



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS



**SIMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE UN
DESTILADOR UTILIZANDO DATOS METEOROLÓGICOS EN
LA CIUDAD DE JULIACA-PERÚ**

TESIS

PRESENTADA POR:

JHIMY JHORDAN QUISPE CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS:

FÍSICA

PUNO – PERÚ

2024



JHIMY JHORDAN QUISPE CONDORI

SIMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE UN DESTILADOR UTILIZANDO DATOS METEOROLÓGICOS EN LA ...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:414276705

132 Páginas

Fecha de entrega

9 dic 2024, 11:51 a.m. GMT-5

22,649 Palabras

123,920 Caracteres

Fecha de descarga

9 dic 2024, 11:56 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

SIMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE UN DESTILADOR UTILIZANDO DATOS METEOROLÓG....pdf

Tamaño de archivo

3.8 MB





9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Texto oculto**
1 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Matias Huillca A
MATIAS HUILLCA ARBIETO
ASESOR DE TESIS



Adelaida Otazu Conza
Adelaida Otazu Conza
LIC. CIENCIAS FÍSICO - MATEMÁTICAS
Dir. MATEMÁTICA APLICADA





DEDICATORIA

A mis queridos padres, David y Gladys, y a mi hermana Janet (†).

Con todo mi amor y gratitud, dedico esta tesis a ustedes, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Su amor, sacrificio y enseñanzas han sido los pilares que han sustentado cada paso de este camino. Gracias por creer en mí, por estar siempre a mi lado y por ser el ejemplo constante de perseverancia y dedicación. Este logro es tanto mío como suyo.

Jhimy Jhordan



AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en la realización de esta tesis.

En primer lugar, a Dios y la Virgen María, y a mis padres David y Gladys por su amor incondicional, apoyo constante y por ser mi mayor fuente de inspiración. Su paciencia, sacrificio y creencia en mí han sido el pilar de mi perseverancia. Sin su aliento y respaldo, este logro no habría sido posible, al GYM por enseñarme valores y al amor propio.

A mis docentes, la Dra. Juana Zavaleta por impartir el conocimiento de la investigación, Dr. Percy Huata por su enseñanza en la estadística del Postgrado de la UNA-Puno y compañeros por su dedicación y por compartir su conocimiento y experiencia, especialmente a mis amigos Lic. Fabian Darío y el Lic. Luis Roger. Sus enseñanzas y consejos han sido cruciales para mi desarrollo académico y personal. A Mdre. Doris por darme un aliento de fuerza en mi trabajo. Aprecio profundamente el tiempo que han invertido en mi formación.

Finalmente, a mi asesor de tesis, Matias Huillca Arbieto, por su orientación experta, paciencia y compromiso. Su guía ha sido invaluable en cada etapa del proceso de investigación y redacción. Agradezco profundamente sus consejos y el tiempo dedicado a revisar y perfeccionar este trabajo.



INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problema específico	19
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	19
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	22
1.4.1. Objetivo general	22
1.4.2. Objetivos específicos.....	22
1.5. HIPÓTESIS	23
1.5.1. Hipótesis general	23
1.5.2. Hipótesis específicas	23
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	24



2.2.	TERMODINÁMICA Y TRANSFERENCIA DE CALOR.....	29
2.3.	CALOR Y FORMAS DE ENERGÍA	30
2.4.	LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON	30
2.5.	LEY DE STEFAN-BOLTZMANN.....	31
2.6.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.....	33
2.6.1.	Comparación entre la transferencia de calor constante y la transferencia de calor temporal.....	33
2.6.2.	Generación de calor.....	34
2.7.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	35
2.8.	EBULLICIÓN Y CONDENSACIÓN	37
2.8.1.	Transmisión de calor en la ebullición	37
2.8.2.	Condensación	38
2.9.	TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN	38
2.9.1.	Radiación térmica.....	39
2.9.2.	Radiación del cuerpo negro.....	40
2.9.3.	Propiedades de Radiación	40
2.9.4	Ley de Kirchhoff	42
2.9.5	Radiación atmosférica y solar	42
2.9.6	Aumento de calor solar a través de los vidrios.....	45
2.9.7	Factor visión.....	46
2.9.8	Transferencia de calor por radiación entre dos superficies en espacios cerrados	49
2.10.	BALANCES DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	50
2.11.	SOFTWARE EES	50
2.11.1	Características principales	51



2.11.2	Propiedades termodinámicas.....	51
2.11.3	Uso en la ciencia y la Ingeniería	52
2.11.4	Interfaz y usabilidad.....	52
2.11.5	Tablas paramétricas.....	53
2.12.	CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN DESTILADOR	
	SOLAR.....	54
2.12.1	Diseño del destilador solar	54
2.12.2	Caracterización térmica.....	54
2.12.3	Análisis de rendimiento.....	55
2.12.4	Condiciones meteorológicas	55
2.13.	MODELOS ESTADISTICOS PARA LA INVESTIGACION	56
2.14.	SOFTWARES UTILIZADOS PARA LA INVESTIGACIÓN.....	58
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1.	LUGAR DE ESTUDIO.....	62
3.2.	MUESTRA.....	62
3.3.	METODO DE INVESTIGACION	63
3.3.1	Enfoque	63
3.3.2	Tipo de estudio	63
3.3.3	Diseño de investigación	64
3.3.4	Procedimiento para verificar la hipótesis	64
3.3.5	Método hipotético deductivo.....	65
3.4.	DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	65
3.4.1	Variables analizadas en los objetivos específicos.....	65
3.4.2	Descripción de instrumentos de medida y experimental.....	66



3.5. IMPLEMENTACIÓN DE UNA EVALUACIÓN DE INFERENCIA ESTADÍSTICA.....	69
3.5.1 Análisis de datos.....	69
3.5.2 Estadística descriptiva y estadística inferencial	69
3.5.3 Procedimiento de análisis de varianza (ANOVA)	70
3.5.4 Modelo de correlación de Spearman.....	70
3.5.5 Análisis estadístico no paramétrica	71
3.5.6 Determinación de la relación y la prueba de hipótesis.....	72

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO DEL DESTILADOR SOLAR.....	75
4.1.1 Formas de conductividad térmica en el destilador solar	75
4.1.2 Balances de transferencia de calor en el destilador solar	80
4.1.3 Sistema de ecuaciones no lineales que define teóricamente el modelo del destilador	85
4.2. OBTENCIÓN DE LA MASA DE AGUA DESTILADA DEL VAPOR POR UNIDAD DE ÁREA	90
4.3. RESULTADOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA	92
4.4. RESULTADOS DEL SOFTWARE EES Y STATGRAPHICS	99
4.5. PROGRAMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO EN EES.....	103
4.6. RESULTADOS REGISTRADOS DEL DESTILADOR.....	104
4.7. RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA INFERENCIAL	106
4.7.1 Correlación de la hipótesis específicas.....	106
4.7.2 Correlación de la hipótesis general	108



4.8.	DISCUSIÓN	112
V.	CONCLUSIONES.....	114
VI.	RECOMENDACIONES.....	115
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
VII.	ANEXOS	120

AREA: Física aplicada

TEMA: Transferencia de calor

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de Diciembre 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Descripción de las variables, objetivos, dimensiones e indicadores.....	66
Tabla 2 Especificaciones técnicas de la estación meteorológica.	67
Tabla 3 Grado de asociación o relación de variables del coeficiente de Spearman.....	72
Tabla 4 Tabla de Análisis de datos de la temperatura ambiente desarrollado en el software SPSS	94
Tabla 5 Tabla ANOVA de datos de la temperatura ambiente desarrollado en el software SPSS.	95
Tabla 6 Tabla de Análisis de datos de la velocidad del viento desarrollado en el software SPSS	96
Tabla 7 Tabla ANOVA de datos de la velocidad del viento desarrollado en el software SPSS.....	97
Tabla 8 Tabla de Análisis de datos de la irradiación solar desarrollado en el software SPSS.....	98
Tabla 9 Tabla ANOVA de datos de la irradiación solar desarrollado en el software SPSS.....	99
Tabla 10 Tabla de Análisis del modelo experimental del destilador en el software SPSS.....	104
Tabla 11 Tabla de correlación de velocidad del viento y la simulación del modelo matemático.....	106
Tabla 12 Tabla de correlación de la temperatura ambiente y la simulación del modelo matemático.....	107
Tabla 13 Tabla de correlación de la temperatura ambiente y la simulación del modelo matemático.....	107



Tabla 14 Tabla de correlación del modelo matemático simulado y el destilador solar

..... 109



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Radiación directa y difusa que, llega a una superficie horizontal desde arriba de la tierra.....	43
Figura 2 Efectos de la luz del sol y la atmosfera en una superficie expuesta.....	44
Figura 3 Partes directas, dispersa y reflejada de la luz del sol que llega a través de una ventana	46
Figura 4 Forma de colocar dos superficies para medir el factor visión.....	47
Figura 5 Ducto triangular infinitamente largo.	48
Figura 6 Diseño de un espacio cerrado con dos superficies y la red de radiación que lo rodea.....	49
Figura 7 Localización del estudio.....	62
Figura 8 Esquema del diseño correlacional	64
Figura 9 Intercambio de energía en un destilador solar.....	75
Figura 10 Esquema de balance de energía en el vidrio.	80
Figura 11 Esquema del balance de energía sobre el agua	82
Figura 12 Esquema del balance de energía sobre el fondo.....	84
Figura 13 Muestra de registro de datos de la estación meteorológica de la velocidad del viento en m/s	92
Figura 14 Muestra de registro de datos de la estación meteorológica de la irradiación solar en W/m ²	93
Figura 15 Muestra de registro de datos de la estación meteorológica de la temperatura ambiente en °C.....	93
Figura 16 Gráfico de medias de la temperatura ambiente y las horas durante el periodo medido.....	95



Figura 17	Gráfico de medias de la velocidad de viento y las horas, durante el periodo registrado	96
Figura 18	Gráfico de medias de la irradiación solar y las horas durante el periodo registrado	98
Figura 19	Gráfico de correlación de temperatura ambiente y el modelo matemático	100
Figura 20	Gráfico de correlación de velocidad del viento y el modelo matemático.	101
Figura 21	Gráfico de correlación de irradiación solar y el modelo matemático.....	102
Figura 22	Código de programación del modelo matemático en EES.....	104
Figura 23	Gráfico de medias de del modelo experimental del destilador durante el periodo registrado	105
Figura 24	Gráfico de correlación del EES para el destilador y el destilador adaptado a sus medidas del prototipo	108
Figura 25	Gráfico de regresión lineal en el SPSS con el modelo matemático y el modelo experimental registrado.	110



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Parte lateral del destilador solar.	120
ANEXO 2: Parte frontal del destilador.	120
ANEXO 3: Parte superior del destilador.	121
ANEXO 4: Estimando datos meteorológicos.	121
ANEXO 5: Base de datos en el Statgraphics.	122
ANEXO 6: Base de datos en SPSS.	122
ANEXO 7: Software SPARKvue de la estación meteorológica.	123
ANEXO 8: Base de datos registrados para la investigación.	124



RESUMEN

Simulación del modelo matemático de un destilador utilizando datos meteorológicos en la ciudad de Juliaca Perú. El propósito general es determinar la relación de eficiencia del destilado que existe entre la simulación del modelo matemático en el software EES y los datos registrados de un destilador, esta investigación a futuro podrá determinar la eficiencia del destilado que pueda existir en un lugar determinado. El estudio tiene un enfoque cuantitativo, no experimental, con un diseño descriptivo-correlacional transversal y un muestreo no probabilístico deliberado de 168 datos como media muestral, lo cual se registraron datos de la estación meteorológica inalámbrico de la marca Pasco modelo PS-3209 , en los meses de julio y agosto del 2024, donde se identificó un máximo de irradiación solar de 1161.40 W/m^2 , un máximo de temperatura ambiente de $27.54 \text{ }^\circ\text{C}$ y un máximo de velocidad de viento de 95.15 m/s , según los datos registrados por el sensor meteorológico y el modelo matemático realizado bajo las condiciones físicas del destilador solar. Se aplicó el test del coeficiente de correlación de Spearman, el cual evidenció que el valor p estimado de 0,000 es inferior a 0,05 y que hay una relación significativa, directa y elevada de 0,9538 en la simulación del modelo matemático y los datos registrados de un destilador, donde aplicamos una regresión lineal cuyo ajuste lineal es $Y = 2.72619079 + 0.99009746X$ y un error estándar de $S_e = 11.508$ con un margen de error del 0.11%. Así pues, la hipótesis alterna (H_a) fue aceptada y la hipótesis nula (H_0) fue rechazada con un nivel de significancia de 0.05. Se deduce que la hipótesis principal de la investigación fue validada y que se corroboró la correlación entre las variables.

Palabras clave: Correlación, Destilador solar, Modelo matemático, Meteorología, Software



ABSTRACT

Simulation of the mathematical model of a distiller using meteorological data in the city of Juliaca, Peru. The general purpose is to determine the relationship between the distillate efficiency that exists between the simulation of the mathematical model in the EES software and the recorded data of a distiller, this future research will be able to determine the efficiency of the distillate that may exist in a given place. The study has a quantitative, non-experimental approach, with a cross-sectional descriptive-correlational design and a deliberate non-probabilistic sampling of 168 data as sample mean, which was recorded data from the wireless weather station of the Pasco brand model PS-3209, in the months of July and August 2024, where a maximum solar irradiation of 1161.40 W/m², a maximum ambient temperature of 27.54 °C and a maximum wind speed of 95.15 m/s, according to the data recorded by the meteorological sensor and the mathematical model made under the physical conditions of the solar still. Spearman's correlation coefficient test was applied, which showed that the estimated p-value of 0.000 is less than 0.05 and that there is a significant, direct and high relationship of 0.9538 in the simulation of the mathematical model and the data recorded from a distiller, where we applied a linear regression, whose linear fit is $Y = 2.72619079 + 0.99009746X$ and a standard error of $S_{\varepsilon} = 11.508$ with a margin of error of 0.11%. Thus, the alternate hypothesis (H_a) was accepted and the null hypothesis (H₀) was rejected with a significance level of 0.05. It is deduced that the main hypothesis of the research was validated and that the correlation between the variables was corroborated.

Key words: Correlation, Solar still, Mathematical model, Meteorology, Software.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de destiladores solares es una técnica sostenible y eficiente para la purificación de agua en zonas donde los recursos de agua son escasos. según Huaman, (2020) se evidencio que en Juliaca tiene alta radiación solar (W/m^2) en un rango de 0-16 que se obtuvo en el año 2018 en las horas 10:30am a 14:30pm, este tipo de tecnologías puede ser particularmente efectivo para estos resultados de radiación UV. Sin embargo, es crucial entender y modelar los principios físicos del destilador para determinar la eficiencia de estos sistemas para optimizar su uso.

A pesar de la creciente implementación de destiladores solares, existe una falta de estudios que comparen la eficiencia del destilado obtenida a través de simulaciones matemáticas con datos experimentales registrados en condiciones específicas, como las de Juliaca en los meses de julio y agosto de este año. Esta discrepancia puede llevar a subestimaciones o sobreestimaciones en la efectividad de los sistemas, lo que afecta la toma de decisiones en la implementación de tecnologías de purificación de agua.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la relación de eficiencia del destilado que existe entre la simulación del modelo matemático y los datos registrados de un destilador solar en los meses de julio y agosto, Juliaca – Puno -Perú 2024?



1.2.2. Problema específico

- ¿Cuál es la relación que existe entre la simulación y el análisis físico, matemático del sistema?
- ¿Cuál es la relación que existe entre la velocidad del viento, la irradiación y la temperatura ambiente con la simulación del modelo matemático?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Esta investigación es parte de la misma que resalta por ser conveniente y relevante, en el desarrollo de tecnologías sostenibles y renovables, según Siamanta (2024) indica que “en la literatura se han propuesto muy pocos enfoques alternativos específicos, en línea con un déficit de investigación poscrítica o poshumanista sobre la "energía renovable" dentro y fuera de la geografía humana.” (P.2). Es importante también señalar que el estudio del modelo matemático de un destilador abarca los cursos de transferencia de calor, ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales donde se presentan los siguientes principios físicos como, Transferencia térmica mediante conducción de calor; radiación térmica; convección térmica; radiación de calor; condensación del vapor; eficiencia térmica y pérdidas de calor. El crecimiento de la tecnología es proporcional a la calidad del software. Se utilizan varias formas de técnicas de diseño de pruebas de software de lo cual requieren un estudio especializado (Hanci & Gokbay, 2020). La utilización de simuladores con principios físicos ayuda a que las investigaciones sean evaluadas de forma más completa y precisa. El estudio contribuye al cuerpo de conocimientos sobre tecnologías de energía renovable y su aplicación práctica. Los resultados pueden ser útiles para diseñadores, ingenieros y formuladores de políticas interesados en renovar la eficiencia del destilado por energía solar.



El acceso al agua potable en lugares donde la calidad del líquido es deficiente o donde no hay fuentes seguras. Donde mejorar la eficiencia de destiladores significa aumentar la posibilidad de adquirir agua potable para comunidades que enfrentan escasez de agua o problemas de calidad del agua. Al promocionar la utilización de tecnología de energía renovable como los destiladores, el presente estudio contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir fuentes de energía no renovable, también a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (Andara et.al., 2020). Los resultados de la investigación también pueden beneficiar a profesionales en el campo de la ingeniería, la energía renovable y la gestión del agua, proporcionando información útil para el diseño y la optimización de destiladores solares en una variedad de contextos (Mendoza et.al., 2023).

El estudio tiene implicaciones prácticas significativas y pueden ayudar a resolver varios problemas reales. Mejorar la eficiencia del destilado ayuda a abordar el problema del acceso limitado al agua potable. La humanidad consume agua dulce sin embargo este se viene terminando, algunos países usan nuevas tecnologías para desalinizar el agua, con el propósito de abastecer agua para una población que anda en constante crecimiento, existen varios procesos de destilado estos solo se diferencian por los precios, impacto ambiental, uso de softwares, calidad del destilador y energía (Bedoya & Chaparro Montoya, 2019). La capacidad de generar agua potable localmente mediante destiladores solares puede aumentar el fortalecimiento de las comunidades ante desastres naturales que interrumpen el suministro de agua. Esto puede ser especialmente importante en áreas propensas a sequías, inundaciones u otros eventos climáticos extremos. La aplicación de los destiladores solares eficientes y económicos es una solución sostenible para lugares rurales y remotas, ante una situación de emergencia y ayuda humanitaria, esta puede amortiguar la crisis en comunidades desfavorecidas.



La investigación tiene un valor teórico significativo por varias razones como, llenar un vacío de conocimiento, al relacionar la simulación y los datos experimentales con el fin de establecer una relación significativa con el destilado puede dar un mejor abordaje en la comprensión de cómo se correlación estas dos variables, inclinados a las tecnologías de energía renovable. Si los resultados presentan una correlación significativa entre la simulación y los datos experimentales, esto puede tener implicaciones más amplias para la validación de modelos matemáticos en el diseño y optimización de sistemas y la optimización. de energía renovable. En Apoyo a teorías existentes o desarrollo de nuevas teorías. Los resultados obtenidos pueden apoyar teorías existentes sobre la eficiencia de destiladores solares o incluso proporcionar una base para desarrollar nuevas teorías sobre el comportamiento de estos sistemas en diferentes condiciones ambientales. Exploración de fenómenos y ambientes. El estudio ofrece la oportunidad de explorar en detalle el comportamiento de un destilador solar en un ambiente específico (Juliaca) y bajo condiciones meteorológicas variables, lo que puede revelar patrones y fenómenos importantes para establecer el diseño y del cálculo de estos sistemas. Nuevos conocimientos y futuras investigaciones. Se espera obtener información sobre la relación entre la simulación y los datos experimentales en el contexto del destilador solar, lo que puede sugerir ideas para mejorar los modelos de simulación, optimizar el diseño de destiladores solares y plantear nuevas hipótesis para investigaciones futuras en el campo de la ciencia en el área de estudio de la energía renovable y la ingeniería ambiental.

La investigación propuesta tiene una utilidad metodológica significativa como, el desarrollo de nuevos instrumentos de recolección y análisis de datos, la relación de simuladores computacionales, datos experimentales y interpretación estadística, nos lleva al desarrollo de nuevas herramientas y técnicas para recopilar datos para estimar la eficiencia de destiladores solares. Esto puede incluir la mejora de software de simulación,



el diseño de experimentos para obtener datos relevantes y la aplicación de métodos estadísticos avanzados para analizar la relación entre la simulación y los datos experimentales. La contribución a la definición de conceptos y variables, La investigación puede ayudar a aclarar y definir conceptos clave relacionados a la eficiencia de destiladores, así como identificar las variables más relevantes. Mejorar en la experimentación con variables. Al contrastar los hallazgos de la simulación con datos experimentales, el estudio puede ofrecer datos útiles acerca de cómo modificar y manejar variables concretas para incrementar la eficacia de los destiladores solares. Esto podría abarcar sugerencias para perfeccionar el diseño del sistema, modificar los parámetros operativos y escoger materiales apropiados para potenciar el desempeño del destilador. Si la investigación incluye datos obtenidos en diferentes contextos o ubicaciones geográficas, puede ofrecer ideas sobre cómo estudiar de manera más adecuada la eficiencia de destiladores solares en diferentes poblaciones o condiciones ambientales. Esto puede incluir la adaptación de metodologías de investigación a contextos específicos y la consideración de factores socioeconómicos y culturales que puedan influir en los resultados.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.1. Objetivo general

Determinar la relación de eficiencia del destilado que existe entre la simulación del modelo matemático y datos registrados de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- Examinar la relación que existe entre la simulación y el análisis físico, matemático del sistema.



- Describir la relación que existe entre la velocidad del viento, la irradiación y la temperatura ambiente con la simulación del modelo matemático.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

Existe relación significativa entre la simulación del modelo matemático y los datos registrados de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Existe el grado de relación entre la simulación y el análisis físico, matemático del sistema.
- Existe el grado de relación entre la velocidad del viento, la irradiación y la temperatura ambiente con la simulación del modelo matemático.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

A nivel internacional:

Vaca-Mora et al, (2023) en el artículo de investigación titulada “Un software de simulación de efecto simple de destilación solar (SESS)” en Colombia en la Universidad Escuela de Administración y Negocios en la facultad de ingeniería, evidencia de que la reutilización de luz solar para adquirir agua nueva a partir de fuentes salinas o degradadas es una estrategia que no afecta el ecosistema y que requiere un gasto mínimo. Esta investigación promueve el uso de la programación SESS como herramienta que permite modelar y desarrollar con condiciones climáticas.

Hai et al, (2023) en al artículo de investigación titulada “Una investigación numérica exhaustiva del rendimiento de destiladores solares con varios diseños” en Vietnam en la Universidad Industrial de la Ciudad de Ho Chi Minh indica que los destiladores orientados al sol son muy utilizados por su versatilidad y sencillez. El estudio se basó con las leyes de la termodinámica. En este trabajo, se investigaron matemáticamente cinco alambiques solares inactivos para evaluar su eficiencia hídrica y su edad entrópica. Se observaron dos zonas de distribución dentro de las áreas cercadas al destilado con el cual concluyeron que si trabajamos con cristal es mejor.

(Sharma & Birla, 2023) en el artículo de investigación titulada “Estudio y análisis de unidad de destilador solar utilizando material aislante en la superficie inferior” Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Oriental, Madhya Pradesh, Indore, India indica que el agua es uno de los principales manantiales de la existencia humana en



el planeta. Dado que la Tierra ha restringido los recursos hídricos para su uso, los individuos en las regiones rústicas y metropolitanas experimentan los efectos nocivos de la utilización de aguas residuales, lo que provoca enfermedades transmitidas por el agua. A pesar de que el agua subterránea es accesible en pequeñas cantidades, debe ser tratada adecuadamente antes de su uso en interiores. El estudio promueve que el destilador debe tener en cuenta el grado de inclinación hacia el sol para obtener mejores resultados. Este estudio se centró en observar destiladores orientados al sol que utilizan la programación para obtener la competencia más extrema.

Salinas-Freire et al, (2019) en el artículo de investigación titulado “Límites termodinámicos a la productividad de los destiladores solares pasivos” en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba comunica que la desalinización del agua de mar se ha examinado con interés debido a la escasez de agua nueva para uso humano. La eficiencia del destilador, se debe a la radiación solar y convertirla en intensidad útil para la disipación. Dado que la energía proviene de la radiación solar, la mayor eficiencia de este ciclo se verá limitada por la radiación solar absoluta accesible por las condiciones climáticas. El estudio tiene en consideración principios físicos como convección y radiación, donde introdujeron modelos matemáticos basados en la radiación solar.

Fuentes García & Serrano Doblaz, (2019) en el artículo de investigación titulado “Límites termodinámicos a la productividad de los destiladores solares pasivos” en la Universidad Industrial de Santander en Ecuador en este estudio se detalla un modelo matemático que desarrolla del modelo del destilador, este modelo demuestra que es posible obtener resultados de destilación muy cercanos a uno en condiciones destilación temperatura y presión de saturación. Adicionalmente, se desarrolla un modelo matemático modelo es desarrollado para simular el comportamiento de una torre de



destilación. Los resultados muestran que, para una máximo radiación 1000 W/m² por día, la producción de agua destilada puede aumentar hasta 100 kg /día por m².

Nascimento et al, (2018) en el artículo de investigación titulado “Eficacia de un destilador solar en la destrucción de virus y bacterias indicadoras en agua de consumo humano” de la Universidad Feevale, Novo Hamburgo, RS, Brasil nos dice que el destilado normal del agua puede aniquilar o potencialmente inactivar los microorganismos delicados a la radiación intensa y brillante (UV). Esta estrategia se utiliza actualmente para suministrar agua potable a barcos y para desalinizar agua dura. Para llevar a cabo esta investigación, se construyó e introdujo un destilador solar a escala piloto en el sur de Brasil para comprobar la eficacia del equipo en la desinfección del agua. La comprobación de la productividad del equipo dependía de la garantía del número más plausible (NMP) de todos los coliformes es, así como de la cantidad de duplicados de ADN del adenovirus humano de tipo 5 (HAdV-5) en las pruebas de agua durante el refinado. Los resultados mostraron que había un 100% de expulsión de coliformes absolutos.

