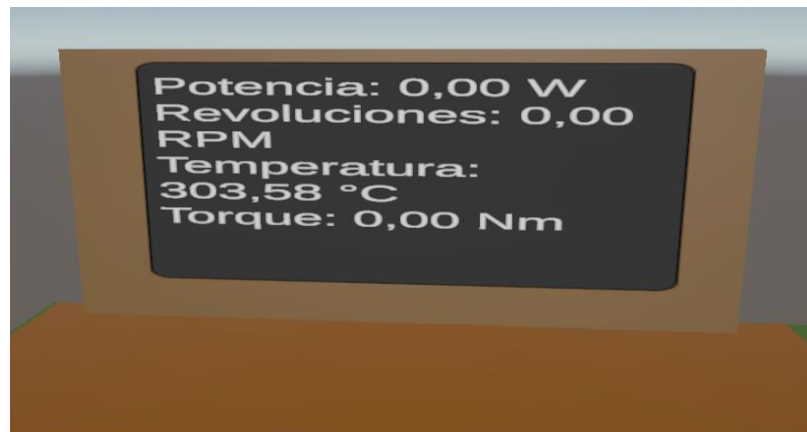


Imagen 8. Tablero donde se registra los datos capturados de cada trigger.

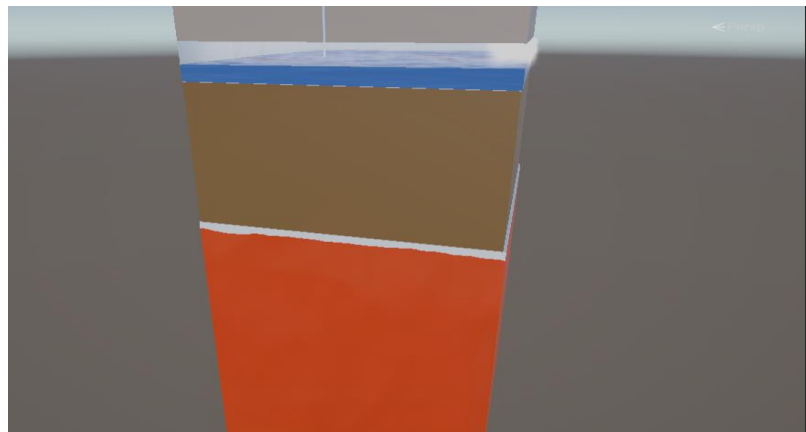


Imagen 9. Animación de agua con vapor y lava.

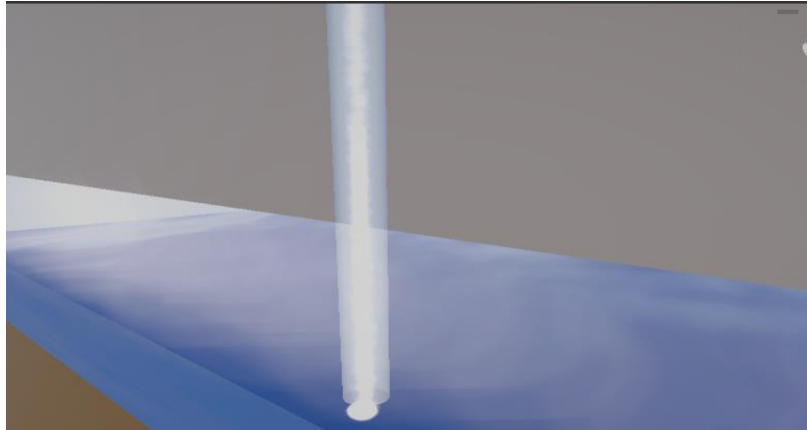


Imagen 10. Simulación de paso de vapor por la tubería extraído de acuíferos con altas temperaturas.