Fonseca et al.(2017) en al artículo de investigación titulada “Herramienta para la simulación del comportamiento térmico y la productividad de destiladores solares de tipo invernadero” en Cuba en la Universidad de Oriente, en el presente trabajo se realiza la modelación matemática para simular el comportamiento térmico de un destilador solar de bandeja mediante un sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias del cual se obtiene su solución, la que permite conocer los valores de la temperatura en la cubierta, el agua a destilar y la bandeja del destilador a través del día, así como se puede determinar también el volumen de agua destilada. Se realiza la validación experimental del modelo propuesto. Este trabajo permite el estudio del comportamiento térmico del equipo bajo diferentes condiciones climáticas y características constructivas, utilizando un software.



Torchia-Núñez et al., (2014) en el artículo de investigación titulada “Termodinámica de un destilador solar poco profundo” en la Universidad Nacional de México presentó un estudio de un destilador relacionado con la termodinámica de las cuales se desarrolló experimentalmente con modelos matemáticos. El artículo toma en cuenta, la radiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento, entre otros. Asimismo, se propone una diferenciación entre las peculiaridades del movimiento de intensidad interior y exterior dentro del sistema. Se toma en cuenta el balance de exergía para representar los fallos termodinámicos de los diferentes ciclos dentro del destilador.

Santín (2004) en el artículo de investigación titulada “Modelación y simulación dinámica para el diseño de un destilador solar” en Ecuador en la Universidad nacional de Loja se realizó una experimentación sobre un destilador que tiene como sustento el efecto invernadero donde se ha creado un programa computacional para representar la forma de comportamiento del destilador basado en la luz solar utilizando un modelo numérico. Este programa fue creado con la ayuda de la programación Mathcad y la programación Matlab-Simulink y Matlab-Simulink para la comprobación de los resultados.

Voropoulos et al, (2000) en el artículo de investigación titulada “Fenómenos de transporte y modelización dinámica en destiladores solares tipo invernadero” en Grecia en el laboratorio de sistemas de energía solar y otros, NCSR Demokritos, 15310 Ag. Paraskevi, en el estudio de un destilador tomaron distintos métodos de intensidad e intercambio de masa. Se muestra que el modelo de Dunkles puede ser utilizado para la conexión de intercambio de masa debido a la acumulación de disipación con convección. Asimismo, se examinó la importancia de un modelo único de destilación.

Shawaqfeh & Farid, (1995) en el artículo de investigación titulada “Nuevo desarrollo en la teoría de la transferencia de calor y masa en destiladores solares” en la



Universidad de Ciencia y Tecnología de Jordania Se construyó un destilador solar con planchas de hierro y una cubierta de vidrio. Se estimó la variación de la temperatura del recipiente, la temperatura del vidrio y la tasa de evaporación durante la actividad interior y exterior. Además, durante las estimaciones al aire libre, se tuvieron en cuenta la radiación solar, la temperatura y la velocidad del viento. Se descubrió que el modelo Dunkle, que se ha utilizado ampliamente para la expectativa del coeficiente de evaporación, que predice las tasas de disipación.

A nivel nacional:

Mendoza et al.,(2023) en el artículo de investigación titulado “Destilador solar de tipo una vertiente y la purificación de la calidad del agua, Ica” en la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”. Ica, Perú en El estudio argumenta que los escasos del agua en zonas costera. Es un problema medioambiental y contaminación del agua. El destilador de una sola inclinación puede contribuir a resolver problemas. Como la desalinización del mar. EL objetivo principal de esta investigación fue evaluar la viabilidad del destilador. la estrategia de examen utilizada fue la prueba irregular básica, los factores estimados en la revisión fueron la salinidad, el pH, la turbidez y la presencia de organismos microscópicos.

Bedoya Justo, (2019) en el artículo de investigación titulado “Uso De Un Destilador Solar Tipo Caja Para La Obtención De Agua Destilada Del Mar De Ilo, 2018” de la Universidad José Carlos Mariátegui de Ilo Perú indica que aplicar un destilador tipo caseta para la obtención de agua destilada del mar de Ilo. Donde la metodología. prueba de la destilación con energía solar se completó con un tratamiento y tres repeticiones, el volumen de agua se estimó el cilindro de prueba comunitario, el pH y la conductividad



eléctrica con un multiparamétrico; la investigación medible se realizó con el coeficiente de garantía con el programa Sigma Thud.

A nivel local:

Coarite, (2022) en su tesis de pregrado titulado “Purificación de agua subterránea con arsénico mediante destilación solar para uso industrial en condiciones altiplánicas, Juliaca, Perú” de la Universidad Peruana Unión del departamento de Puno Perú, indica en su estudio sobre la destilaciones es una forma innovadora de obtener agua potable entre las que destaca como una estrategia básica y conservadora, por lo tanto, el objetivo de este examen era evaluar la descontaminación de las aguas subterráneas mediante el destilado en condiciones altiplánicas. Indica la investigación que la purificación de aguas subterráneas degradadas con arsénicos es factible con el destilador solar.

2.2. TERMODINÁMICA Y TRANSFERENCIA DE CALOR

El propósito de la termodinámica es analizar la magnitud de la transferencia térmica cuando se transporta por un sistema de equilibrio o, lo que se refiere a la duración de este proceso. Sin embargo, en el uso de la física nos enfocamos en la velocidad o causa de esta transferencia, la cual vinculamos con el curso de transferencia de calor. Donde Beléndez, (2017) nos indica que la termodinámica se refiere a la sección de la física que se dedica al análisis de los fenómenos y cambios térmicos que involucran calor, trabajo mecánico y otras formas de energías.

La transferencia de calor está vinculada a los sistemas donde no se logra la armonía de las temperaturas, por lo que se presenta un sistema que no es estable. Por ende, la investigación sobre la transferencia de calor no ocurre si se limita a los fundamentos físicos de la termodinámica. No obstante, los cimientos esenciales de la termodinámica respaldan la estructura de la transferencia de calor. Por lo tanto la primera ley sostiene



que el ritmo de transmisión dirigiendo un flujo de energía en una estructura que almacena el efecto debe ser equivalente al ritmo de aumento del flujo de energía de dicho lugar. En la segunda norma se establece que el calor debe estar en constante movimiento en sentido contrario a la temperatura descendente. Como parte fundamental indicamos que la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura (Cengel & Afshin, 2011).

2.3. CALOR Y FORMAS DE ENERGÍA

Según Colunga et al. (2020) indica que el calor y la energía en movimiento siempre fluyen de las zonas con mayor de temperatura a las de temperatura menor, aumentando así la temperatura de las zonas frías y disminuyendo la temperatura de las zonas calientes, dependiendo de la masa del objeto. La energía no fluye de un objeto más frío a un objeto más cálido sin que se realice trabajo. La materia se compone de átomos o moléculas que se encuentran en movimiento constante, generando energía. Las interacciones constantes entre átomos o moléculas experimentan una transformación de una porción del flujo de energía en mayores temperaturas, modificando de esta manera del sistema analizado.

2.4. LEY DE ENFRIAMIENTO DE NEWTON

Según Cengel & Afshin, (2011) indican que en los sistemas de la transmisión de energía térmica que inciden en la transición de fase en los líquidos también se denominan convección, ya que implican una dinámica del líquido en el trascurso de la tarea, como el levantamiento de burbujas de aire durante el calentamiento o la reducción del líquido durante la condensación.

Kreith et al. (2012) indica que “La evaluación del coeficiente de transferencia de calor por convección es difícil debido a que la convección es un fenómeno muy complejo”



(pág. 19). De esta manera podemos indicar que la convección es proporcional a la variación de la temperatura.

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} : Calor por unidad de tiempo.

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección (W / m^2).

A_s : Área superficial (m^2).

T_s : Temperatura de superficie (K).

T_∞ : Temperatura del fluido (K).

Cengel & Afshin, (2011) ha afirmado lo siguiente:

El coeficiente de transferencia de calor por convección (h) no es una propiedad del fluido. Es un parámetro determinado mediante experimentación, cuyo valor se fundamenta en todos los factores que afectan el proceso de convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del flujo del fluido, sus propiedades y la velocidad a gran escala del mismo. (Pág. 26)

2.5. LEY DE STEFAN-BOLTZMANN

La radiación es un fenómeno volumétrico que implica la transmisión, absorción y emisión de energía mediante ondas electromagnéticas a través de todos los materiales, abarcando sólidos, líquidos y gases. No obstante, para los objetos que no dejan pasar el calor como metales, madera y piedras, se considera principalmente que la radiación es un fenómeno que ocurre en la superficie. Esto ocurre porque la radiación que proviene de las zonas internas de estos materiales no puede subir a la superficie debido a la radiación que se absorbe en apenas unas micras de profundidad.

La ley de Stefan-Boltzmann describe la cantidad de energía que un cuerpo emite en forma de radiación térmica en función de su temperatura. Es una de las leyes fundamentales en la transferencia de calor por radiación.

$$\dot{Q}_{\text{emitida,max}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (2)$$

Donde:

$\dot{Q}_{\text{emitida,max}}$: Razón de transferencia de calor por radiación máxima (W)

σ : Constante de Stefan-Boltzmann $5.370 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2\text{K}^4)$

A_s : Área de la superficie (m^2)

T_s : Temperatura de la superficie (K)

El cuerpo negro es una superficie ideal que emite radiación a esta intensidad máxima, y la radiación que emite se denomina radiación del cuerpo negro. Todas las superficies reales liberan una cantidad de radiación menor a medida que un objeto negro emite energía a una temperatura constante.

$$\dot{Q}_{\text{emitida}} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (3)$$

Donde:

ε : Emisividad de la superficie.

La emisividad se encuentra en un intervalo de $0 \leq \varepsilon \leq 1$, si $\varepsilon = 1$ indicamos de cuan próxima está a una superficie de cuerpo negro.

Otra propiedad fundamental relativa a una superficie con radiación es su absorptividad (α), donde vemos que una parte de esta radiación de energía va a una superficie donde es absorbida. De igual forma vemos que los valores están en este intervalo $0 \leq \alpha \leq 1$, donde si $\alpha = 1$ decimos que el cuerpo negro absorbe toda la

radiación. De esta manera tanto como la emisividad y la absorptividad dependen de la longitud de onda de la radiación y la temperatura (Incropera et al. 2008).

2.6. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Se entiende por conducción del calor al proceso de transmisión de calor desde las pequeñas partes con mayor energía de un entorno hacia las con menor energía que se encuentran próximas. Se señaló que este fenómeno puede suceder en líquidos y gases, además de sólidos, siempre y cuando no exista un movimiento excesivo.

Como menciona Cengel & Afshin, (2011) indica que la variación de las temperaturas y la transmisión de calor posee una línea fija y tamaño, por lo que se piensa como una cantidad con dirección.

2.6.1. Comparación entre la transferencia de calor constante y la transferencia de calor temporal

La transmisión de calor estacionaria ocurre cuando tanto la tasa de calor como la temperatura se conservan estables durante un periodo de tiempo, tal como lo especifica la Ley Fourier. Por otro lado, la transmisión de calor temporal ocurre cuando la tasa de transmisión y la temperatura varían a lo largo del tiempo, en el contexto de un sistema dinámico. Aquí, de manera diferencial, ilustramos que la ley de Fourier explica cómo se transfiere el calor en una sola dirección.

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} : Calor de conducción por unidad de tiempo (W)

T: Temperatura

k : Conductividad térmica.



A: Área de la superficie de conducción (m^2).

Observamos que el calor se propaga en el sentido en el que la temperatura disminuye, lo que resulta cuando el calor disminuye con la temperatura se desplaza en la dirección positiva del eje x.

De esta manera podemos obtener de manera general la regla de Fourier sobre cómo se propaga el calor, en un sistema tridimensional.

$$\dot{Q}_n = -kA \frac{\partial T}{\partial n} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_n = \dot{Q}_x \vec{i} + \dot{Q}_y \vec{j} + \dot{Q}_z \vec{k} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_x = -kA_x \frac{\partial T}{\partial x}, \quad \dot{Q}_y = -kA_y \frac{\partial T}{\partial y}, \quad \dot{Q}_z = -kA_z \frac{\partial T}{\partial z} \quad (7)$$

2.6.2. Generación de calor

La producción de calor ocurre de manera volumétrica y tomando en cuenta todo el medio. Por lo tanto, el ritmo de producción de calor en un medio puede variar tanto a lo largo del tiempo como dependiendo de la localización dentro de este. Al entender cómo la producción de calor cambia dependiendo de la ubicación, es posible determinar la tasa total de generación en un volumen V del medio.

$$\dot{E}_{gen} = \int_V \dot{e}_{gen} dV \quad (W) \quad (8)$$

Si existe una generación uniforme de calor queda como.

$$\dot{E}_{gen} = \dot{e}_{gen} V \quad (9)$$

Donde:

V: Volumen del espacio donde se genera el calor

\dot{e}_{gen} :Cantidad de calor producido por unidad de espacio de forma continua (W/m³).

2.7. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se basa en dos mecanismos relacionados de manera simultánea donde requieren la presencia de un material, de tal forma podemos indicar que la convección requiere de un fluido. Se puede afirmar que la transferencia de calor por un fluido puede ser por conducción o convección, depende del factor de un movimiento exagerado del fluido.

(García León & Flórez Solano, 2016) indica que la transferencia de calor por convección resulta ser complicada por el factor que comprende tener movimiento del fluido, así como conducción del calor.

El proceso de convección se basa en características que introducen propiedades físicas de un fluido que se encuentran en la viscosidad dinámica, la conductividad térmica el calor específico y la densidad, la dinámica del líquido, la disposición geométrica y la aspereza del material sólido. También se tiene en cuenta que el tipo de fluido puede ser turbulento o laminar. Por la complejidad es mejor expresarla por la Ley de Newton de enfriamiento, porque podemos entender la transmisión de calor a través de este medio se relaciona de manera proporcional con el gradiente de temperatura.

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (10)$$

Podemos afirmar que (h) depende de varias variables fundamentales por consiguiente requiere un proceso arduo para determinarlo. Por otra parte, Debemos considerar la posición de la dispersión, lo que indica que un líquido que entra a un objeto solido se pega a una superficie al estar en contacto directo debido a ciertos efectos de la viscosidad y no se desplaza. Este factor es responsable del perfil de los gradientes de

velocidad. En este contexto, se presenta el término "capa límite" que es un principio esencial el estudio de cómo se mueven los líquidos y gases que alude a la zona de flujo de un fluido próximo a él. "La propiedad del fluido responsable de la condición de no deslizamiento y del desarrollo de la capa límite es la viscosidad." (Cengel & Afshin, 2011, pág. 375)

Una repercusión adicional del estado de no existir un desplazamiento en la superficie, que hace referencia al estado de fuerza de un líquido aplica a una línea en la dirección que se mueve el agua, y que podemos definir cómo.

$$\dot{q}_{\text{conv}} = \dot{q}_{\text{cond}} = -k_{\text{fluido}} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} \quad (\text{W} / \text{m}^2) \quad (11)$$

Donde:

\dot{q}_{conv} : Calor por convección por unidad de tiempo y área.

\dot{q}_{cond} : Calor de conducción por unidad de tiempo y área.

T : Control de la temperatura en el fluido en cuestión (K).

$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0}$: Cambios de temperatura en la estructura (K/m).

De esta manera obtenemos.

$$h = \frac{-k_{\text{fluido}} (\partial T / \partial y)_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (12)$$

Se puede establecer cuando se conoce la distribución de la temperatura en el fluido se puede determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección. Esta constante suele fluctuar dependiendo de la dirección del flujo (o dirección x). En estas circunstancias, se determina el coeficiente medio de transmisión de calor por convección para una estructura mediante la mediación correcta de los coeficientes locales a lo largo de dicha superficie, también el coeficiente de transferencia de calor por convección está relacionado indirectamente con la **entalpía** a través de la temperatura del fluido, ya que

la entalpía determina cómo el fluido almacena y transfiere calor, y esto influye en las características de la transferencia de calor, como el gradiente térmico y las propiedades del fluido (capacidad calorífica, conductividad, etc.).

2.8. EBULLICIÓN Y CONDENSACIÓN

La ebullición y la condensación son procesos importantes en transferencia de calor, resaltando en sistemas térmicos y de refrigeración, donde ambos sistemas implican un cambio de fase entre líquido y vapor, de esta manera podemos estudiar los fenómenos térmicos (Hongn et al. 2015).

2.8.1. Transmisión de calor en la ebullición

El proceso punto de flujo es aquel en el que un líquido se convierte en vapor al llegar a su temperatura de saturación a una presión establecida. Este suceso se produce cuando la temperatura de saturación es excedida por la temperatura área del líquido. Por esta razón, señalamos que la evaporización se lleva en el entorno cuando la presión del vapor es inferior, de vapor líquido a la saturación del líquido.

De manera similar, sostenemos que está relacionado con la transmisión de calor por convección. Así lo manifestamos en la ley de Newton de enfriamiento, ya que la corriente de calor en el proceso de punto de flujo, con un área sólida hasta en el líquido, está relacionado con la transferencia de calor.

$$\dot{q}_{ebullición} = h(T_s - T_{sat}) = h\Delta T_{exceso} \quad (W / m^2) \quad (13)$$

Donde:

T_s : Temperatura superficial.

T_{sat} : Temperatura saturada.



ΔT_{exceso} : Temperatura en exceso.

2.8.2. Condensación

La condensación es el proceso opuesto a la ebullición, en el cual un vapor se transforma en líquido al liberar calor. Este fenómeno es fundamental en aplicaciones como los sistemas de refrigeración y calefacción (Sánchez et al. 2022).

2.9. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La transmisión de energía a través de la emisión de radiación obtiene más dinámica, dado que ocurre a una velocidad sin límites que se ve alterada por la atenuación en el vacío. Adicionalmente, este tipo de transmisión ocurre de forma en materiales duros como en líquidos y aire.

El físico James Clerk Maxwell estableció en 1864 el fundamento teórico esencial de la radiación, sugiriendo que las cosas que se mueven van de forma acelerada o el flujo eléctrico variables producen campos magnéticos y eléctricos, las ondas electromagnéticas se denominan campos que se mueven con rapidez y representan la energía liberada por la materia debido a cambios en las estructuras electrónicas de las moléculas.

Heinrich Hertz (1887) demostró de manera experimental que las ondas electromagnéticas transportan energía del mismo modo que las otras ondas que viajan a la velocidad de la luz, existen dos propiedades fundamentales donde va relacionado su frecuencia, longitud de onda y la velocidad de la luz.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c_o / n}{\nu} \quad (14)$$

Donde:



c : velocidad de propagación de una onda por un medio.

ν : frecuencia

λ : longitud de onda

n : índice de refracción

c_o : velocidad de la luz

Max Planck (1900) indica que la energía de la radiación no se libera de forma continua, sino en unidades discretas denominadas cuantos, las cuales son proporcionales a la frecuencia de la radiación.

$$e = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (15)$$

$$h = 6,626069 \times 10^{-34} J \cdot s$$

Donde:

h : constante de Planck.

ν : Frecuencia de la onda

λ : Longitud de onda.

2.9.1. Radiación térmica

La radiación térmica se presenta como una manifestación de energía electromagnética relevante para la transferencia de calor, que ocurre a causa del desplazamiento energético entre las partículas, electrones y átomos de un material. La temperatura es una indicación de la intensidad de estas actividades a nivel microscópico, y la velocidad de emisión de radiación térmica aumenta con el incremento de la temperatura (García et al. 2018).

2.9.2. Radiación del cuerpo negro

Si el organismo oscuro se distingue de un receptor y absorbente óptimo de radiación. Joseph Stefan determinó experimentalmente el poder de energía de emisión de radiación que un objeto negro emite por unidad de tiempo y área superficial en 1879, formulándola de la siguiente forma.

$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (W / m^2) \quad (16)$$

$$\sigma = 5,670 \times 10^{-8} W / m^2 \cdot K^4$$

Donde:

σ : constante de Stefan Boltzmann

T : temperatura absoluta de la superficie en Kelvin

E_b : poder de emisión de cuerpo negro

2.9.3. Propiedades de Radiación

Emisividad:

La emisividad es una propiedad fundamental según Cengel & Afshin, (2011) “es la razón entre la radiación emitida por la superficie a una temperatura dada y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura”(pág. 700)

Indicamos que la emisividad es una medida adimensional, la denotamos como (ε) y este valor está en el intervalo de $0 \leq \varepsilon \leq 1$, ahora si $\varepsilon = 1$ entonces podemos afirmar que cuan se aproxima a una superficie de cuerpo negro.

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} \quad (17)$$

Donde:



$E(T)$: radiación emitida por una superficie.

$E_b(T)$: radiación emitida si fuera un cuerpo negro.

Absortividad, reflectividad y transmisividad

Si la radiación impacta una porción de su superficie es asimilada, reflejada y la otra parte es transmitida.

Absortividad:

Es la parte de la irradiación absorbida por la superficie, representada como:

$$\alpha = \frac{\text{radiación absorbida}}{\text{radiación incidente}} = \frac{G_{abs}}{G} \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

Reflectividad:

Es la parte de la irradiación reflejada por la superficie, representada como:

$$\rho = \frac{\text{radiación reflejada}}{\text{radiación incidente}} = \frac{G_{ref}}{G} \quad 0 \leq \rho \leq 1$$

Transmisividad:

Es la parte de la irradiación transmitida por la superficie, representada como:

$$\tau = \frac{\text{radiación transmitida}}{\text{radiación incidente}} = \frac{G_{tr}}{G} \quad 0 \leq \tau \leq 1$$

Denotamos como (G) a la corriente de radiación penetrante en un área y este fenómeno se llama irradiación. Por la primera ley de la termodinámica afirmamos que.

$$G_{abs} + G_{ref} + G_{tr} = G \quad (18)$$

En consecuencia.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (19)$$

2.9.4 Ley de Kirchhoff

Si consideramos un área superficial, emisividad, absorptividad y temperatura, deducimos que la radiación impacta una porción del área de una parte pequeña del sólido es equivalente a la que emite un cuerpo oscuro con una temperatura, de esta forma, obtenemos la conclusión de que.

$$G = E_b(T) = \sigma T^4 \quad (20)$$

La radiación emitida por un cuerpo oscuro es.

$$E_{emitted} = \varepsilon \sigma T^4 \quad (21)$$

Si tomamos en cuenta que el pequeño objeto está en equilibrio térmico, afirmamos que la razón completa de transmisión de calor dirigida hacia ese objeto queda como nula. Esto implica que la radiación que el cuerpo emite debe ser la misma que la que absorbe.

$$\varepsilon \sigma T^4 = \alpha \sigma T^4 \quad (22)$$

Así llegamos a lo siguiente:

$$\varepsilon(T) = \alpha(T) \quad (23)$$

2.9.5 Radiación atmosférica y solar

La energía que parte del sol y llega a la plenitud de la atmósfera se denomina irradiación solar total donde se representa con el siguiente valor.

$$G_s = 1373 \text{ W / m}^2 \quad (24)$$

Donde:

G_s : irradiancia solar total

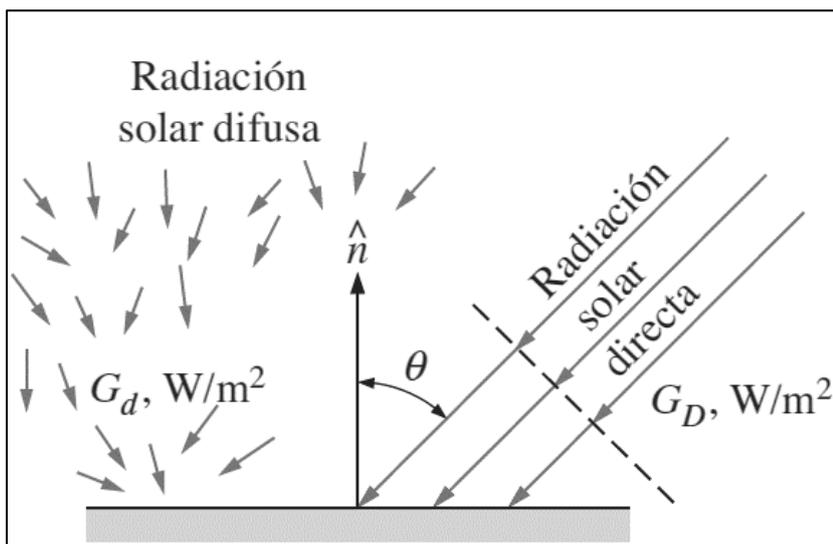
La irradiancia solar total (también llamada constante solar) representa la tasa a la cual la energía solar incide sobre una superficie perpendicular a los rayos

de sol en el borde exterior de la atmosfera, cuando la tierra se encuentra a su distancia media del sol.(Cengel & Afshin, 2011 pág. 709)

Se considera que el poder del sol cuando alcanza un plano terrestre se considera que está formada por elementos directos y difusos. La porción de la luz solar que alcanza la superficie terrestre sin que la atmósfera la disperse ni absorba, se conoce como irradiación solar directa (G_D). Se sostiene que la difusión de la radiación dispersa se propaga uniformemente a la superficie desde todos los ángulos y se denomina radiación.

Figura 1

Radiación directa y difusa que, llega a una superficie horizontal desde arriba de la tierra



Nota: Adaptado de Transferencia de Calor y Masa (pág.710), por Cengel & Afshin, 2011, Mc Graw Hill Editorial.

$$G_{solar} = G_D \cos \theta + G_d \quad (W / m^2) \quad (25)$$

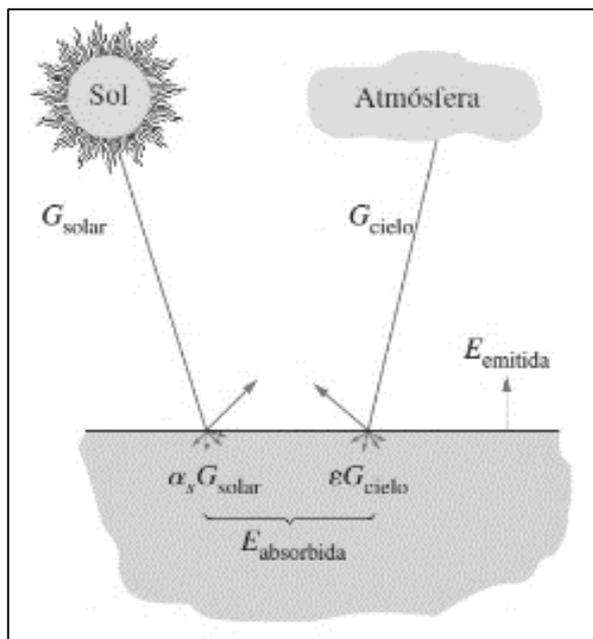
Donde (θ) observamos que la radiación solar incide en un ángulo de 90 grados con la superficie.

Se puede interpretar la temperatura efectiva del cielo como la emisión que no se alinea con la repartición de la radiación.

Resulta beneficioso en el procedimiento relacionados con la emisión de radiación considerar la superficie de la atmosfera como objeto de esta naturaleza a una temperatura imaginaria inferior, que emite una cantidad equivalente de energía radiante ver (Figura 2).

Figura 2

Efectos de la luz del sol y la atmosfera en una superficie expuesta



Nota: Adaptado de Transferencia de Calor y Masa (pág. 711), por Cengel & Afshin, 2011, Mc Graw Hill Editorial.

$$G_{cielo} = \sigma T_{cielo}^4 \quad (W / m^2) \quad (26)$$

El valor de T_{cielo} está influenciado por las condiciones atmosféricas. Oscila entre aproximadamente 230 K en comportamientos fríos y despejados, y un aproximado de 285 K en situaciones cálidas y nubladas.

La temperatura real del cielo no varía considerablemente de la temperatura del entorno. Así pues, siguiendo la regla de Kirchhoff, deducimos que la absorción de un plano coincide con su emisividad respecto a la implicancia de temperatura

del entorno. Por lo tanto, se puede explicar de qué manera una superficie absorbe la radiación del cielo.

$$E_{\text{cielo,absorbida}} = \alpha G_{\text{cielo}} = \alpha \sigma T_{\text{cielo}}^4 = \varepsilon \sigma T_{\text{cielo}}^4 \quad (27)$$

2.9.6 Aumento de calor solar a través de los vidrios

Algunas partículas de la energía solar que se infiltra en la atmósfera del ecosistema son dispersas y absorbidas por las moléculas de aire y vapor de agua, además de los fragmentos de suciedad y las gotas de líquido que están en el cielo. Como resultado, la radiación solar que llega a la superficie terrestre es inferior a la constante solar (Macé de Gastines & Pattini, 2017).

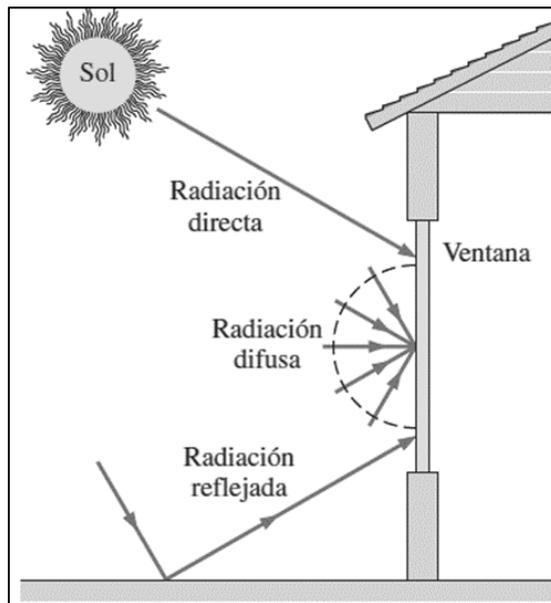
Se conoce como radiación directa aquella porción de radiación solar que llega al plano terrestre sin dispersión ni absorbida. En cambio, se denomina radiación difusa a la energía solar que es dispersa o reemitida por los elementos atmosféricos. La radiación directa se origina directamente del Sol, siguiendo un camino recto, en cambio, la radiación difusa se propaga desde todas las direcciones del firmamento, mientras que la radiación difusa se propaga desde todos los rincones del cielo. En un día nublado, toda la radiación que alcanza el suelo es difusa. Normalmente, la luz que llega a una superficie esta formada por tres tipos, luz directa, dispersa y luz reflejada de otras superficies cercana. Elementos comunes como plantas, arboles, rocas y concreto reflejan alrededor del 20% de la luz solar y absorben el resto del mismo tiempo.

Cuando el sol incide en una superficie de vidrio, una porción de esta (cerca del 8% en un vidrio transparente sin revestimiento) se refleja hacia el exterior, otra porción (entre el 5% y el 50%, en función del restablecimiento y el grosor) es consumida por el vidrio, donde la restante se propaga hacia adentro, ver figura 3.

El principio de conservación de la energía establece que la suma de las radiaciones solares transmitida, reflejada y absorbida debe ser igual a la radiación solar incidente; es decir $(\tau_s + \rho_s + \alpha_s = 1)$.

Figura 3

Partes directas, dispersa y reflejada de la luz del sol que llega a través de una ventana



Nota: Adaptado de Transferencia de Calor y Masa (pág.714), por Cengel & Afshin, 2011, Mc Graw Hill Editorial.

Según Cengel & Afshin, (2011) afirma que el cristal utilizado en ventanas con doble aplicación y un grosor de 3 mm, transmite el 86%, refleja el 8% y absorbe el 6% de la radiación que penetra sobre su área.

2.9.7 Factor visión

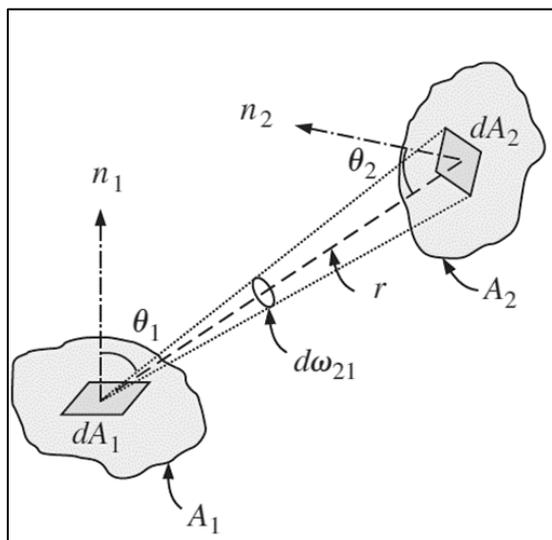
La transmisión de calor a través de la radiación entre las superficies se ve afectada por la dirección de cada una en relación con las otras, además de sus características en relación con la radiación y las temperaturas, que describe cómo

la geometría y la orientación de las superficies afectan esta transferencia ver figura 4.

(Shawaqfeh & Farid, 1995) indica que el factor de visión puede vincularse a un destilador solar en múltiples aspectos, especialmente de la manera en que se realiza la transferencia de calor por radiación entre las diversas superficies del sistema.

Figura 4

Forma de colocar dos superficies para medir el factor visión.



Nota: Adaptado de *Trasferencia de Calor y Masa* (pág.710), por Cengel & Afshin, 2011, Mc Graw Hill Editorial

$$F_{12} = FA_1 \rightarrow A_2 = \frac{\dot{Q}_{A_1 \rightarrow A_2}}{\dot{Q}_{A_1}} = \frac{1}{A_1} \int_{A_2} \int_{A_1} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2 \quad (28)$$

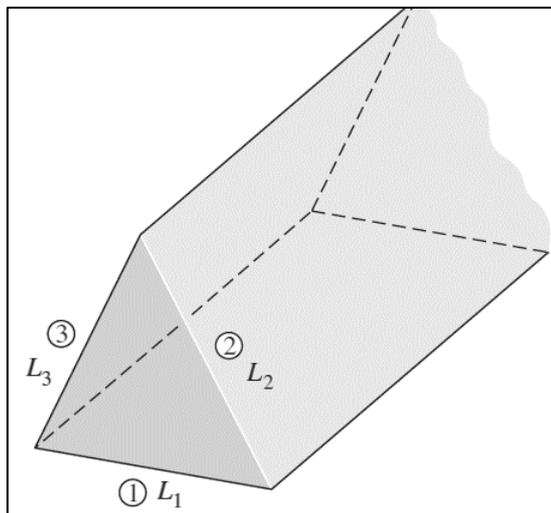
La fijación del factor de visión entre dos planos es crucial para entender la transmisión por radiación. Este concepto se induce a la fracción de la energía radiante emitida desde una superficie que es interceptada por otra. A continuación, se presentan algunos conceptos claves relacionados con la configuración geométrica y el cálculo del factor de visión.

El cálculo del factor de visión es esencial en diversas aplicaciones, como en el diseño térmico en ingeniería, donde se necesita estimar el intercambio térmico entre componentes en sistemas térmicos complejos.

Factores de visión asociados con un ducto triangular: El factor de visión se determina desde uno de los lados hasta cualquier otro que constituye el conducto triangular infinitamente largo, cuya sección transversal se presenta en la figura 5.

Figura 5

Ducto triangular infinitamente largo.



Nota: Adaptado de *Trasferencia de Calor y Masa* (pág.710), por Cengel & Afshin, 2011, Mc Graw Hill Editorial

El coeficiente de visión desde una de las superficies de un conducto triangular de gran longitud hacia otra es el total de sus anchos menos el ancho de la tercera, todo dividido entre el doble del ancho de la primera superficie citada, dividido entre el doble del ancho de la primera superficie señalada.

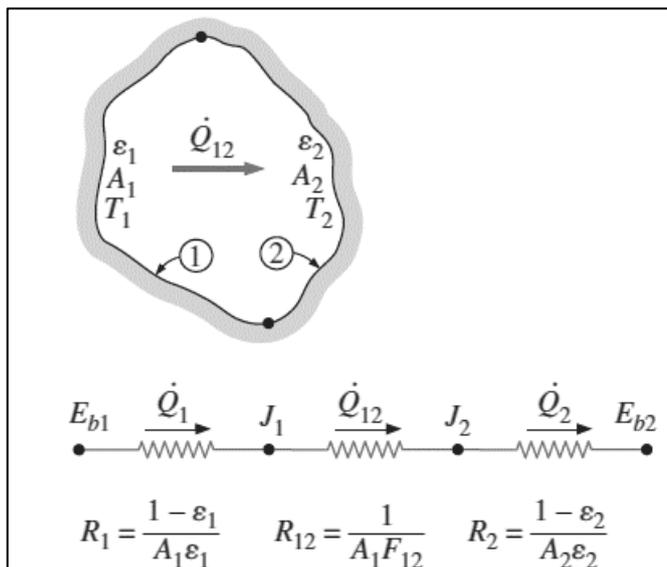
$$\begin{aligned}
 F_{12} &= \frac{A_1 + A_2 - A_3}{2A_1} = \frac{L_1 + L_2 - L_3}{2L_1} \\
 F_{13} &= \frac{A_1 + A_3 - A_2}{2A_1} = \frac{L_1 + L_3 - L_2}{2L_1} \\
 F_{23} &= \frac{A_2 + A_3 - A_1}{2A_2} = \frac{L_2 + L_3 - L_1}{2L_2}
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

2.9.8 Transferencia de calor por radiación entre dos superficies en espacios cerrados

La red radiativa de esta instalación de dos planos se compone de dos materiales que se oponen al paso de la corriente eléctrica y una resistencia espacial, ver figura 6.

Figura 6

Diseño de un espacio cerrado con dos superficies y la red de radiación que lo rodea



Fuente: Adaptado de Transferencia de Calor y Masa (pág.710), por Cengel & Afshin, 2011, Mc Graw Hill Editorial.

Donde:



$$\dot{Q}_{12} = \frac{E_{b1} - E_{b2}}{R_1 + R_{12} + R_2} \quad (30)$$
$$\dot{Q}_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \varepsilon_2}} \quad (W)$$

Para placas paralelas infinitamente grandes:

$$\dot{Q}_{12} = \frac{A\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (31)$$

2.10. BALANCES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El balance de energía en la transmisión de calor de calor que es un principio invaluable que se utiliza para analizar en qué momento cambia la energía y como se conserva este, en un sistema.

$$Q_{entra} - Q_{sale} = \Delta U \quad (32)$$

En un destilador solar, el balance de energía puede utilizarse para determinar cuánta radiación solar es necesaria para calentar una cierta cantidad de agua hasta su punto de ebullición. Se debe considerar tanto el calor consumido por el líquido como las pérdidas a través del ambiente.

2.11. SOFTWARE EES

Zapata. (2018) indica que El Engineering Equation Solver (EES) es un potente software creado para ingenieros y científicos que necesitan resolver ecuaciones matemáticas complejas.



2.11.1 Características principales

Solución de ecuaciones simultáneas: EES tiene la capacidad de resolver varias ecuaciones no lineales al mismo tiempo, lo que permite un análisis más eficaz de sistemas interconectados.

Gestión de unidades: El software proporciona un sistema que facilita el manejo de diferentes sistemas de unidades, eliminando la necesidad de conversiones manuales y reduciendo así la posibilidad de errores.

Herramientas gráficas integradas: EES cuenta con funcionalidades con el propósito de elaborar gráficos que faciliten la visualización de los resultados, lo que facilita la interpretación de datos y la presentación de resultados a otros.

Flexibilidad en la definición de variables: Los usuarios pueden establecer variables de entrada y salida de manera sencilla, lo que simplifica la modelización de diversos escenarios y parámetros.

2.11.2 Propiedades termodinámicas

Uno de los beneficios más destacados es una de las ventajas más significativas de EES es su amplia base de datos sobre propiedades termodinámicas.

Propiedades de fluidos: EES permite calcular las características relacionadas con el calor de muchos tipos de datos registrados, tanto ideales como reales, incluyendo gases, líquidos y mezclas, lo cual es crucial para aplicaciones en ciclos termodinámicos.



Modelos de sustancias puras y mezclas: El software incorpora modelos termodinámicos que facilitan el análisis de sustancias puras y mezclas complejas, lo que resulta fundamental en la ingeniería química y en procesos industriales.

Acceso a tablas y gráficos: EES ofrece acceso a tablas de propiedades, lo que simplifica la consulta de datos específicos y su representación gráfica, mejorando así la comprensión del comportamiento termodinámico.

2.11.3 Uso en la ciencia y la Ingeniería

EES es ampliamente empleado en diferentes campos de la ingeniería y las ciencias prácticas donde incluyen lo siguiente:

Ingeniería mecánica: Se usa para estudiar y crear sistemas térmicos, como intercambiadores de calor, turbinas y ciclos de refrigeración.

Ingeniería química: Se aplica en la simulación de reacciones químicas, el diseño de procesos y la optimización de condiciones operativas.

Investigación académica: Muchos investigadores y estudiantes utilizan EES para llevar a cabo simulaciones, modelar fenómenos y analizar datos experimentales.

Desarrollo de software educativo: EES se emplea en entornos educativos para enseñar conceptos de termodinámica y el cálculo de propiedades, facilitando así un aprendizaje práctico.

2.11.4 Interfaz y usabilidad

La interfaz de usuario de EES está diseñada para ser fácil de usar, lo que mejora su accesibilidad y funcionalidad. Las características destacadas incluyen:



Editor de ecuaciones: Ofrece un entorno de edición que permite ingresar ecuaciones de manera sencilla, con funciones de autocompletado y verificación.

Visualización de resultados: Los resultados se pueden presentar en formatos tabulares y gráficos, facilitando la interpretación y comparación de datos.

Soporte y documentación: EES proporciona manuales y ejemplos que ayudan a los usuarios a familiarizarse con el software, así como foros y comunidades donde pueden resolver sus dudas.

2.11.5 Tablas paramétricas

Las tablas paramétricas en EES permiten realizar análisis exhaustivos y optimización de diseños. Algunas características importantes son:

Definición de variables y parámetros: Los usuarios pueden definir rangos de variables y ver cómo afectan los resultados, facilitando el análisis de sensibilidad.

Comparación de escenarios: Permite realizar comparaciones entre diferentes configuraciones de un sistema, identificando la solución óptima para el problema planteado.

Optimización de procesos: Las tablas permiten cambiar ajustes ver los resultados al instante es muy importante para el diseño eficiente de procesos industriales y sistemas térmicos.

2.12. CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR

2.12.1 Diseño del destilador solar

El diseño de un alambique solar es crucial para su eficacia y eficiencia en la destilación de agua. Los destiladores solares suelen estar compuestos por un sistema de captación de radiación solar, una superficie de evaporación y un sistema de condensación.

Ranjan et al. (2018), un diseño típico incluye materiales que maximicen la absorción de calor, como el uso de láminas de aluminio o plástico negro en la superficie de evaporación. Estos materiales aumentan la temperatura del agua, facilitando su evaporación. Además, la inclinación del destilador debe optimizar la recolección del agua condensada, con un ángulo entre 15 y 30 grados (Kumar & Singh, 2020).

2.12.2 Caracterización térmica

La caracterización térmica es crucial para evaluar el desempeño de un destilador solar. Esto implica medir la temperatura en el plano, la temperatura del agua y la tasa de evaporación.

Según Sahu, (2019) el uso de sensores de temperatura y sistemas de registro automático permite obtener datos precisos que pueden ser analizados para optimizar el diseño del destilador. Además, el estudio de la transmisión de calor, a través de métodos como el análisis de la eficiencia térmica, es esencial para comprender cómo se comporta el sistema bajo diferentes condiciones.



2.12.3 Análisis de rendimiento

El rendimiento de un destilador solar se puede analizar en términos de eficiencia de destilación y producción de agua. La eficiencia se indica la relación de energía utilizada para evaporar el líquido y la irradiación solar.

Moussa, (2020) indican que un rendimiento óptimo se logra cuando la superficie de evaporación está adecuadamente aislada y diseñada para maximizar la captura de radiación solar. Estudios han demostrado que la eficiencia de estos sistemas puede variar entre 30% y 80% dependiendo de la ubicación geográfica y las condiciones ambientales (Alaei, 2021).

2.12.4 Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas tienen un impacto significativo en el funcionamiento de los destiladores solares. La radiación solar, la temperatura ambiente y la humedad relativa son factores que afectan la eficiencia del proceso de destilación.

Feldman, (2019) destacan que un mayor índice de radiación solar mejora la producción de agua, mientras que altas temperaturas ambiente pueden reducir la diferencia de temperatura entre la superficie del destilador y el aire, afectando negativamente la eficiencia. Además, la humedad puede influir en la capacidad del aire para absorber vapor de agua, lo que también debe considerarse en el diseño y operación de estos sistemas (Karami, 2020).



2.13. MODELOS ESTADISTICOS UTILIZADOS PARA LA INVESTIGACION

Correlación estadística inferencial:

La estadística inferencial es un conjunto de técnicas estadísticas que se utilizan para hacer inferencias o generalizaciones sobre una población a partir de una muestra de datos. A diferencia de la estadística descriptiva, que solo describe las características de un conjunto de datos, la estadística inferencial permite realizar predicciones, estimaciones y pruebas de hipótesis (HORAS, C, & CRÉDIT, T. P. 2017).

La estadística inferencial aplicada a los modelos matemáticos es fundamental para analizar, interpretar y validar los resultados de los modelos. A través de estimaciones, pruebas de hipótesis y análisis de regresión, es posible hacer afirmaciones sobre las relaciones entre variables y evaluar la precisión de las predicciones. Las técnicas de optimización y simulación también juegan un papel importante cuando se enfrentan modelos más complejos (Vidal 2020).

Modelo de correlación de Spearman:

El modelo de correlación de Spearman es una técnica estadística no paramétrica que se utiliza para evaluar la relación de orden entre dos variables el coeficiente de correlación de Spearman se utiliza para medir la fuerza y la dirección de una relación.

El coeficiente de correlación de Spearman (ρ) se calcula para cada par de variables. El cálculo de Spearman implica clasificar los datos de cada variable en orden ascendente (o descendente) y luego evaluar cómo coinciden esos rangos en las dos variables (Linares, 2024).



Análisis de Varianza (ANOVA):

El Análisis de Varianza (ANOVA) es una técnica estadística utilizada para analizar las diferencias entre las medias de dos o más grupos y determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas. ANOVA es ampliamente utilizado cuando se desea comparar más de dos grupos o condiciones para entender si las variaciones dentro de cada grupo son más pequeñas que las variaciones entre los grupos, lo que indicaría que las diferencias entre los grupos no son debidas al azar.

En el contexto de una investigación correlacional, ANOVA puede ser útil para diferenciar entre varios grupos y analizar si una o más variables explican la variabilidad observada entre esos grupos. Aunque ANOVA no está diseñado estrictamente para evaluar relaciones directas de correlación (como la correlación de Pearson o Spearman), sí permite analizar si existe una diferencia significativa en las medias de varias categorías, lo cual puede ser relevante para entender cómo varían las relaciones entre variables en diferentes grupos (Dagnino, 2014).

Regresión lineal:

La regresión lineal es una técnica estadística fundamental utilizada para examinar la relación entre dos o más variables. En una investigación correlacional, la regresión lineal permite modelar y analizar cómo una variable independiente (predictora) influye sobre una variable dependiente (respuesta). El objetivo es encontrar una ecuación lineal que explique la relación entre estas variables y usarla para predecir o interpretar el comportamiento de la variable dependiente.

En un contexto de investigación correlacional, donde se utilizan tanto datos simulados (a partir de un modelo matemático) como datos registrados (obtenidos de experimentos o mediciones reales), la regresión lineal puede ser utilizada para evaluar y



validar la relación entre las variables bajo estudio. Esto se puede aplicar tanto a modelos matemáticos como a sistemas experimentales (Granados, 2016).

Error estándar:

El error estándar es una medida estadística que indica la precisión de una estimación de una estadística (como la media o el coeficiente de regresión) en una muestra. En una investigación correlacional, el error estándar es importante para evaluar la fiabilidad y la precisión de las estimaciones de los parámetros (como las medias, las pendientes de la regresión, o cualquier otro valor que se derive de los datos) y para realizar inferencias sobre la población de la que se obtuvo la muestra.

En una investigación correlacional, el error estándar es una medida esencial para evaluar la precisión y fiabilidad de las estimaciones de los parámetros estadísticos, como la media, la correlación o los coeficientes de regresión. En el contexto de un modelo matemático y datos registrados, un error estándar pequeño indica una mayor precisión en las estimaciones, mientras que un error estándar grande sugiere que las estimaciones son menos confiables. El error estándar también es fundamental para realizar pruebas de hipótesis, calcular intervalos de confianza y evaluar la significancia de las relaciones entre las variables en estudio (Lara 2013).

2.14. SOFTWARES UTILIZADOS PARA LA INVESTIGACIÓN

EES (Engineering Equation Solver):

El software EES (Engineering Equation Solver) es una herramienta poderosa y flexible para la simulación de modelos matemáticos en ingeniería, especialmente en áreas donde se necesitan cálculos termodinámicos precisos. Su uso en investigaciones correlacionales, especialmente en simulaciones de sistemas como destiladores solares,



ciclos termodinámicos, o procesos de transferencia de calor, permite optimizar el rendimiento de sistemas complejos y obtener resultados confiables para tomar decisiones informadas.

STATGRAPHICS:

Statgraphics es un software estadístico ampliamente utilizado en el análisis y la visualización de datos. Es particularmente conocido por su capacidad de realizar análisis estadísticos avanzados de manera intuitiva, lo que lo convierte en una herramienta útil para profesionales en áreas como la ingeniería, ciencias sociales, biología, finanzas, calidad y muchos otros campos que requieren un análisis de datos complejo.

En una investigación correlacional, Statgraphics ofrece un conjunto de herramientas útiles que permiten explorar relaciones entre variables, calcular correlaciones, realizar regresiones para modelar dichas relaciones y validar la significancia estadística de los resultados. El software facilita no solo los análisis estadísticos, sino también la interpretación y presentación de los datos mediante gráficos y visualizaciones claras y precisas. Además, su flexibilidad y facilidad de uso hacen que sea adecuado tanto para principiantes como para analistas avanzados.

SPARKVUE:

SPARKvue es una plataforma de software desarrollada por PASCO Scientific que está diseñada para facilitar el análisis y la visualización de datos en tiempo real, principalmente en el contexto educativo y de investigación científica. SPARKvue se utiliza comúnmente con los dispositivos de medición de PASCO, como sensores y estaciones meteorológicas, lo que lo convierte en una herramienta poderosa para la recopilación y análisis de datos de fenómenos físicos y ambientales. También tiene un software interactivo que permite la recolección, visualización y análisis de datos,



generalmente a través de sensores PASCO conectados a dispositivos como computadoras, tabletas y teléfonos inteligentes. Este software es comúnmente utilizado en laboratorios educativos, investigaciones científicas y experimentos en vivo, donde los usuarios pueden obtener datos en tiempo real y analizar los resultados de manera instantánea.

EXCEL:

El software Excel es una herramienta invaluable en investigaciones científicas debido a su capacidad para organizar, analizar y visualizar grandes cantidades de datos de manera eficiente. Su versatilidad permite a los investigadores realizar cálculos estadísticos, crear gráficos y tablas dinámicas, realizar análisis de regresión, y aplicar funciones matemáticas complejas para modelar fenómenos científicos. Además, su facilidad de uso y accesibilidad lo convierten en una opción popular para la gestión de datos experimentales, facilitando la interpretación de resultados y la presentación clara de información. En investigaciones científicas, Excel permite una rápida manipulación de datos y es fundamental para realizar análisis de tendencias, correlaciones y variaciones en experimentos, lo que mejora la precisión y comprensión de los hallazgos.