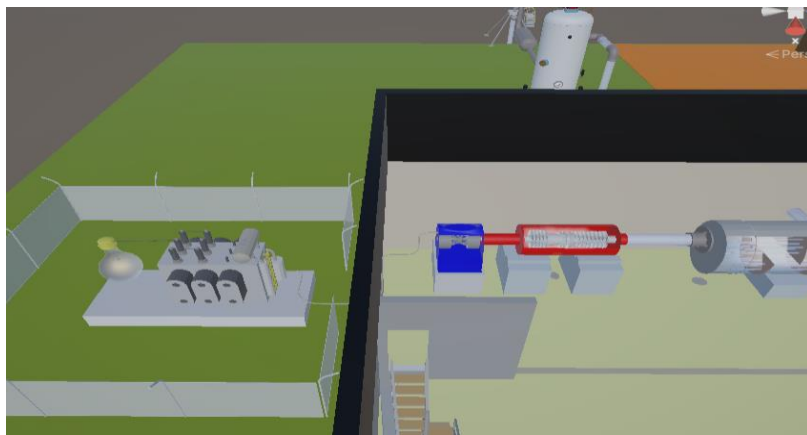


Imagen 11. Simulación de movimiento de la turbina al pasar vapor y generación de energía eléctrica.



Imagen 12. Estructura interna de la planta geotérmica.

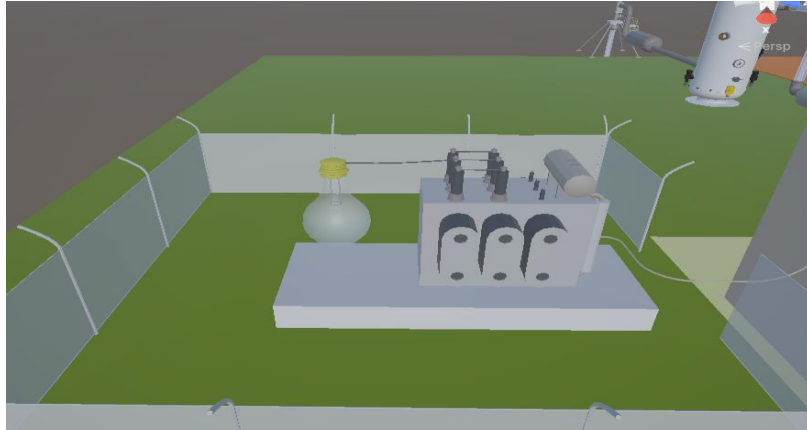


Imagen 13. Transformador de la planta geotérmica junto con un foco.

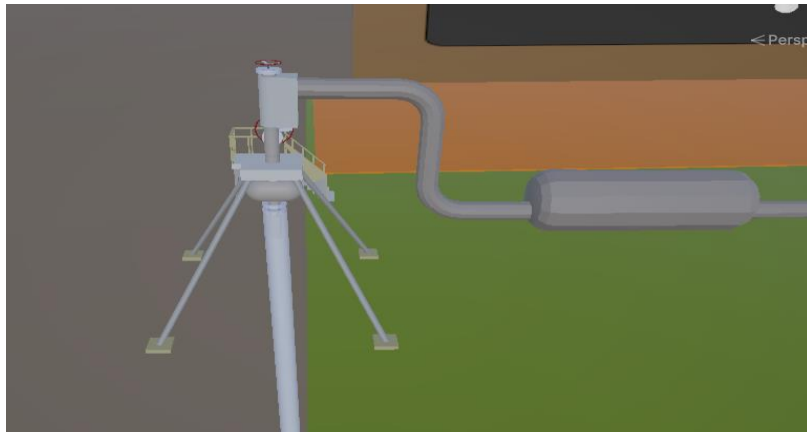


Imagen 14. Extractor de vapor.



Imagen 15. Separador Sincrónico.

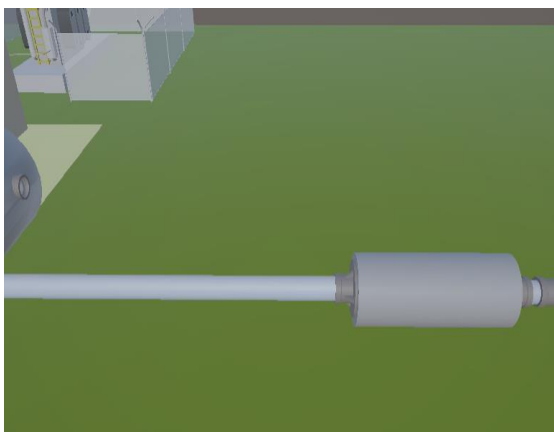


Imagen 16. Tuberías sistema de acarreo.