IBM SPSS:

El programa IBM SPSS es una herramienta poderosa y ampliamente utilizada en investigaciones correlacionales y análisis de varianza (ANOVA), ya que permite gestionar, analizar e interpretar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. En una investigación correlacional, SPSS facilita el cálculo de coeficientes de correlación, como el coeficiente de Pearson o Spearman, para medir la fuerza y dirección de la relación entre variables, proporcionando una visión clara de cómo se asocian las variables en estudio. Además, cuando se utiliza ANOVA, SPSS permite realizar análisis de varianza para comparar las medias entre diferentes grupos, evaluando si existen diferencias



estadísticamente significativas entre ellos. Su capacidad para realizar análisis complejos de manera sencilla, con resultados visuales y detallados, hace de SPSS una herramienta esencial para validar hipótesis y explorar relaciones en investigaciones de diversas áreas científicas.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Juliaca, ubicada en la provincia de San Román, en el departamento de Puno, ubicada en la urbanización Los ángeles, Jr. San Miguel 525, la ciudad de Juliaca que se encuentra a una elevación de 3825 metros por encima del nivel del mar, esto influye en su clima, cultura, y una economía dinámica.

Figura 7

Localización del estudio



Fuente: Google Earth

3.2. MUESTRA

Se tomo en cuenta los datos registrados del 22 de julio hasta el 14 de agosto. Se obtuvo una media muestral en grupos de 7 horas registrando un total de 168 datos, para evaluar el rendimiento de un destilador solar, donde las variables analizadas fueron.

Temperatura Ambiente: Se utilizó los datos de la temperatura ambiente para entender su influencia en el proceso de destilación registrado por el sensor meteorológico inalámbrico con GPS de la marca Pasco modelo PS-3209.



Velocidad del Viento: Se utilizo los datos de la velocidad del viento, ya que puede afectar la eficiencia del destilador al influir en la evaporación y condensación, registrado con el sensor meteorológico inalámbrico con GPS de la marca Pasco modelo PS-3209.

Irradiancia Solar: Se utilizo los datos de la irradiancia solar para determinar la cantidad de la energía del sol que se puede utilizar en el procedimiento de destilación registrado con el sensor meteorológico inalámbrico con GPS de la marca Pasco modelo PS-3209

Destilado Registrado: Se utilizo los datos registrados de la masa del destilado en gramos, en relación con las condiciones ambientales con la balanza digital SF-400.

Estos datos permitirán correlacionar la eficiencia del destilado con el modelo matemático simulado por el software EES.

3.3. METODO DE INVESTIGACION

3.3.1 Enfoque

El enfoque cuantitativo se centra en explorar, describir, establecer, comparar y relacionar grupos y variables, así como en resolver problemas (Hernández-Sampieri et al., 2018).

3.3.2 Tipo de estudio

El estudio pertenece a una naturaleza no experimental, ya que mide dos variables y las evalúa sin la influencia de variables externas, sin manipularlas. Se fundamenta en las características o variables para analizarlas en su contexto natural (Hernández-Sampieri et al., 2018).

3.3.3 Diseño de investigación

El diseño es descriptivo y transeccional-correlacional, ya que se analizan en un único momento y busca establecer relaciones entre dos variables (Sucasaire, 2022), denominadas variable 1, como la eficiencia del destilado que existe entre la simulación del modelo matemático y variable 2 como los datos registrados de un destilador solar en los meses de julio y agosto, Juliaca – Puno -Perú 2024. Asimismo, la evaluación tiene como objetivo verificar cómo se relacionan hechos, fenómenos, variables, características, dos objetos o un conjunto de pares regulados (Hernández-Sampieri et al., 2018; Kerlinger y Lee, 2002).

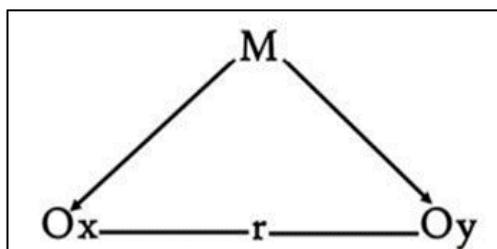
Utilizamos el modelo de correlación de Spearman para analizar la relación entre la eficiencia del destilado que existe entre la simulación del modelo matemático y los datos registrados de un destilador solar en los meses de julio y agosto., Juliaca – Puno -Perú 2024.

3.3.4 Procedimiento para verificar la hipótesis

El procedimiento para verificar la correlación se elaboró utilizando estadística inferencial, empleando programas estadísticos como SPSS 26 STATGRAPHICS, Excel 21 y Sparkvue.

Figura 8

Esquema del diseño correlacional



Nota: Fuente propia



Donde:

M: Muestras de estudio.

Ox: Simulación del modelo matemático

Oy: Datos experimentales de un destilador solar tipo caseta

r: Grado de relación entre ambas variables.

3.3.5 Método hipotético deductivo

Consistir en deducir un enunciado específico a través de la observación, llevando a cabo la contrastación o verificación del mismo mediante las consecuencias deducibles para determinar si se confirma o refuta la hipótesis (Sánchez, 2019; Bunge, 2004).

3.4. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Detallada descripción de métodos por objetivos específicos.

3.4.1 Variables analizadas en los objetivos específicos.

El diseño correlacional, según Sucasaire (2022), busca el grado de relación entre fenómenos, hechos, dimensiones e indicadores mediante los resultados. Al considerar tanto la variable 1 como la variable 2, sin determinar una relación de causa y efecto.

Tabla 1

Descripción de las variables, objetivos, dimensiones e indicadores

Variables	Objetivos específicos	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
V1: Simulación del modelo matemático	Examinar la relación que existe entre la simulación y el análisis físico, matemático del sistema.	Balances de energía y simulación Modelos matemáticos	Análisis de contenido de artículos, revistas científicas y libros. Análisis de contenido sobre modelos matemáticos referidos para un destilador solar tipo caseta.	EES STATGRAPHIS IBM SPSS
V2: Datos registrados de un destilador	Describir la relación que existe entre la velocidad del viento, la irradiación y la temperatura ambiente con la simulación	Temperatura ambiente. Velocidad del viento. Irradiación solar	Destilador solar Base Datos en grados Celsius Base de datos en metros por segundo Base de datos en vatios por metro cuadrado	Prototipo Estación meteorológica

Nota: Fuente propia

3.4.2 Descripción de instrumentos de medida y experimental

Estación Meteorológica: El sensor meteorológico inalámbrico con GPS de la marca Pasco modelo PS-3209 es una herramienta multifuncional que puede usarse para monitorear las condiciones ambientales complejas. Para proporcionar 19 mediciones distintas, alberga múltiples elementos de detección dentro de una sola unidad. Para monitoreo a largo plazo, utilice el sensor en modo de registro con el accesorio opcional Veleta o utilícelo como un instrumento portátil para estudiar patrones climáticos locales y microclimas en tiempo real. Es posible

llevar a cabo a cabo estudios grupales en un solo período de clase al transmitir los datos recopilados a los dispositivos de clase de forma inalámbrica para que los estudiantes los analicen. Los estudiantes también pueden recopilar y analizar datos de ubicación para investigaciones SIG en la pantalla de mapas SPARKvue, impulsada por ESRI ArcGIS, con el GPS incorporado.

Tabla 2

Especificaciones técnicas de la estación meteorológica.

Temperatura ambiente	<ul style="list-style-type: none">• Rango: -40 a 125 °C• Resolución: 0,1 °C• Precisión: ± 2 °C
Velocidad del viento	<ul style="list-style-type: none">• Alcance: 0,5 a 100 m/s (vientos de hasta ~33 mph).• Resolución: 0,1 m/s• Precisión: 3% de lectura
Rango de irradiancia (basado en la radiación solar)	<ul style="list-style-type: none">• 0 a 1362 W/ m²

Nota: PASCO-LAB

Balanza digital SF-400

La balanza digital SF-400 es un dispositivo de pesaje versátil y preciso, ideal para el uso en investigaciones tiene una capacidad para medir 10 000 gramos en total, la balanza tiene una precisión gramos, lo que permite mediciones exactas y confiables.

Software EES (Engineering Equation Solver):

Aunque no se trata de un "instrumento de medición" en el sentido tradicional de un dispositivo físico, puede ser considerado un instrumento metodológico en investigaciones de ingeniería. Esto se debe a que ayuda en el análisis, cálculo y resolución de ecuaciones que describen sistemas



termodinámicos, de transferencia de calor, mecánica de fluidos, entre otros (Oliveira, 2024).

Software Atlas. Ti:

El programa facilita a los científicos la codificación automática de datos de inteligencia artificial. Su habilidad para fusionar diversos formatos de datos y facilitar análisis complejos lo convierte en particularmente valioso en campos como las ciencias sociales, la educación, la salud y las investigaciones de mercado, donde se utilizan métodos cualitativos. ATLAS.ti se usa extensamente en trabajos de tesis y estudios académicos debido a su versatilidad y capacidad para administrar y visualizar datos (ATLAS.ti | The #1 Software for Qualitative Data Analysis, s. f.).

Software Statgraphics:

Statgraphics es un software estadístico avanzado donde se emplea para la exploración de información. en diversas disciplinas. Su última versión, Statgraphics Centurion 19 , ofrece más de 290 procedimientos estadísticos, lo que lo convierte en una herramienta poderosa para analistas y profesionales de la estadística (UCM-Proyecto de Innovación Software libre para ciencias e ingenierías, s. f.).

Software BIM SPSS

El software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) se utiliza en ingeniería y en investigaciones científicas para analizar datos y encontrar correlaciones entre diferentes variables. En el contexto de la ingeniería, SPSS permite a los profesionales realizar análisis estadísticos complejos, como la



regresión, análisis multivariantes y pruebas de hipótesis, para modelar y entender fenómenos relacionados con el rendimiento de materiales, sistemas y procesos. A través de su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos, SPSS facilita la identificación de patrones y relaciones que pueden influir en la toma de decisiones, la optimización de proyectos y la mejora de la eficiencia en diversas áreas de la ingeniería. Además, en investigaciones académicas, se emplea para explorar correlaciones entre variables que pueden contribuir al desarrollo de nuevos conocimientos o la validación de teorías existentes.

3.5. IMPLEMENTACIÓN DE UNA EVALUACIÓN DE INFERENCIA ESTADÍSTICA.

3.5.1 Análisis de datos

De acuerdo con López-Roldán y Fachelli (2016), La estadística es una rama científica enfocada en la recopilación, estructuración, divulgación, estudio e interpretación de datos, mediante indicadores, la evaluación de parámetros y el estudio de hipótesis.

3.5.2 Estadística descriptiva y estadística inferencial

De acuerdo con En el estudio realizado por López-Roldán y su equipo en 2016, se abordó el tema de la estadística Indicando que la estadística descriptiva se encarga de la organización y análisis preliminar de los datos obtenidos.

Igualmente, de acuerdo con la investigación de López-Roldán y su equipo en 2016, la estadística inferencial tiene la responsabilidad de extraer conclusiones y deducciones., proyecciones, estimaciones o predicciones. a partir de los resultados para su interpretación, comparación o proyección.

3.5.3 Procedimiento de análisis de varianza (ANOVA)

El ANOVA (Análisis de Varianza) es una técnica estadística usada para comparar las medias de tres o más grupos para determinar si hay alguna diferencia significativa entre ellas. La hipótesis nula en ANOVA es que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos, y se evalúa si la variabilidad dentro de los grupos es mayor o menor que la variabilidad entre los grupos.

Si los resultados de ANOVA muestran que la variabilidad entre los grupos es considerablemente mayor que la variabilidad dentro de los grupos, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que al menos uno de los grupos tiene una media significativamente diferente.

En este proceso se utilizan conceptos como el valor “P” y el nivel de significancia, lo que pertenece a la estadística inferencial porque estás haciendo una inferencia sobre una población con base en los datos de una muestra.

3.5.4 Modelo de correlación de Spearman

Se recolectaron los datos utilizando las herramientas del estudio, los datos se analizaron utilizando los paquetes estadísticos SPSS 26, Excel 16, las variables categóricas de una distribución no paramétrica, se ajustan a la prueba del coeficiente de comparación Rho de Spearman para determinar el nivel de evaluación entre las variables y dimensiones (Apaza et al., 2022), y la fórmula es:

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (33)$$

Donde:

ρ : Correlación de Spearman.



d: Diferencia entre los rangos (X-Y).

n: número de datos.

Para el examen de hipótesis, según Apaza et al, (2022), es crucial emplear la prueba t del coeficiente de compensación por rangos, con el fin de rechazar o aceptar la nula o alterna, y la fórmula es:

$$t_c = \frac{\rho\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (34)$$

t_c : t calculada.

ρ : Resultado del coeficiente de correlación por rangos de Spearman.

n: Número de datos.

3.5.5 Análisis estadístico no paramétrica

Los procedimientos de contraste utilizados en la evaluación de hipótesis no se corresponden con una distribución normal, según Sáenz y Tamez (2014). El coeficiente de Spearman se utiliza para establecer el nivel de compensación entre variables o dimensiones, con mediciones en un rango de -1 a +1, donde cero indica ausencia de compensación. Según González (2009), los rangos de valores se utilizan para determinar la intensidad de la relación entre variables y dimensiones. Se busca determinar el nivel e importancia entre ellas.

Tabla 3

Grado de asociación o relación de variables del coeficiente de Spearman

Rango de correlación		Significado	
	$\rho = 1$		Correlación negativa Perfecta
+	$0,8 < \rho < 1$	Correlación Perfecta	Correlación negativa Muy Alta
+	$0,6 < \rho < 0,8$	Correlación Muy Alta	Correlación negativa Alta
+	$0,4 < \rho < 0,6$	Correlación Alta	Correlación negativa Moderada
+	$0,2 < \rho < 0,4$	Correlación Moderada	Correlación negativa Baja
+	$0 < \rho < 0,2$	Correlación Baja	Correlación negativa Muy Baja
	$r = 0$	Correlación Muy Baja	Correlación negativa Nula
		Correlación Nula	Baja

Nota: Los datos se obtuvieron del libro de González (2009)

3.5.6 Determinación de la relación y la prueba de hipótesis

Para determinar la relación utilizamos los datos registrados (ver Anexo 8).

Premisa 1:

H₀: No existe relación entre simulación del modelo matemático y los datos registrados de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

H_a: Si existe relación entre simulación del modelo matemático y los datos registrados de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

Premisa 2:

H₀: $\rho = 0$ Se acepta la correlación entre las variables si es cero.

se rechaza la hipótesis alterna si se acepta la hipótesis nula.

H_a: $\rho \neq 0$ Se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula si la correlación entre las variables es diferente a cero.



Nivel de significancia

El nivel de significancia del estudio es $\alpha = 0.05$ que equivale a un 95% de nivel de confianza.

Prueba de valor

Se determina la relación con la prueba de hipótesis del coeficiente de correlación por rangos y la prueba no paramétrica de correlación de Spearman.

Regla de decisión

Si $T_c > T_t$: Entonces se rechazará H_0 .

Si $\rho < \alpha$: Entonces se rechazará H_0 .

Se determina la relación entre las variables

El p valor : 0.000

El α : 0.05

Entonces : $0.000 < 0.05$; existe relación significativa entre las variables.

Se determina la prueba de hipótesis:

Se usa la distribución T_t (T tabulada).

$T_{t(166, \alpha=0.05)} = 1.974357$, para un 95% de nivel de confianza

El valor de la correlación de Spearman es:



$$\rho = 0.997$$

Con el resultado podemos hallar la T_c .

$$T \text{ calculada} : T_c = 165.95851$$

$$\text{Según tabla} : T_t = 1.97435776$$

$$\text{Entonces} : 165.95851 > 1.97435776$$

Conclusión:

Las variables tienen una relación significativa. Con un nivel de significancia de 0.05, se rechazó la hipótesis nula (H_0) ya que el valor t calculado 165.95851 fue mayor que 1.97435776 en la prueba de hipótesis con la prueba T de coeficiente de Clasificación de Spearman por rangos, aceptando así la hipótesis alterna (H_a).

CAPÍTULO IV

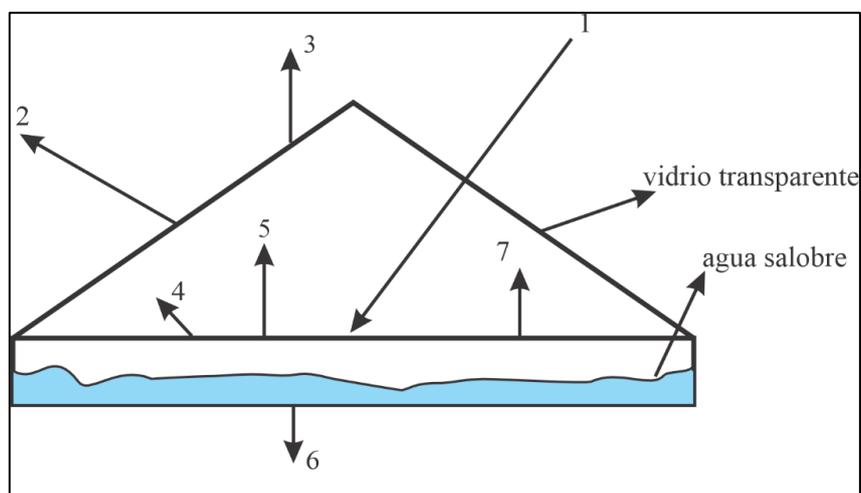
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO DEL DESTILADOR SOLAR

4.1.1 Formas de conductividad térmica en el destilador solar

Figura 9

Intercambio de energía en un destilador solar



Nota: Fuente propia

Donde:

- (1): Irradiancia solar global, reflejada por la cubierta transparente y por la superficie del agua; absorbida por el vidrio, agua y el fondo.
- (2): Convección de la cubierta de vidrio transparente hacia el aire.
- (3): Radiación de la cubierta de vidrio transparente hacia el cielo.
- (4): Convección agua – vidrio.
- (5): Radiación agua – vidrio.
- (6): Convección fondo – aire (destilador solar elevado); conducción fondo suelo.
- (7): Evaporación

Transferencia de calor por convección entre vidrio – aire (\dot{Q}_{cva}):

La convección entre el vidrio y el aire se puede modelar mediante la ley de enfriamiento de Newton, y da como resultado la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{cva} = h_{cva} (T_v - T_a) \quad (35)$$

Mc Adams, (1964) expresa en su libro de “Transmisión de calor” publicado en Estados Unidos indica que, la tasa de transferencia de calor vidrio-aire (h_{cva}) tiene la siguiente forma:

$$h_{cva} = 5.7 + 3.8v_a$$

Donde (v_a) es la velocidad del aire (viento en m/s), por lo que la ecuación (35) se puede reescribir como:

$$\dot{Q}_{cva} = (5.7 + 3.8v_a)(T_v - T_a) \quad (36)$$

Teniendo en cuenta que T_v es la temperatura a la que se encuentra el vidrio $^{\circ}C$, T_a la calidez del ambiente en $^{\circ}C$, \dot{Q}_{cva} es el calor por unidad de tiempo y área medido en W/m^2 y h_{cva} medido en $W/m^2^{\circ}C$.

Transferencia de calor por convección entre agua – vidrio (\dot{Q}_{cww}):

Dunkle, (1961) en su investigación llamada “Destilación solar de agua: el alambique de tejado y un alambique de difusión de efecto múltiple” publicado en Estados Unidos, propuso que la transferencia de calor por convección entre el agua y el vidrio se puede expresar teóricamente mediante la ecuación:

$$\dot{Q}_{cww} = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_v)$$

Pero también esta transferencia por la ley de enfriamiento de Newton puede tener la forma:

$$\dot{Q}_{cww} = h_{cww} (T_w - T_v)$$

Es así que se tiene que:

$$\dot{Q}_{cww} = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_v) = h_{cww} (T_w - T_v) \quad (37)$$

Donde h_{cww} se puede calcular teóricamente como:

$$h_{cww} = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Además, se tiene en esta ecuación que T_w es la temperatura del agua en $^{\circ}C$, T_v la temperatura del vidrio en $^{\circ}C$, P_w la presión del agua en Pa , P_v la presión del vidrio en Pa , h_{cww} el coeficiente de transferencia de calor por convección entre agua y vidrio que esta medido en $W/m^2^{\circ}C$ y \dot{Q}_{cww} es el calor por unidad de tiempo y área medido en W/m^2 .

Transferencia de calor por conducción convección fondo - aire (\dot{Q}_{ccfa}):

Al ser una transferencia de calor por convección esta se puede modelar por medio de la ley de enfriamiento de Newton, teniendo la siguiente forma la ecuación:

$$\dot{Q}_{ccfa} = h_{ccfa} (T_f - T_a) \quad (38)$$

Donde T_f es la temperatura del fondo en $^{\circ}C$, T_a la temperatura del aire en $^{\circ}C$, h_{ccfa} el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el fondo y

el aire, este coeficiente esta medido en $W/m^2\text{°C}$ y \dot{Q}_{ccfa} es el calor por unidad de tiempo y área medido en W/m^2 .

Transferencia de calor por convección fondo - agua (\dot{Q}_{cfw}):

Esta convección entre el fondo y el agua también puede ser modelada a partir de la ley de enfriamiento de newton mediante la ecuación:

$$\dot{Q}_{cfw} = h_{cfw} (T_f - T_w) \quad (39)$$

Donde T_f es la temperatura del fondo en °C , T_w la temperatura del agua en °C , h_{cfw} el coeficiente de transferencia de calor por convección entre el fondo y el agua medido en $W/m^2\text{°C}$ y \dot{Q}_{cfw} es el calor por unidad de tiempo y área medido en W/m^2 .

Transferencia de calor por radiación vidrio – cielo (\dot{Q}_{rvs}):

Para modelar esta transferencia de calor entre el vidrio y el cielo es necesario recurrir a la ley de Stefan – Boltzmann con la cual la radiación resulta ser:

$$\dot{Q}_{rvs} = \varepsilon_v \sigma \left[(T_v + 273)^4 - (T_s)^4 \right] \quad (40)$$

De acuerdo con Swinbank, (1963) en su investigación titulada “Radiación de onda larga en cielos despejados” publicada por la revista trimestral de la Royal Meteorological Society indica que la temperatura del cielo T_s se considera como función de la temperatura del aire o ambiente dada por la siguiente ecuación:

$$T_s = 0.0552(T_a + 273)^{\frac{3}{2}}$$

Por lo tanto, reemplazando esta última ecuación en (40) se tiene que:

$$\dot{Q}_{rvs} = \varepsilon_v \sigma \left[(T_v + 273)^4 - \left(0.0552(T_a + 273)^{\frac{3}{2}} \right)^4 \right] \quad (41)$$

Donde T_v es la temperatura del vidrio en °C, T_a la temperatura del aire en °C, ε_v la emisividad del vidrio, σ la constante de Stefan – Boltzmann y \dot{Q}_{rvs} es el calor por unidad de tiempo y área medido en W/m^2 .

Transferencia de calor por radiación agua – vidrio (\dot{Q}_{rvv})

Esta transferencia de calor entre el agua y el vidrio se modela mediante la ecuación:

$$\dot{Q}_{rvv} = \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} \quad (42)$$

Donde T_v es la temperatura del vidrio en °C, T_w la temperatura del agua en °C, ε_v la emisividad del vidrio, ε_w la emisividad del agua y \dot{Q}_{rvv} es el calor por unidad de tiempo y área medido en W/m^2 .

Transferencia de calor por evaporación (\dot{Q}_{evap})

La evaporación se puede interpretar como un proceso de transferencia de calor por convección entre el agua y el vidrio, por lo que se puede utilizar la ley de enfriamiento de Newton, entonces se tiene que:

$$\dot{Q}_{evap} = h_{evap} (T_w - T_v) \quad (43)$$

La mejor representación para \dot{Q}_{evap} la expresa Malik et al. (1982) en su investigación titulada “Destilación solar: un estudio práctico de una amplia gama de alambiques y su diseño, construcción y rendimiento óptimos” publicada en Pergamon Press, Oxford. Donde postula que:

$$T_w - T_v = 16.273 \times 10^{-3} (P_w - P_v)$$

Por lo tanto, utilizando esta última ecuación en (43) se tiene que:

$$\dot{Q}_{evap} = 16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v)$$

La evaporización puede ser considerada una forma de transferencia de calor por convección, es así que si se usa la ley de enfriamiento de newton se tiene que:

$$\dot{Q}_{evap} \equiv \dot{Q}_{cww} = h_{cww} (T_w - T_v)$$

De esto último se tiene que $h_{evap} = h_{cww}$, por lo tanto, se tiene que:

$$\dot{Q}_{evap} = 16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v) = h_{evap} (T_w - T_v) = h_{cww} (T_w - T_v) \quad (44)$$

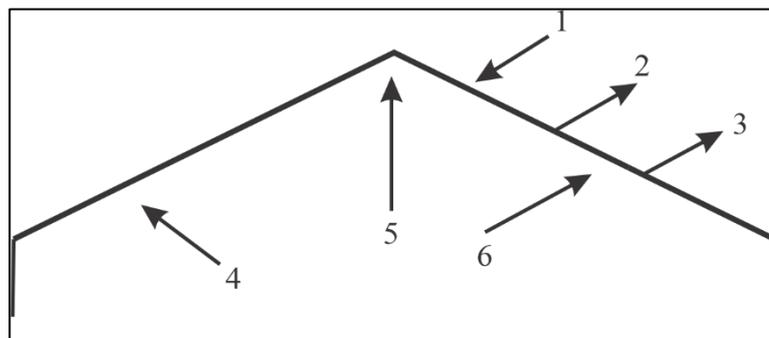
Donde T_v es la temperatura del vidrio en $^{\circ}C$, T_w la temperatura del agua en $^{\circ}C$, h_{evap} el coeficiente de transferencia de calor por evaporación, P_w la presión del agua en Pa , P_v la presión del vidrio en Pa y \dot{Q}_{evap} es el calor por unidad de tiempo y área medido en W/m^2 .

4.1.2 Balances de transferencia de calor en el destilador solar

Balance de transferencia de calor sobre el vidrio

Figura 10

Esquema de balance de energía en el vidrio.



Nota: Fuente propia

Donde:

- (1): Radiación solar global, reflejada y absorbida por la cubierta transparente.
- (2): Radiación de la cubierta de vidrio transparente hacia el cielo.
- (3): Convección de la cubierta de vidrio transparente hacia el aire.
- (4): Convección agua – vidrio.
- (5): Evaporación.
- (6): Radiación de la superficie del agua hacia el vidrio.

El calor en el vidrio por unidad de área se define como; calculando el balance en la transferencia de calor en el vidrio se tiene que:

Intercambio de calor por unidad de tiempo y área en el vidrio= absorción de radiación solar + convección agua vidrio + radiación agua vidrio + evaporización – radiación vidrio cielo – convección vidrio aire

$$\dot{Q}_v = \frac{dQ_v}{dt} = \frac{d}{dt}(m_v c_v T_v) = (1 - R_v) \alpha_v I_{rr} + \dot{Q}_{c_{wv}} + \dot{Q}_{r_{wv}} + \dot{Q}_{evap} - \dot{Q}_{r_{vs}} - \dot{Q}_{c_{va}}$$
$$m_v c_v \frac{dT_v}{dt} = (1 - R_v) \alpha_v I_{rr} + \dot{Q}_{c_{wv}} + \dot{Q}_{r_{wv}} + \dot{Q}_{evap} - \dot{Q}_{r_{vs}} - \dot{Q}_{c_{va}} \quad (45)$$

Donde m_v es la masa del vidrio por unidad de área y c_v es el calor específico del vidrio; reemplazando las ecuaciones (35), (38), (41), (42) y (44) en (45) se tiene que:

$$m_v c_v \frac{dT_v}{dt} = (1 - R_v) \alpha_v I_{rr} + 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_v)$$

$$+ \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} + 16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v) - \varepsilon_v \sigma \left[(T_v + 273)^4 - (T_s)^4 \right] - h_{cva} (T_v - T_a)$$

Para esta última ecuación se tiene que la constante de Stefan – Boltzmann es $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$, y las emisividades del vidrio y agua respectivamente son $\varepsilon_v = 0.94$ y $\varepsilon_w = 0.95$ propuesta por Sartori, (1996) en su investigación titulada “ Destilador solar versus evaporador solar: un estudio comparativo entre sus comportamientos térmicos” además R_v es la reflejancia del agua y α_v es la absorbancia del agua.

Asumiendo que el sistema está en un estado estable o estacionario se tiene que la temperatura del vidrio T_v permanece constante en el tiempo, por lo tanto

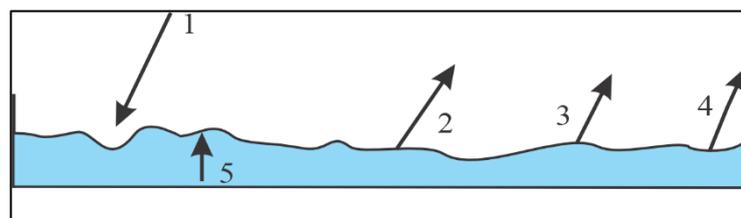
$\frac{dT_v}{dt} = 0$, es así que la última ecuación se puede reescribir como:

$$0 = (1 - R_v) \alpha_v I_{rr} + 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_v) + \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} + 16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v) - \varepsilon_v \sigma \left[(T_v + 273)^4 - (T_s)^4 \right] - h_{cva} (T_v - T_a) \quad (46)$$

Balance de transferencia de calor sobre el agua:

Figura 11

Esquema del balance de energía sobre el agua



Nota: Fuente propia.

Donde:

(1): Radiación solar global, reflejada y absorbida por el agua.

(2): Radiación de la superficie del agua hacia el vidrio.

(3): Convección agua – vidrio.

(4): Evaporización.

(5): Convección fondo – agua.

El calor en el agua por unidad de área se define como Q_w ; calculando el balance en la transferencia de calor en el agua se tiene que:

Intercambio de calor por unidad de tiempo y área en el agua= absorción de radiación solar + convección fondo agua - convección agua vidrio - radiación agua vidrio - evaporización

$$\dot{Q}_w = \frac{dQ_w}{dt} = \frac{d}{dt}(m_w c_w T_w) = (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v) \alpha_w I_{rr} + \dot{Q}_{cfw} - \dot{Q}_{cww} - \dot{Q}_{rww} - \dot{Q}_{evap}$$

$$m_w c_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v) \alpha_w I_{rr} + \dot{Q}_{cfw} - \dot{Q}_{cww} - \dot{Q}_{rww} - \dot{Q}_{evap} \quad (47)$$

Donde m_w es la masa del agua por unidad de área y c_w es el calor específico del agua; reemplazando las ecuaciones (37), (39), (42) y (43) en (47) se tiene que:

$$m_w c_w \frac{dT_w}{dt} = (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v) \alpha_w I_{rr} + h_{cfw} (T_f - T_w) - h_{cww} (T_w - T_v)$$

$$- \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} - h_{evap} (T_w - T_v)$$

Asumiendo que el sistema está en un estado estable o estacionario se tiene que la temperatura del agua T_w permanece constante en el tiempo, por lo tanto

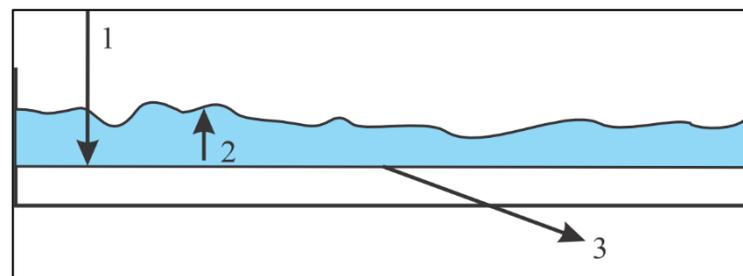
$\frac{dT_w}{dt} = 0$, es así que la última ecuación se puede reescribir como:

$$0 = (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v)\alpha_w I_{rr} + h_{cfw}(T_f - T_w) - h_{cww}(T_w - T_v) - \frac{\sigma[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} - h_{evap}(T_w - T_v) \quad (48)$$

Balance de transferencia de calor sobre el fondo:

Figura 12

Esquema del balance de energía sobre el fondo



Nota: Fuente propia

Donde:

(1): Radiación solar global, reflejada y absorbida por el fondo.

(2): Convección fondo - agua.

(3): Conducción – convección fonda – aire.

El calor en el fondo por unidad de área se define como Q_f ; calculando el balance en la transferencia de calor en el fondo se tiene que:

Intercambio de calor por unidad de tiempo y área en el fondo= absorción de radiación solar - convección fondo agua – conducción convección fondo aire

$$\dot{Q}_f = \frac{dQ_f}{dt} = \frac{d}{dt}(m_f c_f T_f) = (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} - \dot{Q}_{cfw} - \dot{Q}_{ccfa}$$
$$m_f c_f \frac{dT_f}{dt} = (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} - \dot{Q}_{cfw} - \dot{Q}_{ccfa} \quad (49)$$

Donde m_f es la masa del fondo por unidad de área y c_f es el calor específico del fondo; reemplazando las ecuaciones (36) y (39) en (49) se tiene que:

$$m_f c_f \frac{dT_f}{dt} = (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} - h_{cfw}(T_f - T_w) - h_{ccfa}(T_f - T_a)$$

Asumiendo que el sistema está en un estado estable o estacionario se tiene que la temperatura del fondo T_f permanece constante en el tiempo, por lo tanto

$$\frac{dT_f}{dt} = 0, \text{ es así que la última ecuación se puede reescribir como:}$$

$$0 = (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} - h_{cfw}(T_f - T_w) - h_{ccfa}(T_f - T_a) \quad (50)$$

4.1.3 Sistema de ecuaciones no lineales que define teóricamente el modelo del destilador

Por simplicidad del problema analizado en el balance del destilador se debe de asumir $T_f = 0$ dado que es una temperatura compleja de calcular entonces en la ecuación (48) se tiene que:

$$\begin{aligned}
 0 &= (1-R_v)(1-R_w)(1-\alpha_v)\alpha_w I_{rr} + h_{cfw}(0-T_w) - h_{cww}(T_w-T_v) \\
 &\quad - \frac{\sigma[(T_w+273)^4 - (T_v+273)^4]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} - h_{evap}(T_w-T_v) \\
 0 &= (1-R_v)(1-R_w)(1-\alpha_v)\alpha_w I_{rr} - h_{cfw}T_w - h_{cww}(T_w-T_v) \\
 &\quad - \frac{\sigma[(T_w+273)^4 - (T_v+273)^4]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} - h_{evap}(T_w-T_v) \\
 -h_{cfw}T_w &= -(1-R_v)(1-R_w)(1-\alpha_v)\alpha_w I_{rr} + h_{cww}(T_w-T_v) \\
 &\quad + \frac{\sigma[(T_w+273)^4 - (T_v+273)^4]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} + h_{evap}(T_w-T_v) \tag{51}
 \end{aligned}$$

Del mismo modo tomando $T_f = 0$ en la ecuación (16) se tiene que:

$$\begin{aligned}
 0 &= (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} - h_{cfw}(0-T_w) - h_{ccfa}(0-T_a) \\
 0 &= (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} + h_{cfw}T_w + h_{ccfa}T_a \\
 -h_{cfw}T_w &= (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} + h_{ccfa}T_a \tag{52}
 \end{aligned}$$

Reemplazando (51) en (52) se tiene que:

$$\begin{aligned}
 (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} + h_{ccfa}T_a &= \\
 -(1-R_v)(1-R_w)(1-\alpha_v)\alpha_w I_{rr} + h_{cww}(T_w-T_v) &+ \frac{\sigma[(T_w+273)^4 - (T_v+273)^4]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} + h_{evap}(T_w-T_v) \\
 0 &= (1-R_v)(1-R_w)(1-\alpha_v)\alpha_w I_{rr} + (1-R_v)(1-R_w)(1-R_f)(1-\alpha_v)(1-\alpha_w)\alpha_f I_{rr} + h_{ccfa}T_a
 \end{aligned}$$

$$-h_{c_{wv}}(T_w - T_v) - \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} - h_{evap}(T_w - T_v) \quad (53)$$

La ecuación (53) es el resultado de combinar las ecuaciones (48) y (50), por lo que esta ecuación es independiente de la ecuación (46) que da el balance de transferencia de calor en el vidrio, es así que se tiene un sistema de 2 ecuaciones no lineales independientes (ecuación 46 y 53) dadas por:

$$0 = (1 - R_v) \alpha_v I_{rr} + 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_v) + \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} + 16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v) - \varepsilon_v \sigma \left[(T_v + 273)^4 - (T_s)^4 \right] - h_{cva} (T_v - T_a) \quad (54)$$

$$0 = (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v) \alpha_w I_{rr} + (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - R_f)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_w) \alpha_f I_{rr} + h_{ccfa} T_a$$

$$-h_{c_{wv}}(T_w - T_v) - \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} - h_{evap}(T_w - T_v) \quad (55)$$

De la ecuación (37) se tiene que

$$h_{c_{wv}} = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ y de la ecuación (44) se sabe que}$$

$$h_{c_{wv}} = h_{evap} \quad , \quad \text{ósea que} \quad h_{evap} = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} ,$$

reemplazando esta igualdad en (54) se tiene que:

$$0 = (1 - R_v) \alpha_v I_{rr} + 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (T_w - T_v) + \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1}$$

$$+ 16.273 \times 10^{-3} \times 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} (P_w - P_v) - \epsilon_v \sigma \left[(T_v + 273)^4 - (T_s)^4 \right] - h_{cva} (T_v - T_a)$$

Utilizando $h_{cva} = 5.7 + 3.8v_a$ vista en la ecuación (2),

$T_s = 0.0552(T_a + 273)^{\frac{3}{2}}$ vista en la ecuación (7) y agrupando por factor común se

tiene que:

$$0 = (1 - R_v) \alpha_v I_{rr} + 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \left(T_w - T_v + 16.273 \times 10^{-3} (P_w - P_v) \right)$$

$$+ \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} - \epsilon_v \sigma \left[(T_v + 273)^4 - \left(0.0552 (T_a + 273)^{\frac{3}{2}} \right)^4 \right] - (5.7 + 3.8v_a) (T_v - T_a)$$

(56)

Analizando ahora la ecuación (55); se sabía de la ecuación (44) que

$16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v) = h_{evap} (T_w - T_v)$ tanto la ecuación (55) queda como:

$$0 = (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v) \alpha_w I_{rr} + (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - R_f)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_w) \alpha_f I_{rr} + h_{ccfa} T_a$$

$$- h_{cww} (T_w - T_v) - \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\epsilon_v} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} - 16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v)$$

Utilizando de (10) que $h_{evap} = h_{cww}$ y agrupando por factor común se tiene que:

$$0 = \left[(1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v) \alpha_w + (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - R_f)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_w) \alpha_f \right] I_{rr} + h_{ccfa} T_a$$

$$-h_{c_{wv}} \left((T_w - T_v) + 16.273 \times 10^{-3} (P_w - P_v) \right) - \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1}$$

Como en la ecuación (3) se tiene que $h_{c_{wv}} = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}}$

, entonces la última ecuación queda como:

$$0 = \left[(1 - R_v)(1 - R_w)(1 - \alpha_v)\alpha_w + (1 - R_v)(1 - R_w)(1 - R_f)(1 - \alpha_v)(1 - \alpha_w)\alpha_f \right] I_{rr} + h_{c_{fa}} T_a$$

$$- 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \left((T_w - T_v) + 16.273 \times 10^{-3} (P_w - P_v) \right) - \frac{\sigma \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]}{\frac{1}{\varepsilon_v} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1}$$

(57)

Para McAdams, (1964) $h_{c_{fa}} = 2W / m^2 \circ C$ y también Malik et al. (1982),

Sartori, (1996) y Tiwari (2007) afirman que $R_w = R_v = R_f = 0.05$, $\alpha_w = 0.3$,

$\alpha_v = 0.05$, $\alpha_f = 0.95$ y que $\varepsilon_v = 0.94$, $\varepsilon_w = 0.95$ además teniendo en cuenta el

valor de la constante de Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W / m^2 K^4$, con todo esto la

expresión (56) queda reescrita como:

$$0 = 0.0475 I_{rr} + 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \left(T_w - T_v + 16.273 \times 10^{-3} (P_w - P_v) \right) + 5.0785 \times 10^{-8} \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right]$$

$$- 5.329 \times 10^{-8} \left[(T_v + 273)^4 - \left(0.0552 (T_a + 273)^{\frac{3}{2}} \right)^4 \right] - (5.7 + 3.8v_a)(T_v - T_a) \quad (58)$$

Y (57) reescrita como:

$$0 = 0.7988 I_{rr} + 2T_a - 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \left((T_w - T_v) + 16.273 \times 10^{-3} (P_w - P_v) \right)$$

$$-5.0785 \times 10^{-8} \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right] \quad (59)$$

Por simplicidad definamos a O, P, Q, R Y S cómo:

$$O = T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \quad (60)$$

$$P = 0.884 [O]^{\frac{1}{3}} \quad (61)$$

$$Q = (T_w - T_v + 16.273 \times 10^{-3} (P_w - P_v)) \quad (62)$$

$$R = 5.0785 \times 10^{-8} \left[(T_w + 273)^4 - (T_v + 273)^4 \right] \quad (63)$$

$$S = 5.329 \times 10^{-8} \left[(T_v + 273)^4 - \left(0.0552 (T_a + 273)^{\frac{3}{2}} \right)^4 \right] \quad (64)$$

Por lo tanto, las ecuaciones (58) y (59) quedan reescritas como:

$$0 = 0.0475 I_{rr} + (P \cdot Q) + R - S - (5.7 + 3.8 v_a) (T_v - T_a) \quad (65)$$

$$0 = 0.7988 I_{rr} + 2T_a - (P \cdot Q) - R \quad (66)$$

Y estas dos últimas ecuaciones son es el sistema de 2 ecuaciones no lineales que rigen el modelo teórico del destilador.

Si a I_{rr}, T_a y v_a se les da valores específicos entonces (65) y (66) tendrían solo como variables a T_v y T_w , al ser dos ecuaciones y dos variables el sistema tiene solución y se puede hallar los valores de T_v y T_w .

4.2. OBTENCIÓN DE LA MASA DE AGUA DESTILADA DEL VAPOR POR UNIDAD DE ÁREA

De la ecuación (44) se sabe que:

$$\dot{Q}_{evap} = 16.273 \times 10^{-3} h_{evap} (P_w - P_v)$$

Y también que:

$$h_{evap} = 0.884 \left[T_w - T_v + \frac{(P_w - P_v)(T_w + 273)}{267.734 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Utilizando la ecuación anterior, la ecuación (60) y (61) se llega a la conclusión que $P = h_{evap}$, por lo tanto, se tiene que:

$$\dot{Q}_{evap} = \frac{dQ_{evap}}{dt} = 16.273 \times 10^{-3} \cdot P \cdot (P_w - P_v)$$

Al estar asumiendo esta investigación en un régimen estacionario, entonces el calor evaporado por unidad de área Q_{evap} es constante en el tiempo t y esta magnitud tiene unidades de J / m^2 , por lo tanto, la anterior ecuación queda reescrita como:

$$\frac{Q_{evap}}{t} = 16.273 \times 10^{-3} \cdot P \cdot (P_w - P_v) \quad (67)$$

También se sabe que:

$$Q_{evap} = m_{evap} h_{fg} = m_{evap} (h_g - h_f) \quad (68)$$

Donde h_f y h_g es la entalpia de líquido saturado y vapor saturado respectivamente a temperatura del agua T_w medido en J / kg , m_{evap} es la masa del vapor por unidad de área que se destila en el modelo medido en kg / m^2 .

Reemplazando (33) en (34) se tiene que:

$$\frac{m_{evap} (h_g - h_f)}{t} = 16.273 \times 10^{-3} \cdot P \cdot (P_w - P_v)$$
$$m_{evap} = \frac{16.273 \times 10^{-3} \cdot P \cdot (P_w - P_v) \cdot t}{h_g - h_f} \quad (69)$$

La masa por unidad de área m_{evap} vista en la ecuación (69) es una ecuación que depende de la variable P que a su vez esta depende de las ecuaciones (60) y (62), lo que hace que m_{evap} dependa únicamente de $T_w, T_v, P_w, P_v, h_f, h_g$ y el tiempo t ; los valores P_w y

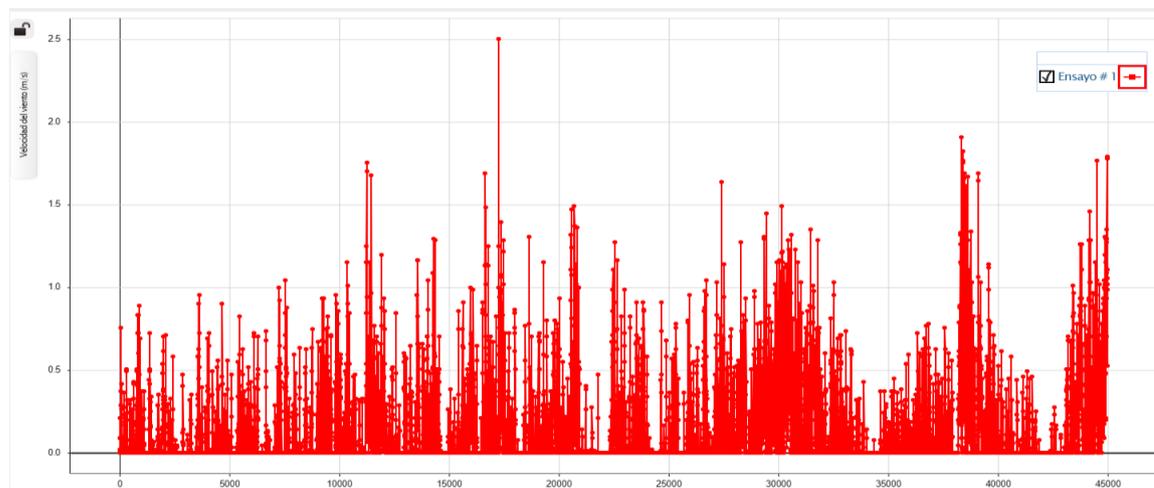
P_v pueden ser obtenidos por las tablas incorporadas en el programa EES en función de las temperaturas T_w y T_v respectivamente; h_f y h_g también pueden ser obtenidas por las tablas incorporadas en el programa EES en función de la temperatura T_w ; es decir la masa del vapor por unidad de área m_{evap} depende únicamente de T_w y T_v , temperaturas que son conseguidas a partir de resolver el sistema de las dos ecuaciones no lineales vistas en las expresiones (58) y (59).

4.3. RESULTADOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

La estación meteorológica ha sido fundamental para la recolección de datos climáticos en nuestra área. Desde 22 de julio hasta el 14 de agosto del 2024 (ver anexo 8), hemos monitorizado diversas variables meteorológicas, incluyendo temperatura, velocidad del viento, irradiancia solar. Estos datos son esenciales para comprender mejor las condiciones climáticas locales y su impacto en el destilador solar, a continuación, mostramos los siguientes resultados.

Figura 13

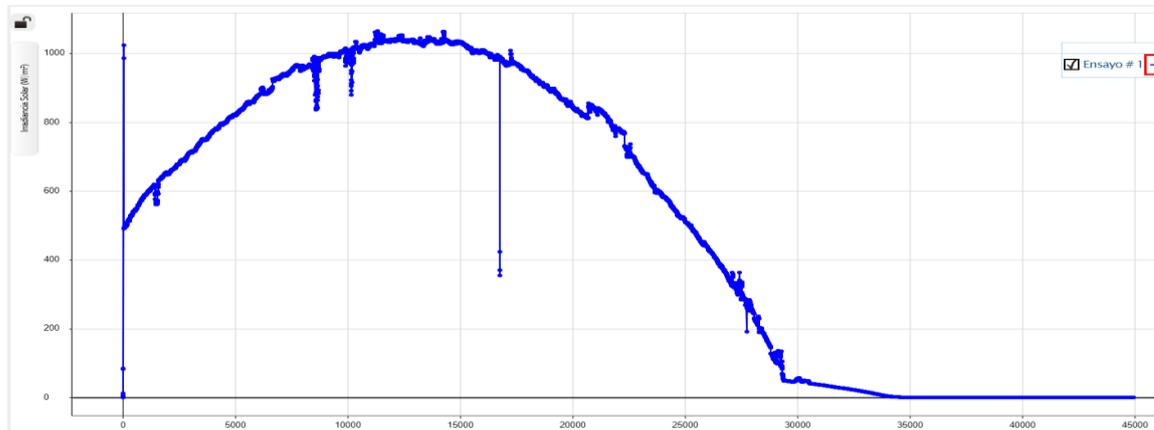
Muestra de registro de datos de la estación meteorológica de la velocidad del viento en m/s



Nota: Registro del SPARKvue.

Figura 14

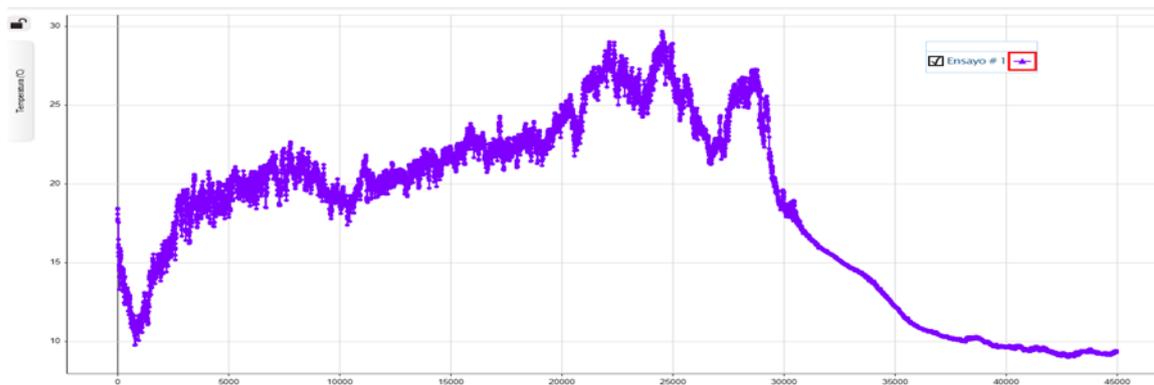
Muestra de registro de datos de la estación meteorológica de la irradiación solar en W/m^2



Nota: Registro del SPARKvue.

Figura 15

Muestra de registro de datos de la estación meteorológica de la temperatura ambiente en $^{\circ}C$



Nota: Registro del SPARKvue.

Interpretación:

Como podemos observar en la figura 13-14-15, en el primer grafico tenemos la velocidad del viento tomada en metros por segundo el segundo grafico tenemos la temperatura tomada en grados Celsius y el tercer grafico tenemos tomada la irradiación solar en watos sobre metro cuadrado, correspondiente a un día soleado.

Análisis de los datos de todas las fechas registradas por la estación meteorológica

Sobre los datos registrados desde el 22 de julio hasta el 14 de agosto, se realizó un análisis de varianza, también llamada ANOVA por sus siglas en inglés, Analysis of Variance. Según Dagnino, (2014) en su trabajo de Análisis de varianza en el curso de Bioestadística y Epidemiología indica que, la prueba estadística ANOVA sirve cuando necesitamos comparar más de dos grupos, o cuando las mediciones se repiten dos veces, también realiza un análisis simultaneo del efecto de dos o más datos, la forma más simplificada es cuando aplicamos una sola variable independiente para clasificar a los grupos.