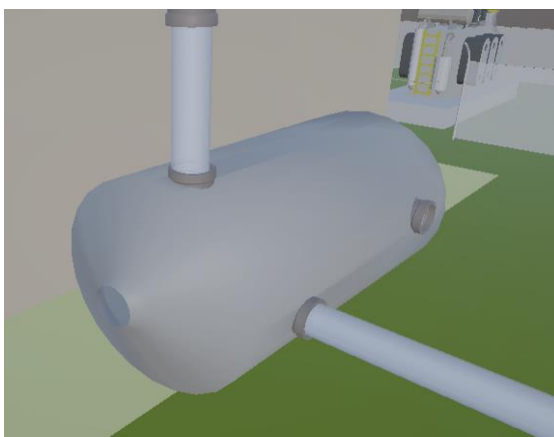


Imagen 17. Colector.

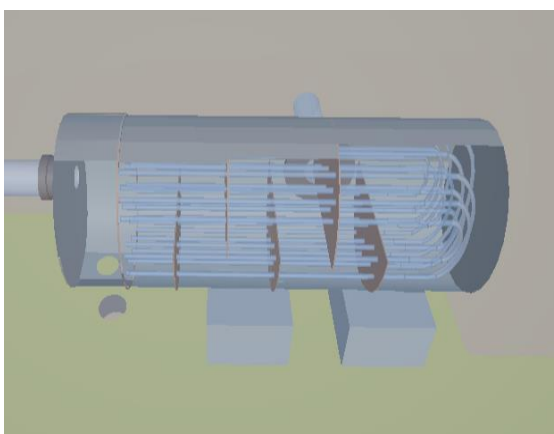
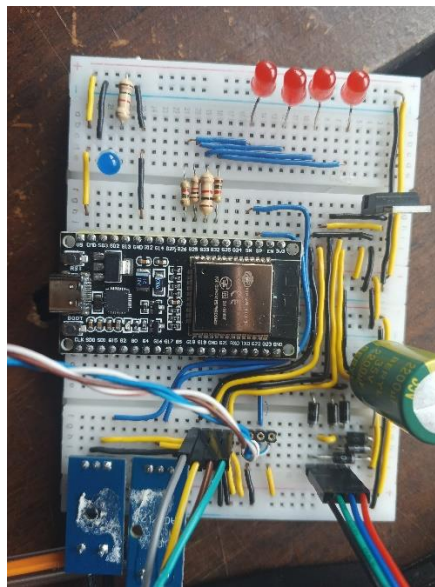


Imagen 17. Separador de humedad.

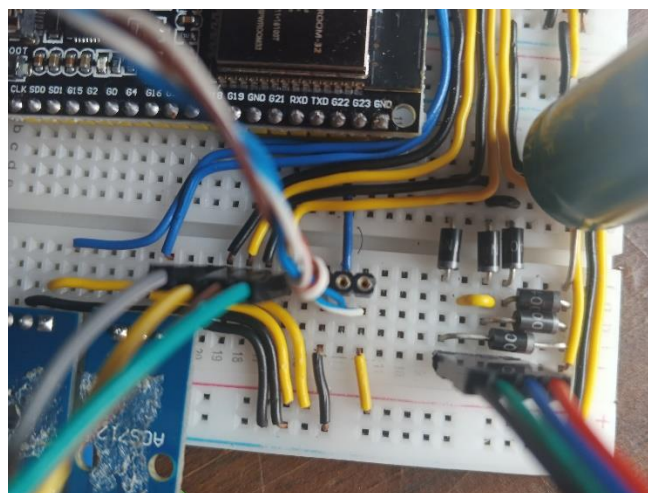
7.2. Anexos de Sistema Físico



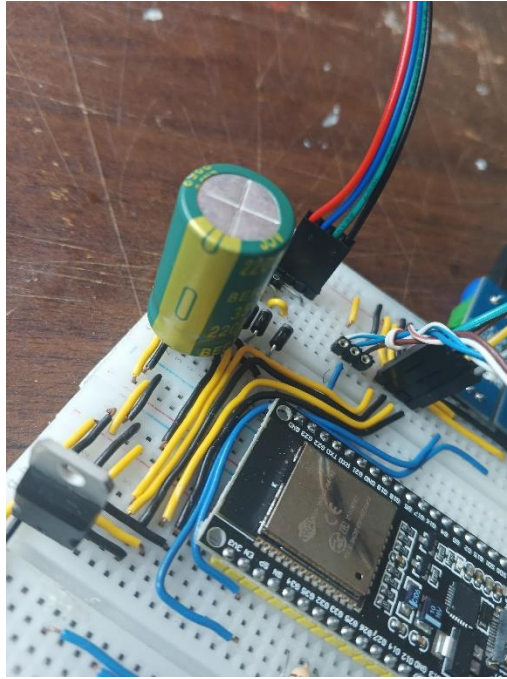
1. Circuito y motor generador de energía