Temperatura ambiente

Tabla 4

Tabla de Análisis de datos de la temperatura ambiente desarrollado en el software

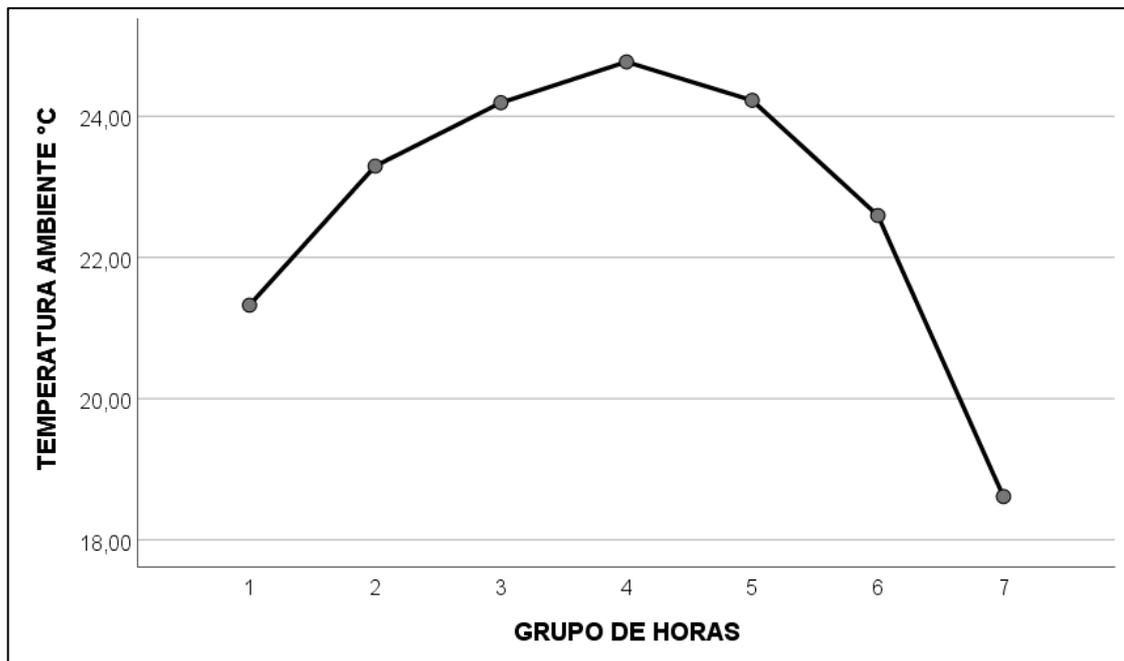
SPSS

<i>Descriptivos</i>						
TEMPERATURA AMBIENTE EN GRADOS CELSIUS						
Grupos de clasificación por horas	N	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
			Límite inferior	Límite superior		
1 (9am-10am)	24	21,3239	20,4192	22,2286	16,40	23,20
2 (10am-11am)	24	23,2938	22,1921	24,3954	17,58	25,75
3 (11am-12pm)	24	24,1921	23,4806	24,9036	19,50	27,00
4 (12pm-13pm)	24	24,7704	24,1034	25,4374	21,74	27,54
5 (13pm-14pm)	24	24,2254	23,3197	25,1312	18,60	25,90
6 (14pm-15pm)	24	22,5938	21,7362	23,4513	17,50	25,16
7 (15pm-16pm)	24	18,6137	17,9676	19,2599	16,20	22,86
Total	168	22,7161	22,2901	23,1422	16,20	27,54

Nota: Tabla realizada por el software SPSS

Figura 16

Gráfico de medias de la temperatura ambiente y las horas durante el periodo registrado.



Nota: Grafico realizada en SPSS por el Autor

Tabla 5

Tabla ANOVA de datos de la temperatura ambiente desarrollado en el software SPSS.

ANOVA				
TEMPERATURA AMBIENTE				
	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	667,032	111,172	27,995	,000
Dentro de grupos	639,362	3,971		
Total	1306,394			

Nota: Tabla realizada en SPSS por el Autor

Interpretación:

Como podemos ver en la tabla 4, se clasifico en grupos de horas para poder realizar el análisis estadístico, lo cual llegamos a verificar un mínimo de 16.20°C en el grupo 7 que pertenece al horario de 15pm a 16pm y un máximo de 27.54°C en el grupo 4 que pertenece al horario de 12pm a 13pm, asimismo se realizo un gráfico de medias para visualizar los datos registrados que sumaron un total de 168, ver gráfico 16 y anexo

8. Finalmente se realizó la tabla 5 para el análisis de la prueba ANOVA donde el nivel de significancia es 0,000 lo que significa que hay diferencias en los grupos.

Velocidad del viento

Tabla 6

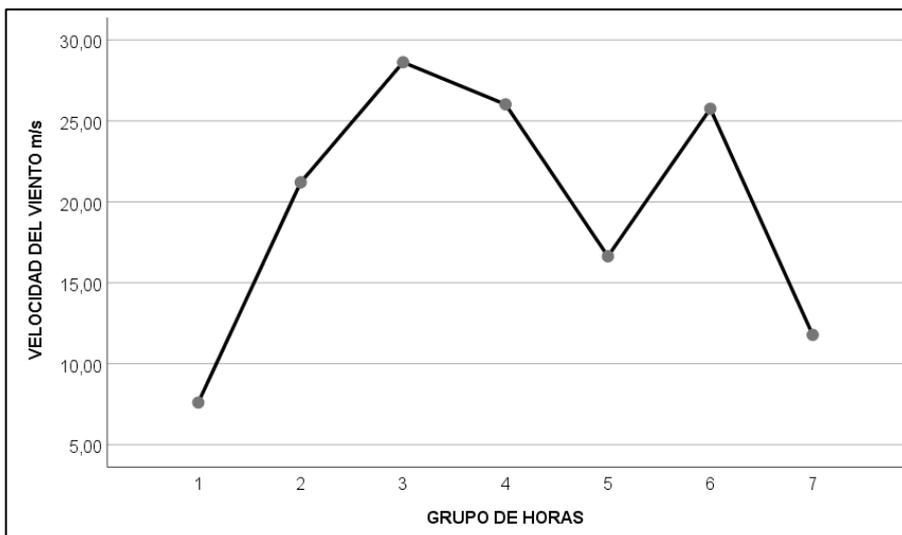
Tabla de Análisis de datos de la velocidad del viento desarrollado en el software SPSS

<i>Descriptivos</i>						
VELOCIDAD DEL VIENTO EN METROS POR SEGUNDO						
Grupos de clasificación por horas	N	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
			Límite inferior	Límite superior		
1 (9am-10am)	24	7,5979	5,0182	10,1776	,41	28,51
2 (10am-11am)	24	21,2046	12,8980	29,5112	1,69	69,25
3 (11am-12pm)	24	28,6213	14,8250	42,4175	2,20	90,52
4 (12pm-13pm)	24	26,0218	12,5737	39,4699	,25	95,15
5 (13pm-14pm)	24	16,6346	9,0535	24,2157	2,20	54,35
6 (14pm-15pm)	24	25,7550	15,3382	36,1718	2,32	75,10
7 (15pm-16pm)	24	11,7804	8,9249	14,6359	2,10	26,25
Total	168	19,6594	16,1401	23,1787	,25	95,15

Nota: Tabla realizado en SPSS por el Autor

Figura 17

Gráfico de medias de la velocidad de viento y las horas, durante el periodo registrado



Nota: Grafico realizada en SPSS por el Autor

Tabla 7

Tabla ANOVA de datos de la velocidad del viento desarrollado en el software SPSS.

ANOVA					
VELOCIDAD DEL VIENTO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9049,116	6	1508,186	3,031	,008
Dentro de grupos	80101,165	161	497,523		
Total	89150,282	167			

Nota: Tabla realizado en SPSS por el Autor

Interpretación:

Como podemos ver en la tabla 6, se clasifico en grupos de horas para poder realizar el análisis estadístico, lo cual llegamos a verificar un mínimo de 2.20 m/s en el grupo 3 que pertenece al horario de 11am a 12pm y un máximo de 95.15 m/s en el grupo 4 que pertenece al horario de 12pm a 13pm, asimismo se realizado un gráfico de medias para visualizar los datos registrados que sumaron un total de 168, ver gráfico 17 y anexo 8. Finalmente se realizó la tabla 7 para el análisis de la prueba ANOVA donde el nivel de significancia es 0,008 lo que significa que existe diferencia en los grupos.

Irradiación solar

Tabla 8

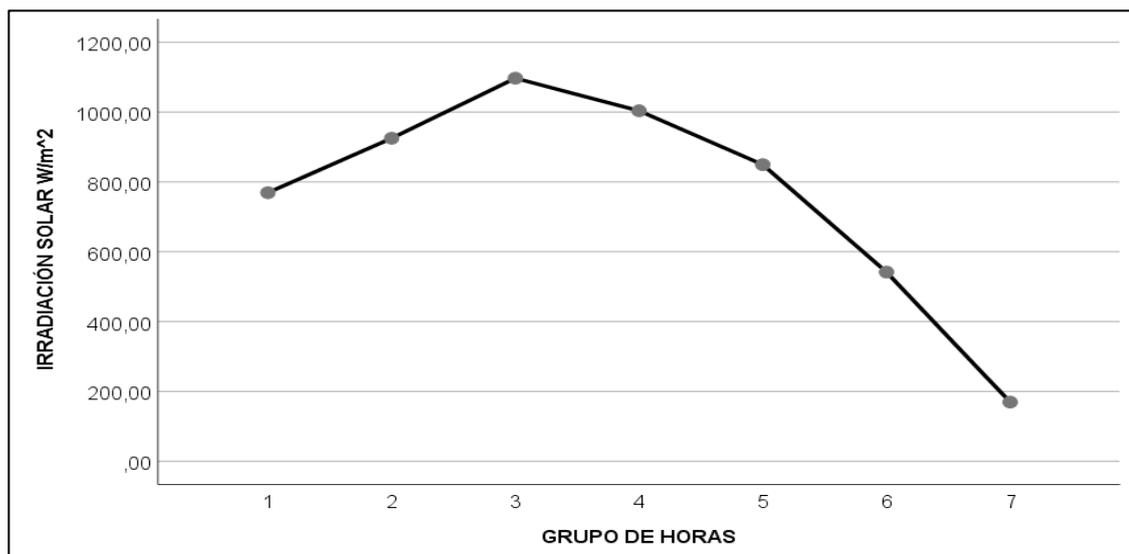
Tabla de Análisis de datos de la irradiación solar desarrollado en el software SPSS

<i>Descriptivos</i>						
IRRADIACIÓN SOLAR EN WATSS SOBRE METRO CUADRADO						
	N	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
			Límite inferior	Límite superior		
1 (9am-10am)	24	769,13	726,53	811,74	684,20	920,52
2 (10am-11am)	24	924,90	892,34	957,47	850,15	1025,30
3 (11am-12pm)	24	1096,86	1059,57	1134,15	842,25	1161,40
4 (12pm-13pm)	24	1003,53	972,10	1034,97	845,20	1047,90
5 (13pm-14pm)	24	849,37	811,58	887,15	659,80	896,99
6 (14pm-15pm)	24	541,62	475,13	608,11	405,16	840,28
7 (15pm-16pm)	24	169,31	130,36	208,25	95,32	320,12
Total	168	764,96	717,61	812,31	95,32	1161,40

Nota: Tabla realizada en SPSS por el Autor.

Figura 18

Gráfico de medias de la irradiación solar y las horas durante el periodo registrado



Nota: Grafico realizada en SPSS por el autor.

Tabla 9*Tabla ANOVA de datos de la irradiación solar desarrollado en el software SPSS*

ANOVA					
IRRADIACIÓN SOLAR					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14507,583	6	24170,597	239,151	,000
Dentro de grupos	16277,882	161	1011,459		
Total	16137,465	167			

Nota: Tabla realizada en SPSS por el autor.

Interpretación:

Como podemos ver en la tabla 8, se clasifico en grupos de horas para poder realizar el análisis estadístico, lo cual llegamos a verificar un mínimo 95.32 W/m² en el grupo 7 que pertenece al horario de 15pm a 16pm y un máximo de 1161.40 W/m² en el grupo 3 que pertenece al horario de 11am a 12pm, asimismo se realizó un gráfico de medias para visualizar los datos registrados que sumaron un total de 168, ver gráfico 18 y anexo 8. Finalmente se realizó la tabla 9 para el análisis de la prueba ANOVA donde el nivel de significancia es 0,000 lo que significa que existe diferencia en los grupos.

4.4. RESULTADOS DEL SOFTWARE EES Y STATGRAPHICS

La presentación de los resultados del software EES para temperatura ambiente, velocidad del viento e irradiación solar mediante un modelo matemático nos permiten mostrar cómo estas variables influyen en el sistema, utilizando ecuaciones y gráficos que visualicen sus relaciones y efectos, permitiendo interpretar el comportamiento del sistema y optimizar su rendimiento bajo diferentes condiciones ambientales.

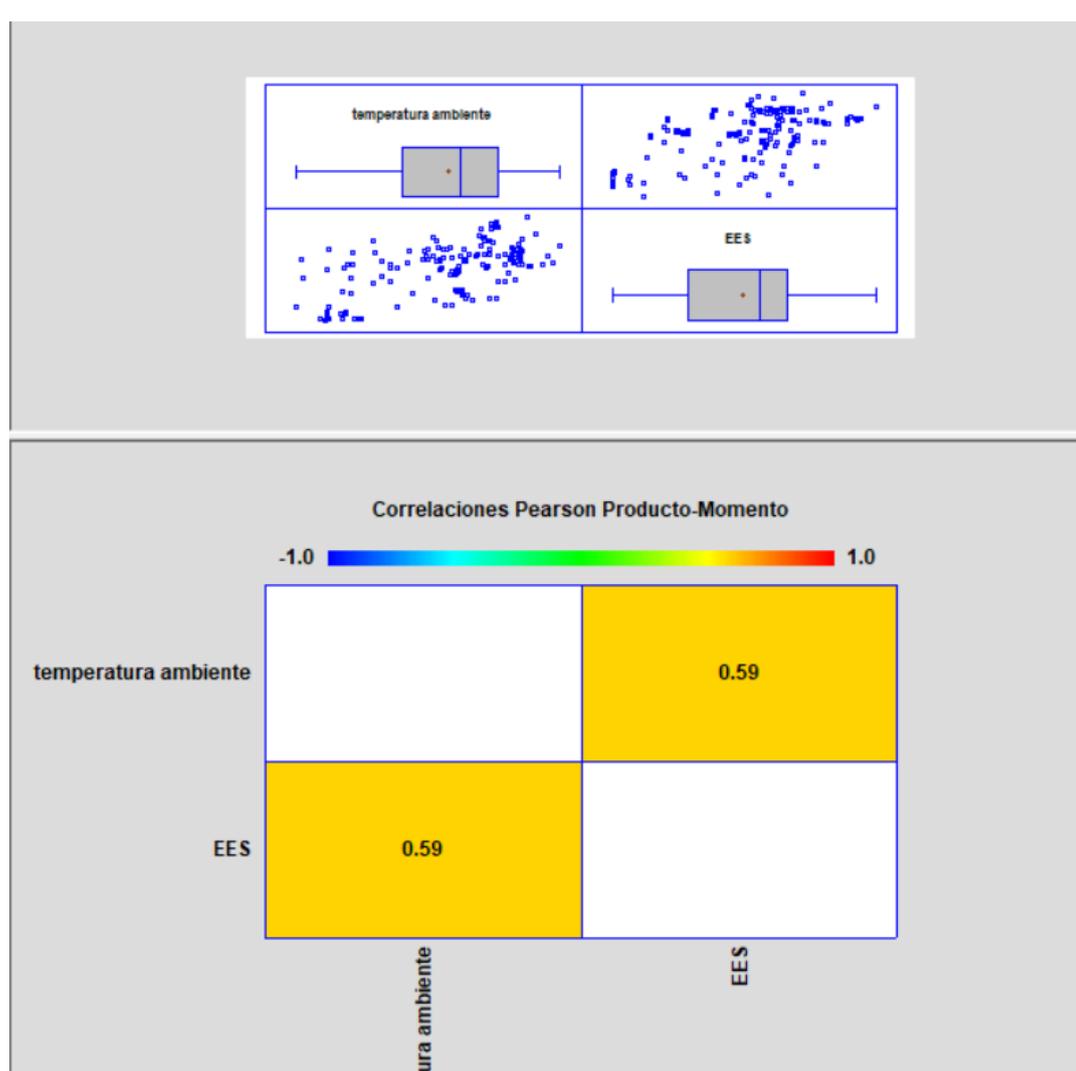
Correlación de temperatura ambiente y el modelo matemático

La correlación de la temperatura ambiente en un modelo matemático permite analizar cómo las variaciones en la temperatura afectan el rendimiento o el comportamiento de un sistema.

En muchos modelos, la temperatura ambiente puede influir directamente en parámetros como la eficiencia energética, la transferencia de calor, o la velocidad de reacciones químicas, siendo clave para predecir el desempeño del sistema en condiciones variables.

Figura 19

Gráfico de correlación de temperatura ambiente y el modelo matemático



Nota: Gráfico realizada en Statgraphics por el Autor.

Interpretación:

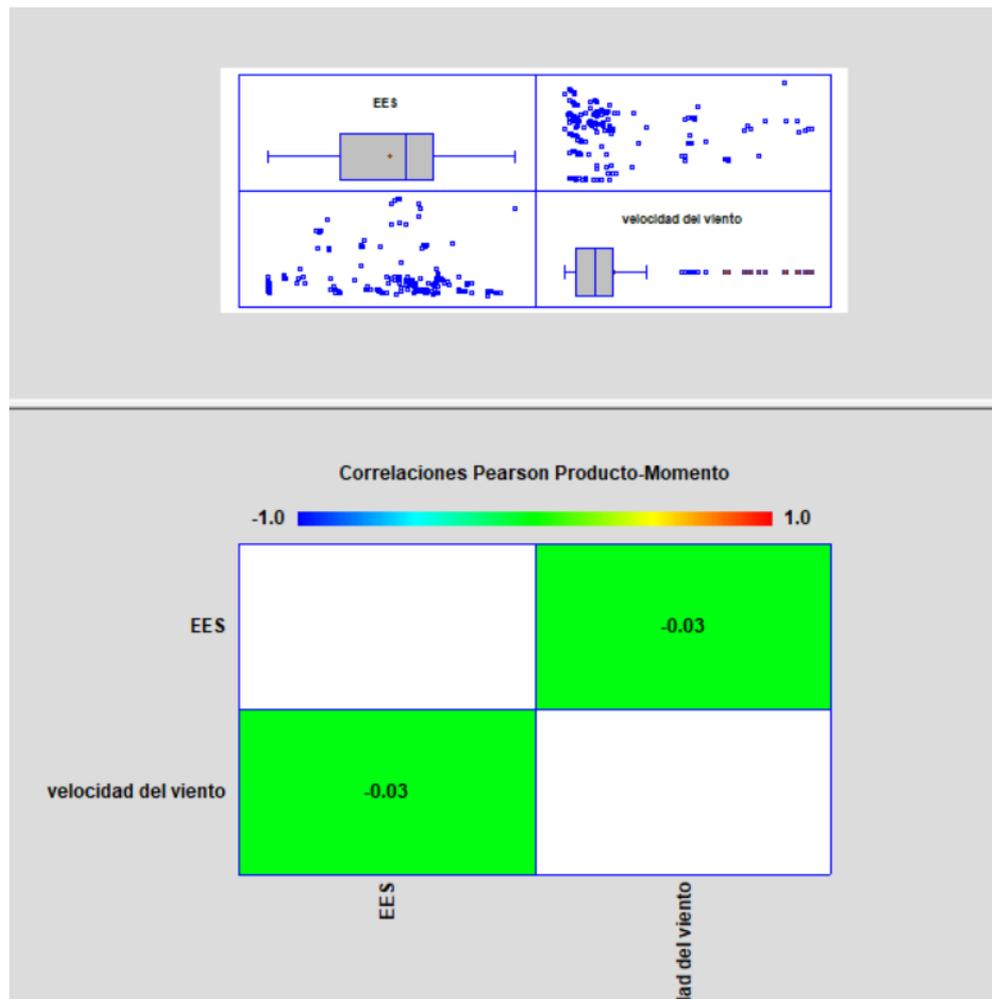
Como podemos observar en la figura 19 se hizo un análisis de correlación entre la temperatura ambiente y el modelo matemático donde notamos que existe una correlación moderada donde el coeficiente Spearman es 0.5899.

Correlación de velocidad del viento y el modelo matemático

La correlación de la velocidad del viento en un modelo matemático permite evaluar cómo esta variable influye en fenómenos como la transferencia de calor por convección, la dispersión de contaminantes o la eficiencia de sistemas de enfriamiento.

Figura 20

Gráfico de correlación de velocidad del viento y el modelo matemático



Nota: Grafico realizada en Statgraphics por el Autor.

Interpretación:

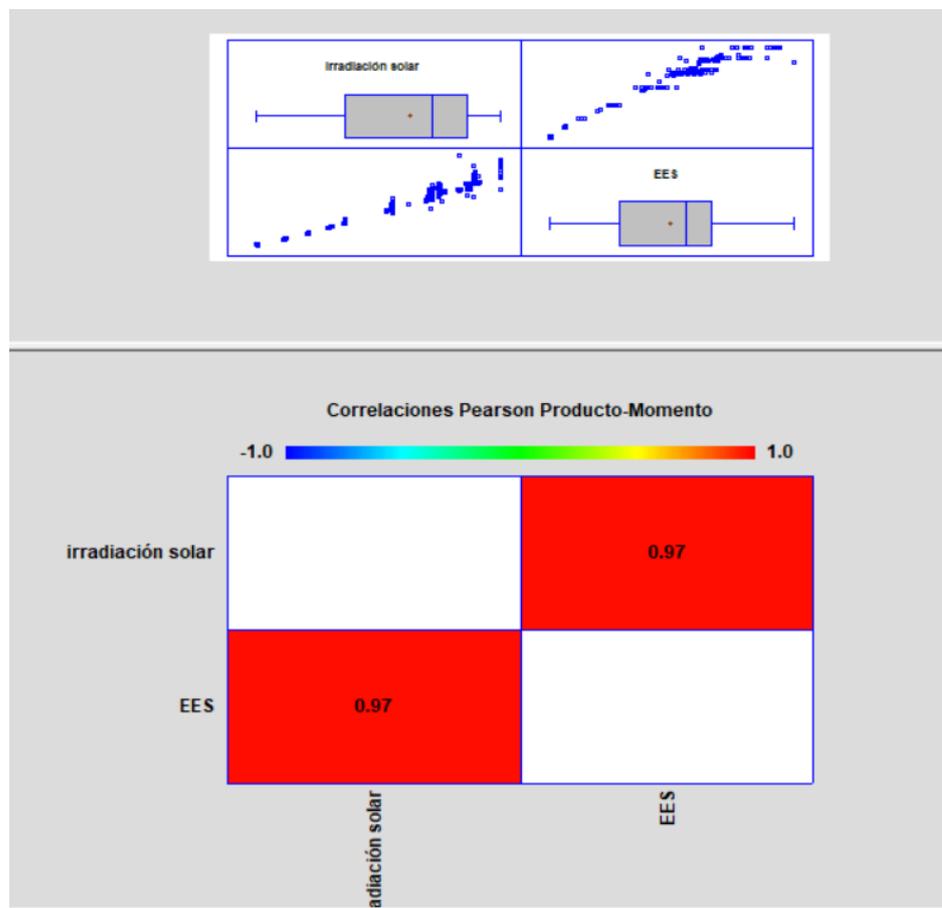
Como podemos observar en la figura 20 se hizo un análisis de correlación entre la velocidad del viento y el modelo matemático donde notamos que existe una correlación muy baja donde el coeficiente Spearman es -0.0344.

Correlación de la irradiación solar y el modelo matemático

La correlación de la irradiación solar en un modelo matemático permite analizar cómo la intensidad de la radiación solar afecta el rendimiento de sistemas expuesto al sol, como el destilador solar. La irradiación solar es un factor determinante para calcular la generación de energía y el calentamiento de superficies.

Figura 21

Gráfico de correlación de irradiación solar y el modelo matemático



Nota: Gráfico realizada en Statgraphics por el Autor.



Interpretación:

Como podemos observar en la figura 21 y el anexo 8, se hizo un análisis de correlación entre la irradiación solar y el modelo matemático donde notamos que existe una correlación muy alta donde el coeficiente Spearman es 0.9538.

4.5. PROGRAMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO EN EES

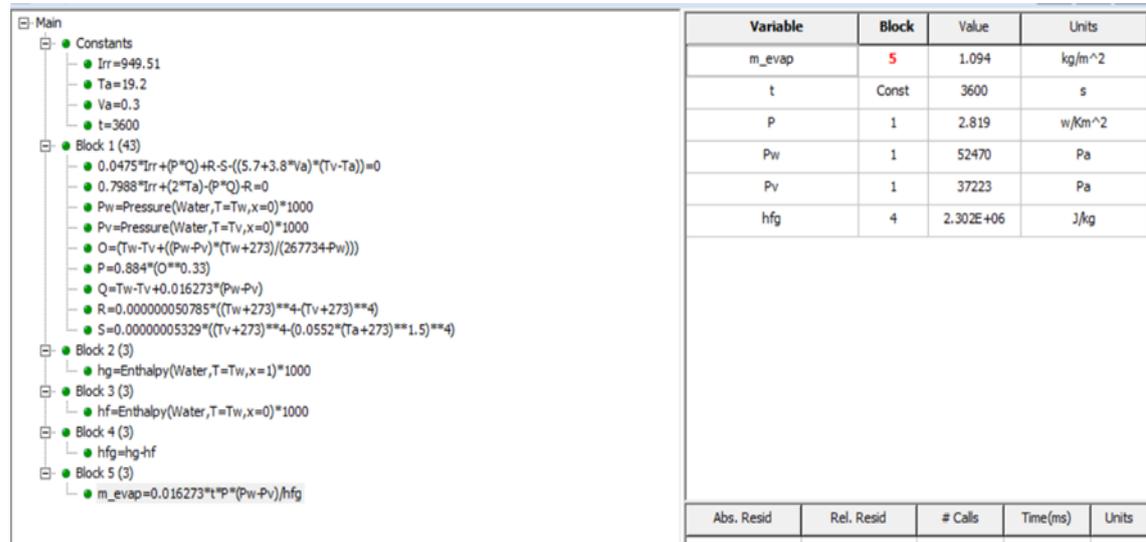
En esta sección, se presenta el proceso de programación del modelo matemático utilizando el software Engineering Equation Solver (EES). El programa es una herramienta poderosa que permite resolver ecuaciones matemáticas complejas y analizar sistemas termodinámicos, fluidos y mecánicos de manera eficiente.

El objetivo principal de este modelo es calcular el destilado por hora. A través de la programación en EES, se busca obtener resultados precisos que permitan predecir la eficiencia del destilado.

La programación del modelo se llevó a cabo siguiendo una serie de pasos que incluyen la definición de variables, la formulación de ecuaciones, y la implementación de condiciones iniciales y límites. A continuación, se detallan estos pasos, así como los resultados obtenidos y su interpretación.

Figura 22

Código de programación del modelo matemático en EES.



Nota: Código de programación en EES realizada por el Autor.

Interpretación:

Como podemos visualizar en el gráfico 22 afirmamos que la programación en EES tiene 5 etapas importantes de cómo funciona el sistema y este nos entrega el destilado por hora introduciendo variables independientes como la irradiación solar, temperatura ambiente y la velocidad del viento.

4.6. RESULTADOS REGISTRADOS DEL DESTILADOR

Tabla 10

Tabla de Análisis del modelo experimental del destilador en el software SPSS

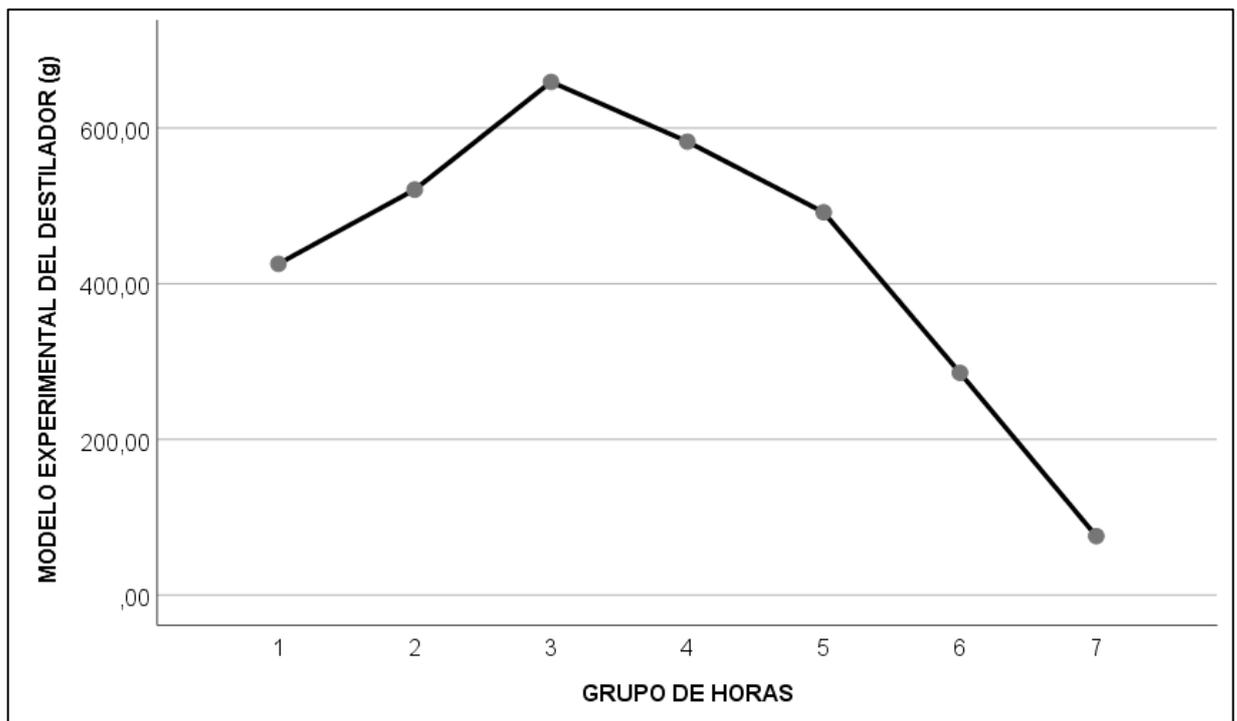
<i>Descriptivos</i>						
MODELO EXPERIMENTAL DEL DESTILADOR MEDIDO EN GRAMOS						
	N	Media	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
			Límite inferior	Límite superior		
1 (9am-10am)	24	425,54	399,26	451,82	315,0	521,0
2 (10am-11am)	24	520,87	502,19	539,55	439,0	593,0

3 (11am-12am)	24	659,29	611,51	707,06	420,0	821,0
4 (12pm-13pm)	24	582,54	545,91	619,16	451,0	760,0
5 (13pm-14pm)	24	491,70	457,07	526,32	336,0	601,0
6 (14pm-15pm)	24	285,45	247,60	323,30	200,0	467,0
7 (15pm-16pm)	24	75,70	58,27	93,13	40,0	159,0
Total	16	434,44	404,16	464,729	40,00	821,00
	8	64	32	7		

Nota: Tabla realizada en SPSS por el Autor.

Figura 23

Gráfico de medias de del modelo experimental del destilador durante el periodo registrado



Nota: Grafico realizada en SPSS por el Autor

Interpretación:

Como podemos ver en la tabla 10, se clasifico en grupos de horas para poder realizar el análisis estadístico, lo cual llegamos a verificar un mínimo de 40 gramos de destilado por el área 0.59 m^2 en el grupo 7 que pertenece al horario de 15pm a 16pm y un máximo de 821 gramos de destilado por el área 0.59 m^2 en el grupo 3 que pertenece

al horario de 11am a 12pm, asimismo se realizado un gráfico de medias para visualizar los datos registrados que sumaron un total de 168, ver gráfico 23 y anexo 8.

4.7. RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTADÍSTICA INFERENCIAL

Los resultados están organizados en tablas y figuras e interpretados de acuerdo a las variables como la eficiencia del destilado que existe entre la simulación del modelo matemático y datos experimentales de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

4.7.1 Correlación de la hipótesis específicas

- Existe el grado de relación entre la simulación y el análisis físico, matemático del sistema.
- Existe el grado de relación entre la velocidad del viento, la irradiación y la temperatura ambiente con la simulación del modelo matemático.

Verificar la prueba de relación estadística:

Tabla 11

Tabla de correlación de velocidad del viento y la simulación del modelo matemático

		Velocidad del viento	
Rho de Spearman	Coefficiente de correlación		-0.0344
	Sig. (bilateral)		0.000
	N		168

Nota: Tabla realizada en SPSS por el Autor.

Interpretación:

En la tabla 4 podemos observar que la correlación que existe entre la simulación del modelo matemático y la variable independiente de la velocidad del viento es muy baja.

Tabla 12

Tabla de correlación de la temperatura ambiente y la simulación del modelo matemático.

		Temperatura ambiente	
Rho	de	Coefficiente de correlación	0.5899
Spearman		Sig. (bilateral)	0.000
		N	168

Nota: Tabla realizada en SPSS por el Autor.

Interpretación:

En la tabla 5 podemos observar que la correlación que existe entre la simulación del modelo matemático y la variable independiente de la velocidad del viento es moderada.

Tabla 13

Tabla de correlación de la temperatura ambiente y la simulación del modelo matemático.

		Irradiación solar	
Rho	de	Coefficiente de correlación	0.9538
Spearman		Sig. (bilateral)	0.000
		N	168

Nota: Tabla realizada en SPSS por el Autor.

Interpretación:

En la tabla 6 podemos observar que la correlación que existe entre la simulación del modelo matemático y la irradiación solar es muy alta.

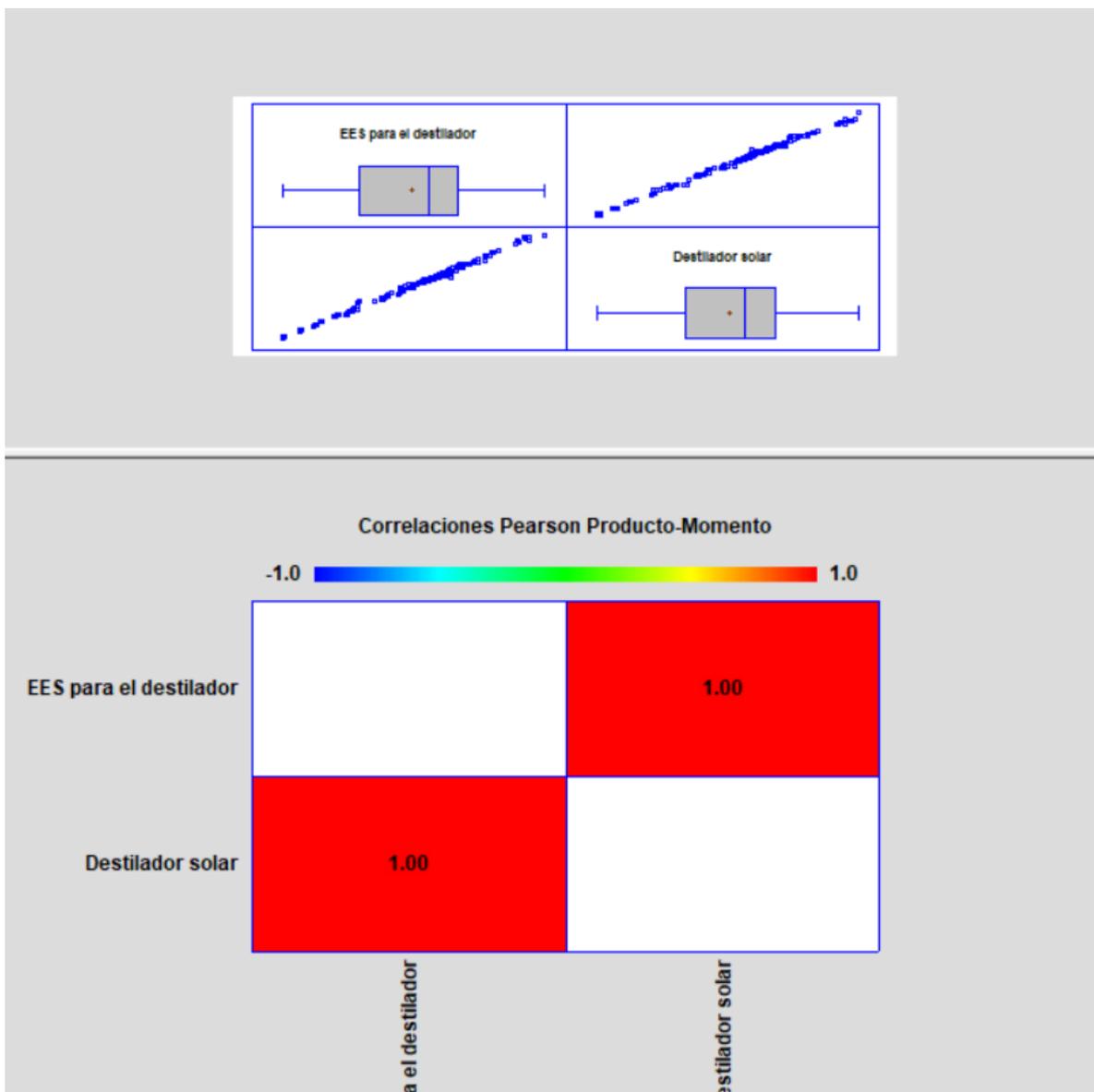
4.7.2 Correlación de la hipótesis general

Existe relación significativa entre la simulación del modelo matemático y datos experimentales de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

Verificar la prueba de relación estadística:

Figura 24

Gráfico de correlación del EES para el destilador y el destilador adaptado a sus medidas del prototipo



Nota: Grafico realizado en STATGRAPHICS por el Autor.



Premisa 1:

H_0 : Si no existe relación entre las variables, entonces, no existe relación entre simulación del modelo matemático y datos experimentales de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

H_a : Si existe relación entre las variables, entonces, existe relación entre simulación del modelo matemático y datos experimentales de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024.

Premisa 2:

$H_0: \rho = 0$ Si la correlación entre las variables es cero, entonces, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

$H_a: \rho \neq 0$ Si la correlación entre las variables es diferente a cero, entonces, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Nivel de significancia

El nivel de significancia del estudio es $\alpha = 0.05$.

Tabla 14

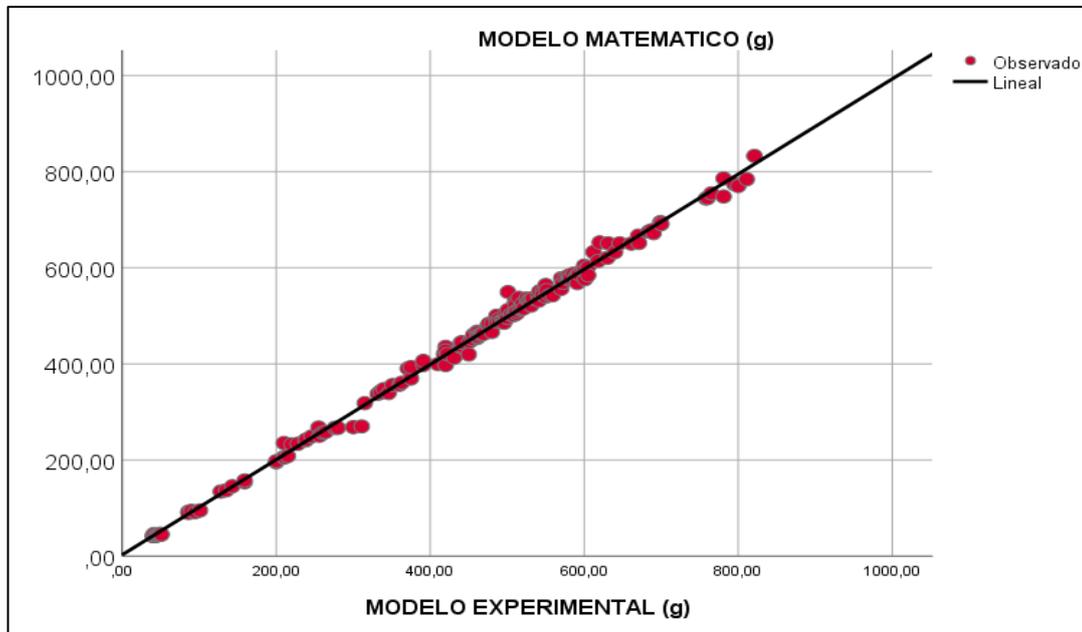
Tabla de correlación del modelo matemático simulado y el destilador solar

Rho de Spearman	Coeficiente de correlación	0.9983
	Tamaño de muestra	168
	Valor P	0.000

Nota: Tabla realizada en SPSS por el Autor.

Figura 25

Gráfico de regresión lineal en el SPSS con el modelo matemático y el modelo experimental registrado.



Nota: Gráfico realizado en SPSS por el Autor.

Error estándar de la regresión lineal.

El error estándar en una regresión lineal es una medida de la dispersión de los valores observados con respecto a la línea de regresión estimada. En otras palabras, indica cuán cerca o lejos están los puntos de datos reales de la línea de mejor ajuste que ha sido calculada por el modelo. En el contexto de la regresión lineal, el error estándar se refiere específicamente al error estándar de los residuos, que es la medida de la variabilidad de los errores (diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo) alrededor de la línea de regresión.

Intervalos de confianza: El error estándar es esencial para calcular los intervalos de confianza para los coeficientes de regresión. Estos intervalos proporcionan un rango dentro del cual es probable que se encuentren los valores reales de los coeficientes.



Estimación del error estándar

Pendiente

$$b_1 = \frac{\sum XY - N\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n(\bar{X})^2} = 0.99009746$$

La ordenada al origen es:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X$$

Obtenemos b_0 : 2.72619079

Cálculo del error estándar

$$S_\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b_0 \sum Y - b_1 \sum XY}{n-2}} = 11.5017729$$

Donde:

X : Valores de la variable independiente.

Y : Valores de la variable dependiente.

b_0 : Ordenada al origen.

b_1 : Pendiente de la ecuación de regresión.

n : Número de datos.

Determinación de los Intervalos de confianza

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X$$

$$\hat{Y} = 2.72619079 + 0.99009746X$$

Desviación estándar en la pendiente

$$Dp = 0.00447668$$

Desviación estándar en el origen

$$Do = 2.13775449$$

Intervalos de confianza



$$b_1 \pm t_{\alpha/2, gl} \cdot Dp$$

$$b_0 \pm t_{\alpha/2, gl} \cdot Do$$

Donde:

$$n = 168$$

$$\alpha = 95\% \text{ de confianza} = 0.05$$

$$\alpha / 2 = 0.025$$

$$T \text{ de Student} = 1.97435776$$

$$0.99009746 \pm 1.97435776(0.00447668)$$

$$2.72619079 \pm 1.97435776(2.13775449)$$

Intervalos de confianza de (b_1)

$$0.9813 \leq b_1 \leq 0.9989$$

Intervalos de confianza de (b_0)

$$-1.4945 \leq b_0 \leq 6.9469$$

Conclusión:

Hay una correlación relevante entre las variables. La hipótesis alterna (H_a) fue aceptada y se descartó la hipótesis nula (H_0) con un nivel de significancia de 0.05, dado que el valor Rho de Spearman alcanzó los 0.9983 ver gráfico 24, también se obtuvo la regresión lineal del modelo matemático y el modelo experimental registrado dando un ajuste lineal $\hat{Y} = 2.72619079 + 0.99009746X$ de esta manera obtenemos el error estándar $S_e = 11.5017729$ de tal manera obtenemos un margen de error del 0.11%.

4.8. DISCUSIÓN

En este estudio se realizó un estudio físico de un destilador relacionado con la transferencia de calor relacionando modelos matemáticos, aplicando principios físicos como transmisión de calor por convección, conducción, radiación, evaporización, y



balances de transferencia de calor sobre el destilador, de esta manera obtenemos la masa evaporativa en kg/m^2 . Fuentes García & Serrano Doblas, (2019) indican que el modelo matemático del destilador demuestra que es posible obtener resultados de destilación muy cercanas en condiciones de temperatura y presión de saturación, de esta manera podemos indicar que el modelo matemático tiene una relación directa con el trabajo investigado en Ecuador titulado “Límites termodinámicos a la productividad de los destiladores solares pasivos”.

Nuestros resultados coinciden con estudios previos (Torchia-Nuñez et al.,2014) que también toma en cuenta datos meteorológicos como irradiación solar, temperatura ambiente y la velocidad del viento para el desarrollo de un modelo matemático de un destilador solar. Además (Shawaqfeh & Farid, 1995) indica que, durante las estimaciones al aire libre, se tuvieron en cuenta la radiación solar, la temperatura y la velocidad del viento. Se descubrió que el modelo Dunkle, que se ha utilizado ampliamente para la expectativa del coeficiente de evaporación, que predice las tasas de disipación. Lo cual nos permite obtener un modelo matemático acertado, donde el propósito general es correlacionar lo experimental y el modelado matemático.



V. CONCLUSIONES

Se llego a las siguientes conclusiones

- En la tesis se determinó la relación significativa que existe entre la simulación del modelo matemático y datos experimentales de un destilador orientado al sol tipo caseta en los meses de julio y agosto, Juliaca-Perú 2024. Mediante la prueba del coeficiente de correlación de Spearman, se demostró que el p valor estimado es de $0.000 < 0.05$ y hay una relación significativa, directa y alta de 0.9583 entre las variables. Así, se adoptó la hipótesis alternativa (H_a) y se descartó la hipótesis nula (H_0), con un nivel de significancia de 0.05, demostrando que hay una correlación significativa entre las variables, se determinó también el error estándar como $S_e = 11.5017729$. Por lo tanto, se verificó la validez de la hipótesis principal del estudio. Asimismo, también se demostró que existe el grado de relación entre la simulación y el análisis físico, matemático del sistema con la aplicación de la programación en EES en consecuencia con la hipótesis general.
- Finalmente se determinó el grado de relación que existe entre la velocidad del viento, la irradiación y la temperatura ambiente con la simulación del modelo matemático lo cual podemos indicar que la velocidad del viento tiene una correlación muy baja con el modelo matemático, la temperatura ambiente tiene una correlación moderada con el modelo matemático, y la irradiación solar tiene una correlación muy alta con el modelo matemático.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la comunidad científica que puedan utilizar este modelo matemático para otros meses del año, y evidenciar la eficiencia del destilado diario y que puedan tener como referencia los datos que se obtuvieron. También se les recomienda que puedan recopilar datos con otro tipo de estación meteorológica y puedan simular el modelo matemático.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaei, A. (2021). *Performance analysis of solar stills under varying environmental conditions*. *Solar Energy*, 220, 43-54.
- Andara, A. R., Belver, R. M. R., & Marina, V. G. (2020). *Sustainable University Institutions: Determination Of Gases Greenhouse Effect In A University Center And Strategies To Decrease Them*. *Dyna*, 95(1), 47-53.
<https://doi.org/10.6036/9247>
- ATLAS.ti | The #1 Software for Qualitative Data Analysis. (s. f.). ATLAS.ti. Recuperado 20 de octubre de 2024, de <https://atlasti.com>
- Bedoya, E., & Chaparro Montoya, E. (2019). *Uso De Un Destilador Solar Tipo Caja Para La Obtención De Agua Destilada Del Mar De Ilo, 2018* | Revista Ciencia Y Tecnología - Para el Desarrollo—UJCM. <https://doi.org/10.37260/rctd.v4i0.114>
- Beléndez, A. (2017). *Fundamentos físicos de la Ingeniería I*.
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/95287/1/Tema-4-Calor-y-temperatura.pdf>
- Cengel, Y., & Afshin, G. (2011). *Trasferencia de Calor y Masa* (4ta ed). Mc Graw Hill.
- Colunga, A., Granados, V. D. O., & Tovar, O. V. (2020). *Mecanismos de transferencia de calor*. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 7(14), Article 14. <https://doi.org/10.29057/estr.v7i14.5589>
- Dagnino, J. (2014). ANÁLISIS DE VARIANZA.
<https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Dunkle, R. (1961). *Destilación solar de agua: El alambique de tejado y un alambique de difusión de efecto múltiple*. En *Proc. International Heat Transfer Conference*, Universidad de Colorado, EE. UU., 5, 895.
- Feldman, D. (2019). *Mpact of environmental parameters on the efficiency of solar still*. *Journal of Solar Energy Engineering*, 141(3), 031004.
- García, L. C. H., Convers, D. E. T., Barragán, J. H. S., & Hernandez, L. F. S. (2018). *Influencia Del Color De Los Pavimentos En El Calentamiento Por Radiación*



- Térmica. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.*
<https://doi.org/10.26507/ponencia.429>
- García León, R. A., & Flórez Solano, E. (2016). *Estudio analítico de la transferencia de calor por convección que afectan a los frenos de disco ventilados. Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 20(Extra 1), 15-30.
- Granados, R. M. (2016). *Modelos de regresión lineal múltiple*. Granada, España: Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Granada.
- Hanci, A. K., & Gokbay, I. Z. (2020). *Analysis of software test design techniques by mathematical modelling*. 88-93. Scopus.
<https://doi.org/10.1109/UBMK50275.2020.9219451>
- Hongn, M., Larsen, S. F., Dellicompagni, P., Hoyos, D., Fernández, C., Suligoy, H., Bárcena, H., Gea, M., & Saravia, L. (2015). *Simulación del comportamiento hidrotérmico del fluido de trabajo en un concentrador fresnel lineal. Energías Renovables y Medio Ambiente*, 36, 1-10.
- Huaman, C. W. T. (2020). *Índice de radiación ultravioleta estimado por la Estación Meteorológica Davis de la Universidad Nacional de Juliaca. Ñawparisun - Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 2(2), Article 2.
<https://unaj.edu.pe/revista/index.php/vpin/article/view/80>
- Incropera, F., Dewitt, D., Theodore, B., & Lavine, A. (2008). *Fundamentos de transferencia de calor y masa*.
- Karami, N. (2020). *Meteorological influences on solar still performance: A case study. Applied Energy*, 264, 114723.
- Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). *Principios de transferencia de calor (Séptima edición)*. Cengage Learning.
- Kumar, S., & Singh, S. (2020). *Optimization of solar distillation system for enhanced productivity. International Journal of Energy Research*, 44(3), 2173-2185.
- Lara, S. A. D. (2013). *Error estándar de medida y la puntuación verdadera de los tests psicológicos: cálculo mediante un módulo en visual basic. Revista de Psicología (Trujillo)*, 15(2), 230-235.



- Macé de Gastines, M. F. L., & Pattini, A. E. (2017). *Cálculo de precisión del factor solar de ventanas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 21. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/140720>
- Malik, Tiwari, kumar, & Sodha. (1982). *Destilación solar: Un estudio práctico de una amplia gama de alambiques y su diseño, construcción y rendimiento óptimos. Pergamon Press, Oxford.*
- Molina-Linares, D. F. (2024). *Fortalecimiento de Competencias Matemáticas en Estudiantes de Cuarto Grado mediante Modelo Didáctico de Alfabetización Digital Gamificada. Revista Docentes 2.0*, 17(2), 201-215.
- McAdams, W. (1964). *Transmisión de calor. McGraw-Hill.* <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1282482>
- Mendoza, P., Zuzunaga Morales, R., Barrios Mendoza, T., Cordova Barrios, I., Zuzunaga Concha, E., & Maily Diaz, S. (2023). *Destilador solar de tipo una vertiente y la purificación de la calidad del agua, Ica | Revista Alfa.* <https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/290>
- Moussa, A. (2020). *Performance assessment of solar stills: A review. nergy Reports*, 6, 1-10.
- Oliveira, A. (2024). *Heat Transfer: Numerical Modelling With Ees Applications. En Publicações FEUP. Publicações FEUP.* <https://doi.org/10.24840/978-972-752-319-1>
- Ranjan, A., Yadav, A., & Singh, R. (2018). *Design and performance analysis of solar stills for water purification. Renewable Energy*, 128, 648-657.
- Sahu, A. (2019). *Thermal characterization of solar distillation systems. ournal of Cleaner Production*, 221, 514-522.
- Sánchez, A. P., González, E. R., & Sánchez, E. J. P. (2022). *Evaluación térmico-hidráulica de un intercambiador de calor de tubo y coraza para la condensación de metanol. Nexo Revista Científica*, 35(03), Article 03. <https://doi.org/10.5377/nexo.v35i03.15001>



- Sartori, E. (1996). *Destilador solar versus evaporador solar: Un estudio comparativo entre sus comportamientos térmicos*. *Solar Energy*, 199-206.
- Shawaqfeh, A. T., & Farid, M. M. (1995). *New development in the theory of heat and mass transfer in solar stills*. *Solar Energy*, 55(6), 527-535.
[https://doi.org/10.1016/0038-092X\(95\)00069-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(95)00069-4)
- Siamanta, Z. C. (2024). *Community Renewable Energy Ecologies (CREE): Rhizomatic renewable energy development and experimental–experiential emancipation*. *Human Geography*, 19427786241240790.
<https://doi.org/10.1177/19427786241240790>
- Swinbank, W. (1963). *Radiación de onda larga en cielos despejados*. *Revista trimestral de la Royal Meteorological Society*, 89, 339-348.
<http://dx.doi.org/10.1002/qj.49708938105>
- UCM-Proyecto de Innovación Software libre para ciencias e ingenierías. (s. f.). Recuperado 31 de octubre de 2024, de <https://www.ucm.es/pimcd2014-free-software/statgraphics>
- Zapata, J. C. (2018). *Balance de energía a una cámara calorimétrica usando el software EES*. <https://hdl.handle.net/11059/9412>

VII. ANEXOS

ANEXO 1: Parte lateral del destilador solar.