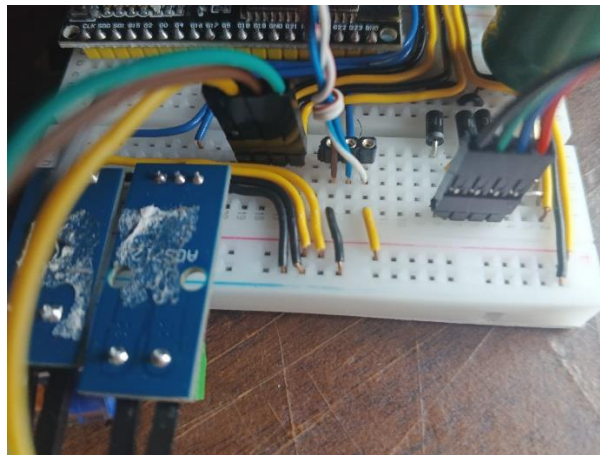
2. Circuito y sus conexiones



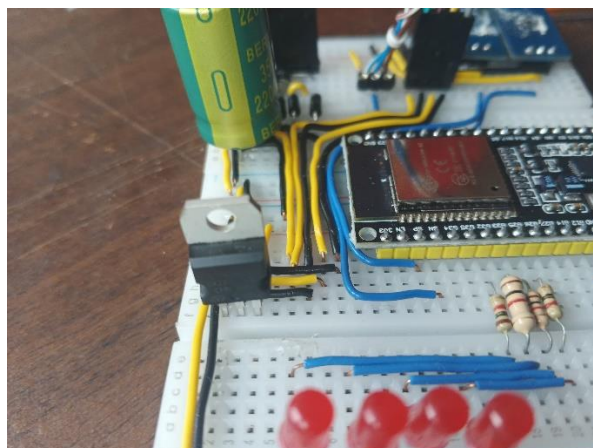
3. Conexiones del circuito



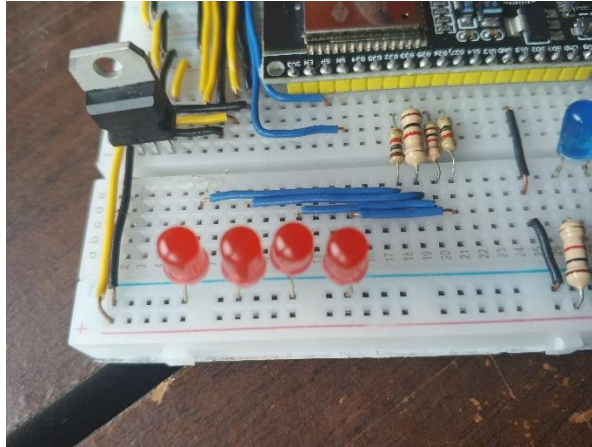
4. Capacitor electrolítico



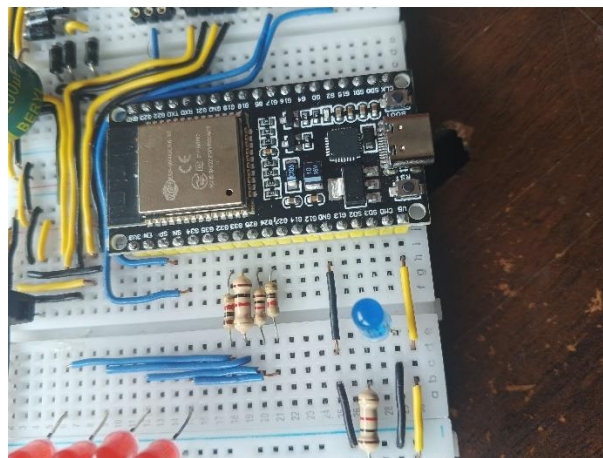
5. Módulos sensores de voltaje y de corriente



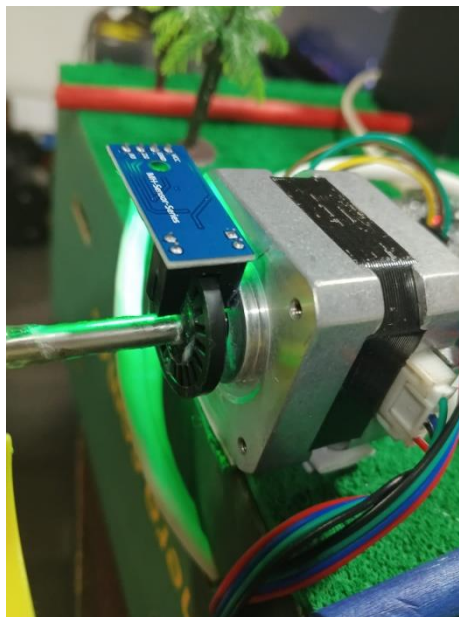
6. Mosfet regulador de voltaje



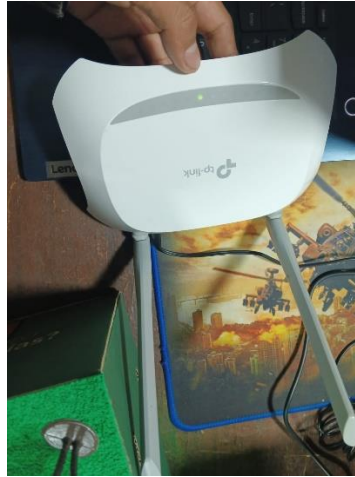
7. Leds indicadores de estado



8. Led indicador de encendido



9. Encoder



1. Router para red Lan

8. Bibliografía

[1] P. P. Urone y R. Hinrichs, "10.4 rotational kinetic energy: Work and energy revisited", College Physics, 21-jun-2012. Disponible en: <https://openstax.org/books/college-physics/pages/10-4-rotational-kinetic-energy-work-and-energy-revisited>.

[2] P. P. Urone y R. Hinrichs, "10.3 dynamics of rotational motion: Rotational inertia", College Physics. Disponible en: <https://openstax.org/books/college-physics/pages/10-3-dynamics-of-rotational-motion-rotational-inertia>.

[3] "29.3 Moment of Inertia of a Disc", MIT OpenCourseWare. Disponible en: <https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/pages/week-10-rotational-motion/29-3-moment-of-inertia-of-a-disc/>.

[4] "9.3 Period and Frequency", MIT OpenCourseWare. Disponible en: <https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/pages/week-3-circular-motion/9-3-period-and-frequency/>.

[5] J. Castillo, V. Rojas, and J. Martínez, "Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático," *Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica*, Quito, Ecuador, 2017.

[6] A. S. I. Abdullah, "The Use Of An Ejector In A Geothermal Flash System," *IEEE Xplore*, 2014. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/747930>.

[7] S. R. M. Choi, "Study on power-saving effects in direct-use of geothermal energy for datacenter cooling systems," *IEEE Xplore*, 2016. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7749032>.

[8] J. H. Kim, "Sand Battery: An Innovative Solution for Renewable Energy Storage," *IEEE Xplore*, 2023. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10236319>.

[9] C. F. Pinedo Mines y E. G. Ramírez Pintado, "Análisis y evaluación del potencial geotérmico para su aprovechamiento mediante una central de ciclo binario para generación de potencia eléctrica en la región corongo-ancash, Perú", Universidad Nacional del Santa, 2015.

[10] A. Cajal, «Aceleración angular», Lifeder, 13 de abril de 2021. <https://www.lifeder.com/aceleracion-angular/>

[11] julioprofe, "Formulas para Movimiento Circular Uniforme y Uniformemente Variado", Julioprofe.net. [En línea]. Disponible en: <https://julioprofe.net/material-de-apoyo/fisica/Formulas-para-Movimiento-Circular-Uniforme-y-Uniformemente-Variado.pdf>.

[12] La Energía Geotérmica. iadb.org. Recuperado el 26 de febrero de 2025, de <https://webimages.iadb.org/publications/spanish/document/Geotermia-Una-fuente-sostenible-de-energia.pdf>