ANEXO 2: Parte frontal del destilador.



ANEXO 3: Parte superior del destilador.



ANEXO 4: Estimando datos meteorológicos.



ANEXO 5: Base de datos en el Statgraphics.

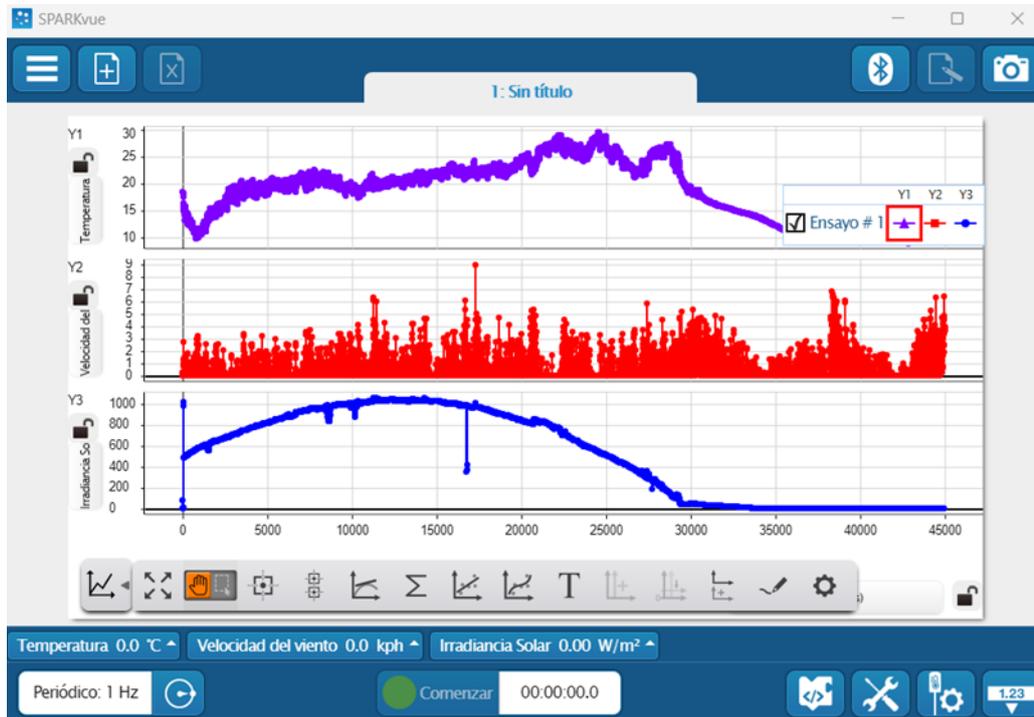
	HORAS	TEMPERATURA AMBIENTE	VELOCIDAD DEL VIENTO	IRRADIACIÓN SOLAR	MODELO_M ATEMATICO_DIM_Kg	MODELO_M ATEMATICO_DIM_g	MODELO_EXPERIMENTAL_g
1	1	21,62	13,57	915,53	,85	,50	499,97
2	2	24,30	47,60	1013,36	,92	,54	542,80
3	3	25,74	85,62	984,92	,89	,53	526,40
4	4	26,26	95,15	858,06	,77	,45	454,06
5	5	25,60	48,42	661,19	,58	,34	343,32
6	6	24,78	63,22	416,95	,35	,21	208,27
7	7	18,32	19,02	213,65	,16	,09	92,51
8	1	22,54	12,15	920,52	,87	,51	512,12
9	2	23,65	49,50	1020,45	,92	,54	542,80
10	3	24,35	90,52	842,25	,74	,44	435,36
11	4	27,23	70,35	890,50	,81	,48	480,56
12	5	25,32	48,20	758,50	,67	,40	397,54
13	6	23,50	62,50	425,50	,35	,21	205,73
14	7	17,50	17,20	228,60	,16	,10	95,11
15	1	21,87	11,78	914,78	,86	,51	506,04
16	2	24,00	50,25	1012,50	,91	,54	539,73
17	3	25,50	89,75	982,45	,89	,52	523,21
18	4	26,80	71,60	860,25	,78	,46	460,38
19	5	24,90	47,85	659,80	,58	,34	339,37
20	6	22,15	63,10	415,30	,33	,20	195,41
21	7	18,30	16,95	221,50	,16	,09	94,22
22	1	21,85	13,80	916,20	,85	,50	501,03
23	2	23,95	46,75	1012,45	,90	,53	532,83
24	3	26,10	84,90	983,10	1,41	,83	832,61
25	4	25,90	94,20	859,80	,78	,46	459,43

ANEXO 6: Base de datos en SPSS.

	temperatura ambiente	EES	velocidad del viento	irradiación solar	Destilador solar	EES para el destilador
	Número	Número	Número	Número	Número	Número
1	21,623	0,8474	13,57	915,53	486	499,966
2	24,3	0,92	47,6	1013,36	559	542,8
3	25,74	0,8922	85,62	984,92	530	526,398
4	26,26	0,7696	95,15	858,06	461	454,064
5	25,6	0,5819	48,42	661,19	336	343,321
6	24,78	0,353	63,22	416,95	215	208,27
7	18,32	0,1568	19,02	213,65	86	92,512
8	22,54	0,868	12,15	920,52	501	512,12
9	23,65	0,92	49,5	1020,45	555	542,8
10	24,35	0,7379	90,52	842,25	420	435,361
11	27,23	0,8145	70,35	890,5	475	480,555
12	25,32	0,6738	48,2	758,5	391	397,542
13	23,5	0,3487	62,5	425,5	210	205,733
14	17,5	0,1612	17,2	228,6	101	95,108
15	21,87	0,8577	11,78	914,78	498	506,043
16	24	0,9148	50,25	1012,5	550	539,732
17	25,5	0,8868	89,75	982,45	511	523,212
18	26,8	0,7803	71,6	860,25	456	460,377
19	24,9	0,5752	47,85	659,8	346	339,368
20	22,15	0,3312	63,1	415,3	200	195,408
21	18,3	0,1597	16,95	221,5	90	94,223
22	21,85	0,8492	13,8	916,2	508	501,028
23	23,95	0,9031	46,75	1012,45	528	532,829
24	26,1	1,4112	84,9	983,1	821	832,608
25	25,9	0,7787	94,2	859,8	462	459,433



ANEXO 7: Software SPARKvue de la estación meteorológica.



ANEXO 8: Base de datos registrados para la investigación.

N°	FECHA	HORA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DEL VIENTO	IRRADIAICON SOLAR	MODELO MATEMATICO KG/METRO CUADRADO	DESTILADO PARA 0.59 METROS CUADRADOS	DESTILADO EN g/metro cuadrado	MODELO EXPERIIMENTAL
1	22/07/2024	9 a 10	21.623	13.57	915.53	0.8474	0.499966	499.966	486
2	22/07/2024	10 a 11	24.3	47.6	1013.36	0.92	0.5428	542.8	559
3	22/07/2024	11 a 12	25.74	85.62	984.92	0.8922	0.526398	526.398	530
4	22/07/2024	12 a 13	26.26	95.15	858.06	0.7696	0.454064	454.064	461
5	22/07/2024	13 a 14	25.6	48.42	661.19	0.5819	0.343321	343.321	336
6	22/07/2024	14 a 15	24.78	63.22	416.95	0.353	0.20827	208.27	215
7	22/07/2024	15 a 16	18.32	19.02	213.65	0.1568	0.092512	92.512	86
8	23/07/2024	9 a 10	22.54	12.15	920.52	0.868	0.51212	512.12	501
9	23/07/2024	10 a 11	23.65	49.5	1020.45	0.92	0.5428	542.8	555
10	23/07/2024	11 a 12	24.35	90.52	842.25	0.7379	0.435361	435.361	420
11	23/07/2024	12 a 13	27.23	70.35	890.5	0.8145	0.480555	480.555	475
12	23/07/2024	13 a 14	25.32	48.2	758.5	0.6738	0.397542	397.542	391
13	23/07/2024	14 a 15	23.5	62.5	425.5	0.3487	0.205733	205.733	210
14	23/07/2024	15 a 16	17.5	17.2	228.6	0.1612	0.095108	95.108	101
15	24/07/2024	9 a 10	21.87	11.78	914.78	0.8577	0.506043	506.043	498
16	24/07/2024	10 a 11	24	50.25	1012.5	0.9148	0.539732	539.732	550
17	24/07/2024	11 a 12	25.5	89.75	982.45	0.8868	0.523212	523.212	511
18	24/07/2024	12 a 13	26.8	71.6	860.25	0.7803	0.460377	460.377	456
19	24/07/2024	13 a 14	24.9	47.85	659.8	0.5752	0.339368	339.368	346
20	24/07/2024	14 a 15	22.15	63.1	415.3	0.3312	0.195408	195.408	200
21	24/07/2024	15 a 16	18.3	16.95	221.5	0.1597	0.094223	94.223	90
22	25/07/2024	9 a 10	21.85	13.8	916.2	0.8492	0.501028	501.028	508

23	25/07/2024	10 a 11	23.95	46.75	1012.45	0.9031	0.532829	532.829	528
24	25/07/2024	11 a 12	26.1	84.9	983.1	1.4112	0.832608	832.608	821
25	25/07/2024	12 a 13	25.9	94.2	859.8	0.7787	0.459433	459.433	462
26	25/07/2024	13 a 14	25.15	49.1	660.5	0.5775	0.340725	340.725	336
27	25/07/2024	14 a 15	24.5	62.15	417.8	0.3484	0.205556	205.556	211
28	25/07/2024	15 a 16	18.1	18.75	212.9	0.152	0.08968	89.68	86
29	26/07/2024	9 a 10	22.4	12.5	902.5	0.7251	0.427809	427.809	420
30	26/07/2024	10 a 11	24.5	50.3	1025.3	0.9326	0.550234	550.234	546
31	26/07/2024	11 a 12	27	77.4	970.55	0.8911	0.525749	525.749	520
32	26/07/2024	12 a 13	26.2	92.65	845.2	0.7567	0.446453	446.453	451
33	26/07/2024	13 a 14	25.6	54.35	670.51	0.5892	0.347628	347.628	340
34	26/07/2024	14 a 15	23.8	46.5	405.16	0.3347	0.197473	197.473	200
35	26/07/2024	15 a 16	17.5	20.25	218.62	0.1553	0.091627	91.627	95
36	27/07/2024	9 a 10	19.85	5.45	853.66	0.8262	0.487458	487.458	490
37	27/07/2024	10 a 11	21	10.5	1011.61	0.8193	0.483387	483.387	476
38	27/07/2024	11 a 12	22.5	20.85	1065.33	0.9913	0.584867	584.867	590
39	27/07/2024	12 a 13	23.4	14.45	1028.46	0.9796	0.577964	577.964	570
40	27/07/2024	13 a 14	23.4	17.54	894.14	0.8266	0.487694	487.694	486
41	27/07/2024	14 a 15	24.4	18.65	838.13	0.7737	0.456483	456.483	462
42	27/07/2024	15 a 16	22.6	17.85	318.93	0.2607	0.153813	153.813	159
43	28/07/2024	9 a 10	22.88	4.21	855.42	0.8733	0.515247	515.247	521
44	28/07/2024	10 a 11	21.08	11.14	1013.85	0.964	0.56876	568.76	572
45	28/07/2024	11 a 12	22.8	16.67	1067.89	1.011	0.59649	596.49	601
46	28/07/2024	12 a 13	21.74	12.42	1026.1	0.9764	0.576076	576.076	581
47	28/07/2024	13 a 14	22.1	4.56	895.77	0.909	0.53631	536.31	533
48	28/07/2024	14 a 15	25.16	17.45	840.28	0.7855	0.463445	463.445	467
49	28/07/2024	15 a 16	22.86	12.55	320.12	0.2668	0.157412	157.412	159
50	29/07/2024	9 a 10	21.87	5.21	852.1	0.6115	0.360785	360.785	363

51	29/07/2024	10 a 11	22.64	8.54	1009.4	0.995	0.58705	587.05	593
52	29/07/2024	11 a 12	22.32	15.2	1063.21	1.008	0.59472	594.72	598
53	29/07/2024	12 a 13	21.86	12.2	1029.67	0.982	0.57938	579.38	575
54	29/07/2024	13 a 14	22.38	13.2	892.45	0.8316	0.490644	490.644	494
55	29/07/2024	14 a 15	22.45	18.64	835.76	0.7542	0.444978	444.978	441
56	29/07/2024	15 a 16	20.54	26.25	319.48	0.2464	0.145376	145.376	143
57	30/07/2024	9 a 10	18.41	7.51	854.75	0.7915	0.466985	466.985	461
58	30/07/2024	10 a 11	19.54	12.65	1012	0.9379	0.553361	553.361	551
59	30/07/2024	11 a 12	22.54	19.2	1064.56	0.9957	0.587463	587.463	586
60	30/07/2024	12 a 13	21.8	17.14	1027.51	0.8973	0.529407	529.407	528
61	30/07/2024	13 a 14	22.4	10.2	896.99	0.8522	0.502798	502.798	505
62	30/07/2024	14 a 15	20.24	17.24	839.04	0.7417	0.437603	437.603	440
63	30/07/2024	15 a 16	17.56	16.5	317.85	0.2319	0.136821	136.821	135
64	31/07/2024	9 a 10	16.4	2.21	850.9	0.8614	0.508226	508.226	511
65	31/07/2024	10 a 11	17.58	6.25	1010.22	0.9777	0.576843	576.843	579
66	31/07/2024	11 a 12	19.5	4.2	1066.45	1.103	0.65077	650.77	646
67	31/07/2024	12 a 13	24.5	16.2	1025.88	0.9829	0.579911	579.911	582
68	31/07/2024	13 a 14	18.6	17.5	891.34	0.7806	0.460554	460.554	465
69	31/07/2024	14 a 15	17.5	18.2	836.62	0.7127	0.420493	420.493	422
70	31/07/2024	15 a 16	16.2	12.54	318.67	0.2277	0.134343	134.343	128
71	1/08/2024	9 a 10	23.2	0.41	687.345	0.7651	0.451409	451.409	455
72	1/08/2024	10 a 11	25.55	10.24	861.27	0.8402	0.495718	495.718	500
73	1/08/2024	11 a 12	24.65	51.395	1159.95	1.072	0.63248	632.48	640
74	1/08/2024	12 a 13	24.15	0.25	1045.575	1.263	0.74517	745.17	760
75	1/08/2024	13 a 14	25.85	15.2	893.245	0.8548	0.504332	504.332	512
76	1/08/2024	14 a 15	23.3	16.5	480.08	0.4114	0.242726	242.726	239
77	1/08/2024	15 a 16	18.7	8.41	98.715	0.07583	0.0447397	44.7397	48
78	2/08/2024	9 a 10	23.1	2.23	688.12	0.7119	0.420021	420.021	418

79	2/08/2024	10 a 11	25.4	15.2	860.45	0.8516	0.502444	502.444	505
80	2/08/2024	11 a 12	24.8	2.2	1160.8	1.332	0.78588	785.88	781
81	2/08/2024	12 a 13	25.9	4.25	1044.2	1.13	0.6667	666.7	670
82	2/08/2024	13 a 14	23.5	15.2	895.3	0.8361	0.493299	493.299	489
83	2/08/2024	14 a 15	18.2	2.32	482.5	0.4355	0.256945	256.945	260
84	2/08/2024	15 a 16	17.59	17.51	99.5	0.07208	0.0425272	42.5272	41
85	3/08/2024	9 a 10	20.24	28.51	685.98	0.5725	0.337775	337.775	332
86	3/08/2024	10 a 11	25.54	15.2	862.1	0.8186	0.482974	482.974	480
87	3/08/2024	11 a 12	24.2	12.36	1158.6	1.149	0.67791	677.91	688
88	3/08/2024	12 a 13	25.75	10.2	1046.88	1.052	0.62068	620.68	630
89	3/08/2024	13 a 14	23.24	5.23	890.15	0.9012	0.531708	531.708	541
90	3/08/2024	14 a 15	23.52	45.2	476.75	0.3962	0.233758	233.758	228
91	3/08/2024	15 a 16	18.8	12.36	97.89	0.07523	0.0443857	44.3857	47
92	4/08/2024	9 a 10	19.5	14.5	689.405	0.5395	0.318305	318.305	315
93	4/08/2024	10 a 11	20.5	69.25	859.75	0.7388	0.435892	435.892	439
94	4/08/2024	11 a 12	22.1	10.2	1157.2	1.145	0.67555	675.55	684
95	4/08/2024	12 a 13	25.5	14.51	1043.67	1.019	0.60121	601.21	605
96	4/08/2024	13 a 14	23.5	9.5	894.6	0.8642	0.509878	509.878	512
97	4/08/2024	14 a 15	21.2	6.3	481.25	0.4224	0.249216	249.216	246
98	4/08/2024	15 a 16	17.4	14.2	98.1	0.07074	0.0417366	41.7366	40
99	5/08/2024	9 a 10	18.54	8.2	686.75	0.6046	0.356714	356.714	360
100	5/08/2024	10 a 11	20.25	12.25	861.95	0.7837	0.462383	462.383	469
101	5/08/2024	11 a 12	26.5	12	1161.1	1.1777	0.694843	694.843	699
102	5/08/2024	12 a 13	27.54	14.2	1045	1.041	0.61419	614.19	618
103	5/08/2024	13 a 14	25.2	5.23	892.78	0.921	0.54339	543.39	546
104	5/08/2024	14 a 15	23.1	9.5	481.8	0.4244	0.250396	250.396	256
105	5/08/2024	15 a 16	17.5	7.21	97.6	0.07135	0.0420965	42.0965	44
106	6/08/2024	9 a 10	19.85	6.23	684.22	0.6266	0.369694	369.694	375



107	6/08/2024	10 a 11	22.21	12.3	860.9	0.832	0.49088	490.88	496
108	6/08/2024	11 a 12	24.55	4.25	1157.9	1.261	0.74399	743.99	758
109	6/08/2024	12 a 13	24.15	12.654	1047.45	1.024	0.60416	604.16	600
110	6/08/2024	13 a 14	25.4	10.2	891.6	0.8728	0.514952	514.952	519
111	6/08/2024	14 a 15	23.2	5.55	478.9	0.4378	0.258302	258.302	264
112	6/08/2024	15 a 16	18.2	4.61	95.32	0.07264	0.0428576	42.8576	45
113	7/08/2024	9 a 10	16.5	6.23	687.56	0.6034	0.356006	356.006	351
114	7/08/2024	10 a 11	18.21	15.5	862.3	0.7531	0.444329	444.329	440
115	7/08/2024	11 a 12	22.21	17.8	1160.3	1.102	0.65018	650.18	661
116	7/08/2024	12 a 13	25.51	26.5	1044.88	0.9858	0.581622	581.622	579
117	7/08/2024	13 a 14	18.62	2.2	894.02	0.934	0.55106	551.06	542
118	7/08/2024	14 a 15	18.55	5.4	480.5	0.4081	0.240779	240.779	238
119	7/08/2024	15 a 16	17.21	8.25	99.62	0.07157	0.0422263	42.2263	40
120	8/08/2024	9 a 10	23.2	2.25	687.345	0.7113	0.419667	419.667	450
121	8/08/2024	10 a 11	25.55	1.69	861.27	0.9626	0.567934	567.934	591
122	8/08/2024	11 a 12	24.65	51.395	1159.95	1.072	0.63248	632.48	612
123	8/08/2024	12 a 13	24.5	20.4	1045.575	0.9904	0.584336	584.336	605
124	8/08/2024	13 a 14	25.85	2.25	893.245	0.9888	0.583392	583.392	580
125	8/08/2024	14 a 15	23.3	75.1	480.08	0.3941	0.232519	232.519	220
126	8/08/2024	15 a 16	18.7	11.2	98.715	0.07553	0.0445627	44.5627	50
127	9/08/2024	9 a 10	23.1	3.2	684.2	0.6886	0.406274	406.274	391
128	9/08/2024	10 a 11	25.6	4.1	866.15	0.9107	0.537313	537.313	515
129	9/08/2024	11 a 12	24.7	2.8	1157.85	1.305	0.76995	769.95	800
130	9/08/2024	12 a 13	24.4	5	1045.4	1.103	0.65077	650.77	631
131	9/08/2024	13 a 14	25.8	3.6	894.05	0.9561	0.564099	564.099	550
132	9/08/2024	14 a 15	23.4	46.5	480.9	0.3989	0.235351	235.351	210
133	9/08/2024	15 a 16	18.8	3.1	98.72	0.07751	0.0457309	45.7309	41
134	10/08/2024	9 a 10	22.9	2.9	690.45	0.6997	0.412823	412.823	431

135	10/08/2024	10 a 11	25.5	3.8	850.15	0.8959	0.528581	528.581	510
136	10/08/2024	11 a 12	24.8	4.2	1160.3	1.268	0.74812	748.12	781
137	10/08/2024	12 a 13	24.3	3.5	1047.9	1.139	0.67201	672.01	690
138	10/08/2024	13 a 14	25.9	2.6	890.8	0.9764	0.576076	576.076	601
139	10/08/2024	14 a 15	23.2	4	482.5	0.4522	0.266798	266.798	280
140	10/08/2024	15 a 16	18.7	3.3	97.5	0.07623	0.0449757	44.9757	51
141	11/08/2024	9 a 10	23	5.2	688.9	0.6666	0.393294	393.294	375
142	11/08/2024	10 a 11	25.75	31.9	862.1	0.7907	0.466513	466.513	480
143	11/08/2024	11 a 12	24.6	2.7	1161.4	1.312	0.77408	774.08	795
144	11/08/2024	12 a 13	24.5	4.8	1042.7	1.104	0.65136	651.36	671
145	11/08/2024	13 a 14	25.85	5.1	895.15	0.9313	0.549467	549.467	501
146	11/08/2024	14 a 15	23.35	3.4	479.2	0.455	0.26845	268.45	300
147	11/08/2024	15 a 16	18.95	2.5	95.8	0.07629	0.0450111	45.0111	49
148	12/08/2024	9 a 10	23.05	4.3	685.5	0.6736	0.397424	397.424	420
149	12/08/2024	10 a 11	25.65	15.2	865.4	0.8231	0.485629	485.629	496
150	12/08/2024	11 a 12	24.9	5.3	1158.75	0.9082	0.535838	535.838	525
151	12/08/2024	12 a 13	24.2	4.7	1043.9	0.7885	0.465215	465.215	461
152	12/08/2024	13 a 14	25.7	2.4	892.6	0.98266	0.5797694	579.7694	590
153	12/08/2024	14 a 15	23.15	3.7	481.75	0.4536	0.267624	267.624	255
154	12/08/2024	15 a 16	18.85	4.6	99.25	0.07747	0.0457073	45.7073	47
155	13/08/2024	9 a 10	22.8	5.4	688	0.662	0.39058	390.58	371
156	13/08/2024	10 a 11	25.5	3.2	860	0.9202	0.542918	542.918	540
157	13/08/2024	11 a 12	24.75	2.2	1159.2	1.329	0.78411	784.11	811
158	13/08/2024	12 a 13	24.3	4.9	1044.1	1.106	0.65254	652.54	620
159	13/08/2024	13 a 14	25.8	5.5	894.9	0.8715	0.514185	514.185	516
160	13/08/2024	14 a 15	23.25	3.1	479.5	0.4576	0.269984	269.984	311
161	13/08/2024	15 a 16	18.9	2.1	98.5	0.07827	0.0461793	46.1793	50
162	14/08/2024	9 a 10	23.1	4.4	689.2	0.677	0.39943	399.43	410



163	14/08/2024	10 a 11	25.6	5.6	862.9	0.8838	0.521442	521.442	531
164	14/08/2024	11 a 12	24.85	3.8	1160.7	1.279	0.75461	754.61	765
165	14/08/2024	12 a 13	24.1	2.3	1046.25	1.171	0.69089	690.89	700
166	14/08/2024	13 a 14	25.75	4.1	891.3	0.9425	0.556075	556.075	570
167	14/08/2024	14 a 15	23.05	3.9	482.75	0.4523	0.266857	266.857	276
168	14/08/2024	15 a 16	18.95	5.52	97.9	0.07664	0.0452176	45.2176	42



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Jhiny Jhordan Quispe Condori
identificado con DNI 75842069 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ciencias físico Matemáticas

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"SIMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE UN DESTILADOR
UTILIZANDO DATOS METEOROLÓGICOS EN LA CIUDAD
DE JULIACA - PERÚ"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Jhimy Jhordan Quispe Condori,
identificado con DNI 75842069 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ciencias físico MATEMÁTICAS

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"SIMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE UN DESTILADOR UTILIZANDO DATOS METEOROLÓGICOS EN LA CIUDAD DE JULIACA - PERÚ."

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de diciembre del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella