

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR ACTIVO DE AGUA
PARA ABASTECER EL CONSUMO DE UN HOGAR UBICADO EN EL
ASENTAMIENTO LA ESTANZUELA DEL MUNICIPIO DE GIRÓN,
DEPARTAMENTO SANTANDER.

ANDRÉS FELIPE MEJÍA MONRROY

YOAN ALEXANDER RUEDA SANMIGUEL

JORGE ANDRES ORTEGA CALDERON

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

TESIS DE GRADO

BUCARAMANGA, SANTANDER

2023

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DESTILADOR SOLAR ACTIVO DE AGUA PARA
ABASTECER EL CONSUMO DE UN HOGAR UBICADO EN EL ASENTAMIENTO LA
ESTANZUELA DEL MUNICIPIO DE GIRÓN, DEPARTAMENTO SANTANDER.

Director

YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ

PhD. Ingeniero Mecánico.

ANDRÉS FELIPE MEJÍA MONRROY

YOAN ALEXANDER RUEDA SANMIGUEL

JORGE ANDRES ORTEGA CALDERON

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA

TESIS DE GRADO

BUCARAMANGA, SANTANDER

2023

DEDICATORIA

A mis padres Rubén Mejía y Sara Monrroy por su afecto, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de mi estancia en la Universidad Industrial de Santander.

A mis abuelos Álvaro Mejía y Josefina García que son un elemento imprescindible en la formación ética de mi vida.

A mi hermano José Luis Mejía por su apoyo e incondicionalidad en todo momento.

A mis familiares, amigos y todas las personas que con pasión han buscado formar un ser humano con rectitud, moralidad y honestidad.

Andrés Felipe Mejía Monrroy

DEDICATORIA

A mis padres Margarita Sanmiguel y José Rueda, que me ofrecieron la oportunidad de realizar una carrera profesional, por su amor, apoyo incondicional y su sabiduría al momento de guiarme en la toma de decisiones.

A mi hermana Katherine Rueda que siempre me ha acompañado en los momentos difíciles, me apoya de diferentes formas, siempre me guía para mejorar cada día y que se alegra siempre de mis logros.

A mis abuelos Heliodoro Sanmiguel y María del Rosario de Sanmiguel que ya no están, pero que siempre me acompañaron, me cuidaron y siempre me cuidarán.

A mi compañera sentimental Dayana Silva por no soltar mi mano en todo este camino, ya que sin ella no habría logrado todo esto.

A toda mi familia y amigos que se convirtieron en familia, debido a que de diferentes formas contribuyeron y acompañaron en diferentes etapas de este proceso.

Yoan Alexander Rueda Sanmiguel

DEDICATORIA

A Dios por haberme acompañado y guiado durante todo mi trayecto, llenándome de fuerza y sabiduría para tomar cualquier decisión.

A mi madre María Eugenia Calderón Barrera por su amor y apoyo incondicional, por ser mi motivación durante toda mi carrera universitaria, por siempre mostrarme con su ejemplo que siempre se debe luchar por salir adelante.

A mi padre Jesús Armando Ortega Lamus (Q.E.P.D.) que siempre fue mi motivación, sé que siempre estuvo a mi lado en este camino y sé que este logro lo haría muy feliz y orgulloso.

A mis compañeros y amigos universitarios que estuvieron incondicionalmente a mi lado, en los momentos difíciles y en los felices, brindándome su apoyo y su compañía, y con seguridad sé que hasta el día de hoy puedo contar con ellos.

A mis profesores que no solo me brindaron formación profesional sino también una excelente formación personal, haciendo de mí una persona integra.

Jorge Andrés Ortega Calderón

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director de proyecto Yesid Rueda por su apoyo, guía y consejos para el desarrollo de este proyecto.

Agradecemos a la escuela de ingeniería mecánica por prestar sus instalaciones para las pruebas del sistema térmicos diseñado.

Agradecemos a los profesores Diego Franco y Fabian Díaz por compartir sus conocimientos con nosotros durante las auxiliaturas y asesorías profesionales.

Agradecemos a los trabajadores de la escuela de ingeniería mecánica Jorge Patiño por siempre estar disponible para la apertura de espacios dentro de la escuela y ser una persona de confianza.

Por último, agradecemos a Henry Cruz y Fredy por la colaboración en la construcción del equipo ya que, con sus conocimientos y mano de obra se logró un buen ensamble estructural.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
2 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3 JUSTIFICACIÓN	21
4 MARCO TEÓRICO	22
4.1 ANTECEDENTES	22
4.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....	23
4.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	25
4.1.3 ANTECEDENTES A NIVEL LOCAL.....	27
4.2 REFERENTES TEÓRICOS	30
4.2.1 DESTILACIÓN SOLAR.....	30
4.2.2 CONSTANTE SOLAR	32
4.2.3 ORIENTACIÓN DEL HAZ DE RADIACIÓN RELATIVO A LA TIERRA	34
4.2.4 MEDIDA DE LA RADIACIÓN	37
5 DISEÑO METODOLÓGICO	40
5.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO.....	40

5.2	VARIABLES	41
5.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
5.4	TRABAJO DE CAMPO: TÉCNICAS, ESTRATEGIAS E INSTRUMENTOS	42
5.5	FASES DEL PROYECTO.....	43
5.5.1	FASE I.....	43
5.5.2	FASE II.....	43
5.5.3	FASE III	44
5.5.4	FASE IV	45
5.5.5	FASE V.....	45
5.5.6	FASE VI	46
6	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	47
6.1	RESOLUCIÓN FASE I	47
6.2	RESOLUCIÓN FASE II.....	48
6.3	RESOLUCIÓN FASE III	60
6.4	RESOLUCIÓN FASE IV	68
6.4.1	ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL CPC	68
6.4.2	ANÁLISIS TÉRMICO DEL CPC.....	73
6.5	RESOLUCIÓN FASE V.....	81
6.6	RESOLUCIÓN FASE VI	84
6.6.1	Muestra	84

6.6.2	Registro de datos sobre la radiación incidente en la superficie.....	85
6.6.3	Calibración de los piranómetros de instrumentación	86
6.6.4	Medición y control de volumen del fluido	89
6.6.5	Registro de datos para las temperaturas del sistema.....	90
6.6.6	Análisis de gráficas operativas del CPC.....	92
6.6.7	Análisis físico químico y microbiológico del agua	110
6.6.8	Estimación anual en la producción de agua destilada por el CPC.....	113
6.6.9	Mantenimiento para un colector parabólico compuesto (CPC).....	114
7	CONCLUSIONES	116
8	SUGERENCIAS	118
	BIBLIOGRAFÍA	119
	ANEXOS	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Variables de mayor relevancia en el sistema.....	41
Tabla 2	Parámetros requeridos de funcionamiento básico del destilador.	48
Tabla 3	Elementos requeridos para el funcionamiento del sistema de destilación.	49
Tabla 4	Tabla Datos promedios anuales.....	56
Tabla 5	Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 20° - SUR.	57
Tabla 6	Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 30° - SUR.	57
Tabla 7	Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 45° - SUR.	58

Tabla 8	Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 20° - NORTE.....	58
Tabla 9	Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 30° - NORTE.....	59
Tabla 10	Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 45° - NORTE.....	59
Tabla 11	QFD (FPC y ETC).....	62
Tabla 12	QFD (CPC y LFR).	63
Tabla 13	QFD (PTC y PDR).	64
Tabla 14	QFD (HFC y Horno solar).....	65
Tabla 15	Especificaciones de la superficie reflectante.	71
Tabla 16	Especificaciones de la superficie absorbente.	71
Tabla 17	Datos para la calibración del piranómetro.	87
Tabla 18	Comparación fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y tratada.	111
Tabla 19	Estimación anual de la producción de agua destilada.	113

LISTA DE GRÁFICAS

gráfica 1	Datos de radiación para calibrar el piranómetro.....	88
gráfica 2	Comparación precalentamiento tubo al vacío vs tubo al vacío con CPC (27/10/22). 93	
gráfica 3	Comparación precalentamiento tubo al vacío vs tubo al vacío con CPC (28/10/22). 94	
gráfica 4	Comparación precalentamiento tubo al vacío vs tubo al vacío con CPC (31/10/22). 95	
gráfica 5	Precalentamiento modelo real vs teórico (25/10/22).....	98
gráfica 6	Precalentamiento modelo real vs teórico (27/10/22).....	99
gráfica 7	Precalentamiento modelo real vs teórico (31/10/22).....	100
gráfica 8	Comportamiento de la ebullición (27/10/22).	103
gráfica 9	Comportamiento de la ebullición (31/10/22).	104

gráfica 10 Masa de agua evaporada (27/10/22).....	107
gráfica 11 Masa de agua evaporada (31/10/22).....	108
gráfica 12 Estimación anual de la producción de agua destilada.	114

LISTA DE FIGURAS

figura 1. Destilador solar simple efecto.....	30
figura 2. Destilador solar activo.	31
figura 3. Relaciones entre el sol y la tierra.	32
figura 4. Radiación solar total en una superficie.	33
figura 5. Ángulos incidentes a la salida del sol.	34
figura 6. Ángulo de inclinación en la superficie.....	35
figura 7. Variación de los ángulos horarios.....	36
figura 8. Ángulo de incidencia.	37
figura 9. Representación del pirheliómetro.	38
figura 10. Representación del piranómetro para medir radiación directa.....	39
figura 11. Representación del piranómetro con sombra para medir radiación difusa.	39
figura 12 Ángulos para la estimación en superficies inclinadas.....	52
figura 13 Isométrico y componentes principales del CPC	67
figura 14 Diseño del perfil hiperbólico.....	69
figura 15 Modificación para construcción de la hipérbole	69
figura 16 Diagrama de resistencias térmicas.	74
figura 17 Diagrama total de resistencias térmicas.....	74
figura 18 Diagrama de resistencias simplificado.....	76

figura 19 Diagrama de resistencias simplificación final.	76
figura 20 Vista isométrica de la instalación del colector parabólico compuesto.	81
figura 21 Vista explosionada del sistema.	82
figura 22 Cálculo del factor de seguridad mediante SolidWorks.....	83
figura 23 Río de oro, asentamiento la Estanzuela.	84
figura 24 Recolección del agua en el río de oro.	84
figura 25 Registro de datos de radiación directa y difusa.....	85
figura 26 Especificación técnica del piranómetro.	85
figura 27 Geometría y dirección de la instrumentación.	86
figura 28 Gramera digital SF-400.....	89
figura 29 Vaso de precipitado de 400 ml.....	89
figura 30 Instrumentación para el registro de temperaturas.	90
figura 31 Termocuplas tipo K sin lóbulo expuesto.....	91
figura 32 Distribución termopares tipo k.....	91
figura 33 Agua antes y después del proceso de destilación.....	112
figura 34 Ilustración del fallo por perdida de vacío en el tubo.....	115
figura 35 Configuración de 2 tubos al vacío en un CPC	118

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Modelo estimativo para calcular la inclinación (β) optima de la superficie.....	122
ANEXO B. Modelo matemático para la construcción del perfil hiperbólico del CPC.....	123
ANEXO C. Programación para el registro de datos de las termocuplas en Arduino UNO. ...	124
ANEXO D. Modelo matemático para el precalentamiento del fluido.	125
ANEXO E. Modelo matemático para la ebullición nucleada.....	128
ANEXO F. Modelo estimativo para la producción de agua destilada al año.....	129
ANEXO G. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (lunes 24 de octubre).	131
ANEXO H. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (martes 25 de octubre).	139
ANEXO I. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (jueves 27 de octubre).	142
ANEXO J. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (viernes 28 de octubre).	151
ANEXO K. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (lunes 31 de octubre).	157
ANEXO L. Informe de resultados sobre los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua hechos por el laboratorio químico de consultas industriales UIS.	166
ANEXO M. Planos del sistema térmico.....	171

RESUMEN

El presente trabajo de grado se centra en el diseño y construcción de un destilador solar, de modo que, se suministre agua potable a una familia que vive al lado del río de oro, mediante el tratamiento del recurso hídrico; ya que, no se cuenta con sistema de acueducto. Este procedimiento se realiza con tubos al vacío que contienen el fluido y por intermedio de un colector parabólico compuesto (CPC) orientado sureste en horas sol de la mañana y suroeste después del mediodía, con el objetivo, de optimizar la captación de radiación solar, debido a que se logran reflejar y concentrar en mayor proporción los rayos solares.

Asimismo, se elabora un modelo matemático mediante la transferencia de calor para compararlo con los datos obtenidos en el estudio del modelo real, con el fin de predecir el funcionamiento del equipo y calcular la producción aproximada de agua destilada anual. Por último, se analiza el agua destilada para determinar el índice de riesgo para la calidad del agua potable (IRCA) mediante pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en la entrada y salida del destilador solar para evaluar los cambios en la composición y determinar los diferentes usos para el agua tratada.

Palabras clave: Destilación solar, radiación, CPC, tubo al vacío, razón de concentración.

ABSTRACT

This thesis focuses on the design and construction of a solar still, in order to provide drinking water to a family living next to the "River of Gold", through the treatment of water resources, since there is no plumbing. This procedure is performed with vacuum tubes containing the fluid and through a compound parabolic collector (CPC) oriented southeast in the morning sun hours and southwest after noon, with the goal of optimizing the capture of solar radiation, because they reflect and concentrate more proportionally the solar rays.

Similarly, a mathematical model is created through heat transfer, in order to compare it with the data collected in the study time of the actual model, in addition to predicting the equipment's operation and subsequently calculating the approximate annual production of distilled water. Additionally, the analysis of distilled water is carried out to determine the water quality risk index (IRCA) through physical-chemical and microbiological tests performed on the water at the entrance and exit of the solar still to evaluate changes in composition and determine different uses for the treated water.

Keywords: Solar distillation, radiation, CPC, vacuum tube, concentration ratio.

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso vital para el planeta y para la supervivencia de cualquier ser vivo que lo habite. La escasez de agua dulce es cada vez más notoria en el mundo, debido al cambio climático que afecta directamente las fuentes hídricas como ríos, lagos, lagunas y humedales, perjudicando así los ecosistemas y la imposibilidad de obtener agua de estas fuentes para satisfacer las necesidades básicas de la vida.

Uno de los procesos más comunes para limpiar el agua es la destilación, al ser un proceso que no requiere de sustancias adicionales, lo hace muy popular para ponerlo en práctica. Uno de los puntos clave en la destilación del agua es la necesidad de una fuente de energía que lleve a cabo el cambio de estado, siguiendo el objetivo de ser amigable con el medio ambiente, se vuelve muy atractivo utilizar la energía solar, que es gratuita, inagotable y de fácil acceso. a cualquiera. La destilación con energía solar pretende ser una alternativa valiosa para obtener agua limpia a partir de fuentes de agua que han sido contaminadas con el fin de reducir la escasez de agua que presentan diferentes comunidades en el mundo, brindando así una solución sostenible y limpia.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo estudiar y profundizar en los destiladores de agua que utilizan la energía solar como principal fuente de energía, además de brindar información valiosa sobre su diseño, los valores estudiados y los resultados obtenidos que permitan comprender de manera clara el proceso objeto de estudio. manera. Es de gran importancia profundizar en este campo ya que contribuye a la obtención del recurso requerido por las comunidades afectadas que no tienen acceso al mismo; diseñar un destilador solar de agua es una alternativa que soluciona el problema expuesto.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día obtener recursos hídricos es uno de los problemas más comunes de la población, debido al poco porcentaje de agua potable existente y a la contaminación que presentan las fuentes que abastecen a las comunidades. Una de las principales razones en la reducción del agua dulce es el cambio climático, el cual se aborda desde la actividad humana que altera la composición de la atmósfera, por lo tanto, genera variaciones meteorológicas que se observan con frecuencia en el planeta, tales como el incremento de radiación solar en la superficie terrestre, actividad volcánica y el descongelamiento de los glaciares generando un incremento en el nivel del mar.

De acuerdo con el Instituto ACCIONA (2020) el incremento exponencial en la población genera la necesidad de más recursos, causando que se tengan que ampliar todos los procesos de producción industrial, debido a esto se acelera el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero como el Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Compuestos Halogenados, Ozono Troposférico y Óxido de Nitrógeno, que son producidos constantemente en el planeta por la quema de combustibles fósiles. La mala implementación y altos niveles de emisión de los gases ha causado que la atmósfera retenga más calor de lo habitual provocando que la temperatura media del planeta aumente. Según la ONU (2018), desde 1990, ha habido un aumento del 41% en el llamado forzamiento radiativo total (la diferencia entre la luz absorbida por la tierra y la energía irradiada que se devuelve al espacio).

El agua dulce es un órgano vital del planeta, imprescindible para la supervivencia de cualquier ser vivo terrestre que habita en él, pero las sequías excesivas por la concentración de calor junto a la contaminación de ríos, lagos, lagunas y humedales origina que los parámetros que caracterizan un cuerpo de agua sean variantes, por ende, hay pérdida mineral en este recurso. “La calidad del agua se ve afectada negativamente por el aumento de sus temperaturas, la menor cantidad de

oxígeno disuelto y, por consiguiente, la menor capacidad de autodepuración de los depósitos de agua dulce” (UNESCO, 2020).

Las consecuencias de las variantes de los parámetros en un cuerpo de agua ocasionan la destrucción de biodiversidad que empobrece los ecosistemas acuáticos y la soberanía alimentaria se ve alterada por el ser humano, ya que al pescar en agua contaminada o la utilización de aguas residuales en ganadería o agricultura pueden transmitir toxinas a los alimentos que disminuyen la calidad de vida. Según la Organización de la Naciones Unidas (ONU-UNESCO, 2019) más de 2000 millones de personas beben agua potable contaminada por residuos de excrementos, lo que genera una alteración en su pH que no es compatible con el confort humano exponiendo a contraer enfermedades.

Latinoamérica es un continente con una cantidad distintiva de agua dulce, pero está en alerta por posible escasez en el futuro del recurso hídrico debido al desperdicio constante de las comunidades. Las medidas que se están tomando frente a esta problemática es reducir las emisiones de CO₂ para evitar el calentamiento terrestre, la acidificación de los océanos, mitigar el uso de pesticidas (químicos), la reutilización de agua residuales para crear energía, limitar el uso de plástico y acabar la pesca excesiva. De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM-UNAL, 2018) informan que el incremento de la temperatura en Colombia se estableció de 1 a 4 °C por década, por lo cual las zonas habitadas como costeras, montañosas y trópicos estarán muy afectadas por la subida vertiginosa de la temperatura en la nación.

La problemática en Colombia se concentra mayoritariamente en las áreas rurales donde se recomienda a la población crear hábitos como hervir el agua, tratarla con cloro, no almacenar agua

en recipientes sucios y tratar con químicos los tanques de almacenamiento. Esta situación es evidente en el municipio de Girón, Santander donde parte de la comunidad no cuenta con recursos hídricos de calidad para el consumo humano como lo es el asentamiento la Estanzuela donde sus habitantes se ven obligados a hacer uso de las aguas del río de oro, las cuales se encuentran en un nivel de contaminación muy alto y sin el debido tratamiento previo, lo cual puede generar diversas afectaciones a la salud de las personas en especial los menores de edad.

De acuerdo con lo anterior, la preocupación constante de los habitantes del asentamiento la Estanzuela es como tratar las aguas del río de oro para llegar a un confort estable y que no sea de alerta para posibles enfermedades dentro de la comunidad. Por ello, se busca implementar un sistema de tratamiento de agua eficiente y de alta calidad que tenga en cuenta la situación económica de la población, para lo cual se parte de la siguiente pregunta problema ¿Qué características debe tener el desarrollo del sistema térmico de destilación solar activa con precalentamiento en el fluido y recirculación natural para tratar las aguas del río de oro, con el fin de abastecer de agua un hogar ubicado en el asentamiento la Estanzuela del municipio de Girón, departamento de Santander?

2 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema térmico de destilación solar activa con precalentamiento en el fluido y recirculación natural para tratar las aguas del río de oro, con el fin de abastecer de agua un hogar ubicado en el asentamiento la Estanzuela del municipio de Girón, departamento de Santander.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir parámetros geográficos de Girón como latitud, declinación, ángulos horarios, temperatura media y radiación solar total incidente en la superficie por medio de piranómetros de instrumentación.
- Construir el modelo que se adapta a los parámetros geográficos definidos y de selección como el rendimiento del sistema establecido por la producción de agua pura por día en litros, espacio, costo y materiales disponibles.
- Modelar el sistema térmico estable y transitorio seleccionado en EES para obtener un modelo de funcionamiento del equipo y una producción de agua destilada durante el año.
- Realizar pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en la producción de agua destilada que cumpla con los parámetros normativos de la Resolución Nacional 2115 de 2007 de Colombia, con la finalidad de concluir el desempeño global del equipo.

3 JUSTIFICACIÓN

El cuerpo humano almacena gran cantidad de agua necesaria para el correcto funcionamiento del metabolismo. Por esta razón, la opción de diseñar y construir un sistema para potabilizar el agua con energía solar que contribuya en la parte científica, cultural, de salud y económica del país se convierte en una de las alternativas más viables frente a esta necesidad.

El agua potable con óptimas condiciones para el consumo humano escasea por el cambio climático, lo cual ocasiona una pérdida en la calidad de vida en las sociedades; ya que se pueden presentar diversas enfermedades que afectan el buen funcionamiento del organismo como lo son: las diarreas agudas, los problemas digestivos, afectaciones en la piel y esquistosomiasis.

Lo anterior evidencia que los altos niveles de contaminación del agua en determinadas regiones del país son uno de los principales problemas que se presentan a la hora de brindar una calidad de vida a sus habitantes; por ello, es necesario la implementación de sistemas que contribuyan en el mejoramiento de esta situación teniendo en cuenta las necesidades básicas de la población y la situación económica de estas debido a que estos problemas generalmente se manifiesta en comunidades de bajos recursos.

De este modo, el desarrollo de un destilador solar para potabilizar agua está dirigido a incrementar la calidad de vida, transparencia, participación y equidad de las poblaciones, con criterios de conservación a largo plazo, para que la generación presente pueda disfrutar equitativamente de los beneficios proporcionados por el agua y lo puedan seguir implementando las generaciones futuras. Esto, es posible ya que la destilación solar mediante el principio del efecto invernadero genera un desempeño elevado porque no necesita suministro excesivo de energía

eléctrica, es decir, ayuda a disminuir el impacto ambiental e incrementa el uso de energías renovables que contribuye a la sociedad y economía de un país.

4 MARCO TEÓRICO

Se examinará estudios de investigación, trabajos doctorales y proyectos investigativos referentes a la destilación solar activa de agua, que se caracteriza por hacer uso de fenómenos como el efecto invernadero, para tener un mayor conocimiento sobre los posibles sistemas implementados, diseñados y construidos; por lo tanto, las referencias estudiadas ayudaran a representar un diseño, un modelo y una construcción fiable haciendo uso de las bases de datos, parámetros y análisis existentes con los respectivos softwares recomendados. Para finalizar, se conceptualizan algunas variables geográficas y criterios de alta importancia llevando a cabo el desarrollo del proyecto investigativo, con el fin de ubicar correctamente al lector sobre el tema de estudio.

4.1 ANTECEDENTES

Inicialmente, para la investigación se presenta la información bibliográfica en estudios a nivel internacional, nacional y local sobre la importancia de este tipo de energía renovable por radiación solar. Los coeficientes de desempeño energético en cualquier proyecto sobre destilación de agua son elevados, donde su medida de eficiencia principal es la capacidad de producción de agua en litros por día; de esta manera, el proyecto de investigación más relevante, es el trabajo realizado en Ecuador San José de Pichul (Jiménez 2020) enfocado a la purificación de agua local para consumo humano con un destilador solar de alta eficiencia para entornos domésticos y rurales áridos, donde se resalta cómo se evaluaron los diferentes tipos de destilador, siendo el sistema de destilación tipo

caseta el más óptimo para la zona, también se estudió la radiación presente en la zona durante todo el año haciendo uso de software para crear una base de datos en la cual los parámetros estudiados ayudan a mejorar la eficiencia y economizar los costos de producción de agua en el destilador solar.

4.1.1 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

4.1.1.1 Desarrollo y evaluación de destiladores solares de agua de alto rendimiento, Toluca de Lerdo, México (Caro Guzmán, 2020).

En esta tesis de doctorado se planteó como objetivo principal desarrollar y evaluar el desempeño termodinámico y productivo de dos sistemas de destilación solar de agua, con base en herramientas enfocadas en el análisis de transferencia de calor, que permitan la cuantificación de coeficientes térmicos entre los fluidos involucrados, con el fin de implementar en campo el dispositivo desarrollado que tenga el mejor costo-producción. La forma en que se desarrolló este proyecto fue la prueba de tres distintos destiladores, estos fueron diseñados con un absorbedor tubular circular, al cual se le manufacturó una apertura para lograr la salida de vapor, el absorbedor fue cubierto mediante un tubo de vidrio en donde se produce la condensación; de igual forma, fue necesario determinar la viabilidad de una bomba de vacío, se probaron 2 prototipos con la misma configuración geométrica, en uno se implementó la bomba de vacío y el otro se dejó sin bomba.

Para validar el modelo térmico, se analizaron los coeficientes convectivos en fase líquida y vapor, para lo cual fue necesario realizar mediciones de temperatura en distintas partes del sistema y a diferentes condiciones de irradiancia. Las zonas en donde se midieron las temperaturas fueron en el absorbedor, en la cubierta de vidrio, en el ambiente y en el agua al interior del absorbedor, donde se buscaba optimizar la geometría del absorbedor que fue utilizada para construir un tercer destilador con una configuración geométrica distinta del concentrador parabólico compuesto, y así validar la optimización del índice de concentración y de este modo definir el mejor diseño mediante

un análisis costo-beneficio. Al final se obtuvo como resultado el desarrollo y obtención de un destilador que optimizó la obtención de agua potable a un bajo costo alrededor de \$0.0193 USD por cada litro de agua producido.

Este trabajo doctoral aporta al proyecto un amplio conocimiento general del sistema que se tomará como guía para intentar economizar el costo de producción del agua, teniendo como referencia los análisis, diseños y materiales implementados para la construcción del prototipo.

4.1.1.2 Purificación de agua local para consumo humano con un destilador solar de alta eficiencia para entornos domésticos rurales áridos. San José de Pichul, Ecuador (Jiménez, 2020).

La implementación de este proyecto tiene como finalidad verificar mediante energía solar si el sistema de destilación y purificación provee líquido vital apto para consumo humano en las zonas rurales de San José de Pichul Ecuador, por lo cual el objetivo general del estudio fue evaluar la eficiencia de un destilador solar como fuente sostenible de agua para el consumo humano en entornos domésticos áridos. En primer lugar, era necesario analizar diferentes tipos de destiladores solares que utilizan el efecto invernadero para el desarrollo metodológico del equipo, de manera que se dio mayor énfasis a la eficiencia energética y el bajo costo del dispositivo el cual se fue inclinando por un diseño de destilador tipo caseta, en conclusión, el uso de energía renovable es fundamental para el calentamiento de la masa de agua presente en el sistema, con la condición de que se cumpla el ciclo del efecto invernadero que representa la evaporación y la condensación en forma de gota.

La muestra que se tuvo en cuenta fue un núcleo familiar con poca accesibilidad al agua potable, donde se estima que el consumo de agua dulce mínimo que requiere una persona por día

es de 3 litros. Es necesario resaltar, que para los residentes de la localidad presentada se implementó el programa satelital SOLCAST, por medio del cual se evaluó la eficiencia del destilador solar que dio como resultado una radiación mínima de 100 Wh/m^2 con una producción de agua dulce 2 L/día y para una radiación máxima de 8000 Wh/m^2 se obtuvo un rendimiento de 5 L/día , de lo que se concluye que el sistema puede ser utilizado para la obtención de agua potable satisfaciendo las necesidades mínimas de solo una persona que conforma el hogar.

Este proyecto contribuyó al analizar los diferentes tipos de destiladores solares que se tuvieron en cuenta para el análisis, también la forma en cómo se abordó la zona en la que será utilizado el destilador, la cantidad de agua potable mínima necesaria por persona y la relación de producción de agua potable con respecto a la radiación recibida.

4.1.2 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

4.1.2.1 Desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de fuentes de energía solar – destilación solar en Boyacá, Colombia (Molina, 2020).

En este trabajo de investigación se tuvo como objetivo general el modelamiento de un prototipo para destilación de agua salobre, usando como referencia los resultados obtenidos en el prototipo del concentrador parabólico compuesto de radiación solar, además, se implementaron métodos para el desarrollo cuya finalidad era definir sus parámetros de operación donde se establecieron en alcance y limitaciones. El alcance comprende el diseño y modelamiento del prototipo de destilación usando energía renovable, junto con la radiación solar y temperatura incidente en el foco a fin de mejorar su eficiencia con respecto a un modelo existente de un concentrador parabólico, que define su eficiencia como la cantidad de litros suministrada a las comunidades por día; las limitaciones hacen referencia al diseño del destilador modelando la eficiencia del sistema mediante el análisis

de los resultados de temperatura en función del tiempo respecto al concentrador parabólico compuesto.

Las conclusiones presentadas en este proyecto son referentes al ciclo de la evaporación y condensación que ocurren durante el proceso de destilación de agua; en la fase de evaporación del fluido se necesita un diferencial de potencial alto que conlleva a unas dimensiones en la espiral que realmente serán ineficientes para el funcionamiento del evaporador. En el proceso de la condensación las dimensiones del tubo donde debe circular agua a la temperatura ambiente son válidos para la ciudad de Tunja.

Este trabajo de investigación contribuye al proyecto con conceptos térmicos esenciales al momento de realizar los balances energéticos, considerando en el análisis dimensional los cambios de fase que se presentan al momento de destilar el agua, es decir, que estas consideraciones presentes afectan la geometría del equipo y esto se ve reflejado en el costo de fabricación del sistema.

4.1.2.2 Prototipo de un destilador solar activo de doble pendiente, como método de obtención de agua potable para las comunidades vulnerables de Antioquia, Medellín, Colombia (Buelvas & Mauren, 2020).

El objetivo principal de este trabajo de grado fue diseñar y construir un destilador solar activo de doble pendiente con el fin de obtener agua potable implementado el uso de energías renovables o autosostenible. Así mismo, el principal enfoque que se tuvo en cuenta fue de tipo exploratorio y descriptivo con el fin de buscar el menor costo de fabricación para satisfacer las comunidades vulnerables que carecen de recursos como la electricidad y redes de tuberías de agua cercanas. Por este motivo, se intentó desarrollar un prototipo que cumpliera con las necesidades de obtención del

recurso hídrico mediante un destilador que no requiera energía eléctrica y funcione en zonas de bajos recursos donde se pueda obtener de manera factible los recursos para su construcción.

La metodología empleada para una construcción fiable se describe por los autores de la siguiente manera: observación e investigación, se basó en identificar los sistemas reales empleados hasta el momento para el tratamiento de agua contaminada, revisión bibliográfica para la formulación del proyecto, se estudiaron varios antecedentes referentes a la destilación solar, identificación de necesidades, se tuvo en cuenta la limitación de recursos de la comunidad y a su vez la cantidad necesaria o mínima de agua destilada, por último, se implementó el diseño del prototipo, considerando los materiales que mejor se adaptan a la disponibilidad del mercado con respecto al costo disponible.

Como resultado de este proyecto se obtuvo un destilador solar, el cual mejoró y economizó la obtención de agua potable debido a su alto coeficiente de desempeño energético. Este trabajo de investigación aporta en la reducción de costos, la durabilidad y viabilidad del sistema, además, de la identificación de los materiales fundamentales y disponibles en el mercado para la construcción de un destilador solar activo.

4.1.3 ANTECEDENTES A NIVEL LOCAL

4.1.3.1 Diseño y construcción de un prototipo de destilador solar de agua multiefecto para implementar en zonas rurales de Bucaramanga (Quijano Prada et al., 2015).

El objetivo general que emplearon para este proyecto de investigación es el diseño y construcción de un prototipo de destilación solar activo de flujo natural para purificar agua en zonas rurales del municipio de Bucaramanga, Santander. La metodología empleada fue definir todas las variables de interés que afecta a la radiación incidente solar que llega al globo terrestre, junto con

sus métodos y análisis para la estimación de radiación solar sobre superficies, de acuerdo a los parámetros de mayor incidencia en el sistema se define el tipo de colector solar más eficiente para el proceso, de esta forma, se puede hacer un análisis de transferencia de calor más objetivo y preciso a fin de poder simular, diseñar y construir correctamente el prototipo al cual se le tomaran pruebas y análisis de resultados.

El proyecto de investigación dejó como resultado una destilación eficiente de un aproximado de 8 litros de agua pura por día por medio de un sistema de colección de energía compuesto por un colector de placa plana tipo sándwich de doble cubierta de vidrio, acoplado a la entrada de un banco de colectores parabólicos con tubos de vacío y seguimiento solar, el cual ayuda a tener más horas sol que se traduce a un aumento en la eficiencia del proceso de purificación del agua.

El proyecto de investigación contribuye en los métodos de medición para la radiación solar, en donde se elabora una base de datos del comportamiento promedio mensual, también sirve de guía para el análisis en los balances energéticos del sistema, resaltando la eficiencia total del equipo que se representa en la capacidad de producción de agua pura en litro por día, para finalizar, se muestra un diseño conceptual y desarrollado, especificando la geometría óptima, junto con los tipos de materiales implementados para llegar a una capacidad eficiente de 8 litros por día en el Municipio de Bucaramanga.

4.1.3.2 Diseño, construcción y pruebas de un destilador solar Bucaramanga (Pinzon & Colmenares, 2008).

El objetivo general presentado en el trabajo de investigación es diseñar y construir un prototipo de destilador solar, con estándares de calidad y realizar pruebas con base en investigaciones de la energía renovable, para mostrar a través de prácticas en el laboratorio la transferencia de calor. Del

mismo modo, se tuvo en cuenta el funcionamiento teórico del destilador y la forma más adecuada de hacer uso de la energía solar. Con base a lo anterior, se escogió la energía térmica sobre la energía fotovoltaica, caracterizando varios tipos de destilador solar en donde el más factible es el activo tipo caseta, el cual es el modelo implementado en el diseño del prototipo, por consiguiente, se procede a realizar el análisis de la eficiencia del sistema, representado en la capacidad de producción máxima de agua dulce, por último, se hicieron estudios de calidad fisicoquímicas y microbiológicas del agua antes y después de ser tratada por el equipo para evaluar su comportamiento y rendimiento.

La conclusión principal de la cantidad de destilado y la eficiencia térmica del equipo depende principalmente de las diferencias de temperatura que se logran obtener entre el agua y la superficie interna del sistema, teniendo un comportamiento directamente proporcional entre estas, por ende, el prototipo construido de destilador tipo caseta permite inferir una cantidad máxima de destilado de 2,3 litros por metro cuadrado durante el tiempo de prueba (5 horas), encontrándose dentro de los rangos estipulados de producción durante un día.

Este proyecto proporciona aportes en el diseño, implementación de materiales, bases de datos y parámetros de operación variables, por ejemplo, la inclinación de la caseta de acuerdo con el mes del año y la conceptualización del comportamiento del sistema, donde es concluido por mediciones experimentales mediante termocuplas en las diferentes superficies presentes en el equipo como temperatura del agua, del aire, interna del vidrio y externa del tanque de agua.

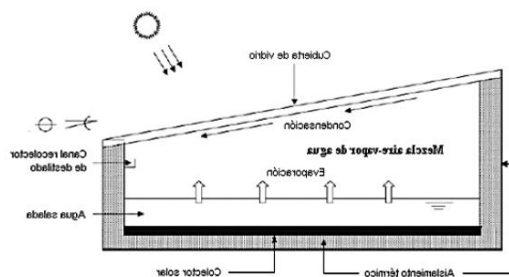
4.2 REFERENTES TEÓRICOS

Inicialmente se presenta los soportes teóricos de los conceptos más importantes de la formulación del problema con respecto al tema de estudio y los objetivos definidos, en primer lugar, al proceso de separación de sales y contaminantes de las aguas de ríos o mares se le denomina purificación, desalinización o potabilización, lo cual da como resultado la producción de agua dulce, asimismo, existen diferentes métodos de potabilización o purificación de agua contaminada como: hervir el agua, uso de filtros, desinfección química, adsorción, destilación, oxidación biológica y sedimentación, cabe destacar que la técnica que se implementará para el diseño del equipo es la destilación solar activa.

4.2.1 DESTILACIÓN SOLAR

La destilación solar como principio es el mismo fenómeno natural del efecto invernadero que presenta la siguiente secuencia absorción, evaporación y condensación entonces el agua expuesta en el planeta tierra absorbe el calor irradiado por el sol, produciendo vapor que forma las nubes, se condensa al cambio térmico y cae en forma de gota (lluvia). En los sistemas de destilación solar se emplea un ciclo cerrado en donde se puede controlar la demanda dependiendo de la necesidad, aplicación y tiempo de producción dependiendo de los parámetros esenciales (Singh et al., 2020).

figura 1. Destilador solar simple efecto.



Fuente: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4835421.pdf&psig=AOvVaw3D7cQQ1joN4mhrPxc4XBG&ust=1642651731528000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjRxqFwoTCJjio vX4vPUCFQAAAAAAdAAAAABAD>

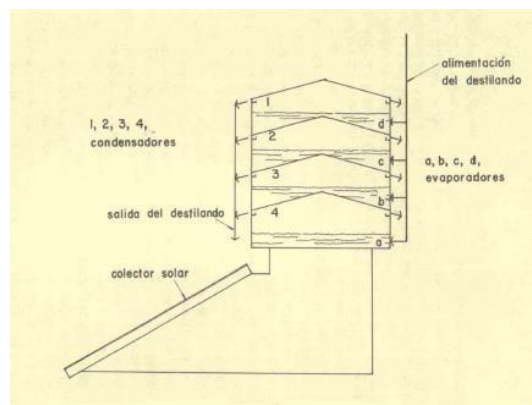
4.2.1.1 DESTILACIÓN SOLAR PASIVA

El sistema o unidad de destilación solar pasiva hace referencia a una sola posible forma de suministro de energía al sistema definida como solar irradiativa y no intervienen accesorios o elementos que consuman ni produzcan energía eléctrica por esta razón puede cubrir una necesidad para un rango de población considerablemente pequeño (Singh et al., 2020).

4.2.1.2 DESTILACIÓN SOLAR ACTIVA

La destilación solar activa da un enfoque más avanzado que el pasivo en donde todo se basa en mejorar el rendimiento por lo cual es necesario la adición de calor estimulante (tubos de vacío, tubos de calor, concentradores parabólicos, PV modulo, calor residual, materiales de almacenamiento térmico y estanque solar), Tasa de circulación de masa de agua optimizada (natural o forzada), generación de energía externa (eléctrica) para apoyar el funcionamiento y aumento de eficiencia en el sistema. Estos adicionales se pueden implementar de tipo como colector placa plana, colector concentrador, modulo fotovoltaico, condensadores adicionales, ventilador, bomba, etc. Puede cubrir la necesidad de población limitada o masiva debido al gran rendimiento que presentan (Singh et al., 2020).

figura 2. Destilador solar activo.

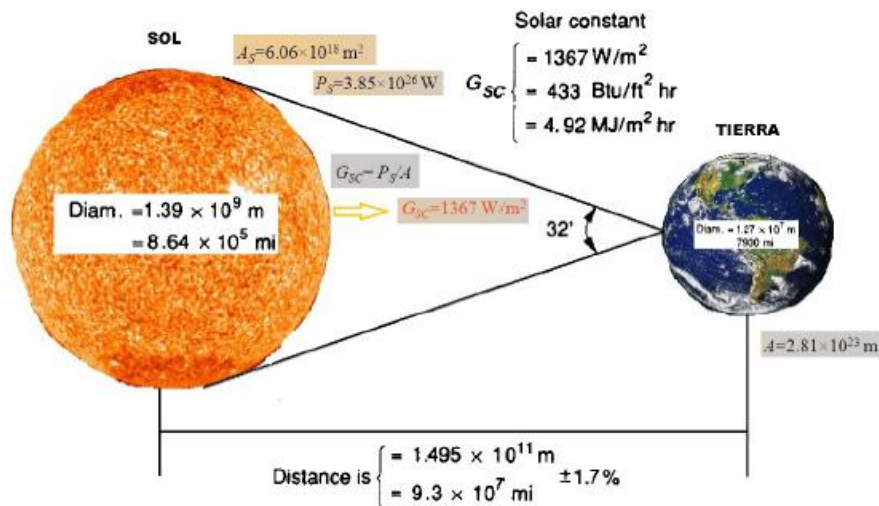


Fuente: <https://docplayer.es/72371230-Diseno-y-construccion-de-un-destilador-de-agua-salada-alimentado-por-medio-de-energias-renovables-codigo-de-proyecto-pg.html>

4.2.2 CONSTANTE SOLAR

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2017) la radiación emitida por el sol y el espacio, se relacionan con la tierra en una intensidad casi fija de la radiación solar por fuera de la atmosfera de la tierra. La constante solar (G_{sc}) es la energía proveniente del sol por unidad de tiempo, recibida en una intensidad de área en la superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación a la distancia entre el sol y la tierra fuera de su atmosfera. $G_{sc} = 1367 \left[\frac{W}{m^2} \right]$

figura 3. Relaciones entre el sol y la tierra.

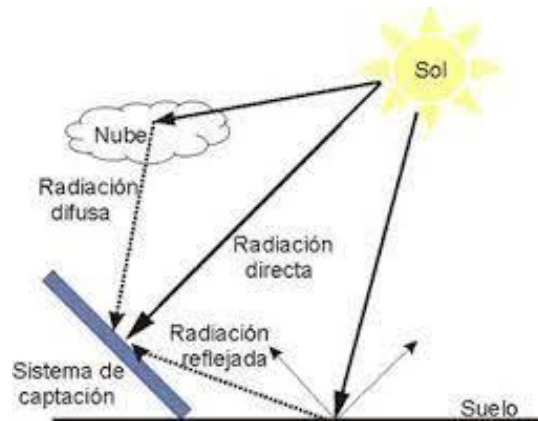


Fuente: Quijano, Jaimés y Vera (2015) Diseño y construcción de un prototipo de destilador solar de agua multiefecto para implementar en zonas rurales

4.2.2.1 RADIACIÓN SOLAR TOTAL

En términos generales es la suma de la radiación directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. La radiación global es la medida más común de radiación solar, y es la radiación total que incide sobre una superficie (Benavides Ballesteros et al., 2017).

figura 4. Radiación solar total en una superficie.



Fuente: Hernández, P (14 de enero de 2023) RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA
<https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>

4.2.2.2 RADIACIÓN DIRECTA

Es la radiación solar recibida desde el sol sin tener presente la dispersión por la atmosfera como la radiación extraterrestre y se emplea el subíndice “b” para evitar confusiones con otros tipos de radiación se puede llamar también haz de radiación (Benavides Ballesteros et al., 2017).

4.2.2.3 RADIACIÓN DIFUSA

Se conoce como la radiación solar recibida después de que su dirección ha cambiado por la dispersión en la atmosfera, es la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo. Sin la presencia de radiación difusa el cielo cambiara su color a negro y se emplea el subíndice “d” para evitar confusiones con otros tipos de radiación (Benavides Ballesteros et al., 2017).

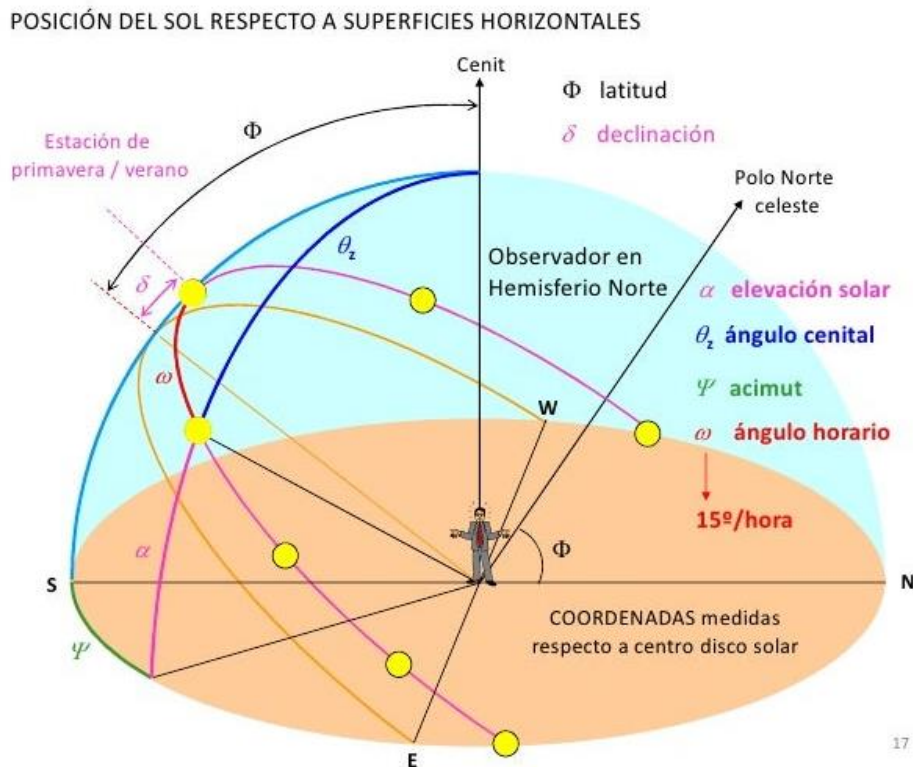
4.2.2.4 RADIACIÓN TERRESTRE

Es la radiación térmica emitida por la tierra como consecuencia de su temperatura y proveniente de objetos terrestres, por ejemplo, lo que refleja una pared blanca, un lago, el pasto, el cuerpo, etc. (Benavides Ballesteros et al., 2017).

4.2.3 ORIENTACIÓN DEL HAZ DE RADIACIÓN RELATIVO A LA TIERRA

La relación geométrica que existe entre un plano orientado en cualquier dirección en particular relativo a la tierra en cualquier instante del día (ya sea un plano fijo o en movimiento relativo a la tierra) y los rayos de radiación solar incidente, es decir, la posición del sol relativa a ese plano se puede describir en términos de varios ángulos (Benavides Ballesteros et al., 2017).

figura 5. Ángulos incidentes a la salida del sol.



Fuente: <https://es.slideshare.net/campuspartycolumbia/conferencia-relojes-de-sol-luis-h-triana>

➤ DECLINACIÓN (δ)

Es el ángulo entre el plano ecuatorial (plano horizontal) y la línea entre el centro de la tierra y el centro del sol. Al norte es positivo; $-23,45 < \delta < 23,45$ [$^\circ$]

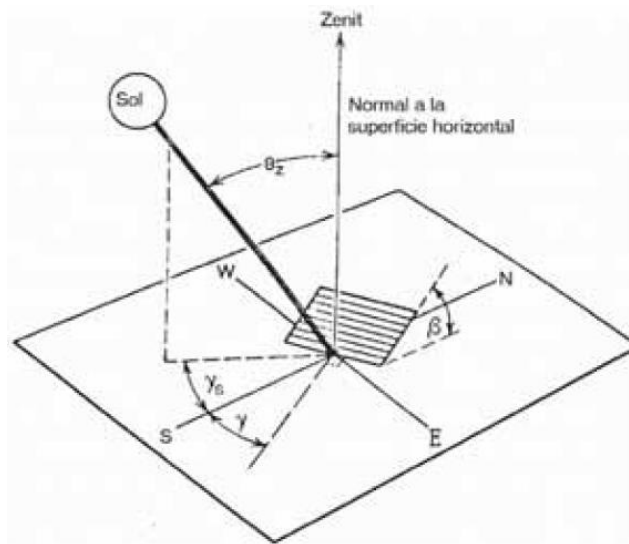
➤ **LATITUD (φ)**

Representa la posición angular al norte o al sur del ecuador, se define su orientación como positiva al norte; $-90 < \varphi < 90$ [°]

➤ **INCLINACIÓN DE LA SUPERFICIE (β)**

Es el ángulo entre el plano de la superficie radiada y la horizontal del lugar geográfico empleado para el proyecto ingenieril; $0 < \beta < 180$ [°]

figura 6. Ángulo de inclinación en la superficie.



Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (*IDEAM & UPME, 2005, pág. 154*)

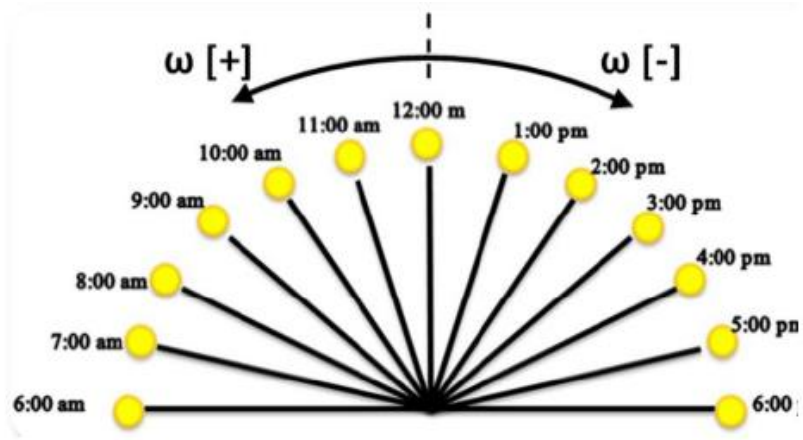
➤ **ÁNGULO ACIMUT DE SUPERFICIE (γ)**

Es la desviación de la proyección de un plano horizontal de la normal de la superficie desde el meridiano local (sur). Con cero en el sur, negativo en el este y positivo en el oeste; $-180 < \gamma < 180$ [°].

➤ **ÁNGULO HORARIO (ω)**

Es el desplazamiento angular del sol desde el este (E) al oeste (O) del meridiano local propio de la rotación de la tierra en este eje a 15° por hora; en la mañana es negativo (-) y en la tarde es positivo (+).

figura 7. Variación de los ángulos horarios.



Fuente: (Quijano Prada et al., 2015) Diseño y construcción de un prototipo de destilador solar de agua multiefecto para implementar en zonas rurales

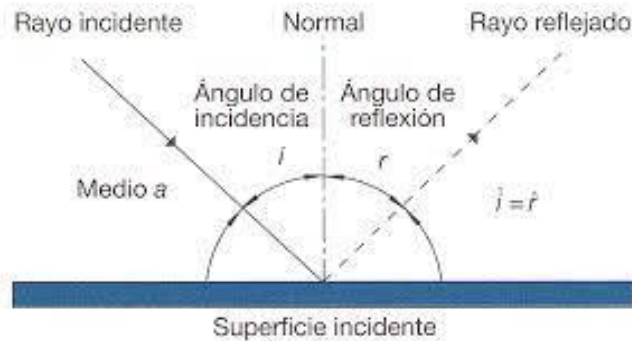
➤ **ÁNGULO CENIT (θ_{zs})**

Es el ángulo entre la vertical y la línea del sol; es decir, representa el ángulo de incidencia de la radiación directa sobre una superficie horizontal.

➤ **ÁNGULO DE INCIDENCIA (θ_s)**

En término general es el ángulo entre el haz de radiación en la superficie y la normal a la superficie en donde se complementa con los demás ángulos definidos para poder estimar la dirección del Haz de la radiación, también es llamado ángulo de incidencia en el hemisferio norte.

figura 8. Ángulo de incidencia.



Fuente: <http://maticasineansa.pbworks.com/w/page/120291042/F%C3%ADsica%2011>

➤ ÍNDICE DE CLARIDAD (K_T)

Es el que mide la transparencia de la atmosfera, debido a la frecuencia con la que ocurre variaciones en el nivel de radiación, ya sea un día soleado o nublado, se conoce también como la relación entre la irradiación diaria sobre una superficie horizontal situada en la tierra y la irradiación diaria sobre una superficie situada fuera de la atmosfera.

4.2.4 MEDIDA DE LA RADIACIÓN

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2017) la medida de la radiación solar se da en la potencia por unidad de superficie [W/m^2], integrando la energía de las diferentes longitudes de onda, esta medida se puede estimar por medio de correlaciones, pero en caso de ser un análisis ingenieril para construcción se debe evitar las estimaciones por el margen de error elevado que se obtiene en cada dato, por esta razón es más confiable los instrumentos de medición que cuentan con un margen de error muy bajo con respecto al valor real.

4.2.4.1 PIRHELIÓMETRO DE CAVIDAD ABSOLUTA

Se utiliza para medir radiación solar directa, este posee dos cavidades cónicas idénticas: una externa que se calienta al estar expuesta a la radiación solar, mientras la otra cavidad está oculta en el interior del instrumento, se calienta utilizando energía eléctrica hasta obtener una temperatura igual a la cavidad externa, asignándose el valor de energía eléctrica consumida como el valor de la radiación solar incidente [W/m^2] sin acudir a instrumento de referencia (Organización Mundial de Meteorología, 2019).

figura 9. Representación del pirheliómetro.



Fuente: <https://www.sensovant.com/productos-aplicaciones/agricultura/luz-solar/articulo/pirheliometro-DR03-first-class-primer-clase.html>

4.2.4.2 PIRANÓMETRO

Es un instrumento que mide la densidad del flujo de radiación global reflejada y difusa en un campo de 180° , cuyo sensor termoeléctrico o termopila que es protegido por una cúpula de vidrio convierte la radiación solar en una señal eléctrica de voltaje. Para la medición de la radiación difusa se realiza con el mismo piranómetro, pero el sensor es sombreado por una banda o disco de manera que no deja pasar radiación solar directa (Organización Mundial de Meteorología, 2019).

figura 10. Representación del piranómetro para medir radiación directa.



Fuente: <https://www.campbellsci.es/lp02>

figura 11. Representación del piranómetro con sombra para medir radiación difusa.



Fuente: (IDEAM & UPME, 2005, pág. 143) (Apéndice C)

5 DISEÑO METODOLÓGICO

En este apartado se presenta el conjunto de estrategias, técnicas e instrumentos necesarios para obtener resultados y conclusiones, por medio de fases propuestas con la intención de dar solución a los objetivos específicos planteados en el proyecto de investigación, definiendo el orden y desarrollo de cada objetivo, junto con los procedimientos e instrumentación óptima para poner en marcha el diseño conceptual, la construcción e implementación del destilador solar en el municipio de Girón, Santander.

5.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO

La ingeniería y la ciencia avanzan en gran medida por los proyectos investigativos, ya sea por sistemas innovadores, optimización de procesos o simplemente por el hecho de satisfacer necesidades a la sociedad. Últimamente la ingeniería mecánica tiene una visión al enfoque mixto puesto que reúnen características cuantitativas y cualitativas, las cuantitativas hacen referencia a los cálculos, análisis de datos, controladores de resultados, mientras las cualitativas se encargan de estudiar el impacto en la sociedad y confort que puede ofrecer el proyecto de investigación a la población.

Por consiguiente, el enfoque que presentará el diseño y construcción de un destilador solar activo por medio de la radiación solar tiene un enfoque mixto donde lo cuantitativo representará los cálculos enfocados a la producción de agua potable, análisis de parámetros de entrada como radiación solar total en la superficie y control de resultados como la eficiencia estable del equipo. Lo cualitativo estará presente en generar conciencia social en la importancia de implementar energías renovables para reducir el impacto ambiental y satisfacer una necesidad vital para la comunidad del Asentamiento la Estanzuela en el municipio de Girón, Santander; así mismo, el tipo de estudio para la investigación será descriptivo, ya que es necesario caracterizar el fenómeno,

generar análisis experimentales y especificar las propiedades de los materiales, con el fin de llevar a cabo correctamente la construcción del destilador.

5.2 VARIABLES

Los parámetros y variables de mayor relevancia en afectaciones con respecto a la construcción o fluctuaciones ocasionadas en el modelo, es necesario definir las conceptualmente de forma general junto con su técnica de medición, ya que de esta forma se obtiene una mejor precisión en los datos de referencia introducidos en el diseño.

Tabla 1. Variables de mayor relevancia en el sistema.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	MEDICIÓN OPERACIONAL
RADIACIÓN SOLAR	Cantidad de potencia que llega a una superficie [W/m ²].	Se lleva a cabo mediante piranómetros o atlas históricos.
β	Inclinación de la superficie en la que incide la radiación.	Se mide mediante calibradores angulares.
VOLUMEN	Espacio ocupado por un cuerpo en el espacio.	Se mide en referencia al cuerpo conocido o el recinto.
TEMPERATURA	Magnitud referida a la noción del calor.	Se lleva a cabo mediante termómetros o termocuplas.
PRESIÓN	Magnitud física que indica la fuerza aplicada en un área.	Se lleva a cabo mediante manómetros o de forma experimental.
PH	Indica el índice de acidez del agua.	se lleva a cabo mediante sensores ORP (Redox).
DENSIDAD	Cantidad de masa en un volumen determinado.	Se mide con densímetros.
LATITUD	Distancia angular entre la línea ecuatorial y un punto determinado de la tierra.	Medida a lo largo del meridiano a partir de un punto.
PROPIEDADES TERMICAS	Constantes de los materiales para intercambiar calor.	Se lleva a cabo mediante análisis experimentales (prueba y error).
PROPIEDADES MECANICAS	Constantes resistivas de los materiales para la deformación.	Se lleva a cabo mediante análisis experimentales (prueba y error).

Fuente: Autores.

5.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

El proyecto se realizará en el departamento de Santander en las zonas de mayor concentración de contaminación como lo es el municipio de Girón, debido a la gran cantidad de industria presente en la zona y vertimientos que se realizan por parte del sistema de alcantarillado en el río de Oro. La población seleccionada para el estudio será un hogar conformado por 3 personas, 2 adultos y un menor, que residen en el Asentamiento la Estanzuela ubicado al noroccidente de la quebrada la Iglesia, en la parte posterior de la calle 70 y al costado oriental de la carrera 18 del municipio de Girón. Este hogar se abastece del río de Oro para su consumo doméstico en general; ahora bien, es necesario tener la información de género y edad que conforma la familia para precisar un aproximado de cuantos litros de agua potable promedio se necesita producir al día, por este motivo se recolectará agua a las orillas del asentamiento para hacer el respectivo análisis fisicoquímico y microbiológico, con el fin de que la fuente hídrica cumpla con los rangos estipulados que la definen como agua no potable según la Resolución Nacional 2115 del 2007 y de esta forma se reafirma la necesidad de implementar un sistema para tratar el agua del río con la que se abastece la comunidad.

5.4 TRABAJO DE CAMPO: TÉCNICAS, ESTRATEGIAS E INSTRUMENTOS

El proceso de recolección de datos e información se llevará a cabo en los primeros meses del año 2022, un mes es el tiempo promedio de estudio para comparar la medición experimental con algunas bases de datos como las ofrecidas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, de esta forma, es posible identificar el error que se presenta y decidir si es confiable trabajar con esas bases suministradas por el IDEAM, de manera que los datos obtenidos controlan la cantidad producida de agua potable estimada inicialmente por el modelo del destilador, ahora bien la energía solar estimada es indispensable para que tenga una eficiencia competitiva con respecto a otros prototipos construidos y lograr minimizar costos.

5.5 FASES DEL PROYECTO

Es la identificación de los métodos existentes con la finalidad de determinar el mejor diseño y construcción de un destilador solar activo en condiciones óptimas a fin de contribuir con el suministro de agua potable a la familia en cuestión, para finalmente llegar al confort de esta necesidad se debe seguir una metodología la cual se desarrolla mediante diferentes fases que están correlacionadas con los objetivos específicos planteados.

5.5.1 FASE I

Revisión Bibliográfica

Esta parte corresponde a hacer una investigación documental sobre los posibles sistemas para la destilación de agua por medio de energía solar para potabilizar el recurso hídrico, en consecuencia, una correcta revisión bibliográfica requiere los siguientes aspectos:

- Revisión del sector donde se aplicó el destilador.
- Revisión de conceptos, objetivos y análisis de datos empleados para la solución.
- Revisión en la eficiencia del equipo desarrollado, en otras palabras, la capacidad máxima de agua potable destilada o desalinizada.

5.5.2 FASE II

Determinar los parámetros funcionales y no funcionales

Esta parte hace referencia a la delimitación de los parámetros funcionales que corresponden a las características geográficas, ambientales y no funcionales, así como las restricciones de espacio y costo destinados para la construcción, por consiguiente, para una correcta delimitación es necesario determinar las siguientes variables:

- Latitud, declinación, ángulos horarios e incidentes del departamento de Santander, tomadas de referentes especializados en el sector geográfico como el IDEAM.
- Temperatura media del ambiente, velocidad del aire, radiación solar total y difusa del sector que pueden ser tomadas en atlas históricos como el IDEAM o medidas de forma experimental por un piranómetro.
- Evaluar y medir un espacio donde se aplicará el destilador solar.
- Definidos los parámetros funcionales y no funcionales, determinar un ángulo de inclinación de la superficie del vidrio, dependiendo de la época del año y la condición ambiental para el sector donde se hace el estudio, haciendo uso del solucionador de ecuaciones ingenieriles (EES).

5.5.3 FASE III

Despliegue de la función calidad (QFD)

Se hace referencia al método de gestión de calidad basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, es decir, las funciones que adopten más calidad para dar solución a la necesidad, pero en este proyecto hace referencia a tratar agua, entonces se tendrá como variables de calificación en la selección del sistema lo siguiente:

- Costo (\$ pesos).
- Confort y confiabilidad.
- Facilidad de construcción del prototipo.
- Coeficiente de desempeño energético (COP).
- Eficiencia (Capacidad de producción de agua potable en litros).

5.5.4 FASE IV

Simulación del sistema térmico para el diseño conceptual

Se plantean todos los posibles balances energéticos del sistema con el objetivo de ingresarlos inicialmente en el solucionador de ecuaciones para ingeniería (EES).

- Paso 1: Definir las propiedades térmicas, geométricas y mecánicas de los materiales con disponibilidad en el mercado nacional.
- Paso 2: Coeficiente global de pérdidas (convección + radiación).
- Paso 3: Conducción de calor que presenta el tubo por la constante de conductividad y su espesor entre superficies.
- Paso 4: Balance energético para la masa de agua depositada en el tubo y en caso de tener calor externo transferido al cuerpo de agua agregar el balance de energía.
- Paso 5: Estimación en la producción de agua en L/día por medio de condensado en la superficie definida.

5.5.5 FASE V

Construcción con base al diseño conceptual

Esta parte corresponde a la construcción y manufactura del equipo diseñado conceptualmente en donde es necesario hacer uso de una herramienta llamada SOLIDWORKS para modelar y generar los planos que posteriormente pasaran al taller de construcción, es necesario considerar los siguientes aspectos y pasos:

- Paso 1: Modelar las piezas en el programa lo más real posible.
- Paso 2: Ensamblar en SOLIDWORKS el sistema térmico por subsistemas.

- Paso 3: Explosionar los subsistemas y generar planos en el programa según normas NTC para el dibujo de plano técnico.
- Paso 4: Generar planos de detalle de todas las piezas para su fabricación o de ser posible especificar su disponibilidad en el mercado.
- Paso 5: Construcción del destilador Solar.

5.5.6 FASE VI

Análisis de resultados y pruebas del equipo

Para finalizar, la última etapa del proyecto se realizan análisis entre el diseño conceptual y lo real con el propósito de concluir el desempeño del equipo construido, donde se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- Paso 1: Pruebas de calidad físicas (color aparente, olor, sabor y turbiedad), químicas (cloro residual, pH, carbono orgánico total, nitritos, nitratos, alcalinidad total, cloruros, aluminio, dureza total, hierro total, manganesos, sulfatos, coliformes totales, coliforme fecales, mercurio, cianuro libre y dissociable) y microbiológicas del agua (coliformes totales, escherichia coli y mesófilos), por consiguiente es necesario cumplir con la resolución nacional 2115 del 2007 en las pruebas de calidad antes y después de ser procesada por el equipo.
- Paso 2: Análisis de resultados sobre el funcionamiento del sistema, por medio de los comportamientos registrados, con ayuda de sensores de temperatura, vasos de precipitado y piranómetros.
- Paso 3: Concluir y dar respuesta a la necesidad planteada.

6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente apartado, se encuentra la descripción de cada una de las fases que se llevaron a cabo dentro del proceso de diseño conceptual, construcción y aplicación del sistema, el cual, consta de 6 fases metodológicas para la correcta realización del proyecto.

6.1 RESOLUCIÓN FASE I

Esta fase comprende la revisión bibliográfica y de antecedentes con el fin, de contribuir en la selección del tipo de concentración de radiación solar, teniendo en cuenta, criterios tales como: condiciones del sector donde se aplicó, parámetros de diseño empleados y rendimiento del equipo. Las fuentes documentales son tomadas a nivel internacional, nacional y local, las cuales, aportan en especificaciones técnicas, materiales e insumos requeridos y el alcance de trabajo, que es visto como la capacidad máxima de producción de agua procesada en litros.

A nivel internacional, contribuye con la reducción de costos en la producción de agua, tipos de destilación de agua y cantidad mínima de consumo por persona; a nivel nacional, en conceptos térmicos, balances energéticos, análisis dimensionales y geométricos, disminución de costo debido al COP, durabilidad, viabilidad y disponibilidad en el mercado; a nivel local, aporta en base de datos del comportamiento promedio mensual de radiación, eficiencia total, geometría óptima, parámetros de operación variables como inclinación, mediciones experimentales mediante termocuplas y demás equipos.

6.2 RESOLUCIÓN FASE II

El proyecto está enfocado en el diseño y construcción de un sistema térmico denominado concentrador de radiación, el cual busca generar ebullición nucleada por medio de energía solar, logrando el cambio de fase (vapor de agua) para posteriormente condensarlo con el fin de uso doméstico.

Parámetros funcionales: Hace referencia a lo que debe realizar el sistema de forma cuantitativa. Se requiere llegar a la ebullición nucleada, la cual corresponde a una diferencia mínima de temperatura entre la superficie receptora de energía y el fluido de 5°C, considerando que la temperatura de saturación en ese instante corresponde a 96°C que es el mismo valor de ebullición para Bucaramanga, Santander.

Tabla 2 Parámetros requeridos de funcionamiento básico del destilador.

VARIABLE	VALOR	UNIDAD
Temperatura promedio del ambiente.	25	°C
Temperatura requerida: ebullición en Bucaramanga, Santander [959 m sobre el nivel del mar].	96	°C
Capacidad de concentración mínima.	2	-
Concentración de calor mínima para el precalentamiento [25°C – 96°C].	593560	W
Concentración de calor mínima para la ebullición nucleada (Δ Exceso: 5°C).	3615	W
Latitud Bucaramanga, Santander.	7.125	°

Fuente: Autores.

Usualmente los concentrados de radiación solar son situados en los techos de las casas, con el fin de evitar las sombras o dispersión de radiación, para este caso de estudio no es la excepción ya que se sitúa en la terraza de una casa con aproximadamente 55 metros cuadrados a una altura aproximada de 6 metros del suelo.

Tabla 3 Elementos requeridos para el funcionamiento del sistema de destilación.

Elemento	Característica
Superficie hiperbólica de captación y reflexión.	Se encarga de recibir y concentrar la mayor cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie (W/m ²).
Tubo al vacío de flujo directo.	Es el recipiente que contiene la masa de agua, por lo tanto, se encarga de almacenar la energía solar necesaria para evaporar el fluido.
Condensador.	Es el encargado de recibir el flujo de vapor para devolverlo a su estado inicial (Fase líquida).
Tanque de almacenamiento.	Mantiene el fluido estancado para generar el retorno de masa de agua al recipiente de trabajo (Tubo al vacío).
Termocuplas	Medir la temperatura del fluido en operación
piranómetro	Medir la radiación solar incidente sobre la superficie (Directa y Difusa).

Fuente: Autores.

Parámetros no funcionales: El sistema debe cumplir con el proceso de desinfección y mejora en su apariencia física para su uso doméstico, por lo tanto, la masa de agua que se obtiene después de su destilación es necesario llevar un control en su pH, de igual forma llevar a cabo análisis microbiológico, fisicoquímico y por último el grado de toxicidad con el que termina el proceso.

Vida útil: Se debe seleccionar materiales de alta durabilidad y resistente a la corrosión, ya que, el concentrador estará expuesto al medio ambiente constantemente, la mayoría de los elementos debe contar con protección IP35 que protege a los equipos contra leves exposiciones al agua o salpicaduras.

El concentrador de radiación debe ser simétrico respecto a su anchura y profundidad para que así pueda mantenerse erguido, soportando su peso, el tubo al vacío y la masa de fluido que se esté operando. De igual manera deber ser fácil su instalación entre la estructura y los elementos principales, de modo que, solo se conecta por tubería el tubo de vacío al condensador.

Distribución de agua: La distribución se enfoca en el retorno de masa, a medida que se va perdiendo en forma de vapor en el recipiente de captación de energía, se genera el ingreso de forma controlada, de modo que, no se evidencien sobre picos grandes en la temperatura del fluido, que puede presentar ineficiencia térmica en el sistema.

Apariencia: Es necesario el empleo de un material que no pierda reflectividad, en otras palabras, que no se decolore, no se oxide y altamente resistente a la radiación electromagnética emitida por el sol.

Mantenimiento: Al diseñar un sistema térmico, un enfoque principal es el mantenimiento rutinario necesario para que se pueda disminuir la pérdida de eficiencia, para este caso la limpieza a la superficie receptora-reflectante es de vital importancia para evitar pérdida en la eficiencia óptica del concentrador, de la misma manera, los sedimentos generados internamente en el tubo al vacío deben ser removidos, porque pueden generar resistencias de pérdidas térmicas por el espesor de incrustación.

Factores técnicos: Hace referencia a la parte técnica para la limpieza, instalación, factor ambiental y económico, en algunos es necesario tener presente la normativa correspondiente a la actividad que se está realizando.

Instalación: Los concentradores o captadores de energía solar comúnmente se instala en los tejados, una de las razones más prescindibles es para tener facilidad en la recepción de los rayos solares, además cualquier trabajado de inspección y mantenimiento se puede realizar por un agente de servicio, el cual debe estar capacitado para realizar trabajo en altura con respecto a la Resolución 4272 Colombiana del 2021, donde se afirma que la capacitación es necesaria para evitar cualquier tipo de lesiones personales o daños materiales a los usuarios del local escogido.

Limpieza: El recipiente en donde se evapora la masa de agua es un tubo al vacío de flujo directo, puede presentar una dificultad moderada al momento de retirar las incrustaciones generadas en las paredes, por consiguiente, puede requerir una limpieza especial que usualmente algunas empresas poseen el personal (Outsourcing).

Ambiental: Las condiciones ambientales para este proyecto están dadas por el manejo de agua como fluido primordial, por lo que el concentrador tiene presencia de agua estancada, dando paso a la cría de insectos en clima tropical, de igual manera, es importante tener presente normativa como. UNE 100030, la cual tiene como objetivo proporcionar los criterios u orientaciones para la prevención de la proliferación y diseminación de las bacterias.

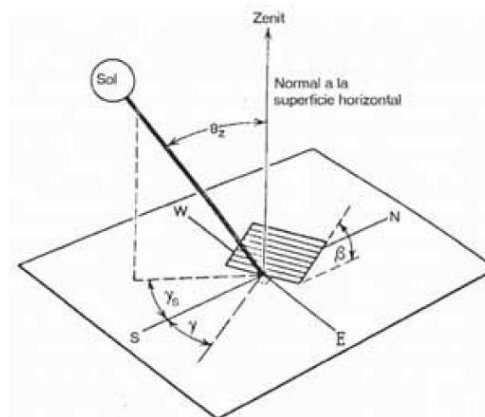
Económico: Los costos operativos son muy bajos, aproximadamente 1% en comparación con los métodos de destilación y procesamiento de agua comunes, que presentan consumo de potencia constante al sistema, el suministro de energía para este diseño es renovable y variante, porque se trata de parámetros incontrolables por el ser humano.

Un proyecto de investigación académica, novedoso por su funcionamiento a base de energía limpia, requiere inversiones bajas desde el punto de vista industrial, el cual hace referencia a, elementos requeridos por el sistema, instalación, transporte, etc.

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM & UPME, 2005, pág. 139), el espectro electromagnético generado por el sol se clasifica en 3 rangos ultravioletas; longitud de onda desde los 0,3 a 0,4 μm , visible desde los 0,4 a 0,7 μm e infrarrojo con intervalo de 0,7 a 0,5 μm y un tiempo atrás, se estandariza la medida de potencia sobre unidad de superficie, integrando la energía de las diferentes longitudes de onda nombradas anteriormente. Se han realizado estudios para la estimación de radiación solar directa y difusa sobre superficies horizontales e inclinadas, por lo que, tener un promedio anual sobre la incidencia de radiación solar en la superficie de la localidad donde se presente el proyecto de investigación, es de vital importancia para la obtención de un ángulo de inclinación óptimo para la demanda de energía solar emitida al año.

➤ **Estimación de la radiación solar global sobre superficies inclinadas.**

figura 12 Ángulos para la estimación en superficies inclinadas.



Fuente: (IDEAM & UPME, 2005, pág. 154)

La radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada H_{β} puede calcularse como:

$$H_{\beta} = R * H \quad (6.2.1)$$

$$R = \left(\frac{H - H_d}{H}\right) * R_b + \left(\frac{H_d}{H}\right) * \frac{(1 + \cos(\beta))}{2} + r * \frac{(1 - \cos(\beta))}{2} \quad (6.2.2)$$

En donde:

H: es la radiación global diaria promedio mensual sobre una superficie horizontal.

R_b : Razón obtenida del promedio diario mensual de la radiación sobre una superficie inclinada con respecto a una horizontal.

H_d : Radiación solar difusa.

β : Inclinación de la superficie receptora.

r: Reflectancia de la superficie donde se encuentre el objeto de medición.

Por lo tanto, la ecuación para la radiación global diaria promedio mensual sobre superficies inclinadas puede ser calculada como:

$$H_{\beta} = (H - H_d) * R_b + H_d * \frac{(1 + \cos(\beta))}{2} + H * r * \frac{(1 - \cos(\beta))}{2} \quad (6.2.3)$$

Para superficies en el hemisferio norte, inclinadas y orientadas hacia el sur, es posible calcular R_b mediante la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega'_s * \text{sen}(\varphi - \beta) * \text{sen}(\delta)}{\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega'_s * \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)} \quad (6.2.4)$$

Para superficies en el hemisferio sur, inclinadas y orientadas hacia el norte, es posible calcular R_b mediante la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi + \beta) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega'_s * \text{sen}(\varphi + \beta) * \text{sen}(\delta)}{\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * \omega'_s * \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta)} \quad (6.2.5)$$

ω'_s : es el ángulo de puesta del sol sobre una superficie inclinada y su valor debe ser el mínimo entre dos ángulos estimativos.

Con orientación al sur:

$$\omega'_s = \text{mín}[\arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta)) , \arccos(-\tan(\varphi - \beta) * \tan(\delta))] \quad (6.2.6)$$

Con orientación al norte:

$$\omega'_s = \text{mín}[\arccos(-\tan(\varphi) * \tan(\delta)) , \arccos(-\tan(\varphi + \beta) * \tan(\delta))] \quad (6.2.7)$$

φ : Latitud del lugar en grados.

δ : Declinación.

El promedio mensual de radiación solar global incidente en la superficie de Colombia se va a obtener por medio de datos históricos suministrados por el IDEAM, en consecuencia, es necesario estimar teóricamente la radiación difusa por el índice de claridad K_t .

$$\frac{H}{H_o} = K_t \quad (6.2.8)$$

H_o : Es la radiación solar fuera de la atmosfera para la misma localización, promediada sobre el mismo periodo de tiempo.

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} * \left(1 + 0,33 * \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right) \cos\varphi \cos\delta \cos\omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} * \sin\varphi \sin\delta \quad (6.2.9)$$

ω_s : es la hora angular de la puesta del sol.

$$\omega_s = \frac{\sin\varphi * \sin\delta}{\cos\varphi * \cos\delta} = -\tan\varphi * \tan\delta \quad (6.2.10)$$

G_{sc} : Constante solar.

$$G_{sc} = 1367 \left[\frac{W}{m^2}\right] \quad (6.2.11)$$

n : Día del año.

La declinación es el ángulo entre el plano ecuatorial (Plano horizontal) y la línea entre el centro de la tierra a el centro del sol; al norte es positivo y oscila entre $[-23,45^\circ - 23,45^\circ]$.

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right) \quad (6.2.12)$$

La relación de radiación global que llega a la superficie sobre radiación difusa es una función de K_t y se representa mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0.99, & K_t \leq 0.17 \\ 1.188 - 2.272 * K_t + 9.473 * K_t^2 - 21.865 * K_t^3 + 14.648 * K_t^4, & 0.17 < K_t < 0.75 \\ -0.54 * K_t + 0.632, & 0.75 < K_t < 0.8 \\ 0.2, & K_t \geq 0.8 \end{cases}$$

Para dar solución al ángulo de inclinación óptimo, es necesario tener valores históricos de radiación global, los cuales son suministrados por el IDEAM para Santander, Colombia (Benavides Ballesteros et al., 2017).

Tabla 4 Tabla Datos promedios anuales.

Datos promedios anuales correspondientes a Santander, Colombia.		
Mes del año	Día promedio	Radiación global promedio mensual H [W-h/m ² -dia]
Enero	15	4200
Febrero	46	3900
Marzo	75	3800
Abril	106	3700
Mayo	136	3700
Junio	167	3400
Julio	197	4300
Agosto	228	3800
Septiembre	259	3800
Octubre	289	3800
Noviembre	320	3700
Diciembre	350	3800

Fuente: Autores.

La inclinación mínima para que el tubo al vacío de flujo directo funcione como recipiente receptor para ebullición del agua, se propone desde los 20° en adelante, debido a que, el tubo no debe quedar horizontal con respecto al eje plano de la superficie, porque la diferencia de densidades y convección natural generada al fluido puede hacer rebosar el agua estancada sin terminar el proceso de desinfección (destilación).

Se realiza 3 iteraciones sobre la inclinación de la superficie con **orientación hacia el sur**, de tal forma que el valor acumulado anual mayor dará respuesta al ángulo óptimo de la superficie receptora del concentrador.

Tabla 5 Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 20° - SUR.

1..12	1 β	2 n	3 H	4 Hd	5 Ho	6 $H_{\beta, prom}$ [W/m ²]
Run 1	20	15	4200	3478	11786	345,7
Run 2	20	46	3900	3350	11857	321,6
Run 3	20	75	3800	3222	11205	313
Run 4	20	106	3700	2943	9683	320,1
Run 5	20	136	3700	2504	8060	345,8
Run 6	20	167	3400	2157	7041	331,9
Run 7	20	197	4300	1703	7074	439,5
Run 8	20	228	3800	2499	8086	343,5
Run 9	20	259	3800	2941	9558	317
Run 10	20	289	3800	3153	10704	312,7
Run 11	20	320	3700	3180	11265	305,7
Run 12	20	350	3800	3259	11509	314,4

Fuente: Autores.

Para 20° se puede notar un sobre pico referente al máximo en el mes de julio con un valor de 439 [W/m²] y un mínimo de 305 [W/m²] para el mes de noviembre, presentando un acumulado total anual de radiación global promedio incidente en la superficie en un instante de tiempo a 4010,9 [W/m²].

Tabla 6 Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 30° - SUR.

1..12	1 β	2 n	3 H	4 Hd	5 Ho	6 $H_{\beta, prom}$ [W/m ²]
Run 1	30	15	4200	3478	11786	337,7
Run 2	30	46	3900	3350	11857	315,5
Run 3	30	75	3800	3222	11205	309,7
Run 4	30	106	3700	2943	9683	330,8
Run 5	30	136	3700	2504	8060	382,5
Run 6	30	167	3400	2157	7041	381,2
Run 7	30	197	4300	1703	7074	522,9
Run 8	30	228	3800	2499	8086	369,6
Run 9	30	259	3800	2941	9558	318,7
Run 10	30	289	3800	3153	10704	307,8
Run 11	30	320	3700	3180	11265	298,9
Run 12	30	350	3800	3259	11509	306,9

Fuente: Autores.

Tabla 7 Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 45° - SUR.

1..12	1 β	2 n	3 H	4 Hd	5 Ho	6 $H_{\beta, \text{prom}}$ [W/m ²]
Run 1	45	15	4200	3478	11786	324,8
Run 2	45	46	3900	3350	11857	304,9
Run 3	45	75	3800	3222	11205	305
Run 4	45	106	3700	2943	9683	358,9
Run 5	45	136	3700	2504	8060	487,8
Run 6	45	167	3400	2157	7041	534,2
Run 7	45	197	4300	1703	7074	780,4
Run 8	45	228	3800	2499	8086	440,6
Run 9	45	259	3800	2941	9558	326,1
Run 10	45	289	3800	3153	10704	300,1
Run 11	45	320	3700	3180	11265	287,2
Run 12	45	350	3800	3259	11509	293,9

Fuente: Autores.

De igual forma para los 30° y 45° se puede notar un sobre pico referente al máximo en el mes de julio con un valor de 522,9 y 780,4 [W/m²] respectivamente, junto a un mínimo de 298,8 y 287,2 [W/m²] para el mes de noviembre, presentando un acumulado total anual de radiación global promedio incidente en la superficie en un instante de tiempo a 4182,2 y 4743,9 [W/m²]. Se repite el mismo procedimiento con una **orientación hacia el norte** considerando los mismo ángulos y parámetros funcionales del análisis de estudio para una orientación hacia el sur.

Tabla 8 Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 20° - NORTE.

1..12	1 β	2 n	3 H	4 Hd	5 Ho	6 $H_{\beta, \text{prom}}$ [W/m ²]
Run 1	20	15	4200	3478	11786	426,1
Run 2	20	46	3900	3350	11857	361,7
Run 3	20	75	3800	3222	11205	323,6
Run 4	20	106	3700	2943	9683	301
Run 5	20	136	3700	2504	8060	290,4
Run 6	20	167	3400	2157	7041	261
Run 7	20	197	4300	1703	7074	328,1
Run 8	20	228	3800	2499	8086	305,7
Run 9	20	259	3800	2941	9558	318,8
Run 10	20	289	3800	3153	10704	345,3
Run 11	20	320	3700	3180	11265	363,1
Run 12	20	350	3800	3259	11509	389,2

Fuente: Autores.

Tabla 9 Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 30° - NORTE.

1..12	1 β	2 n	3 H	4 Hd	5 Ho	6 $H_{\beta, prom}$ [W/m ²]
Run 1	30	15	4200	3478	11786	487
Run 2	30	46	3900	3350	11857	385,9
Run 3	30	75	3800	3222	11205	327,7
Run 4	30	106	3700	2943	9683	299,8
Run 5	30	136	3700	2504	8060	288
Run 6	30	167	3400	2157	7041	257,6
Run 7	30	197	4300	1703	7074	327,7
Run 8	30	228	3800	2499	8086	306,1
Run 9	30	259	3800	2941	9558	322,3
Run 10	30	289	3800	3153	10704	364,6
Run 11	30	320	3700	3180	11265	403,3
Run 12	30	350	3800	3259	11509	447,3

Fuente: Autores.

Tabla 10 Tabla radiación promedio que incide en la superficie a 45° - NORTE.

1..12	1 β	2 n	3 H	4 Hd	5 Ho	6 $H_{\beta, prom}$ [W/m ²]
Run 1	45	15	4200	3478	11786	746,8
Run 2	45	46	3900	3350	11857	466,8
Run 3	45	75	3800	3222	11205	342,7
Run 4	45	106	3700	2943	9683	300,3
Run 5	45	136	3700	2504	8060	287,8
Run 6	45	167	3400	2157	7041	256,1
Run 7	45	197	4300	1703	7074	338,5
Run 8	45	228	3800	2499	8086	312,4
Run 9	45	259	3800	2941	9558	335,3
Run 10	45	289	3800	3153	10704	426,2
Run 11	45	320	3700	3180	11265	560,1
Run 12	45	350	3800	3259	11509	714,8

Fuente: Autores.

Al realizar de nuevo el análisis con orientación hacia el norte para los 20°, 30° y 45° de inclinación, se puede notar un sobre pico referente al máximo en el mes de enero con un valor de 426,1, 487 y 746,8 [W/m²] respectivamente, junto a un mínimo de 261, 257,6 y 256,1 [W/m²] para el mes de junio, presentando un acumulado total anual de radiación global promedio incidente en

la superficie en un instante de tiempo a 4014, 4217 y 5087,8 [W/m²]. El sistema debe cumplir con una demanda de agua procesada diaria para el consumo doméstico, por lo tanto, se selecciona el ángulo de inclinación de acuerdo con el mínimo valor mensual del año, es importante recordar que se requiere una cantidad de concentración de energía mínima para lograr la ebullición nucleada. En conclusión, la inclinación óptima corresponde a 20° con respecto a la horizontal de la superficie.

6.3 RESOLUCIÓN FASE III

De acuerdo con Cesar Antonio Echevarría (2011, pág. 30) la manera más aceptable de clasificar los colectores en los sistemas térmicos es por su aplicación en los procesos industriales, son 3 los sistemas más desarrollados referentes a generación termo solar de potencia, calor para procesos industriales, calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios. El calentamiento de fluidos es el proceso con mayor grado de estudio alcanzado hasta el momento en varios países del mundo, sin embargo, es necesario trabajar posteriormente en la integración a sistemas de potencia actuales u generar un nuevo diseño dependiente única y exclusivamente de calentadores con temperaturas superiores a los 120°C.

Las tres categorías aplicativas de forma industrial anteriormente enunciadas presentan dos divisiones referentes a la capacidad de concentración de radiación solar, una es sin concentración de imagen espectral a la superficie receptora o foco, esto da a entender, que la superficie de absorción está muy cercana o equivalentemente igual a la receptora, por lo que, no hay posibilidad que se genere un seguimiento solar con respecto a la hora del día y esto disminuye el costo o lo hace relativamente atractivo en algunas aplicaciones de procesos simples, la segunda hace referencia a la capacidad de focalizar una imagen en el área receptora (pequeña) por medio de una superficie reflectora cóncava (grande), esto se realiza con el fin de incrementar el flujo radiactivo



e intentar disminuir las fluctuaciones por pérdida de calor, seguida de disminuciones efectivas de la óptica del concentrador.

En la mayoría de las aplicaciones de concentradores con capacidad de focalizar una imagen se busca la forma de enfocar con una trayectoria directa al sol durante el día, gran parte de estos sistemas de concentración llevan consigo mismos un sistema de seguimiento del disco solar; en función a la trayectoria de movimiento solar es posible clasificar en estacionarios, que hace referencia a, orientación sur, norte, este, oeste, etc. Con aprovechamiento de medio día de horas sol, rastreo alrededor de 1 eje o 2 ejes, basado en el aprovechamiento total de las horas sol.

El índice o capacidad de concentración “C” es la razón entre el área de entrada (apertura de la superficie reflectora en m²) y el área de salida (superficie de absorción en m²), se puede considerar una propiedad de clasificación y selección, con concentración ($C > 1$) destacados algunos como: Colector de campo de helióstatos (HFC), cilindro parabólico (PTC), reflector de disco parabólico (PDR), parabólico compuesto (CPC) y reflector de Fresnel lineal (LFR), sin concentración ($C = 1$) los cuales son representados por colectores de tubos al vacío (ETC), placa plana (FPC) y algunos tipos de parabólico compuesto (CPC).

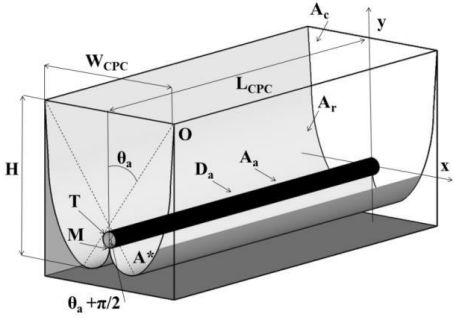

Se propone diversas alternativas para procesar el agua contaminada del río de oro, se inicia a través de un análisis ponderado, el cual busca calificar dichas opciones y seleccionar la solución más adecuada a los parámetros de selección. La correcta elección del tipo de concentrador a emplear se determina por medio de un cuadro llamado: despliegue de función de calidad (QFD), para la calificación de cada parámetro de selección se utiliza puntajes de 1 a 5, siendo 5 la calificación más alta y 1 las más baja, se tiene en cuenta la teoría descrita en (Echevarría López, 2011, pág. 32).

Tabla 11 QFD (FPC y ETC).

PARAMETROS DE SELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA TÉRMICO.	TIPOS DE CONCENTRADORES SOLARES			
	Placa plana (FPC).		Tubo evacuado (ETC).	
	 <p>Fuente: https://es.made-in-china.com/co_en-source/product_Flat-Plate-Solar-Collector-for-Solar-Water-Heater-System_rhyhuyghg.html</p>		 <p>Fuente: https://sp.depositphotos.com/stock-photos/tubo-evacuado.html</p>	
	Valor o descripción	Puntaje	Valor o descripción	Puntaje
Seguimiento solar del sistema.	Estacionario.	2	Estacionario.	2
Capacidad de concentración.	C: 1	1	C:1	1
Costo.	Muy Bajo desde la industria.	5	Muy Bajo desde la industria.	5
Facilidad de construcción.	Relativamente Fácil.	4	Tedioso por la inyección del tubo al vacío.	3
Confiabilidad de la demanda.	T: [30°C - 80°C]	1	T: [50°C - 200°C]	3
Eficiencia térmica.	Sin concentración solar η_t : [30% - 50%]	1	Sin concentración solar η_t : [30% - 50%]	1
Desempeño energético (COP).	Energía renovable.	5	Energía renovable.	5
Tipo de superficie absorbente.	Plana.	3	Plana	3
Total.	Acumulado de puntuación QFD	22	Acumulado de puntuación QFD	23


Fuente: Autores.

Tabla 12 QFD (CPC y LFR).

PARAMETROS DE SELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA TÉRMICO.	TIPOS DE CONCENTRADORES SOLARES			
	Parabólico compuesto (CPC).		Reflectores Fresnel (LFR).	
	 <p>Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Eschema-del-concentrador-parabolo-compuesto-con-absorbedor-tubular-Las_fig2_309908494</p>	 <p>Fuente: https://pixels.com/featured/compact-linear-fresnel-reflector-us-department-of-energy.html</p>		
Valor o descripción	Puntaje	Valor o descripción	Puntaje	
Seguimiento solar del sistema.	Estacionario y 1 eje	4	1 eje	4
Capacidad de concentración.	C: [1 – 15]	3	C: [10 – 40]	3
Costo.	Muy Bajo desde la industria.	5	Relativamente Bajo desde la industria.	4
Facilidad de construcción.	Fácil (molde del perfil hiperbólico).	5	Tedioso por el seguimiento solar	3
Confiabilidad de la demanda.	T: [70°C – 290°C]	5	T: [60°C – 250°C]	5
Eficiencia térmica.	Con concentración solar η_t : [60% – 90%]	3	Con concentración solar η_t : [60% – 90%]	3
Desempeño energético (COP).	Energía renovable.	5	Energía renovable.	5
Tipo de superficie absorbente.	Tubular.	4	Tubular.	4
Total.	Acumulado de puntuación QFD	34	Acumulado de puntuación QFD	31

Fuente: Autores.

Tabla 13 QFD (PTC y PDR).

PARAMETROS DE SELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA TÉRMICO.	TIPOS DE CONCENTRADORES SOLARES			
	Cilindro parabólico (PTC).		Disco parabólico (PDR).	
	 <p>Fuente: https://www.energiasolar.lat/colector-solar-termico/</p>		 <p>Fuente: https://misionesonline.net/2012/04/11/la-energia-solar-es-una-alternativa-para-generar-electricidad-en-todo-el-pais/</p>	
	Valor o descripción	Puntaje	Valor o descripción	Puntaje
Seguimiento solar del sistema.	1 eje	4	2 ejes	5
Capacidad de concentración.	C: [15 – 45]	4	C: [100 – 1000]	5
Costo.	Relativamente alto desde la industria.	3	Relativamente Bajo desde la industria.	4
Facilidad de construcción.	Tedioso por el seguimiento y estructura	3	Fácil (molde del disco) y tedioso por seguimiento.	3
Confiabilidad de la demanda.	T: [70°C – 290°C]	5	T: [100°C – 500°C]	2
Eficiencia térmica.	Con concentración solar η_t : [60% – 90%]	3	Con concentración solar η_t : [75% – 95%]	4
Desempeño energético (COP).	Energía renovable.	5	Energía renovable.	5
Tipo de superficie absorbente.	Tubular.	4	Focal.	5
Total.	Acumulado de puntuación QFD	31	Acumulado de puntuación QFD	33

Fuente: Autores.

Tabla 14 QFD (HFC y Horno solar).

PARAMETROS DE SELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA TÉRMICO.	TIPOS DE CONCENTRADORES SOLARES			
	Helióstato (HFC).		Horno solar.	
				
	Fuente: https://www.solarinfo.es/2022/05/02/uc3m-patenta-metodo-optimizar-funcionamiento-centrales-termosolares		Fuente: https://www.istockphoto.com/es/fotos/horno-solar	
	Valor o descripción	Puntaje	Valor o descripción	Puntaje
Seguimiento solar del sistema.	2 ejes	5	2 ejes	5
Capacidad de concentración.	C: [100 – 1500]	5	C: [1500 – 5000]	5
Costo.	Muy alto desde la industria.	2	Muy alto desde la industria.	2
Facilidad de construcción.	Tedioso por el seguimiento y estructura	3	Tedioso por el seguimiento y estructura	3
Confiabilidad de la demanda.	T: [150°C – 2000°C]	1	T: [600°C – 3000°C]	1
Eficiencia térmica.	Con concentración solar η_t : [85% – 95%]	5	Con concentración solar η_t : [85% – 95%]	5
Desempeño energético (COP).	Energía renovable.	5	Energía renovable.	5
Tipo de superficie absorbente.	Focal.	5	Focal.	5
Total.	Acumulado de puntuación QFD	31	Acumulado de puntuación QFD	31

Fuente: Autores.

Se concluye a partir del despliegue de función de calidad (QFD) el cual considera parámetros como: seguimiento solar del sistema, capacidad de concentración, costo de elaboración, facilidad de construcción, confiabilidad de la demanda, eficiencia térmica, desempeño energético (COP) y el tipo de superficie absorbente, una puntuación de 34 puntos para el sistema que mejor se adapta al proceso de destilación de agua contaminada por medio de ebullición nucleada es el concentrador parabólico compuesto (CPC), por lo tanto, se realiza el diseño conceptual y construcción a partir de este equipo.

Los colectores con concentración de energía solar correspondiente al enfoque de este diseño para posteriormente su construcción; son usados esencialmente en procesos térmicos de precalentamiento o generación de vapor, por lo que, un buen acabado en la superficie reflectante logra obtener entre 100°C a 500°C y para un acabado perfecto entre 1500°C a 3500°C. Ahora bien, el trabajo de temperaturas se puede considerar alto, pero a consecuencia de un costo más elevado en seguidores solares y mantenimiento del equipo para evitar pérdida de propiedades en los materiales a consecuencia de la interacción constante con el medio ambiente.

El seguimiento solar para un concentrador parabólico genera un incremento notorio en el costo, por lo que usualmente se opta por los sistemas estacionarios. Hay ventajas muy representativas entre un sistema de concentración de energía con respecto a los convencionales tales como:

- La temperatura de trabajo en el fluido es más alta, por lo que, la eficiencia térmica también incrementa.
- La razón de concentración “C” genera una disminución notable en las pérdidas térmicas de los procesos.
- Emplean radiación directa y de acuerdo con su área de apertura implementa la difusa.

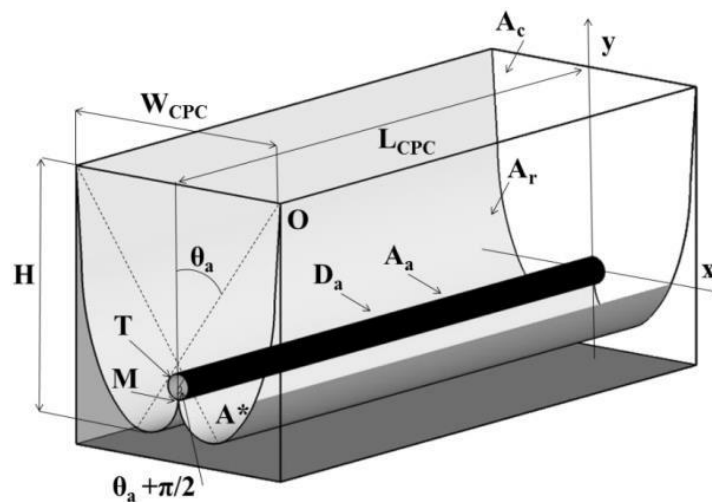
De igual forma se presentan desventajas, tales como:

- La implementación de los seguidores solares alrededor de un eje encarece el diseño, con el fin de mejorar la eficiencia e incrementar la radiación total diaria.
- Pérdida de propiedades en el material reflector, por lo tanto, es necesario un mantenimiento periódico enfocado en la limpieza de la superficie reflectora.

Los colectores parabólicos compuestos (CPC) tienen la capacidad de una reflexión lineal hacia el foco tubular, por medio de, la superficie hiperbólica que genera las reflexiones internas, gran parte de la radiación solar que entre en el ángulo de aceptación ($2\theta_a$) del concentrador puede ser acumulado en la superficie absorbente externa del tubo.

El ángulo de aceptación es elegido de acuerdo con el tipo de aplicación del colector; para este caso se selecciona θ_a por la capacidad de cubrir la declinación del sol durante todo el año, el movimiento máximo por estaciones para el sol esta entre los $23,5^\circ$, por lo tanto, el ángulo de aceptación mínimo para cumplir la recepción anual de energía es de 47° .

figura 13 Isométrico y componentes principales del CPC



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Eschema-del-concentrador-parablico-compuesto-con-absorbedor-tubular-Las_fig2_309908494.

6.4 RESOLUCIÓN FASE IV

6.4.1 ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL CPC

Inicialmente debe generarse el perfil de la **involuta**, el cual está dado por la siguiente ecuación o relación matemática descrita por (Aguilar et al., 2018, pág. 223).

$$\rho_{(\theta)} = r * \theta \quad ; \quad \text{donde: } \theta \leq \theta_a + \frac{\pi}{2} \quad (6.4.1)$$

Considerando que:

r: radio del tubo absorbente.

θ : ángulo para el perfil en radianes.

θ_a : ángulo de aceptación en radianes “23.5° es el movimiento angular del sol en el año”.

Seguidamente debe completarse la hipérbole y, por lo tanto, se genera el perfil de la **parábola**, el cual está dado por la siguiente ecuación o relación matemática:

$$\rho_{(\theta)} = r * \left[\frac{\theta + \theta_a + \frac{\pi}{2} - \cos(\theta - \theta_a)}{1 + \sin(\theta - \theta_a)} \right] \quad ; \quad \text{donde: } \theta_a + \frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{3\pi}{2} - \theta_a \quad (6.4.2)$$

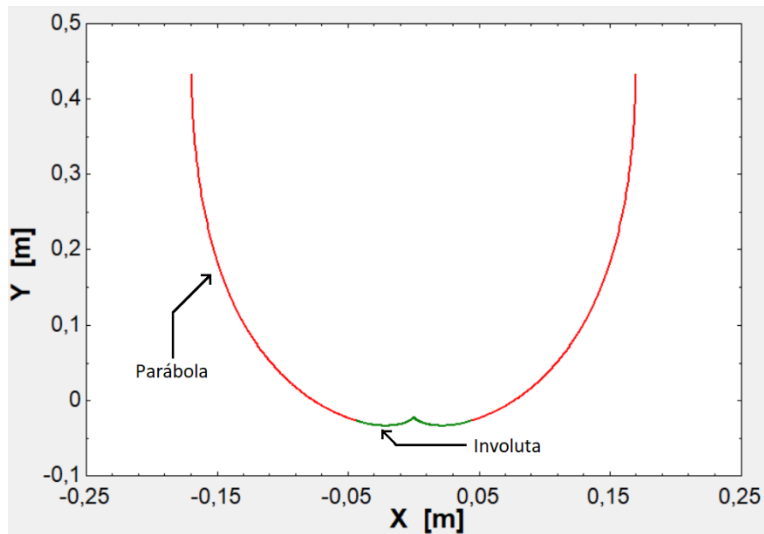
Para dibujar el perfil total de la hipérbole (involuta + parábola) es necesario el uso de coordenadas cartesianas, entonces:

$$x = (r * \text{sen}(\theta) - \rho * \text{cos}(\theta)) \hat{i} \quad (6.4.3)$$

$$y = (- r * \text{cos}(\theta) - \rho * \text{sen}(\theta)) \hat{j} \quad (6.4.4)$$

Los datos cartesianos obtenidos para el diseño de la hipérbole son mostrados en la siguiente figura:

figura 14 Diseño del perfil hiperbólico.

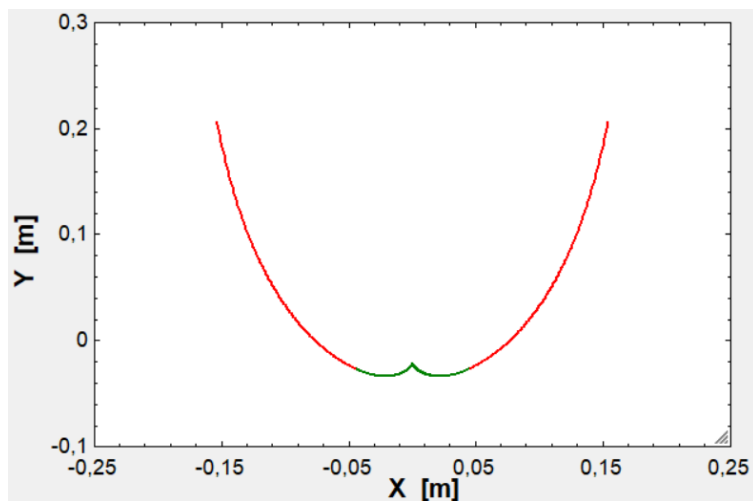


Fuente: Autores.

Es posible recortar la altura de la hipérbole a la mitad sin afectar la eficiencia del sistema, entonces se reduce el costo para la elaboración del CPC (Echevarría, 2011, pág. 65).

La representación final se muestra en la siguiente figura:

figura 15 Modificación para construcción de la hipérbole



Fuente: Autores.

Seguidamente de tener el perfil graficado de forma cartesiana es necesario construir el perfil hiperbólico en lámina de acero inoxidable calibre 20, donde las áreas de funcionamiento térmico pueden ser medidas por las siguientes relaciones matemáticas descrita por (Aguilar-Jiménez et al., 2018, pág. 223).

$$A_c = \text{Ancho} * \text{Longitud} = W * L_{\text{lamina}} \quad (6.4.5)$$

$$A_a = 2\pi * r * L_{\text{tubo}} \quad (6.4.6)$$

$$A_r = \frac{L_{\text{lamina}}}{2} * \left(\sqrt{4 * h_{\text{lamina}}^2 + W^2} + \frac{W^2}{2 * h_{\text{lamina}}^2} * \ln \left(\frac{2 * h_{\text{lamina}} + \sqrt{4 * h_{\text{lamina}}^2 + W^2}}{W} \right) \right) \quad (6.4.7)$$

Tener en cuenta que:

A_c : Área de la cubierta (apertura total del CPC)

A_a : Área del tubo absorbente

A_r : Área de la lámina reflectora

h_{lamina} : Altura total del CPC

Las dimensiones y áreas reales del CPC después de generar el truncamiento a la mitad de altura:

$$W = 0,3073 \text{ [m]}$$

$$H = 0,2406 \text{ [m]}$$

$$A_c = 0,5532 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_a = 0,2432 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_r = 0,65 \text{ [m}^2\text{]}$$

Tabla 15 Especificaciones de la superficie reflectante.

Datos técnicos de la superficie reflectante	
Tipo de material.	Acero inoxidable
Área de la superficie.	0.65 [m ²]
Calibre.	20 (0.91mm)
Ancho (apertura).	0.31 [m]
Largo.	1.60 [m]
Propiedades del material	
Conductividad térmica.	15.1 [W/m*K]
Emisividad (ε).	0.6
Absortividad (α).	0.37
Transmisividad (τ).	0
Reflectividad (ρ_r).	0.63
Densidad (ρ).	8055 [Kg/m ³]

Fuente: Autores.

Tabla 16 Especificaciones de la superficie absorbente.

Datos técnicos de la superficie absorbente	
Tipo de material.	Metal plateado
Área de la superficie.	0.25 [m ²]
Espesor.	0.8 [mm]
Diámetro.	4.3 [cm]
Largo.	1.60 [m]
Propiedades del material absorbente	
Conductividad térmica.	222 [W/m*K]
Emisividad.	0.08
Absortividad.	0.92
Transmisividad.	0
reflectividad.	0.08
Densidad.	2739 [Kg/m ³]
Datos técnicos de la superficie transparente en vacío	
Tipo de material.	Vidrio Pyrex
Diámetro exterior.	5.7 [cm]
Diámetro interior.	4.3 [cm]
Espesor.	3 [mm]
Propiedad del material transparente	
Conductividad térmica.	0.7 [W/m*K]
Transmisividad.	0.86
Densidad.	2225 [Kg/m ³]

Fuente: Autores.

De acuerdo con el diseño del perfil hiperbólico se seleccionan los materiales, en las tablas 1 y 2 se muestra las propiedades correspondientes al tipo de material, es posible efectuar la eficiencia óptica del concentrador por medio de la siguiente correlación matemática según Echevarría (2011, pág. 83).

$$\eta_{\text{optica}} = \tau_{\text{vidrio}}^2 * \rho_{\text{reflector}}^{n_{\text{cpc}}} * \alpha_{\text{absorbedor}} * P \quad (6.4.8)$$

Tener en cuenta que:

n_{cpc} : Número promedio de las reflexiones.

P : Corrección por pérdidas (distancia entre el tubo y la lámina).

τ_{vidrio} : Transmisividad del vidrio del tubo al vacío.

$\rho_{\text{reflector}}$: Reflectividad de la superficie reflectora.

$\alpha_{\text{absorbedor}}$: Absortividad de la superficie absorbente.

$$C_A: \text{razón de concentración} = \frac{A_c}{A_a} \rightarrow C_A = \frac{0,5532 \text{ [m}^2\text{]}}{0,2432 \text{ [m}^2\text{]}} = 2,27$$

$$n_{\text{cpc}} = 1 - \frac{1}{C_A} \rightarrow n_{\text{cpc}} = 1 - \frac{1}{2,27} = 0,56$$

$$g_p: \text{perdida por holgura} \rightarrow g_p = 0,01 \text{ [m]}$$

$$P = 1 - \frac{g_p}{2 * \pi * r} \rightarrow P = 1 - \frac{0,01 \text{ [m]}}{2 * \pi * 0,0215 \text{ [m]}} = 0,93$$

$$\eta_{\text{optica}} = 0,86 * 0,63^{0,56} * 0,92 * 0,93$$

$$\eta_{\text{optica}} = 0,568 \rightarrow \boldsymbol{\eta_{\text{optica}} = 56,8\%}$$

La construcción de la superficie reflectante se construye por las coordenadas cartesianas presentadas en la figura 14, emplea lámina de acero inoxidable de calibre 20 para obtener mayor facilidad al momento de generar la sección reflectora, el perfil hiperbólico se genera por medio de una dobladora CNC con el fin de obtener la mejor similitud con respecto al diseño geométrico de la superficie, evitando pérdida en el número de reflexiones, el cual, repercute en la óptica del concentrador.

6.4.2 ANÁLISIS TÉRMICO DEL CPC

Inicialmente se debe considerar el parámetro básico para cualquier sistema de transferencia de calor, para este caso, es referente a la eficiencia térmica del CPC estimado por la siguiente ecuación descrita por (Aguilar-Jiménez et al., 2018).

$$\eta_{\text{termica}} = \frac{Q_{u-f}}{G * A_c} \quad (6.4.9)$$

Q_{u-f} : Calor útil absorbido por el fluido.

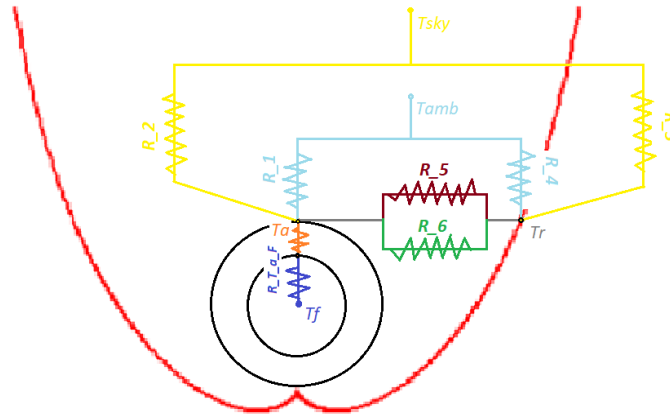
G: Radiación total durante las horas de operación.

El comportamiento del fluido debe iniciar con un **precalentamiento** desde los 25°C hasta los 96°C que es el punto crítico para iniciar con la ebullición en Bucaramanga-Santander.

$$Q_{u_{\text{abs}}} = S * A_c - \frac{T_a - T_{\text{amb}}}{R_{T_{\text{perdidas}}}} \quad (6.4.10)$$

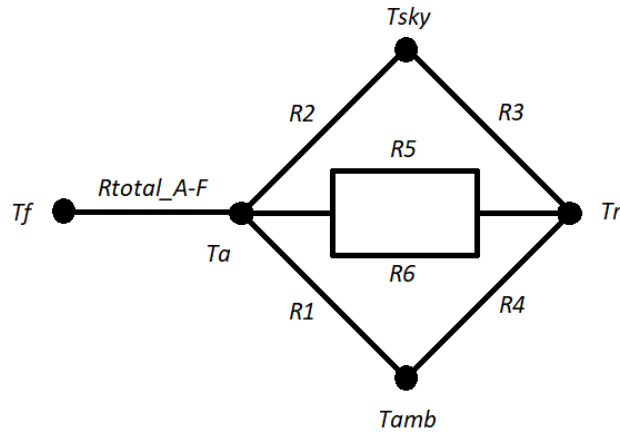
$$Q_{u_f} = \frac{T_a - T_f}{R_{T_{a-f}}} \quad (6.4.11)$$

figura 16 Diagrama de resistencias térmicas.



Fuente: Autores.

figura 17 Diagrama total de resistencias térmicas.



fuentes Autores.

$$R_1 = \frac{1}{h_{conv_{a-amb}} * A_a} ; \text{convección entre la superficie absorbente y el ambiente.} \quad (6.4.12)$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{rad_{a-sky}} * A_a} ; \text{radiación entre la superficie absorbente y los alrededores.} \quad (6.4.13)$$

$$R_3 = \frac{1}{h_{rad_{r-sky}} * A_r} ; \text{radiación entre la superficie reflectora y los alrededores.} \quad (6.4.14)$$

$$R_4 = \frac{1}{h_{\text{conv}r-\text{amb}} * A_r} ; \text{convección entre la superficie reflectora y el ambiente.} \quad (6.4.15)$$

$$R_5 = \frac{1}{h_{\text{rad}a-r} * A_a} ; \text{radiación entre la superficie absorbente y el reflector.} \quad (6.4.16)$$

$$R_6 = \frac{1}{h_{\text{conv}a-r} * A_a} ; \text{convección entre la superficie absorbente y el reflector.} \quad (6.4.17)$$

Coeficientes de convección:

$$h_{\text{conv}a-\text{amb}} = (5,7 + 3,8 * V_{\text{viento}}) \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (6.4.18)$$

$$h_{\text{conv}r-\text{amb}} = (5,7 + 3,8 * V_{\text{viento}}) * \frac{A_r}{A_a} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (6.4.19)$$

$$h_{\text{conv}a-r} = 3,25 + 0,0085 * \frac{T_a - T_r}{4 * r} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (6.4.20)$$

Coeficientes de radiación:

$$h_{\text{rad}a-\text{sky}} = \varepsilon_a * \sigma * (T_a^2 + T_{\text{sky}}^2) * (T_a + T_{\text{sky}}) \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (6.4.21)$$

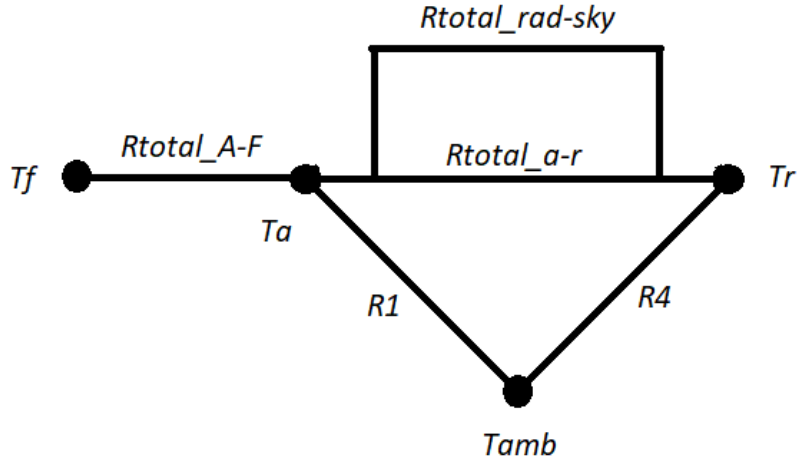
$$h_{\text{rad}r-\text{sky}} = \varepsilon_r * \sigma * (T_r^2 + T_{\text{sky}}^2) * (T_r + T_{\text{sky}}) \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (6.4.22)$$

$$h_{\text{rad}a-r} = \frac{\sigma * (T_a^2 + T_r^2) * (T_a + T_r)}{\frac{1 - \varepsilon_r}{\varepsilon_r} + \frac{1}{F_{a-r}} + \frac{1 - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} * \frac{A_r}{A_a}} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right] \quad (6.4.23)$$

$$F_{a-r} = \frac{A_r}{2 * A_a} * \left[1 - \frac{A_c}{A_r} * \frac{\left(1 - \sin\left(\frac{\theta_a}{2}\right)\right) * \left(1 + 2 * \sin\left(\frac{\theta_a}{2}\right)\right)}{\sin\left(\frac{\theta_a}{2}\right)} \right] \quad (6.4.24)$$

Se procede a simplificar las resistencias del sistema:

figura 18 Diagrama de resistencias simplificado.



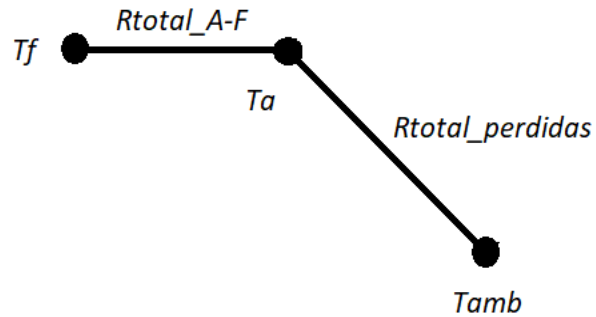
Fuente: Autores.

$$R_{\text{totalrad-sky}} = R_2 + R_3 \quad (6.4.25)$$

$$R_{\text{totala-r}} = \frac{R_5 + R_6}{R_5 * R_6} \quad (6.4.26)$$

Simplificación final del diagrama de resistencias.

figura 19 Diagrama de resistencias simplificación final.



Fuente: Autores.

$$R_T = \frac{R_{\text{totala-r}} + R_{\text{totalrad-sky}}}{R_{\text{totalrad-sky}} * R_{\text{totala-r}}} + R_4 \quad (6.4.27)$$

$$R_{T_{\text{perdidas}}} = \frac{1}{R_T} + \frac{1}{R_1} = \frac{R_T + R_1}{R_T * R_1} \quad (6.4.28)$$

$$R_{T_{\text{a-f}}} = \frac{1}{h_{\text{convnatural}} * A_a} + \frac{\text{Ln} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2 * \pi * L_{\text{tubo}} * k_{\text{tubo}}} \quad (6.4.29)$$

Coeficiente estimativo para la convección natural .(Cengel & Ghajar, 2011, pág. 540):

$$h_{\text{convnatural}} = \frac{\text{Nu} * K_{\text{fluido}}}{L_c} \quad (6.4.30)$$

$$\text{Nu} = 1 + 1,44 * \left(1 - \frac{1708}{\text{Ra}_1 * \cos(\theta)} \right) * \left(1 - \frac{(1708 * \sin(1,8 * \theta))^{1,6}}{\text{Ra}_1 * \cos(\theta)} \right) + \left(\frac{(\text{Ra}_1 * \cos(\theta))^{\frac{1}{3}}}{18} - 1 \right) \quad (6.4.31)$$

$$\text{Ra}_1 = \text{Gr}_1 * \text{Pr} \quad (6.4.32)$$

$$\text{Gr}_1 = \frac{g * \beta * (T_a - T_f) * L_c^3}{\nu^2} \quad (6.4.33)$$

$$L_c = 2 * r \quad (6.4.34)$$

Según, Aguilar-Jiménez et al., (2018). La temperatura del fluido puede ser estimada por la siguiente ecuación matemática, en donde se considera el factor de corrección por disminución de calor (2018, pág. 224).

$$T_f = \left(T_{\text{fi}} - T_{\text{amb}} - \frac{C_A * S}{U_L} \right) * \text{EXP} \left(\frac{P_{\text{er}} * U_L}{m * C_p} * L_{\text{tubo}} * F_R \right) + \frac{C_A * S}{U_L} + T_{\text{amb}} \quad (6.4.35)$$

Considerar lo siguiente:

T_{fi} : Temperatura inicial del fluido.

T_{amb} : Temperatura del ambiente.

$$P_{er} = 2 * \pi * r : \text{Perímetro mojado} \quad (6.4.36)$$

m: Masa del fluido.

C_p : Calor específico del fluido.

$$U_L = \frac{1}{R_{T_{perdidas}}} : \text{Coeficiente global de pérdidas.} \quad (6.4.37)$$

$$U_{LA} = \frac{1}{R_{T_{a-f}}} : \text{Coeficiente global de pérdidas en el tubo.} \quad (6.4.38)$$

$$F_R = \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_L} + \frac{1}{U_{LA}}} : \text{Factor de corrección} \quad (6.4.39)$$

Cálculo de la radiación total incidente a la superficie absorbente del tubo al vacío (Cáceres 2019, página 36).

$$S = \left(G_b + \frac{G_d}{C_A} \right) * \eta_{optica} \quad (6.4.40)$$

G_b : Radiación directa que incide en la superficie.

G_d : Radiación difusa que incide en la superficie.

El calor útil del fluido estancado en el tubo al vacío para este concentrador de radiación solar CPC, se basa en llegar a la ebullición nucleada (Cengel 2011, pág. 588), por lo tanto:

$$\dot{q}_{nucleada} = \mu_l * h_{fg} * \left(\frac{g * (\rho_l - \rho_v)}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} * \left[\frac{C_{p_l} * (T_s - T_{sat})}{C_{sf} * h_{fg} * Pr_l^n} \right]^3 \quad (6.4.41)$$

Las propiedades presentadas son evaluadas a la temperatura de saturación del fluido para Bucaramanga-Santander:

$\dot{q}_{nucleada}$: Flujo de calor en la ebullición nucleada, W/m².

μ_l : Viscosidad del fluido, Kg/m-s.

h_{fg} : Entalpia de vaporización, J/Kg.

g : Aceleración gravitacional, m/s².

ρ_l : Densidad del fluido base líquida, Kg/m³.

ρ_v : Densidad del fluido base vapor, Kg/m³.

σ : Tensión superficial de la interfase líquido-vapor, N/m.

C_{p_l} : Calor específico del fluido base líquida, J/Kg-°C.

T_s : Temperatura superficial del calentador, °C.

T_{sat} : Temperatura de saturación del fluido para Bucaramanga, °C.

C_{sf} : Constante experimental dependiente de la combinación superficie-fluido.

Pr_l : Número de Prandtl del líquido.

n : constante experimental que depende del fluido.

El flujo mínimo posible de calor para ebullición nucleada es para una diferencia de exceso de 5°C por lo tanto la temperatura superficial de la superficie absorbente de energía es de 101°C, al emplear la ecuación de ebullición se obtiene el mínimo flujo de calor.

$$Q_{min} = \dot{q}_{nucleada} * A_a \quad (6.4.42)$$

$$Q_{uf_{min}} = Q_{min} \quad (6.4.43)$$

El flujo máximo (pico o crítico) de calor en la ebullición nucleada en estanqueidad se puede expresar con la siguiente relación descrita por (Cengel & Ghajar, 2011, pág. 589).

$$\dot{q}_{\max_{\text{nucleado}}} = C_{\text{cr}} * h_{\text{fg}} * [\sigma * g * \rho_{\text{v}}^2 * (\rho_{\text{l}} - \rho_{\text{v}})]^{\frac{1}{4}} \quad (6.4.44)$$

Tener presente lo siguiente:

$\dot{q}_{\max_{\text{nucleado}}}$: Flujo pico de calor, W/m².

C_{cr} : Constante experimental correspondiente a la configuración geométrica del calentador.

Al realizar el diseño del CPC es necesario asumir que el flujo de calor para la ebullición nucleada es aproximadamente igual al comportamiento del flujo máximo de calor de la ebullición.

$$\dot{q}_{\text{nucleada}} = \dot{q}_{\max_{\text{nucleado}}} \quad (6.4.45)$$

$$Q_{\max} = \dot{q}_{\max_{\text{nucleado}}} * A_{\text{a}} \quad (6.4.46)$$

$$Q_{\text{uf}_{\max}} = Q_{\max} \quad (6.4.47)$$

El análisis de ebullición tanto mínimo como máximo para el comportamiento nucleado, se obtuvo los siguientes resultados teóricos; considerando que en Bucaramanga el agua ebulle aproximadamente a los 96 [°C]:

$$Q_{\min} = 3615 \text{ [W]} \quad ; \quad T_{\text{s}} = 101 \text{ [°C]} \quad ; \quad \dot{m}_{\text{eva}} = 0,0016 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$$

$$Q_{\max} = 232786 \text{ [W]} \quad ; \quad T_{\text{s}} = 116 \text{ [°C]} \quad ; \quad \dot{m}_{\text{eva}} = 0,102 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$$

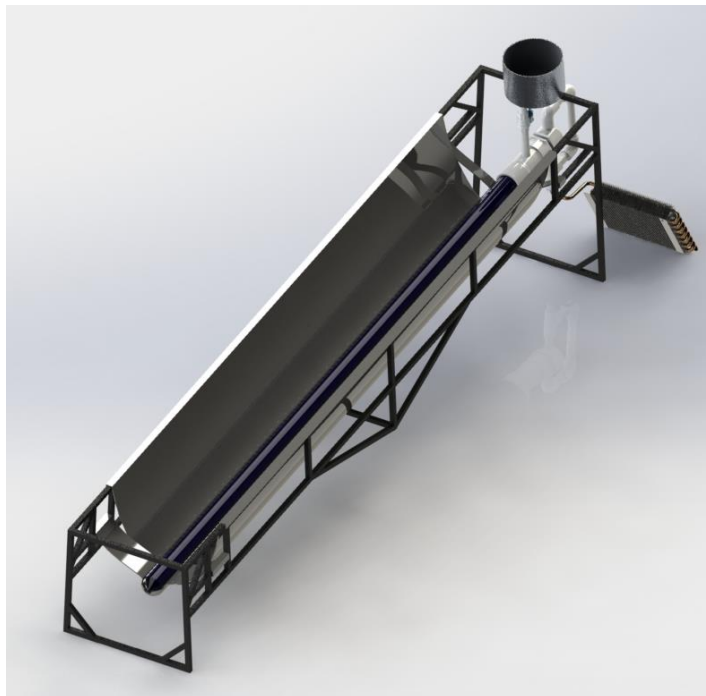
Estos resultados concluyen que el rango temperatura de trabajo para la superficie absorbente de radiación solar es de [101°C – 116°C] para obtener un comportamiento de ebullición nucleada; el cual tendrá un flujo de evaporación teórico en un rango de trabajo [0,0016Kg/s – 0,102Kg/s].

6.5 RESOLUCIÓN FASE V

A continuación, se evidencia la instalación de la superficie reflectante a la estructura, además de 2 láminas, que son encargadas de suspender el tubo al vacío con sus respectivos acoples a lo largo del eje longitudinal del concentrador; toda la instalación se puede desacoplar con facilidad, con el objetivo de minimizar los esfuerzos de traslado a otras ubicaciones.

La inclinación en el funcionamiento real del equipo fue de 20° con respecto al plano horizontal, calculada en el capítulo 6.2, a fin de obtener una incidencia perpendicular en la superficie hiperbólica, por ende, fue necesario la implementación de tornillos nivel y soportes debajo de la estructura que ayudaron a cumplir con la pendiente necesaria en el reflector.

figura 20 Vista isométrica de la instalación del colector parabólico compuesto.



Fuente: Autores.

El tapón del tubo contiene un arreglo para facilitar la salida del vapor a un pequeño radiador, que es el encargado de condensar por medio de convección con el ambiente; de igual manera, el agua destilada que se acumula en la tapa es evacuada directamente hacia el condensador. La reposición del fluido se hace por medio de gravedad, que se controla por medio de una válvula de bola que va hacia el acople dilatado en la entrada del tubo al vacío de flujo directo, posteriormente se muestra en la siguiente figura una vista explosionada del equipo, el dónde se puede ver lo anteriormente descrito.

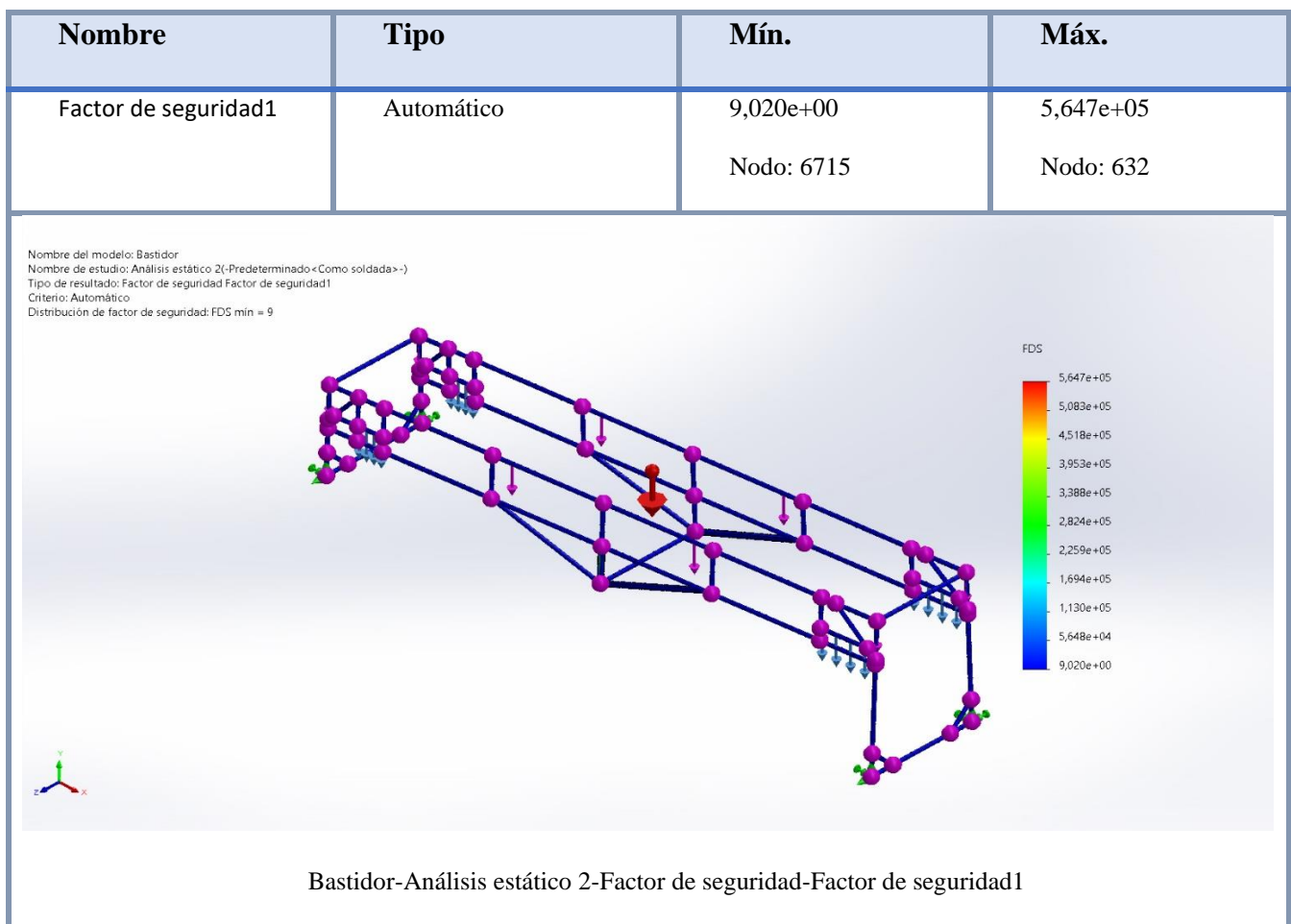
figura 21 Vista explosionada del sistema.



Fuente: Autores.

Se realiza un análisis estático al bastidor del destilador mediante el software SolidWorks, donde se ingresan datos como el tipo de material y la carga con la que trabajará el equipo, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento del equipo al estar en operación con el peso de 2 tubos al vacío, acoples y el fluido. Los análisis nos indican un factor de seguridad mínimo de 9, lo cual nos indica que la estructura puede soportar más peso del que tendría en condiciones normales y garantiza no presentar fallas en su desempeño.

figura 22 Cálculo del factor de seguridad mediante SolidWorks



Fuente: Autores

6.6 RESOLUCIÓN FASE VI

6.6.1 Muestra

La fuente hídrica tomada para el proceso de destilación es el río de oro, situado en el municipio de Girón, Santander en el asentamiento la Estanzuela, donde se busca solucionar la necesidad del uso de estas aguas para el consumo o uso doméstico; la recolección fue hecha de forma manual a las orillas del río evitando la mayor cantidad de residuos sólidos en la muestra.

figura 23 Río de oro, asentamiento la Estanzuela.



Fuente: Autores.

figura 24 Recolección del agua en el río de oro.

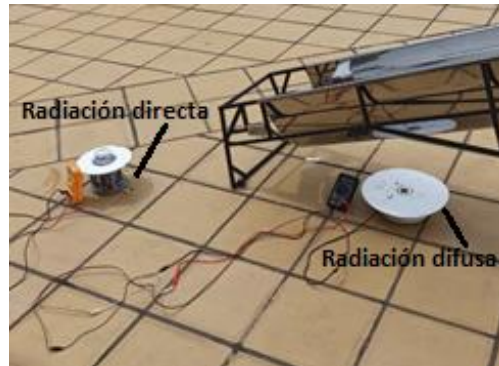


Fuente: Autores.

6.6.2 Registro de datos sobre la radiación incidente en la superficie

Para el registro de datos de radiación se implementan 2 piranómetros; el piranómetro cubierto por la sombra de la superficie reflectante es el encargado de tomar datos de radiación difusa y el piranómetro expuesto se encarga de medir la radiación directa.

figura 25 Registro de datos de radiación directa y difusa.



Fuente: Autores.

Los piranómetros reciben la radiación solar y emiten la señal en milivoltios, la cual, es mostrada de forma digital por medio de los multímetros; la instrumentación descrita posee la unidad de conversión para pasar de milivoltios a calorías por centímetro cuadrado en determinado minuto, que es la unidad de medida correspondiente para los registros en Microsoft Excel.

figura 26 Especificación técnica del piranómetro.



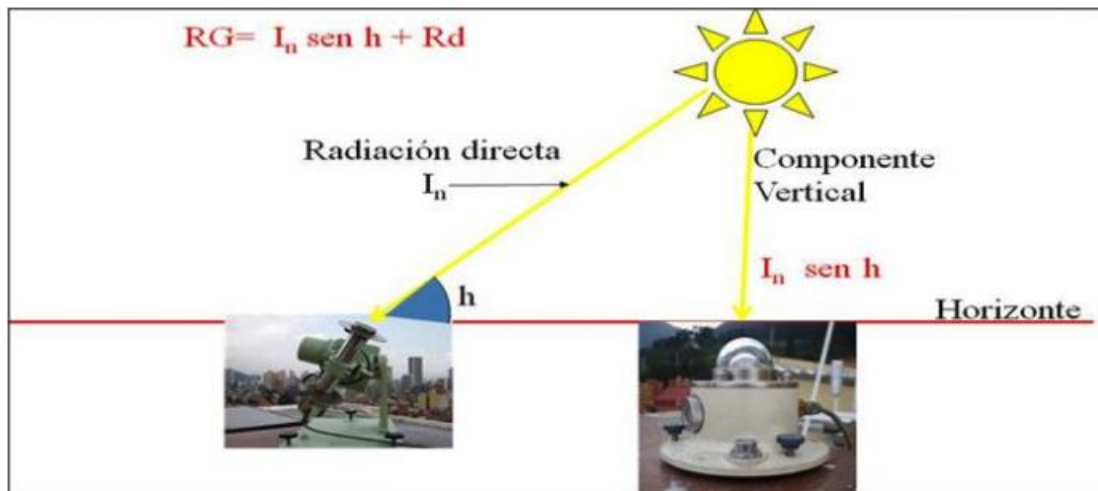
Fuente: Autores.

6.6.3 Calibración de los piranómetros de instrumentación

Es necesario realizar la correspondiente calibración para los piranómetros, con la finalidad de obtener mayor precisión al momento de registrar los datos de radiación solar obtenidos, por consiguiente, se logra una disminución de error entre los resultados experimentales y teóricos.

Según, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, n.d.) existen dos métodos para la calibración de un piranómetro, basados en encontrar la constante experimental “K” o también llamado factor de calibración. El método que comúnmente se emplea es utilizar un pirheliómetro patrón, se basa en determinar la radiación solar que llega de forma perpendicular sobre el piranómetro, por lo tanto, para calibrar un piranómetro mediante este método se realizan tres tipos de medidas: la primera para medir la radiación directa con el pirheliómetro y dos medidas consecutivas con el piranómetro cada 90 segundos, la primera con el piranómetro completamente libre de sombras y la segunda con sombra.

figura 27 Geometría y dirección de la instrumentación.



Fuente: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/normalizacion-y-calibracion-de-sensores-de-radiacion#:~:text=La%20calibraci%C3%B3n%20de%20un%20piran%C3%B3metro,datos%20de%20la%20referencia%20mundial.>

Se genera la siguiente tabla a partir de un registro de datos de radiación directa por medio de un pirheliómetro y salidas de voltaje para un piranómetro expuesto a radiación global y difusa, con el fin, de obtener un comportamiento lineal cuya pendiente define la constante de conversión para obtener la unidad de medida en W/m².

Es recomendable calibrar la instrumentación de forma mensual, con el objetivo de, disminuir la inexactitud al momento de registrar los datos de radiación que inciden en la superficie de estudio, el cual, repercute en los balances de energía establecidos para estimar un comportamiento de funcionamiento en los periodos de precalentamiento y ebullición del agua.

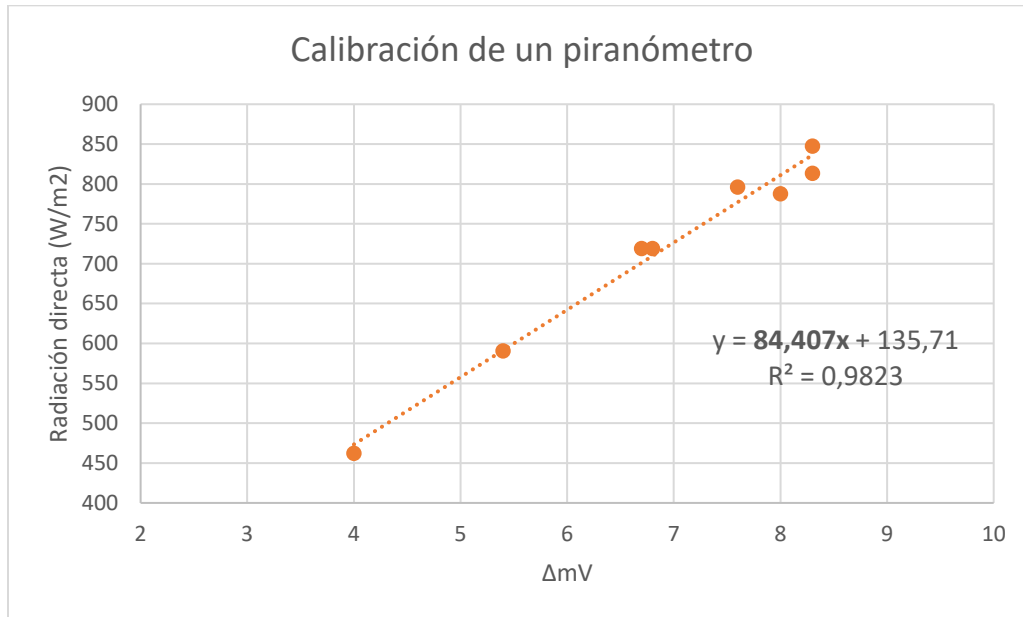
Tabla 17 Datos para la calibración del piranómetro.

Toma de datos para estimar la constante del piranómetro de instrumentación				
Radiación directa pirheliómetro [W/m ²]		radiación total piranómetro [mV]	radiación difusa piranómetro [mV]	radiación directa piranómetro [mV]
9,5	813,39	10,6	2,3	8,3
9,9	847,63	10,5	2,2	8,3
8,4	719,20	8,8	2,1	6,7
9,3	796,26	9,7	2,1	7,6
9,2	787,70	9,5	1,5	8
8,4	719,20	8,8	2	6,8
5,4	462,35	5,7	1,7	4
6,9	590,78	7,2	1,8	5,4

Fuente: Autores.

Por medio de la dispersión de datos en una gráfica de Microsoft Excel, es posible realizar una línea de tendencia con expresión lineal, en donde la pendiente estipula la conversión de unidades para la salida de milivoltios entregada por el piranómetro en cualquier instante del día; esto es posible de realizar gracias a un pirheliómetro patrón, en el que se tiene una constante de 8.15 mV/cal/cm²-min.

gráfica 1 Datos de radiación para calibrar el piranómetro.



Fuente: Autores.

La línea de tendencia es representada por la ecuación $y = 84,407x + 135,71$, en donde, 84,407 representa la pendiente de conversión, que posteriormente se puede transformar por la siguiente ecuación:

$$F_{\text{conversión}} = \frac{\frac{4,1868 \text{ J}}{1 \text{ cal}} * \frac{100^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{K_{\text{piranometro}}} = 84,407 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{mV}} \right] \quad (6.6.1)$$

La constante empleada para la toma de datos registrada por el piranómetro de instrumentación en el siguiente proyecto fue:

$$K_{\text{piranometro}} = \frac{\frac{4,1868 \text{ J}}{1 \text{ cal}} * \frac{100^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{84,407 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{mV}} \right]} = 8,267 \frac{\text{mV}}{\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 * \text{min}}} \quad (6.6.2)$$

6.6.4 Medición y control de volumen del fluido

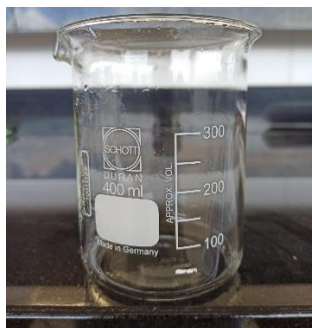
El tubo al vacío cuenta con una capacidad máxima de 2.4 litros, pero no es conveniente manejar esta cantidad de masa de agua, puesto que, la convección natural interna genera reboses, lo que ocasiona pérdida de fluido contaminando el condensado, por consiguiente, el proceso se deja en 2 litros de trabajo que es equivalente a 2000 gramos; el control con respecto a la reposición de agua se mide por medio de una Gramera digital, además se considera un parámetro de indicación, el cual, se basa en que cada 200 u 400 mililitros de condensado medidos en un vaso de precipitado se debe hacer el re ingreso de 200 gramos de agua sin procesar, con el fin, de garantizar que el tubo no se quede sin presencia de fluido evitando daños en la superficie absorbente.

figura 28 Gramera digital SF-400.



Fuente: Autores.

figura 29 Vaso de precipitado de 400 ml.



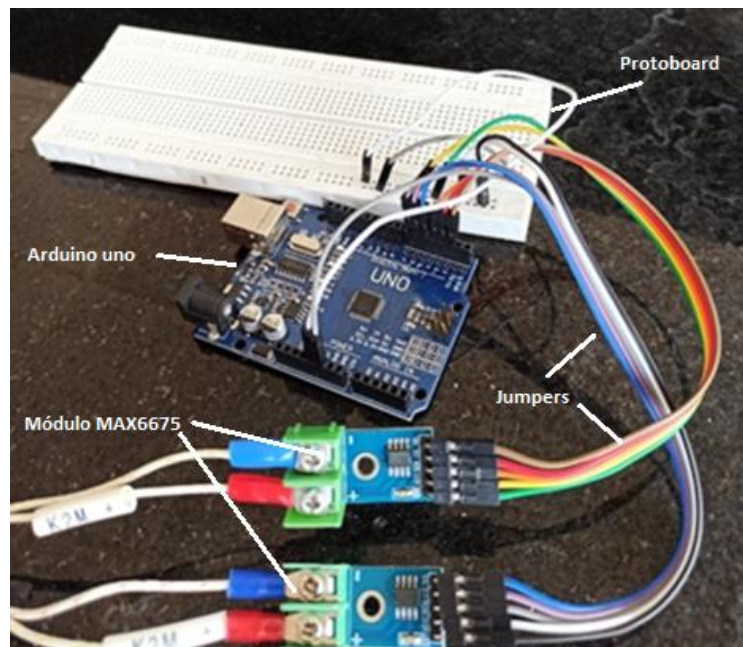
Fuente: Autores.

6.6.5 Registro de datos para las temperaturas del sistema

Para el registro de datos de temperatura se implementan termocuplas tipo K, Arduino uno, módulos MAX6675, protoboard y jumpers; los sensores de la termocupla son de lóbulo cubierto y sin blindaje, puesto que, es necesario introducirla en una cuarta parte del tubo al vacío para ayudar a identificar el nivel mínimo de masa de agua dentro de este, debido a que se lleva un historial de estabilidad en la temperatura del fluido a 96°C que es su temperatura de ebullición, al superar esta temperatura significa que el termopar registra datos térmicos del concentrador de radiación, el nivel disminuye por consecuencia al comportamiento de la ebullición, ya que, la masa de vapor generada crece con respecto al diferencial de exceso.

En la búsqueda de una mayor exactitud en el registro de temperaturas del agua estancada al interior del tubo y el vapor de agua, se hicieron promedios por minuto con respecto a tomas de cada 20 segundos, estos datos son registrados en tablas de Microsoft Excel.

figura 30 Instrumentación para el registro de temperaturas.



Fuente: Autores.

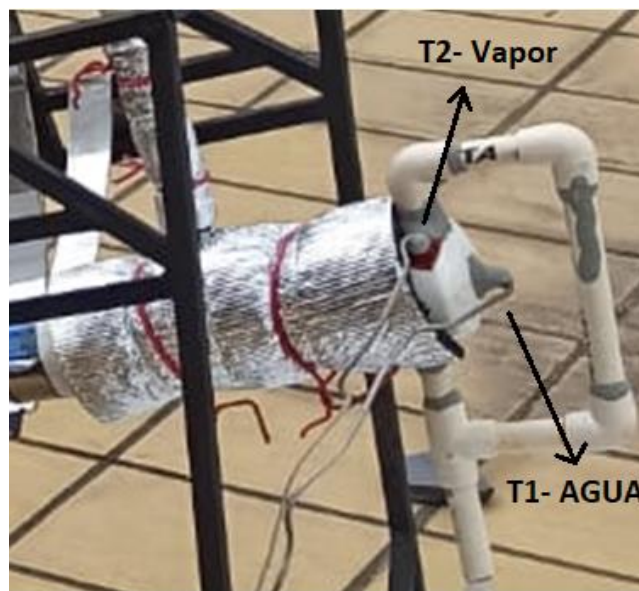
figura 31 Termocuplas tipo K sin lóbulo expuesto.



Fuente: Autores.

Se emplea tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro exterior por medio de dilatación a la superficie externa del tubo, seguido a esto, se une un acople mancho al tubo de PVC y por último un tapón roscado, el cual, es modificado para la distribución de las 2 termocuplas tipo K y salidas de vapor de agua por medio de tubos de ¼ de pulgada de CPVC mostrada en la figura 28; la termocupla 1 registra los datos del agua al interior del tubo y la termocupla 2 del vapor.

figura 32 Distribución termopares tipo k.



Fuente: Autores.

6.6.6 Análisis de gráficas operativas del CPC

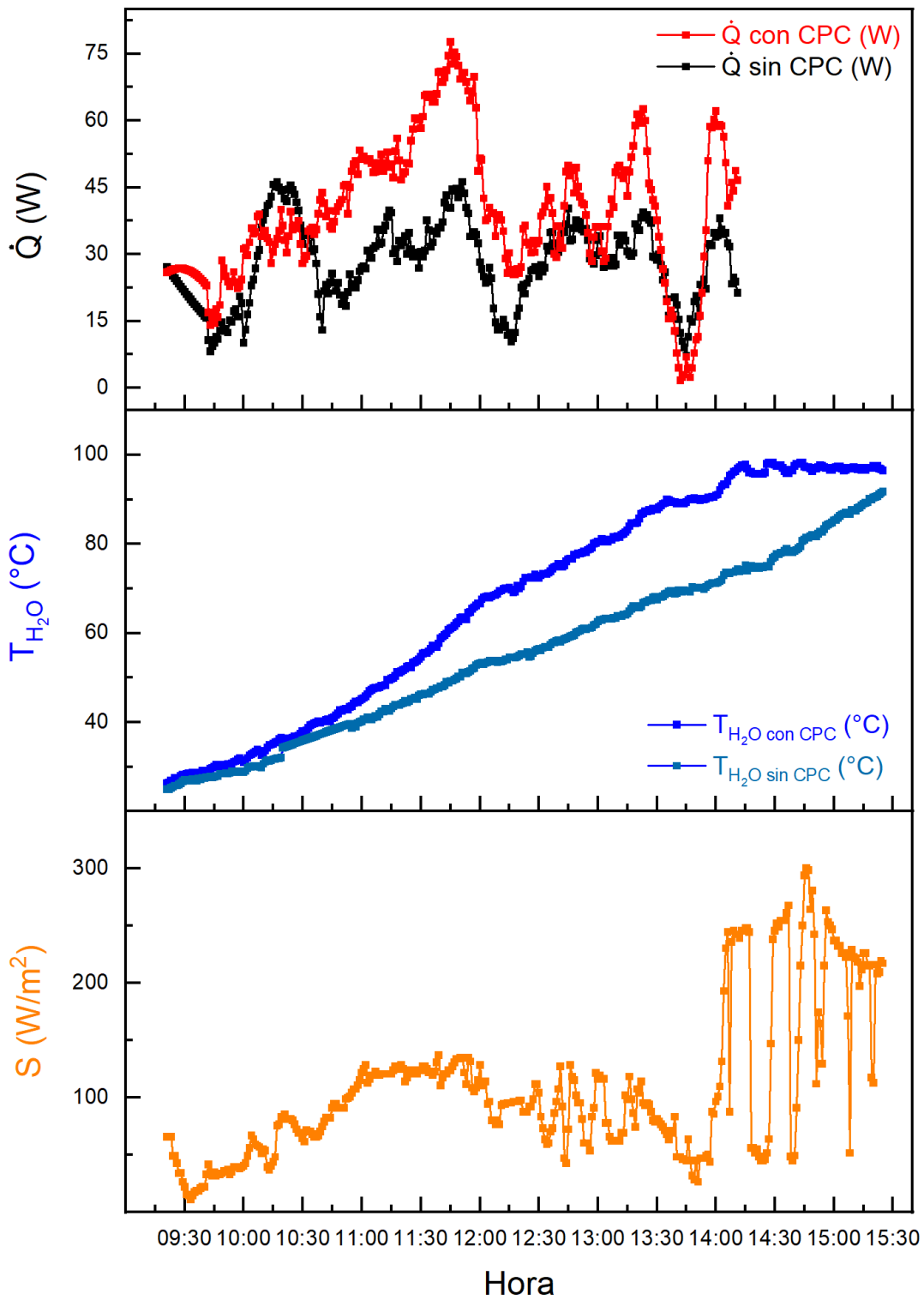
En el siguiente apartado se presenta de manera gráfica los datos recolectados del CPC en funcionamiento. La prueba y evaluación del rendimiento del equipo se llevó a cabo en el municipio de Bucaramanga, Santander, debido a la disponibilidad de herramientas e instrumentación en la Universidad Industrial de Santander.

Las primeras gráficas se generan a partir del registro de temperaturas en el interior de dos tubos al vacío. El objetivo es justificar la construcción de la superficie reflectante para generar la concentración de energía. Se miden las temperaturas del agua en el interior de los tubos comparando desde el precalentamiento, un tubo con CPC y el otro sin el sistema.

Las segundas gráficas se elaboran con base al porcentaje de error entre los balances energéticos durante el precalentamiento operativo del agua y el comportamiento real que genera el sistema en ese momento. Es necesario realizar mediciones de las temperaturas del fluido y compararlas con el valor teórico del modelo matemático utilizado.

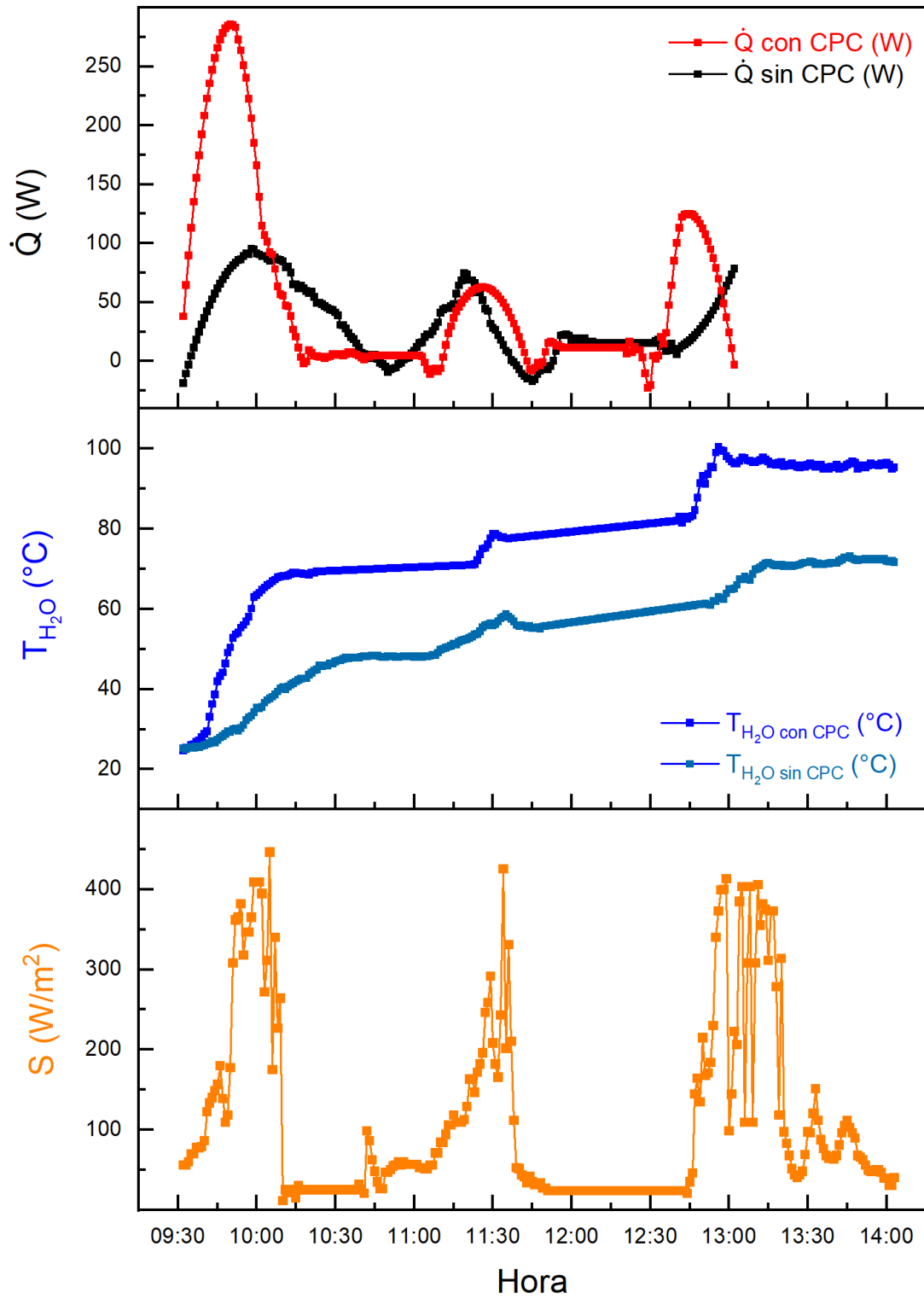
Una de las metas más importantes se representa en las terceras gráficas, las cuales demuestran que el sistema puede estabilizarse en ebullición nucleada durante periodos de tiempo prolongado, donde la concentración de energía en la superficie absorbente es alta, mostrando una diferencia mínima de temperatura entre la superficie y el fluido de 5 grados centígrados. Esto genera una producción de vapor de agua que varía de acuerdo con las variaciones de radiación que inciden en la superficie y su capacidad de mantener la energía concentrada en el tubo. Asimismo, se generan gráficas sobre el comportamiento y rendimiento de la ebullición dentro del sistema, que están relacionadas con el error entre la cantidad de masa de vapor producida y la condensada.

gráfica 2 Comparación precalentamiento tubo al vacío vs tubo al vacío con CPC (27/10/22).



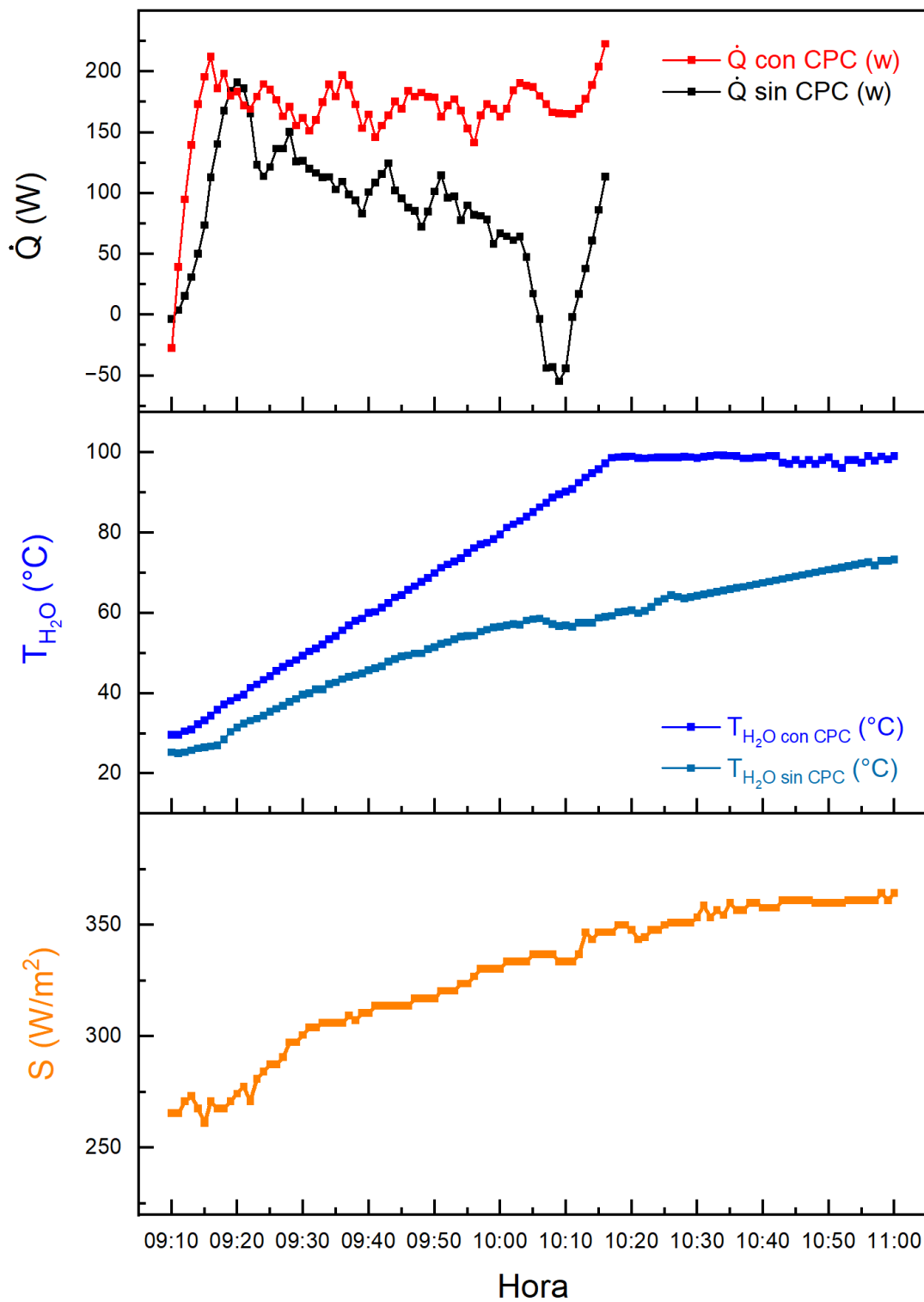
Fuente: Autores.

gráfica 3 Comparación precalentamiento tubo al vacío vs tubo al vacío con CPC (28/10/22).



Fuente: Autores.

gráfica 4 Comparación precalentamiento tubo al vacío vs tubo al vacío con CPC (31/10/22).



Fuente: Autores.

6.6.6.1 Análisis de resultados para la justificación del CPC

Es necesario evidenciar el funcionamiento comparativo entre el uso del concentrador solar y sin él en el precalentamiento del agua, considerando el tiempo de operación en horas y la tasa de transferencia de calor. La gráfica muestra la comparación entre la radiación incidente, la temperatura del fluido con y sin el uso del concentrador solar. El error representado es la diferencia entre la temperatura teórica y la experimental.

Es necesario comparar el funcionamiento en días con diferentes niveles de radiación incidente en la superficie de estudio: malo (28/10/22), intermedio (27/10/22) y bueno (31/10/22). Un "buen día" se refiere a un día despejado (sin nubes) en el que se observa una radiación solar estable durante el período de tiempo de operación, según se ve en las gráficas.

En un día malo, caracterizado por nubes y lluvias constantes, el CPC (Sistema de Concentración de Calor) obtuvo una diferencia máxima de 37 grados centígrados en comparación con el tubo al vacío sin la superficie reflectante. El tiempo de precalentamiento para el CPC fue de aproximadamente 3,5 horas, lo que resultó en una temperatura del agua de 96°C. Sin embargo, sin el CPC, después de 4,5 horas solo se alcanzaron los 70°C. Además, no se demostró una masa de condensado significativa en ambos sistemas de comparación, lo que indica que no alcanzaron el punto de ebullición en Bucaramanga, Santander.

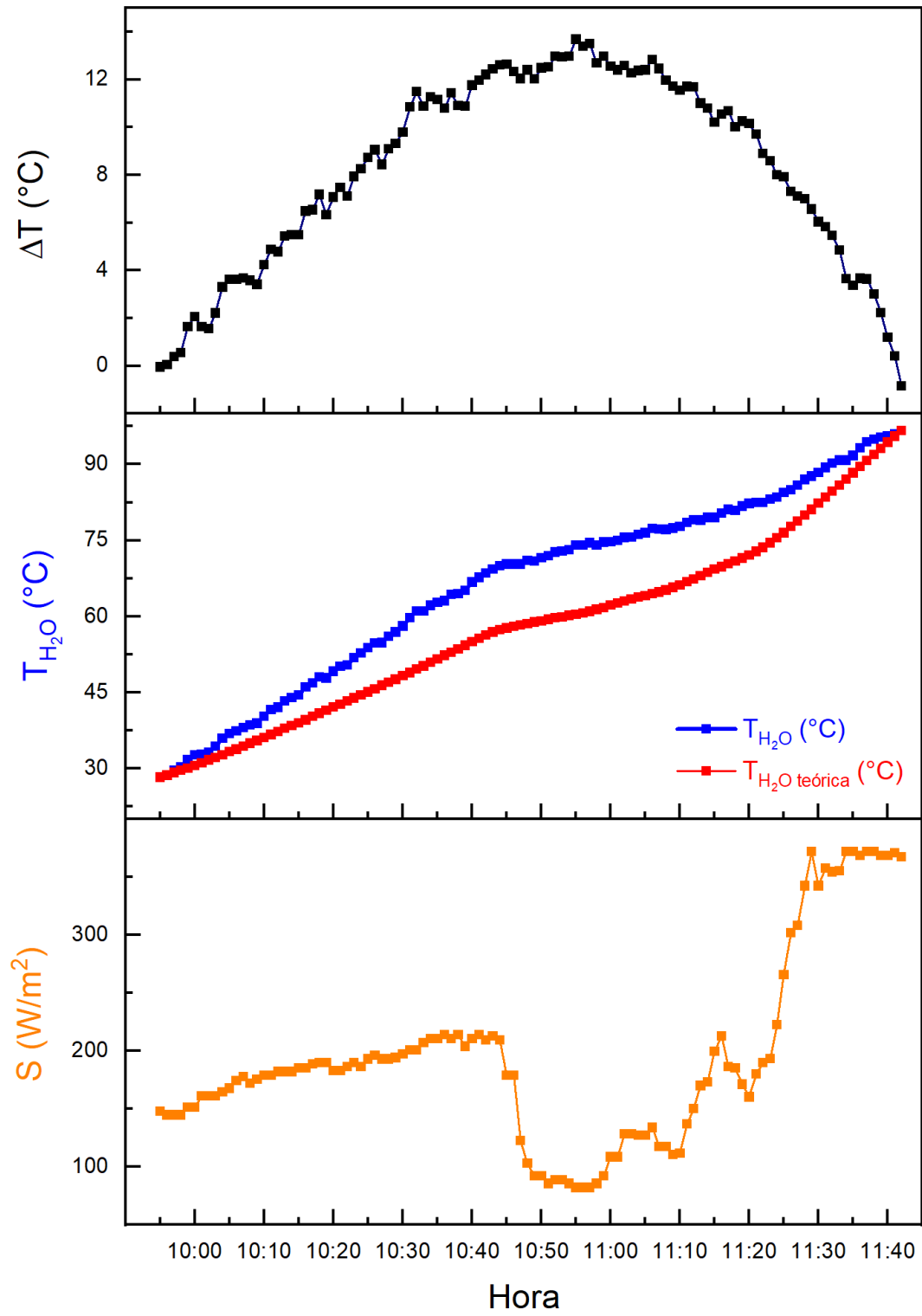
En un día intermedio, caracterizado por una incidencia de energía solar relativamente baja e intermedia, pero estable durante el tiempo de funcionamiento, se obtuvo una diferencia máxima de más de 20 grados centígrados en comparación con el tubo al vacío sin la superficie reflectante. El tiempo de precalentamiento para el CPC fue de 4.75 horas, lo que resultó en una temperatura del agua de 96°C. Además, el CPC condensó 203 [g] de agua durante el final de la toma de datos. Sin

embargo, sin el CPC, después de 6.33 horas solo se alcanzaron los 91°C, sin observar una masa de condensado, lo que indica que no alcanza el punto de ebullición.

Un "día bueno" se interpreta como un día con una radiación solar intermedia pero constante a lo largo de todo el tiempo de funcionamiento del CPC. En este caso, se obtuvo una diferencia máxima de 40 grados centígrados con respecto al tubo al vacío sin la superficie reflectante, considerando solo el precalentamiento del fluido. El tiempo de precalentamiento para el CPC fue de aproximadamente 1 hora, lo que resultó en una temperatura del agua de 96°C. Además, el CPC condensó 480 [g] de agua durante el final de la toma de datos. Sin embargo, sin el CPC, después de 3 horas alcanzó los 96°C.

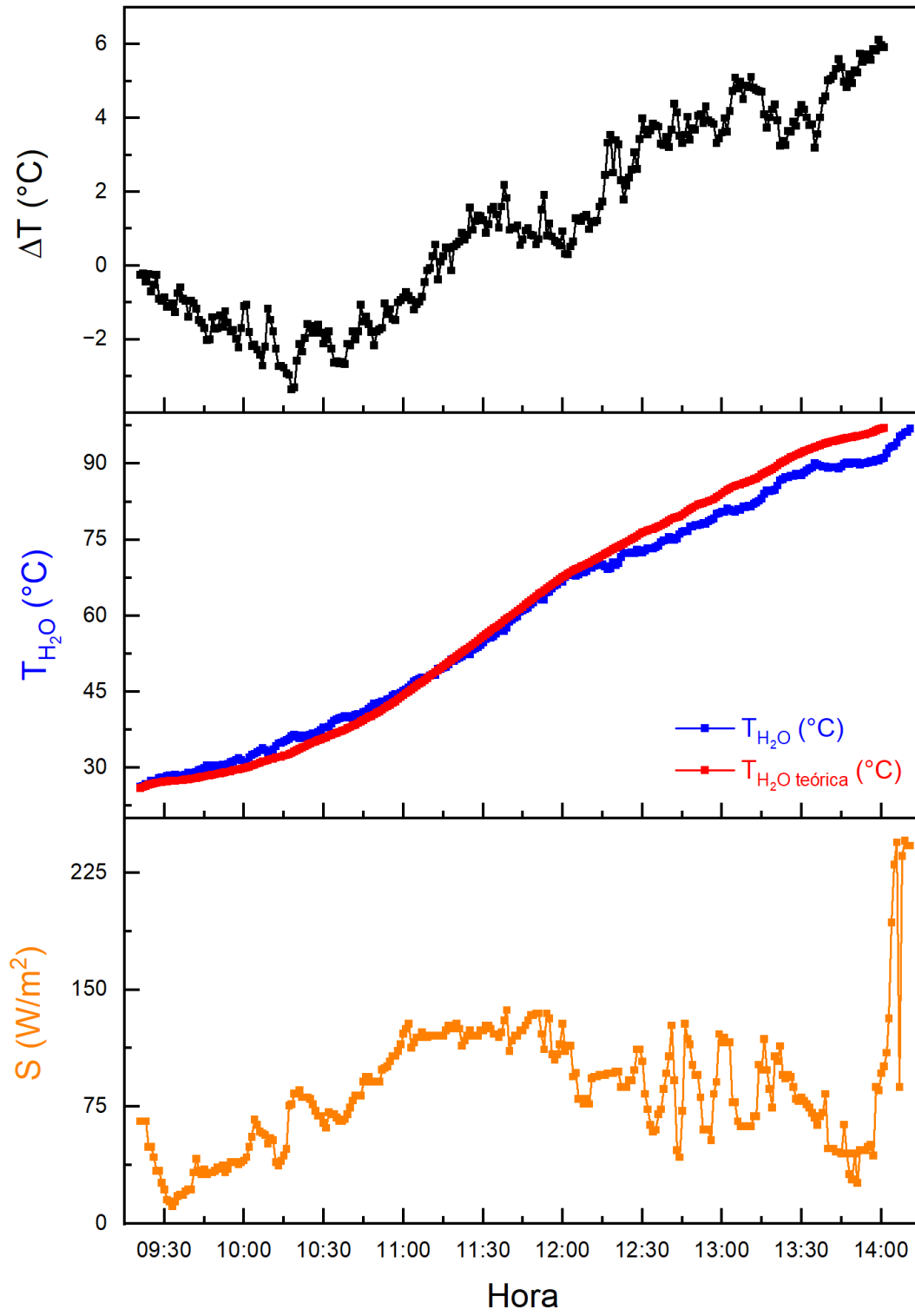
Es evidente que, independientemente de si es un día bueno, intermedio o malo, el tubo al vacío adaptado con un concentrador solar (CPC) siempre obtiene tasas mayores de transferencia de calor durante las horas de sol del día, y también tiene una mejor retención del calor en el proceso de ebullición nucleada. Por lo tanto, el criterio de justificación para la implementación de una superficie reflectante que ayude a concentrar los rayos en la superficie absorbente se basó en la diferencia de temperaturas entre ambos sistemas y en el comportamiento del calor transferido con relación al tiempo de estudio. En conclusión, el uso de un CPC mejora los tiempos de precalentamiento, mantiene una mayor estabilidad en la temperatura y minimiza los períodos de espera para que preceda el cambio de fase, lo que se traduce en un aumento en la producción de vapor.

gráfica 5 Pre calentamiento modelo real vs teórico (25/10/22).



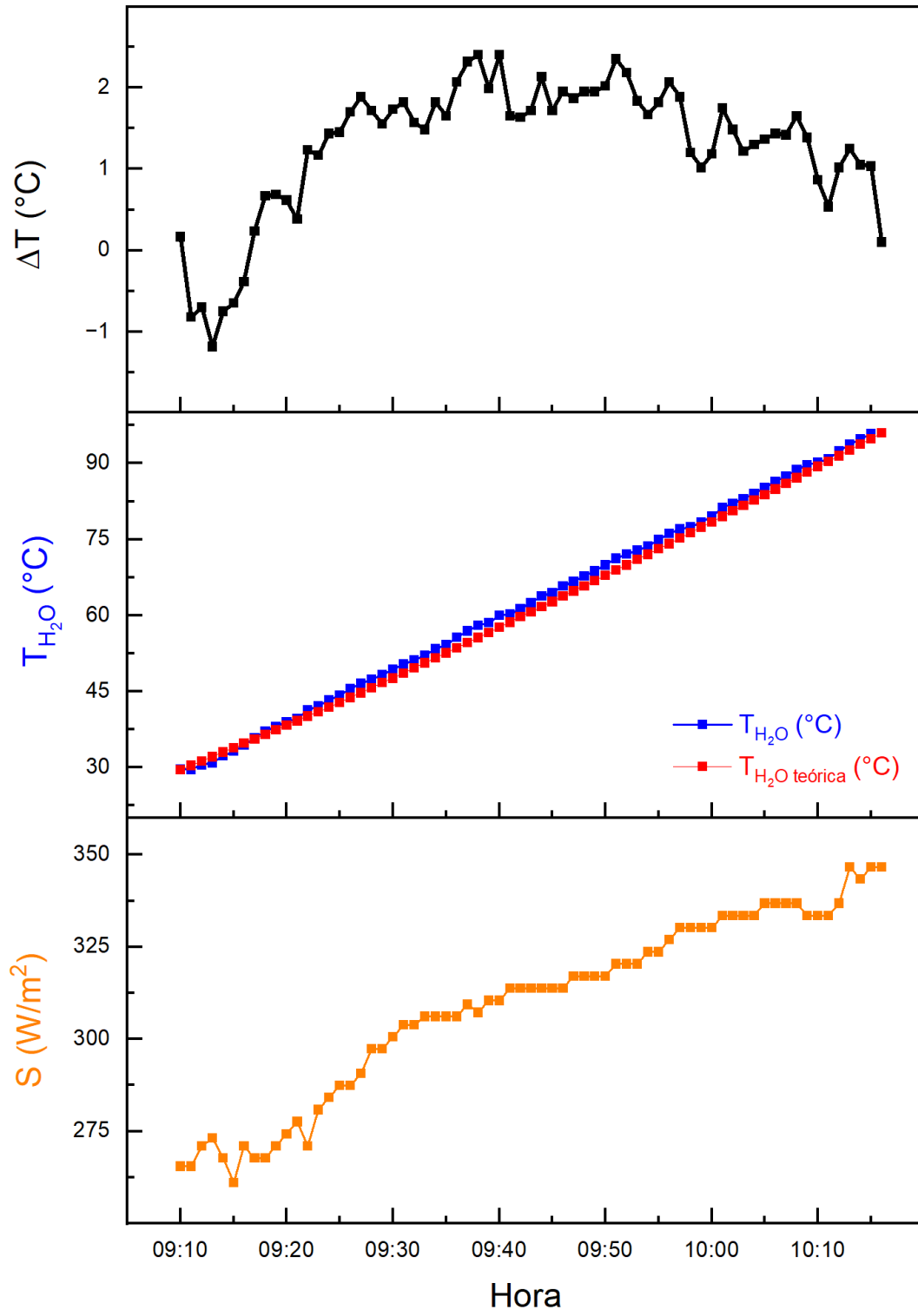
Fuente: Autores.

gráfica 6 Pre calentamiento modelo real vs teórico (27/10/22).



Fuente: Autores.

gráfica 7 Pre calentamiento modelo real vs teórico (31/10/22).



Fuente: Autores.

6.6.6.2 Análisis de resultados para el comportamiento del precalentamiento real vs teórico

Las gráficas comparan la radiación incidente, la temperatura real del fluido en el CPC y la obtenida del modelo matemático, así como el error representado por la diferencia en grados centígrados entre la temperatura teórica y la experimental con relación al tiempo de operación en horas del precalentamiento del agua desde 25°C hasta 96°C.

Es necesario comparar el funcionamiento en días con diferentes niveles de radiación incidente en la superficie de estudio: malo (27/10/22), intermedio (25/10/22) y bueno (31/10/22); un día bueno se refiere a un día despejado (sin nubes) con radiación solar estable durante el periodo de operación.

En un día malo debido a alta nubosidad, el concentrador obtuvo un error que varía entre [-3,5°C y 6°C]. El tiempo de precalentamiento real para el CPC fue de aproximadamente 5 horas, alcanzando una temperatura del agua de 96°C, que es el límite para los análisis de los balances energéticos planteados. Sin embargo, el modelo matemático logró llegar 15 minutos antes en comparación con las mediciones experimentales.

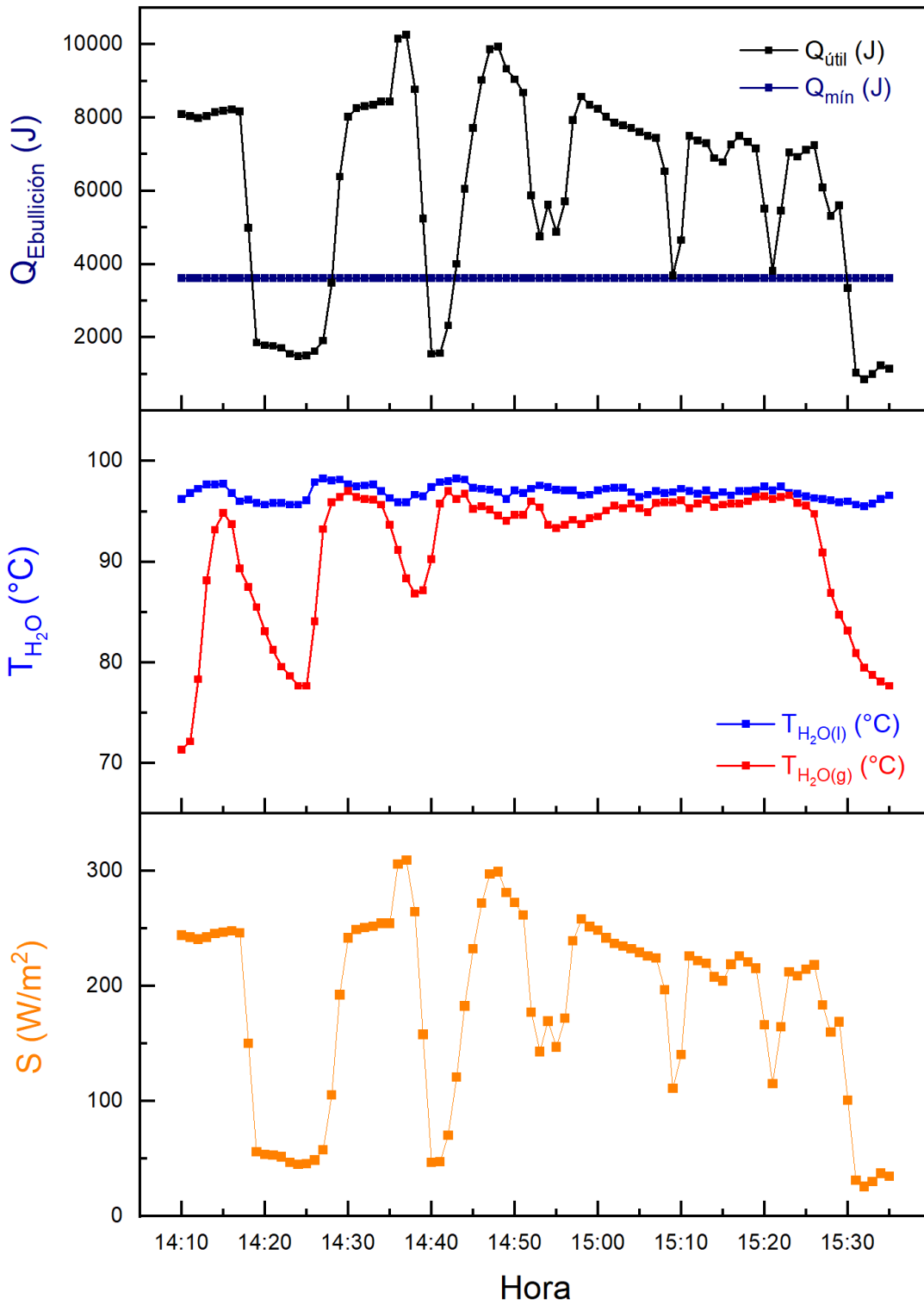
El día intermedio del concentrador es seleccionado debido a una incidencia de energía relativamente baja e intermedia, pero estable y en crecimiento durante el tiempo de estudio. El colector parabólico obtuvo un error que varía entre [0°C y 14°C], el tiempo de precalentamiento real para el CPC fue de aproximadamente 2 horas, alcanzando una temperatura del agua de 96°C, que es el límite para los análisis de los balances energéticos planteados. Sin embargo, el modelo matemático logró llegar 2 minutos después en comparación con las mediciones experimentales.

El día bueno se caracteriza por una radiación intermedia pero constante a lo largo de todo el tiempo de estudio del colector parabólico. Se obtuvo un error que varía entre [-1,2°C y 2,5°C], el

tiempo de precalentamiento real para el CPC fue de aproximadamente 1 hora, alcanzando una temperatura del agua de 96°C, que es el límite para los análisis de los balances energéticos planteados. Sin embargo, el modelo matemático logró llegar 1 minuto después en comparación con las mediciones experimentales.

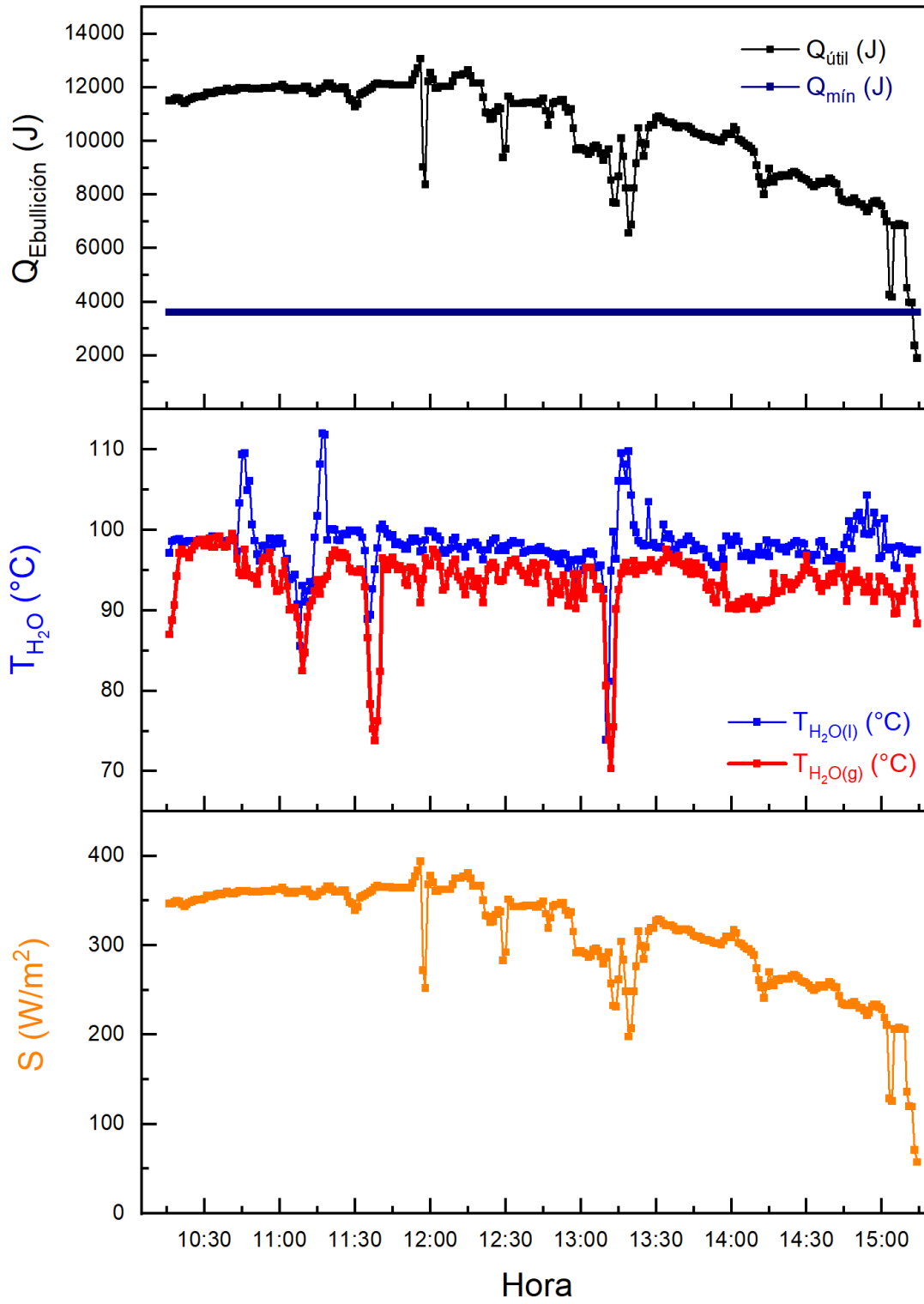
En conclusión, las gráficas de análisis muestran que el modelo matemático tiene una respuesta en la temperatura del agua menor al real en días intermedios o buenos donde la radiación se mantiene constante en largos periodos. Sin embargo, cuando la radiación es estable y alta, el error disminuye considerablemente. En caídas repentinas de la radiación, el modelo matemático disminuye su respuesta en relación con lo experimental. En general, el modelo de balances de energía se adapta bien al comportamiento real del concentrador parabólico para días en los que la radiación solar es relativamente constante.

gráfica 8 Comportamiento de la ebullición (27/10/22).



Fuente: Autores.

gráfica 9 Comportamiento de la ebullición (31/10/22).



Fuente: Autores.

6.6.6.3 Análisis de resultados para el comportamiento de la ebullición nucleada

Las gráficas mostradas para el comportamiento corresponden a radiación incidente, temperatura del agua y del vapor generado, además, del calor de ebullición nucleada mínimo correspondiente a una diferencia de 5°C entre la superficie y el tubo, el cual, es comparado con el útil concentrado en el sistema.

Es necesario evidenciar el funcionamiento comparativo en días con radiación incidente en la superficie de estudio intermedia (27/10/22) y buena (31/10/22); se tienen en cuenta estos días, debido a que, se presenta un sostenimiento de energía por encima de los 3615 [W], los cuales, representan el cambio de fase a una temperatura estable de 96°C.

El día intermedio del concentrador es seleccionado por una incidencia de energía en la superficie relativamente baja e intermedia con variación durante el tiempo de estudio, el colector parabólico obtuvo un máximo y mínimo de calor útil que oscila entre [1600 W y 10200 W] el tiempo de ebullición del estudio fue aproximadamente de 1.5 horas, sin conseguir nucleación durante un periodo acumulado de 18 minutos, lo cual, repercute en una producción de masa insignificante.

El comportamiento del día bueno es interpretado por una radiación media y alta constante a lo largo del tiempo de estudio, el colector parabólico obtuvo un máximo y mínimo de calor útil que oscila entre [4500 W y 13000 W] el tiempo de ebullición del estudio fue aproximadamente de 5 horas, en todo momento se presentó nucleación, por consiguiente, no hubo pérdida de razón significativa en la masa evaporada.

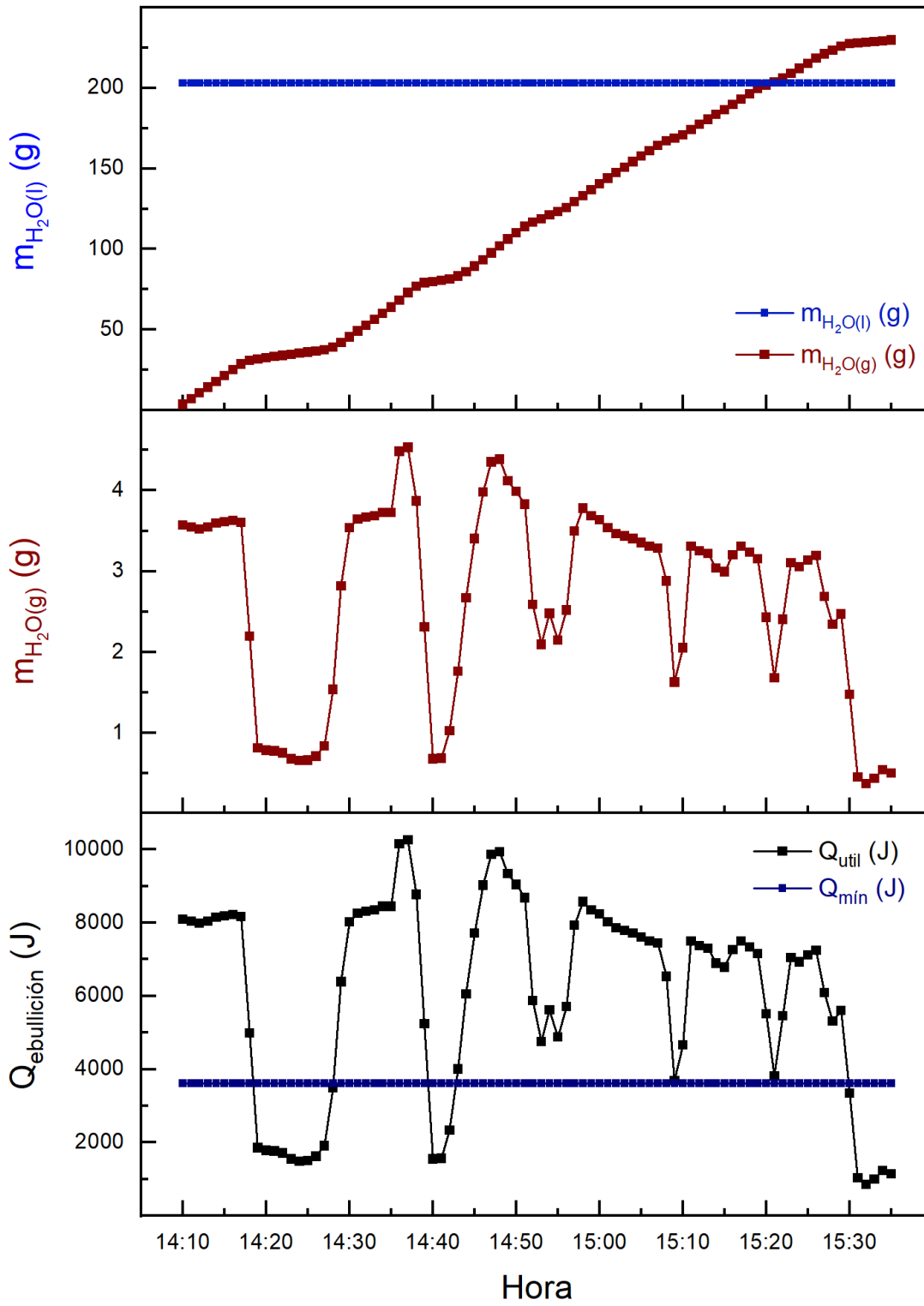
Por otra parte, se evidencio en el comportamiento del 27 de octubre, que, al momento de la caída en la radiación solar por debajo del valor mínimo de concentración para el calor de ebullición, la

termocupla registra una caída en la temperatura del vapor, debido a que, no se produce masa de vapor de agua, por consiguiente, mide es temperatura del aire dentro del tubo al vacío.

De la misma forma en el 31 de octubre se presenta una disminución en el registro de datos en la temperatura del vapor y del fluido, como consecuencia de la reposición de agua que va acorde con los gramos de condensado; a mayor reposición de fluido en el tubo, mayor es la caída de temperatura en la toma de ambas termocuplas. Además, los sobre picos evidenciados en el comportamiento del fluido, corresponden a que el termopar entra en contacto con la superficie interna del tubo; se obtuvo valores en la superficie por encima de los 101°C y por debajo de los 116°C , lo cual, confirma que el sistema térmico durante la prueba estaba en el régimen de ebullición nucleada, correspondiente a una diferencia de exceso entre los [5°C y 30°C].

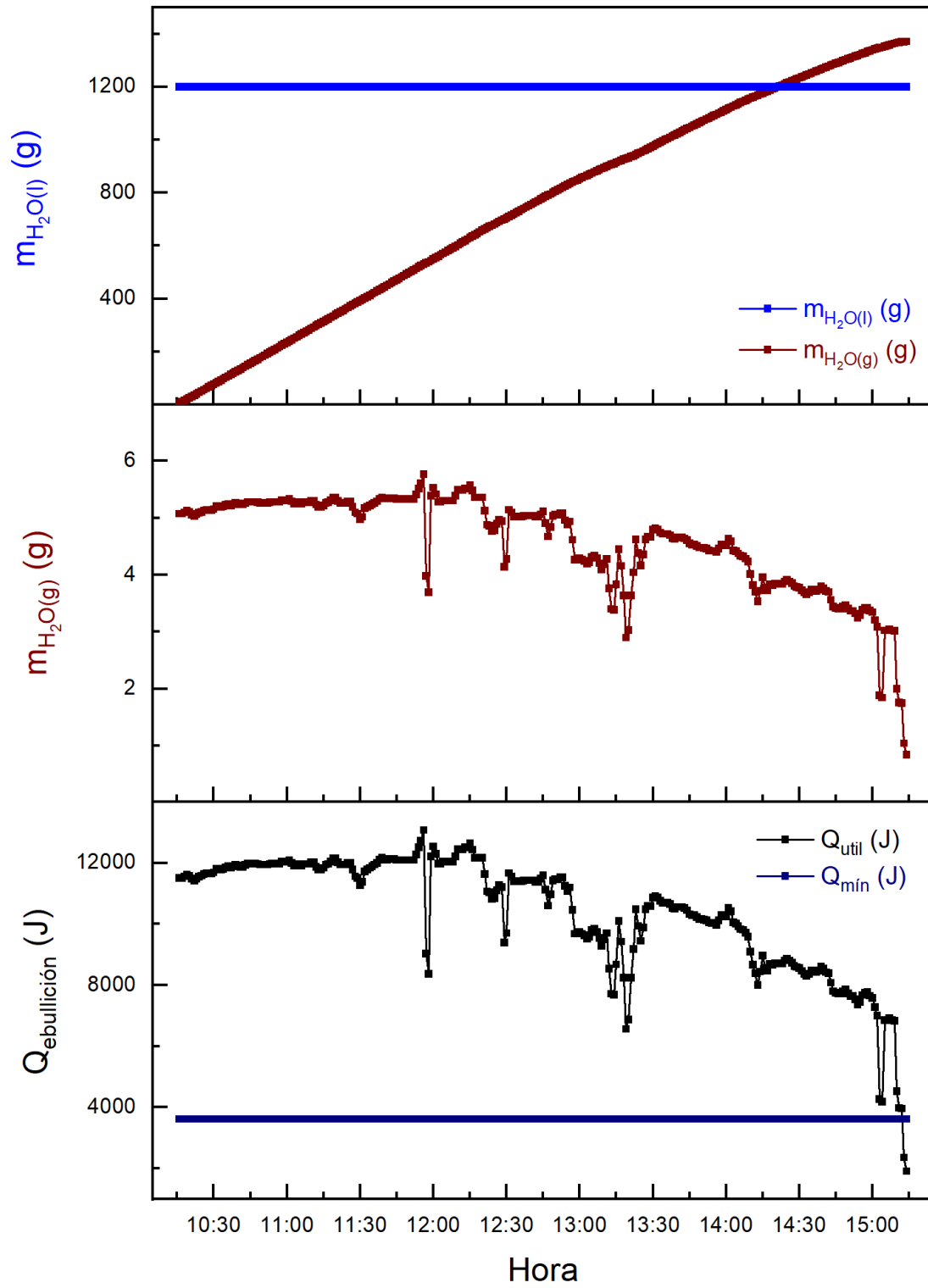
En conclusión, el diseño del equipo presenta una acumulación de energía mínima 3615 [W] acorde a una temperatura en la superficie de absorción de 101°C y estable en el fluido de 96°C , el sistema a una buena radiación garantiza el cambio de fase con variaciones en la razón de producción de masa de vapor; la cual, será estudiada en análisis posteriores.

gráfica 10 Masa de agua evaporada (27/10/22).



Fuente: Autores.

gráfica 11 Masa de agua evaporada (31/10/22).



Fuente: Autores.

6.6.6.4 Análisis de resultados para los comportamientos en la masa de vapor generada y condensada

En el presente análisis se buscó el comportamiento del diseño, con respecto a, las fugas dentro del proceso de destilación del agua; que es evaluado por la diferencia entre la cantidad de masa de agua condensada y evaporada. En las gráficas se muestra comportamientos correspondientes al calor mínimo de ebullición y el calor útil concentrado en el tubo, razón de evaporación del fluido, el acumulado en gramos de condensación y evaporación.

Los días de estudio para este análisis de resultados son los mismos que para los comportamientos estudiados en la ebullición, puesto que, el cambio de fase y la producción de agua está correlacionada al proceso de nucleación del fluido analizado en el apartado 6.6.6.3.

A partir del análisis precedente en el 27 de octubre, es posible evidenciar que, en caídas del calor útil, la razón de evaporación también disminuye, por consiguiente, la pendiente de crecimiento en el acumulado de masa de vapor decrece.

Por otra parte, el 31 de octubre, la pendiente se mantiene relativamente constante a lo largo del tiempo de prueba, a consecuencia de, que el calor útil siempre está por encima del mínimo de ebullición y no presenta variaciones decrecientes significativas a lo largo del tiempo de estudio.

Para concluir, en la eficiencia operativa del sistema se consideran las fugas como el indicativo primordial, debido a, que es la única unidad medible en el proceso de producción de agua destilada por el equipo; es posible estimarla de la siguiente manera:

$$\eta_{operativa} = \left(1 - \frac{m_{evaporada} - m_{condensada}}{m_{evaporada}} \right) * 100$$

Eficiencia operativa para el funcionamiento del equipo el 27 de octubre del 2022.

$$\eta_{operativa} = \left(1 - \frac{225 [g] - 205 [g]}{225 [g]} \right) * 100 = 91,11\%$$

Eficiencia operativa para el funcionamiento del equipo el 31 de octubre del 2022.

$$\eta_{operativa} = \left(1 - \frac{1380 [g] - 1200 [g]}{1380 [g]} \right) * 100 = 86,96\%$$

Los siguientes resultados de eficiencia muestran que, un calor de concentración alto genera un incremento de razón en la evaporación, lo que conlleva a una mayor pérdida por fugas, el cual, repercute en una disminución en el rendimiento operativo del sistema térmico diseñado.

6.6.7 Análisis físico químico y microbiológico del agua

En el siguiente apartado, se realizan estudios para el fluido de muestra correspondiente al río de oro situado en Girón, Santander asentamiento la Estanzuela y para el agua después del proceso de destilación, los análisis son realizados en los laboratorios de ingeniería química de la Universidad Industrial de Santander, con el objetivo de observar que tanta remoción de impurezas realiza el CPC construido para potabilizar el agua contaminada.

La tabla 17 muestra los resultados obtenidos con respecto a los especímenes de fluido tomadas antes y después del proceso de destilación, los criterios de evaluación para indicar que el agua sea apta para el consumo humano se rigen bajo la Resolución Nacional 2115 del 2007, por ende, el índice de riesgo para la calidad del agua potable (IRCA), sustenta la posibilidad optima de consumo para el cuerpo humano dentro de un rango de 0 a 5 porciento.

Tabla 18 Comparación fisicoquímica y microbiológica del agua cruda y tratada.

Parámetro	Resolución 2115		Agua cruda	Agua Tratada	% Remoción	Puntaje de riesgo	Puntaje de riesgo asignado por no cumplimiento
pH.	6,5	9	10	7,62	23,8	1,5	0
Turbiedad (NTU).	2		178	3,2	98,20	15	15
Color aparente (UPC).	15		480	10	97,92	6	0
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	1000		274	108,6	60,36		0
Fe total (mg Fe/L).	0,3		0,86	0,1	88,37	1,5	0
Nitritos (mg NO_2^-/L).	0,1		0,19	0,09	52,63	3	0
Sulfatos (mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$).	250		158,92	1,04	99,35	1	0
Alcalinidad Total (mg CaCO_3/L).	200		99,84	58,24	41,67	1	0
Cloro Residual (mg Cl_2/L).	0,3	2	<0,02	<0,02		15	0
Sólidos Totales (mg/L).			290	96	66,90		0
Nitratos (mg NO_3^-/L).	10		54,2	10,24	81,11	1	1
Cloruros (mg Cl^-/L).	250		33,38	19,47	41,67	1	0
Fosfatos (mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$).	0,5		0,38	0,12	68,42	1	0
Dureza Total (mg CaCO_3/L).	300		54	12	77,78	1	0
Dureza Cálcica (mg CaCO_3/L).			40	60			0
Coliformes Totales (UFC/100 ml).	0		1980	420	78,79	15	15
E. Coli (UFC/100 ml).	0		460	300	34,78	25	25
Total, para los puntajes de riesgo asignados						88	56
% IRCA			Interpretación			Apta	No Apta
63,64%			Riesgo ALTO				X

Fuente: Autores.

Según, la resolución 2115 del 2007 cada parámetro fisicoquímico y microbiológico tiene un rango o límite máximo, el cual, designa si el agua es apta para el consumo humano; los valores son mostrados en la tabla anteriormente presentada. Dentro del análisis físico químico se presenta una gran tasa de remoción porcentual en todos los parámetros de estudio, los más representativos son:

turbiedad, color aparente, presencia de hierros, sulfatos y nitratos, por consiguiente, es posible decir que desde esta perspectiva física el agua cumple con los requerimientos mínimos dados por la normativa, a pesar de que por diferencias mínimas con respecto a turbiedad y nitratos no obedece a totalidad con la norma.

El tratamiento del fluido falla, por causa del estudio microbiológico que a pesar de tener un gran porcentaje de remoción en coliformes totales y escherichia coli, no cumple con la normativa puesto que estos dos parámetros se deben eliminar por completo en el fluido de consumo, debido a que son los indicadores del riesgo a la proliferación y propagación patógena de enfermedades. La falta de cumplimiento en el régimen microbiológico afecta significativamente el puntaje de riesgo y por ende el indicativo porcentual IRCA, dando como resultado un tratamiento deficiente para la potabilización del agua, el cual, entra en un nivel de riesgo alto según el reglamento de la resolución nacional 2115 del 2007.

figura 33 Agua antes y después del proceso de destilación.



Fuente: Autores.

6.6.8 Estimación anual en la producción de agua destilada por el CPC.

A continuación, se muestra la siguiente tabla que indica el estimado de producción anual para la localidad de Girón, Santander, los valores son aproximados, debido a, los registros de radiación anual tomados por el IDEAM en una región trópica con climas bochornosos, pero a la vez mojados por lluvias y de altas fluctuaciones con la nubosidad en el cielo (Benavides Ballesteros et al., 2017).

El cálculo es realizado en un régimen estable de ebullición, dado que, se emplea el valor promedio de radiación en un día intermedio de cada mes, con el fin, de llegar a un comportamiento de masa condensada por el colector parabólico a lo largo del año; la radiación difusa es estimada por la ecuación de relación de radiación global descrita en la página 46 del presente proyecto y la masa condensada es descrita por la eficiencia operativa de 86% obtenida en los análisis gráficos del capítulo 6.6.6.4.

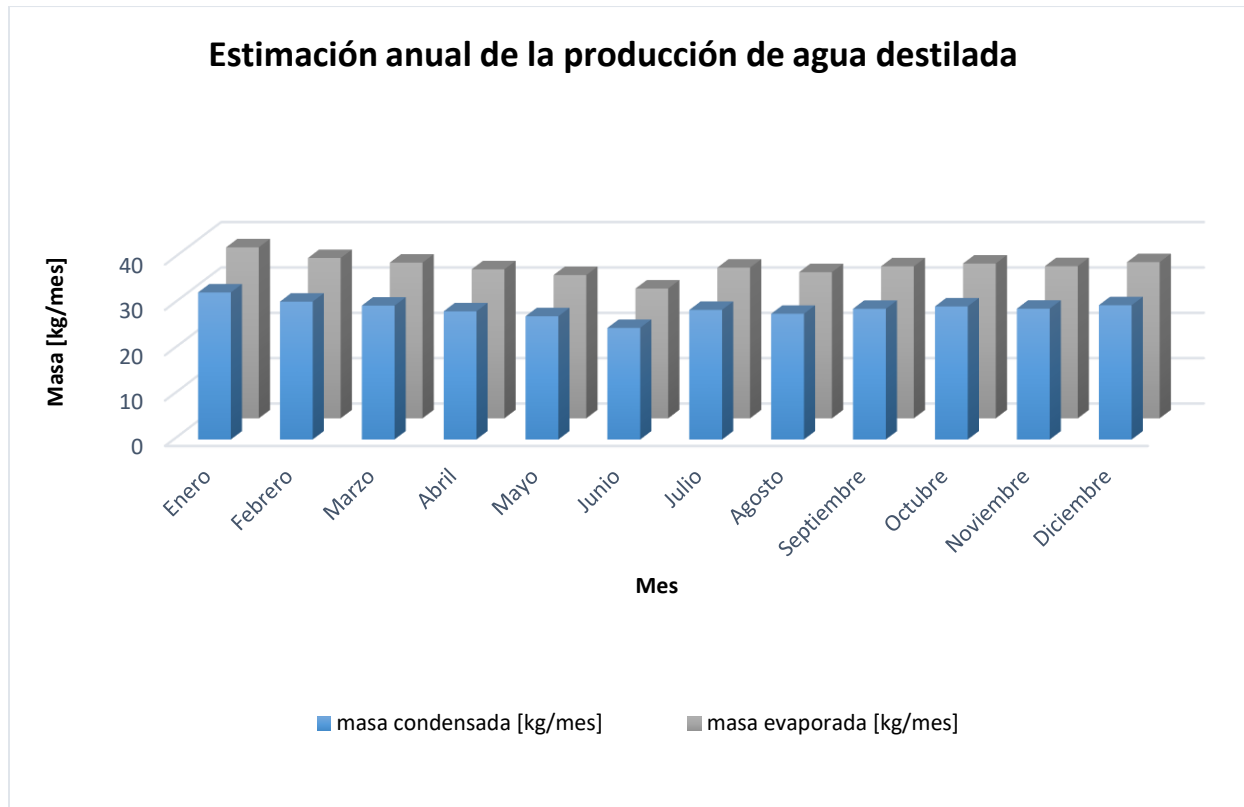
Tabla 19 Estimación anual de la producción de agua destilada.

ESTIMACIÓN ANUAL DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA DESTILADA						
mes	# día	radiación directa [W*h/m ² *día]	radiación difusa [W*h/m ² *día]	S [W*h/m ² *día]	masa evaporada [kg/mes]	masa condensada [kg/mes]
Enero	15	4200	3478	3254	37,7	32,42
Febrero	46	3900	3350	3052	35,35	30,4
Marzo	75	3800	3222	2963	34,33	29,52
Abril	106	3700	2943	2836	32,86	28,26
Mayo	136	3700	2504	2727	31,59	27,17
Junio	167	3400	2157	2470	28,61	24,61
Julio	197	4300	1703	2868	33,22	28,57
Agosto	228	3800	2499	2782	32,23	27,72
Septiembre	259	3800	2941	2893	33,51	28,82
Octubre	289	3800	3153	2946	34,13	29,35
Noviembre	320	3700	3180	2896	33,55	28,85
Diciembre	350	3800	3259	2972	34,43	29,61

Fuente: Autores.

La capacidad de concentración de energía recibida por el tubo al vacío del CPC durante el año tiene un valor estimativo aproximado de 0,91 giga julios (GJ), los cuales pueden generar alrededor de 345,3 litros de agua destilada. A continuación, se muestran los datos obtenidos por un diagrama de barras en donde se puede comparar mes a mes el comportamiento de producción del equipo.

gráfica 12 Estimación anual de la producción de agua destilada.



Fuente: Autores.

6.6.9 Mantenimiento para un colector parabólico compuesto (CPC)

Los sistemas de energía renovable que implementan la energía solar como sustento principal de calor, tienen un bajo coste de mantenimiento, por lo que solamente es necesario exponer los procedimientos que usualmente se emplean en concentradores de calor, enfocado al calentamiento de agua y acondicionamiento de espacios.

6.6.9.1 Mantenimiento preventivo

El proceso de destilación del equipo construido se basa en evaporar el fluido estancado en el tubo al vacío, por consiguiente, se generan sedimentos (incrustaciones) en la superficie interna, la cual, puede afectar considerablemente al sistema térmico al dejar ocasionar una pared de suciedad, que puede ser vista como un aislante de calor.

Por consiguiente, semanalmente se debe realizar una limpieza general por medio de cepillados suaves al interior del tubo, con el fin, de eliminar impurezas y suciedad acumulada, además del cepillado se puede emplear soluciones jabonosas. El mantenimiento del perfil hiperbólico se realiza diariamente, de modo que, es necesario realizar un limpieza rápida y suave a la superficie reflectante, con la finalidad de, no perder eficiencia óptica.

6.6.9.2 Mantenimiento correctivo

El empleo de pintura anticorrosiva para la estructura se emplea de forma anual, con el objeto de alargar la vida útil del equipo, en climas muy húmedos, es necesario revisar zonas afectadas cada [3 o 6] meses la pintura y limpieza general. Usualmente el cambio del tubo al vacío se hace cuando este pierde el vacío por inyección que trae por defecto entre los vidrios, a continuación, se presenta una ilustración de la falla.

figura 34 Ilustración del fallo por perdida de vacío en el tubo.



Fuente: Autores.

7 CONCLUSIONES

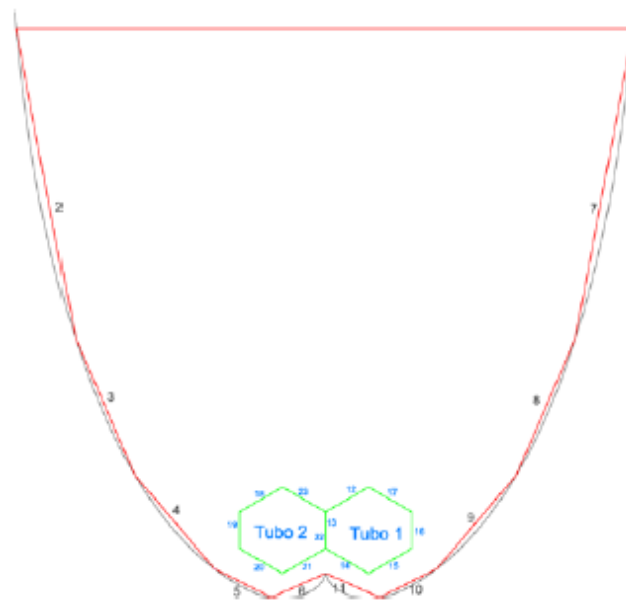
- La muestra de agua destilada obtenida por el colector parabólico compuesto construido para tratar el Río de Oro en Girón, Santander no cumplió con los estudios microbiológicos debido a la presencia de coliformes y E. coli, lo que indica un riesgo del 66% para la calidad del agua según la Resolución Nacional 2115 de 2007. Por lo tanto, el agua procesada solo puede ser utilizada para usos domésticos que no involucren el consumo humano, tales como el aseo del hogar, limpieza de vehículos y riego de plantas.
- El CPC en el proyecto se puede emplear como pretratamiento antes de desinfección con cloro gaseoso para cumplir normativas de análisis fisicoquímicos, microbiológicos, metales y pesticidas. Además, puede usarse en ciclos de potencia para generar vapor y reducir costos energéticos y quema de combustibles.
- El sistema utiliza un tubo al vacío de flujo directo como recipiente de absorción de radiación solar, lo que ayuda a mantener la temperatura de ebullición del agua (96°C) incluso durante periodos de disminución en la radiación. El vacío ayuda a reducir las pérdidas de convección y el uso de una lámina de acero inoxidable reflectante aumenta la estabilidad de la temperatura, reduciendo el tiempo de espera para que el fluido vuelva al régimen de ebullición nucleada y requiriendo una tasa de transferencia de calor mínima de aproximadamente 3615 W sobre la superficie interna del tubo al vacío.
- La construcción del perfil hiperbólico reflectivo tiene un mayor rendimiento debido a la relación entre el área de entrada y el área de absorción de radiación solar. La tasa de transferencia de calor para el precalentamiento del fluido varía entre 75W y 315W con una eficiencia térmica entre 45% y 71% dependiendo de las condiciones climáticas.

- Según los análisis del modelo matemático para el precalentamiento del fluido entre 25°C y 96°C, se observa una falta de similitud entre el planteamiento teórico y el comportamiento real debido a fluctuaciones constantes en la nubosidad. Esto afecta el coeficiente global de pérdidas de calor que varía entre $0,1879 \frac{W}{m^2K}$ y $0,2274 \frac{W}{m^2K}$. Esto puede ser causado por las pérdidas por convección y conducción descritas en el principio teórico, pero el vacío del tubo en radiaciones bajas hace que estas pérdidas de calor sean despreciables.
- Los valores de eficiencia operativa disminuyen debido a las fugas de vapor causadas por la dilatación en los acoples de PVC debido a la temperatura de trabajo en el sistema. A medida que aumenta la radiación solar, también se observa un aumento en la masa de vapor producida y en las fugas entre los tubos, lo que resulta en una mayor ineficiencia operativa del CPC, que varía entre un 87% y 91%.

8 SUGERENCIAS

Según Infante (2018, pág. 73), se concluye que la geometría tipo CPC con 2 tubos alineados horizontalmente presenta un buen potencial sin afectaciones significativas en el rendimiento del equipo con 1 tubo. Es importante establecer un espaciamiento adecuado para reducir el sombreado y la dispersión de rayos solares reflejados hacia la cavidad. El arreglo de 2 tubos al vacío mencionado anteriormente puede ser utilizado para cumplir una demanda de agua potable o consumo doméstico. En el presente proyecto, se esperaba cumplir con una necesidad de 300 litros mensuales por lo que se necesita emplear 5 CPC de doble tubo, como se muestra en la siguiente figura.

figura 35 Configuración de 2 tubos al vacío en un CPC



Fuente: (Infante Vaz, 2018, pág. 73).

BIBLIOGRAFÍA

- ACCIONA. (2020). *¿Qué es el Cambio Climático y cómo nos afecta?* | ACCIONA.
https://www.accionacom.com/es/cambio-climatico/?_adin=02021864894
- Aguilar-Jiménez, J. A., Velázquez, N., Acuña, A., López-Zavala, R., & González-Uribe, L. A. (2018). Effect of orientation of a CPC with concentric tube on efficiency. *Applied Thermal Engineering*, 130, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.167>
- Benavides Ballesteros, H. O., Simbaqueva Fonseca, O., & Zapata Lesmes, H. J. (2017). ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR, ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA. *IDEAM*, 68–74.
- Buelvas, R., & Mauren, C. (2020). Diseño de un prototipo de destilador solar activo de doble pendiente, como método de obtención de agua potable para las comunidades vulnerables de Colombia. *Instname: Institución Universitaria Pascual Bravo*.
<https://repositorio.pascualbravo.edu.co/handle/pascualbravo/1125>
- Caro Guzmán. (2020). DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE DESTILADORES SOLARES DE AGUA DE ALTO RENDIMIENTO. *Universidad Autonoma Del Estado de México*.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia De Calor y Masa: Vol. 4ta ed.*
- Echevarría López, C. A. (2011). DISEÑO DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO CON APLICACIÓN PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA. *Universidad de Piura*.

IDEAM. (n.d.). *NORMALIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DE SENSORES DE RADIACIÓN - IDEAM.*

Retrieved January 25, 2023, from <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/normalizacion-y-calibracion-de-sensores-de-radiacion>

IDEAM, & UPME. (2005). Atlas de Radiación Solar de Colombia. *Ministerio de Minas y Energía.*

www.ideam.gov.cowww.upme.gov.co

IDEAM-UNAL. (2018). LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA. *Universidad Nacional de Colombia.*

Infante Vaz, I. (2018). DISEÑO TERMICO DE UN CONCENTRADOR SOLAR. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.*

Jiménez, E. (2020). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES CARRERA DE INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniera en PURIFICACIÓN DE AGUA LOCAL PARA CONSUMO HUMANO CON UN DESTILADOR SOLAR DE ALTA EFICIENCIA PARA ENTORNOS DOMÉSTICOS RURALES ÁRIDOS.*

Molina Ramirez, A. D. (2020). Destilador solar. *Universidad Antonio Nariño.*

ONU-UNESCO. (2019). *Más de 2000 millones de personas no tienen acceso a agua potable ni saneamiento básico | Noticias ONU.* <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452891>

Pinzon, J., & Colmenares, S. (2008). *DISEÑO, CONSTRUCCION Y PRUEBAS DE UN DESTILADOR SOLAR SUANN MELISSA COLMENARES ANGARITA ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACION.*

Quijano Prada, J. S., Jaimes Galvis, R. E., & Vera Arias, Y. E. (2015). PROTOTIPO DE UN DESTILADOR SOLAR ACTIVO DE DOBLE PENDIENTE, COMO MÉTODO DE OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE PARA LAS COMUNIDADES VULNERABLES DE ANTIOQUIA. *Universidad Industrial de Santander*.

Singh, A. K., Yadav, R. K., Mishra, D., Prasad, R., Gupta, L. K., & Kumar, P. (2020). Active solar distillation technology: A wide overview. *Desalination*, 493, 114652.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114652>

UNESCO. (2020). *Informe del 2020 - Agua y cambio climático*.
<https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>

ANEXOS

ANEXO A. Modelo estimativo para calcular la inclinación (β) óptima de la superficie.

"Datos para la localidad de estudio"

$\phi=7,08$
 $\delta=23,45*\sin(360*(284+n)/365)$ "declinación <delta>"
 $G_{sc}=1367$ "W/m²" "constante solar"
 $r=0,38$ "pasto"
 $h_{amanecer}=12+\omega_s/15$ "hora de amanecer"
 $\omega_s=\arccos(-\tan(\delta)*\tan(\phi))$
 $\omega_{si}=\arccos(-\tan(\delta)*\tan(\phi_{\beta}))$
 $\phi_{\beta}=\phi-\beta$

$wss=\text{if}(\omega_s;\omega_{si};e;f)$
 $e=\arccos(-\tan(\delta)*\tan(\phi))$
 $f=\arccos(-\tan(\delta)*\tan(\phi_{\beta}))$

"La estimación del Hd"

$H_o=(24/\pi)*G_{sc}*(1+0,33*\cos(360/365*n))*(\cos(\phi)*\cos(\delta)*\sin(\omega_s)+\pi/180*\omega_s*\sin(\phi)*\sin(\delta))$

$K_t=H/H_o$ "KT índice de claridad"
 $H_d/H=X$

$x=\text{if}(K_t;0,17;a;a;y)$
 $y=\text{if}(K_t;0,75;b;b;z)$
 $z=\text{if}(K_t;0,8;c;d;d)$

$a = 0,99$
 $b=1,188-2,272*K_t+9,473*K_t^2-21,865*K_t^3+14,648*K_t^4$
 $c=-0,54*K_t+0,632$
 $d=0,2$

"Radiación en la superficie inclinada"

$H_{\beta}=(H-H_d)*R_b+H_d*\cos(\beta/2)^2+H*r*\sin(\beta/2)^2$ "(W*h)/(m²*dia)"
 $H_{\beta\text{prom}}=H_{\beta}/N_{\text{h_dia}}$ "W/m²"
 $N_{\text{h_dia}}=2/15*wss$

$R_b=\text{Cos_theta_z_prom}/\text{Cos_theta_prom}$
 $\text{Cos_theta_z_prom}=\cos(\phi)*\cos(\delta)*\sin(wss)+(\pi*wss/180)*\sin(\phi)*\sin(\delta)$ "el promedio de theta_z se calcula en phi"
 $\text{Cos_theta_prom}=\cos(\phi_{\beta})*\cos(\delta)*\sin(wss)+(\pi*wss/180)*\sin(\phi_{\beta})*\sin(\delta)$ "el promedio de theta_z se calcula en phi-beta"

ANEXO B. Modelo matemático para la construcción del perfil hiperbólico del CPC.

"Datos geométricos del tubo al vacío"

$r=0,0215$ [m] "radio del tubo absorbente"
 $D_o=0,057$ [m] "diámetro exterior del tubo "
 $L_{\text{tubo}}=1,8$ [m] "longitud del tubo absorbente"
 $L_{\text{lamina}}=1,6$ [m] "longitud de la lámina reflectora"

"Calculo para el diseño geométrico de la hipérbole"

$\theta_a=23,5 \cdot \text{convert}(\text{°};\text{rad})$ "ángulo de aceptación entre la intercepción y la cubierta "
 $\theta_{\text{rad}}=\theta_a \cdot \text{convert}(\text{°};\text{rad})$ "ángulo para generar el perfil de la involuta y la parábola"

$\rho = \text{if}(\theta_{\text{rad}}; \theta_a + \pi/2; a; b)$ "rho(theta) es el perfil de la hipérbole"
 $b = \text{if}(\theta_{\text{rad}}; 3 \cdot \pi/2 - \theta_a; c; d)$

"ecuación para la involuta"

$a = r \cdot \theta_{\text{rad}}$

"ecuación para la parábola"

$c = r \cdot ((\theta_{\text{rad}} + \theta_a + \pi/2 - \cos(\theta_{\text{rad}} - \theta_a)) / (1 + \sin(\theta_{\text{rad}} - \theta_a)))$
 $d = r \cdot 0$

"Reemplazar el perfil a coordenadas cartesianas"

$X1 = -X$ "coordenada -i"
 $X = r \cdot \sin(\theta_{\text{rad}}) - \rho \cdot \cos(\theta_{\text{rad}})$ "coordenada i"
 $Y = -r \cdot \cos(\theta_{\text{rad}}) - \rho \cdot \sin(\theta_{\text{rad}})$ "coordenada j ; -j"
 $H = Y - (-r \cdot \cos(\pi/2) - (r \cdot \pi/2) \cdot \sin(\pi/2))$ "altura de la hipérbole coordenada j ; pi/2 es el punto más bajo"

"Cálculo de las áreas para el colector parabólico compuesto CPC"

$A_r = L_{\text{lamina}}/2 \cdot (\sqrt{4 \cdot H^2 + W^2} + W^2 / (2 \cdot (H + 0,0001[\text{m}]) \cdot \text{LN}((2 \cdot H + \sqrt{4 \cdot H^2 + W^2}) / W)))$ "área del reflectante"
 $A_a = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L_{\text{tubo}}$ "área del tubo absorbente"
 $A_c = L_{\text{tubo}} \cdot (W)$ "área de la cubierta de vidrio"
 $W = 2 \cdot X$ "ancho total de la hipérbole, son dos laminas"

Es necesario iterar θ desde los 0° hasta los 246° , pero se trunca la altura por mitad, a fin de reducir costos en la compra de materiales.

ANEXO C. Programación para el registro de datos de las termocuplas en Arduino UNO.

```
#include <Thermocouple.h>
#include <MAX6675_Thermocouple.h>
double lectura1;
double lectura2;
#define SCK_PIN_1 7
#define CS_PIN_1 6
#define SO_PIN_1 5
#define SCK_PIN_2 4
#define CS_PIN_2 3
#define SO_PIN_2 2
Thermocouple* Inside_Thermo1;
Thermocouple* Inside_Thermo2;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("LABEL,hora,lectura1,lectura2");
  Inside_Thermo1 = new MAX6675_Thermocouple(SCK_PIN_1, CS_PIN_1, SO_PIN_1);
  Inside_Thermo2 = new MAX6675_Thermocouple(SCK_PIN_2, CS_PIN_2, SO_PIN_2);
}
void loop() {
  lectura1 = Inside_Thermo1->readCelsius();
  lectura2 = Inside_Thermo2->readCelsius();
  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.println(lectura1);
  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.println(lectura2);
  delay(1000);
}
```

ANEXO D. Modelo matemático para el precalentamiento del fluido.

"Datos geométricos del CPC"

$r=0,0215$ [m] "radio del tubo absorbente"
 $r_o=0,0216$ [m]
 $D_o=0,057$ [m] "diámetro exterior del tubo "
 $L_{tubo}=1,8$ [m] "longitud del tubo absorbente"
 $\theta_a=23,5*\text{convert}(\text{°};\text{rad})$ "ángulo de aceptación entre la intercepción y la cubierta"
 $A_a=0,2432$ [m²]
 $A_c=0,5532$ [m²]
 $A_r=0,65$ [m²]

"Temperaturas estimativas"

$T_{amb}=24+273$ [K] "temperatura del ambiente o recinto"
 $T_{sky}=0,0552*(T_{amb})^{1,5}$ "temperatura del cielo"

"Propiedades de materiales"

$\tau_v=0,86$ "transmisividad del vidrio en el tubo al vacío"
 $\alpha_a=0,92$ "absortividad de la superficie plateada "
 $\rho_r=0,572$ "reflectividad de la lámina de inoxidable bien"
 $\epsilon_a=0,08$ "emisividad de tubo absorbente bien"
 $\epsilon_r=0,6$ "emisividad de la lámina reflectiva bien"
 $C_{p_agua}=4181$ [J/kg-K] "calor específico del fluido"
 $m_{agua}=2,4$ [Kg] "masa de agua al interior del tubo"

"Cálculo de la eficiencia óptica dentro del CPC"

$\eta_{op}=\tau_v^2*\rho_r^n*n_{cpc}*\alpha_a*p$ "eficiencia óptica para el CPC"
 $C_A=A_c/A_a$ "razón de concentración de áreas"
 $n_{cpc}=1-1/C_A$ "numero promedio de reflexiones"
 $p=1-g_p/(2*\pi*r_o)$ "corrección por pérdidas, distancia entre el tubo y la lámina reflectante"
 $g_p=0,01$ [m] "perdida por holgura, distancia m"

"ANALISIS DEL PRECALENTAMIENTO DEL FLUIDO 25°C - 96°C"

"Constantes"

$V_{viento}=8,5*\text{convert}(\text{km/h};\text{m/s})$
 $\sigma=5,67036E-8$ [W/m²-K⁴]
 $\theta=20*\text{convert}(\text{deg};\text{rad})$
 $F_{a_r}=A_r/(2*A_a)*(1-(A_c/A_r)*((1-\sin(\theta_a/2))*(1+2*\sin(\theta_a/2)))/(\sin(\theta_a/2)))$
 $g=9,81$ [m/s²]
 $L_c=2*r$
 $P_{er}=2*\pi*r$ "perímetro mojado"

calibre=0,000813 [m]

constante=2,77E-3 [1/s]
 rho_acero=8000 [Kg/m^3]
 Cp_acero=490 [J/Kg-K]
 K_tubo=235 [W/m-K] "conductividad del tubo"

T_f[1]=26+273 [K] "temperatura inicial del agua"
 T_a[1]=36+273[K]
 T_r[1]=26+273[K] "temperatura del reflector inicial"

Duplicate i=2;280
 T_a[i]=T_f[i-1]+5
 Q_u_abs[i]=S_prom[i]*A_c-(T_a[i]-T_amb)/R_T_perdidas[i]
 Q_u_f[i]=(T_a[i]-T_f[i])/R_T_af[i]
 Q_u_abs[i]=Q_u_f[i] "mismo flujo de calor"
 S_prom[i]=(S[i-1]+S[i])/2

"Cálculo de las resistencias totales de pérdidas"

R_1[i]=1/(h_conv_a_amb[i]*A_a)
 R_2[i]=1/(h_rad_a_sky[i]*A_a)
 R_3[i]=1/(h_rad_r_sky[i]*A_r)
 R_4[i]=1/(h_conv_r_amb[i]*A_r)
 R_5[i]=1/(h_rad_a_r[i]*A_a)
 R_6[i]=1/(h_conv_a_r[i]*A_a)

R_total_rad_sky[i]=R_2[i]+R_3[i]
 R_total_a_r[i]=(R_5[i]+R_6[i])/(R_5[i]*R_6[i])
 R_total_conv_amb[i]=R_1[i]+R_4[i]

R_T[i]=(R_total_a_r[i]+R_total_rad_sky[i])/(R_total_rad_sky[i]*R_total_a_r[i])+R_4[i]

R_T_perdidas[i]=(R_T[i]+R_1[i])/(R_T[i]*R_1[i])
 R_T_af[i]=1/(h_conv_natural[i]*A_a)+Ln(r_o/r)/(2*pi*L_tubo*K_tubo)

"Cálculo de los coeficientes convectivos"

h_conv_a_amb[i]=5,7[W/m^2-K]+3,8[J/m^3-K]*V_viento
 h_conv_r_amb[i]=(5,7[W/m^2-K]+3,8[J/m^3-K]*V_viento)*(A_r/A_a)
 h_conv_a_r[i]=3,25[W/m^2-K]+0,0085[W/m-K^2]*(T_a[i]-T_r[i])/(4*r)

"Cálculo de los coeficientes radiativo"

h_rad_a_sky[i]=epsilon_a*sigma*(T_a[i]^2+T_sky^2)*(T_a[i]+T_sky)
 h_rad_r_sky[i]=epsilon_r*sigma*(T_r[i]^2+T_sky^2)*(T_r[i]+T_sky)
 h_rad_a_r[i]=(sigma*(T_a[i]^2+T_r[i]^2)*(T_a[i]+T_r[i]))/((1-epsilon_r)/epsilon_r+1/F_a_r+(1-epsilon_a)/epsilon_a*A_r/A_a)

"Temperatura de fluido estimativa"

$T_f[i] = ((T_f[i-1] - T_{amb}) - (A_c/A_a * S_{prom}[i]/U_l[i])) * \text{EXP}(-(P_{er} * (U_l[i] * \text{convert}(w_{min}; J)) / (m_{agua} * C_{p_{agua}} * F_R[i] * L_{tubo}) + (A_c/A_a * S_{prom}[i]/U_l[i]) + T_{amb}$

$U_l[i] = 1/R_{T_{perdidas}[i]}$

$U_{l_a}[i] = 1/R_{T_{af}[i]}$

$F_R[i] = (1/U_l[i]) / (1/U_l[i] + 1/U_{l_a}[i])$ "factor de corrección"

"Máxima temperatura a la que puede llegar el reflector de acero inoxidable"

$T_{r_max}[i] = T_{amb} + S_{prom}[i] * \eta_{op} / (\rho_{acero} * \text{calibre} * C_{p_{acero}} * \text{constante})$

$T_r[i] = (T_{r_max}[i] + T_r[i-1]) / 2$

End

ANEXO E. Modelo matemático para la ebullición nucleada.

"Cálculo de propiedades a la temperatura de saturación en Bucaramanga"

```
T_sat=96 [C] "Bucaramanga aproximadamente a 1000 m sobre nivel del mar"
rho_l=Density(Water;T=T_sat;x=0)
rho_v=Density(Water;T=T_sat;x=1)
mu_l=Viscosity(Water;T=T_sat;x=0)
Pr_l=Prandtl(Water;T=T_sat;x=0)
Cp_l=Cp(Water;T=T_sat;x=0)
h_fg=Enthalpy_vaporization(Water;T=T_sat)
sigma=SurfaceTension(Water;T=T_sat)
C_cr=0,12 "tubo largo"
C_sf=0,0130 "agua-cobre"
A_a=0,2432 [m^2]
A_c=0,5532 [m^2]
g=9,81 [m/s^2]
L_tubo=1,8 [m]
n=1
T_amb=24 [C]
R_T_perdidas=5,5 [W/C]
```

"Flujos de calor para la ebullición"

"Flujo máximo de calor para la ebullición nucleada"

```
Q_dot_max=C_cr*h_fg*(sigma*g*rho_v^2*(rho_l-rho_v))^(1/4) "W/m2"
"ebullición nucleada"
Q_dot_nucleada=mu_l*h_fg*(g*(rho_l-rho_v)/sigma)^(1/2)*((Cp_l*(T_s-
T_sat))/(C_sf*h_fg*Pr_l^n))^3 "W/m2"
Q_dot_max=Q_dot_nucleada
```

"Calor útil del fluido máximo"

```
Qu_f_max=Q_dot_max*A_a "W"
Qu_f_max=m_dot_eva_max*h_fg
```

"Calor util del fluido mínimo"

```
Qu_f_min=3615 [W]
Qu_f_min=m_dot_eva_min*h_fg
```

Duplicate i=2;88

```
Q_u[i]=S_prom[i]*convert(W-min;j)*A_c
S_prom[i]=(S[i-1]+S[i])/2
m_eva_cpc[i]=Q_u[i]/h_fg
End
```

"Para el acumulado de masa evaporada"

```
m_eva_cpc=sum(m_eva_cpc[i];i=2;88)
```

ANEXO F. Modelo estimativo para la producción de agua destilada al año.

"Datos para la localidad"

$\phi = 7,08$
 $\delta = 23,45 * \sin(360 * (284 + n) / 365)$ "declinación <delta>"
 $G_{sc} = 1367$ "W/m²" "constante solar"
 $r = 0,38$ "pasto"
 $\beta = 20$ [°]
 $h_{amanecer} = 12 + \omega_s / 15$ "hora de amanecer"
 $\omega_s = \arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi))$
 $\omega_{si} = \arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi_{\beta}))$
 $\phi_{\beta} = \phi - \beta$

$wss = \text{if}(\omega_s; \omega_{si}; e; e; f)$
 $e = \arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi))$
 $f = \arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi_{\beta}))$

"La estimación del Hd"

$H_o = (24/\pi) * G_{sc} * (1 + 0,33 * \cos(360/365 * n)) * (\cos(\phi) * \cos(\delta) * \sin(\omega_s) + \pi/180 * \omega_s * \sin(\phi) * \sin(\delta))$
 $K_t = H/H_o$ "KT índice de claridad"
 $H_d/H = X$
 $x = \text{if}(K_t; 0,17; a; a; y)$
 $y = \text{if}(K_t; 0,75; b; b; z)$
 $z = \text{if}(K_t; 0,8; c; d; d)$
 $a = 0,99$
 $b = 1,188 - 2,272 * K_t + 9,473 * K_t^2 - 21,865 * K_t^3 + 14,648 * K_t^4$
 $c = -0,54 * K_t + 0,632$
 $d = 0,2$

$H_{\beta} = (H - H_d) * R_b + H_d * \cos(\beta/2)^2 + H * r * \sin(\beta/2)^2$ "(W*h)/(m²*día)"
 $H_{\beta \text{ prom}} = H_{\beta} / N_{h \text{ día}}$ "W/m²"
 $N_{h \text{ día}} = 2/15 * wss$

$R_b = \text{Cos}_{\theta_z \text{ prom}} / \text{Cos}_{\theta \text{ prom}}$
 $\text{Cos}_{\theta_z \text{ prom}} = \cos(\phi) * \cos(\delta) * \sin(wss) + (\pi * wss / 180) * \sin(\phi) * \sin(\delta)$ "el promedio de θ_z se calcula en ϕ "
 $\text{Cos}_{\theta \text{ prom}} = \cos(\phi_{\beta}) * \cos(\delta) * \sin(wss) + (\pi * wss / 180) * \sin(\phi_{\beta}) * \sin(\delta)$ "el promedio de θ_z se calcula en $\phi - \beta$ "
"Cálculo de la masa evaporada en el mes"

$T_{\text{sat}} = 96$ [C]
 $h_{fg} = \text{Enthalpy}_{\text{vaporization}}(\text{Water}; T = T_{\text{sat}})$
 $A_a = 0,2432$ [m²]
 $A_c = 0,5532$ [m²]
 $C_A = A_c / A_a$
 $\eta_{\text{optica}} = 0,568$

$\eta_{operativa}=0,86$
 $S=(H+H_d/C_A)*\eta_{optica}$
 $Q_{dot}=S*convert(W-h;j)$

$Q_{u_f}=Q_{dot}*A_a$
 $Q_{u_f}=m_{dot_eva}*h_{fg}$
 $m_{evaporada}=m_{dot_eva}*30$
 $m_{condensada}=m_{evaporada}*\eta_{operativa}$

ANEXO G. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (lunes 24 de octubre).

PRECALENTAMIENTO (lunes 24 octubre)										
HORA	mV Hdirecta	mv Hdifusa	W/m2 H	Promedio H	W/m2 Hd	Promedio Hd	S [W/m2]	S promedio	T H2O	T vapor
9:03	1,5	0,5	107,35	315,37	42,8	141,1	38,3	108,7	27,2	26,0
9:04	1,5	0,5	107,35		51,4		29,0		27,0	
9:05	1,5	0,5	107,35		77,1		28,0		26,7	
9:06	1,5	0,5	107,35		85,6		27,1		27,3	
9:07	1,5	0,6	107,35		85,6		27,2		27,3	
9:08	1,5	0,9	107,35		85,6		27,0		27,6	
9:09	1,6	1	114,51		94,2		27,6		27,0	
9:10	1,6	1	114,51		94,2		28,3		26,7	
9:11	1,6	1	114,51		102,7		28,3		26,7	
9:12	1,8	1,1	128,82		111,3		28,8		26,4	
9:13	1,9	1,1	135,98		128,4		28,8		26,5	
9:14	2,2	1,2	157,45		137,0		29,3		26,8	
9:15	2,8	1,3	200,39		128,4		29,8		27,7	
9:16	4,6	1,5	329,22		119,9		30,9		27,9	
9:17	3,1	1,6	221,86		119,9		31,5		28,6	
9:18	3,2	1,5	229,02		119,9		32,3		29,3	
9:19	4,5	1,4	322,06		119,9		32,3		29,4	
9:20	10,3	1,4	737,16		111,3		32,5		30,4	
9:21	10,3	1,4	737,16		119,9		35,1		32,4	
9:22	9,6	1,4	687,06		111,3		35,9		34,3	
9:23	9	1,3	644,12		145,6		38,0		35,5	
9:24	8,4	1,4	601,18		145,6		38,3		36,5	
9:25	8,5	1,3	608,34		145,6		40,8		38,2	
9:26	9,2	1,7	658,44		137,0		42,0		39,3	
9:27	9,4	1,7	672,75		162,7		43,3		40,5	
9:28	8,6	1,7	615,50		196,9		44,8		41,2	
9:29	4,5	1,6	322,06		179,8		44,6		40,7	
9:30	4,1	1,9	293,43		171,2		45,2		41,3	
9:31	9,3	2,3	665,59		162,7		47,3		43,2	
9:32	8	2,1	572,55		154,1		47,0		43,8	
9:33	7	2	500,98		162,7		48,2		45,3	
9:34	3,3	1,9	236,18		179,8		49,1		45,4	
9:35	3,3	1,8	236,18		196,9		49,8		45,3	
9:36	3,1	1,9	221,86		196,9		50,3		44,3	
9:37	3,5	2,1	250,49		214,0		51,0		44,6	
9:38	4,6	2,3	329,22		214,0		51,6		45,7	
9:39	4,6	2,3	329,22		214,0		52,0		44,3	
9:40	5,5	2,5	393,63		214,0		52,7		44,8	

9:41	3,6	2,5	257,65		214,0		63,3		53,2	44,8
9:42	3,6	2,5	257,65		214,0		63,3		53,5	43,7
9:43	3,6	2,5	257,65		214,0		63,3		54,3	44,6
9:44	3,8	2,5	271,96		231,2		65,5		54,5	45,7
9:45	4,1	2,5	293,43		231,2		75,4		55,1	47,0
9:46	4,5	2,5	322,06		248,3		84,1		55,7	47,7
9:47	6,2	2,7	443,73		248,3		140,1		55,9	46,8
9:48	6	2,7	429,42		188,4		149,0		56,6	46,5
9:49	5	2,9	357,85		179,8		118,3		56,8	46,7
9:50	5,8	2,9	415,10		171,2		146,8		57,0	46,4
9:51	7,5	2,2	536,77		137,0		211,6		57,8	47,0
9:52	7,3	2,1	522,46		102,7		213,8		58,3	46,8
9:53	7,1	2	508,14		94,2		209,5		58,8	45,3
9:54	3,2	1,6	229,02		94,2		81,1		59,0	45,8
9:55	2,5	1,2	178,92		85,6		60,2		59,8	45,8
9:56	2	1,1	143,14		85,6		43,8		59,9	45,8
9:57	1,9	1,1	135,98		85,6		40,5		60,5	44,8
9:58	1,7	1	121,67		85,6		33,9		60,7	44,7
9:59	1,6	1	114,51		85,6		30,6		60,2	44,0
10:00	1,6	1	114,51		85,6		30,6		60,6	43,3
10:01	1,5	1	107,35		85,6		27,3		60,7	43,3
10:02	1,5	1	107,35		94,2		25,1		60,3	43,1
10:03	1,4	1	100,20		102,7		19,6		60,2	42,8
10:04	1,4	1	100,20		128,4		13,0		60,3	42,8
10:05	1,4	1,1	100,20		128,4		13,0		60,4	42,2
10:06	1,5	1,2	107,35		128,4		16,3		60,3	42,3
10:07	1,8	1,5	128,82		128,4		26,2		60,5	42,2
10:08	2,4	1,5	171,77		128,4		45,9		60,5	41,7
10:09	2,4	1,5	171,77		119,9		48,1		60,6	42,4
10:10	2,6	1,5	186,08		119,9		54,7		60,8	42,4
10:11	2,8	1,5	200,39		119,9		61,3		60,8	41,9
10:12	2,8	1,4	200,39		137,0		56,9		60,9	42,3
10:13	3	1,4	214,71	553,31	137,0	171,2	63,5	210,4	60,9	41,4
10:14	3,2	1,4	229,02		137,0		70,0		61,1	41,5
10:15	3,3	1,6	236,18		137,0		73,3		60,9	41,3
10:16	3,9	1,6	279,12		137,0		93,1		61,0	40,9
10:17	3,6	1,6	257,65		137,0		83,2		61,1	42,3
10:18	3,7	1,6	264,81		137,0		86,5		61,1	41,8
10:19	3,8	1,6	271,96		137,0		89,8		61,3	42,1
10:20	3,9	1,6	279,12		137,0		93,1		61,3	42,3
10:21	3,9	1,6	279,12		137,0		93,1		61,6	42,6
10:22	4,5	1,6	322,06		111,3		119,5		61,7	42,3
10:23	4,4	1,6	314,90		111,3		116,2		62,1	42,4

10:24	4,4	1,6	314,90		119,9		114,0		62,3	42,4
10:25	4,5	1,3	322,06		145,6		110,6		62,4	42,8
10:26	4,5	1,3	322,06		171,2		104,0		62,5	42,8
10:27	4,7	1,4	336,38		137,0		119,4		62,8	43,9
10:28	5	1,7	357,85		171,2		120,5		63,7	45,5
10:29	5,2	2	372,16		171,2		127,1		64,1	47,3
10:30	5,4	1,6	386,47		196,9		127,0		64,6	48,3
10:31	6	2	429,42		205,5		144,6		64,9	47,2
10:32	6,2	2	443,73		188,4		155,6		65,9	48,7
10:33	8	2,3	572,55		179,8		217,0		66,4	51,0
10:34	10	2,4	715,69		196,9		278,5		67,6	52,9
10:35	9,3	2,2	665,59		188,4		257,6		68,7	53,1
10:36	7,3	2,1	522,46		205,5		187,4		70,3	54,9
10:37	8,8	2,3	629,81		205,5		236,7		71,3	58,7
10:38	9,4	2,2	672,75		214,0		254,3		72,9	59,2
10:39	13,5	2,4	966,18		205,5		391,5		74,7	59,8
10:40	14,8	2,4	1059,22		196,9		436,5		75,3	59,0
10:41	14,9	2,5	1066,38		214,0		435,4		76,7	58,9
10:42	15,4	2,4	1102,17		205,5		454,0		77,3	60,4
10:43	14,2	2,3	1016,28		205,5		414,5		78,8	60,4
10:44	13,2	2,5	944,71		196,9		383,8		79,9	61,6
10:45	9,2	2,4	658,44		188,4		254,3		80,6	65,2
10:46	9	2,4	644,12		188,4		247,7		81,7	67,3
10:47	7,5	2,3	536,77		188,4		198,4		82,4	68,3
10:48	9,2	2,2	658,44		205,5		249,9		84,0	70,9
10:49	7,2	2,2	515,30		205,5		184,1		85,6	69,6
10:50	10	2,2	715,69		205,5		276,2		86,6	69,1
10:51	16,1	2,4	1152,26		205,5		477,1		87,3	69,3
10:52	15,4	2,4	1102,17		205,5		454,0		87,8	69,3
10:53	16,2	2,4	1159,42		205,5		480,4		89,3	74,8
10:54	15,1	2,4	1080,70		196,9		446,4		89,5	73,3
10:55	15,7	2,4	1123,64		205,5		463,9		89,9	71,2
10:56	14	2,4	1001,97		205,5		407,9		90,5	71,8
10:57	9,9	2,3	708,54		205,5		273,0		91,8	70,1
10:58	10,3	2,4	737,16		196,9		288,3		91,5	68,8
10:59	8,1	2,4	579,71		196,9		215,9		91,5	69,2
11:00	7,7	2,4	551,08		179,8		207,2		91,1	70,8
11:01	7,5	2,3	536,77		179,8		200,6		91,4	72,0
11:02	7,2	2,3	515,30		188,4		188,5		92,2	73,1
11:03	7,3	2,1	522,46		188,4		191,8		93,0	73,8
11:04	6,8	2,1	486,67		188,4		175,3		92,7	77,8
11:05	6,1	2,2	436,57	483,27	196,9	220,2	150,1	165,5	92,8	77,2
11:06	6,3	2,2	450,89		188,4		158,9		93,3	77,0

11:07	9,1	2,2	651,28	205,5	246,6	93,1	75,1
11:08	9	2,3	644,12	205,5	243,3	93,3	74,7
11:09	9,2	2,2	658,44	205,5	249,9	93,3	74,6
11:10	10,5	2,4	751,48	205,5	292,7	93,6	74,5
11:11	8,2	2,4	586,87	214,0	214,8	93,3	74,2
11:12	7,9	2,4	565,40	214,0	204,9	93,7	74,8
11:13	7,4	2,4	529,61	214,0	188,4	94,0	75,3
11:14	6,5	2,5	465,20	205,5	161,0	93,9	75,2
11:15	6,5	2,5	465,20	214,0	158,8	93,3	73,2
11:16	6,3	2,5	450,89	214,0	152,2	94,2	73,0
11:17	6,3	2,4	450,89	214,0	152,2	94,2	74,4
11:18	6,4	2,5	458,04	214,0	155,5	94,4	75,4
11:19	6,4	2,5	458,04	214,0	155,5	94,5	74,3
11:20	6,8	2,5	486,67	214,0	168,7	94,7	74,5
11:21	6,6	2,5	472,36	222,6	159,9	94,6	74,1
11:22	6,3	2,5	450,89	222,6	150,0	94,6	74,1
11:23	6,3	2,5	450,89	222,6	150,0	93,6	75,3
11:24	6,1	2,6	436,57	222,6	143,4	95,0	74,7
11:25	6,1	2,6	436,57	222,6	143,4	95,5	75,6
11:26	6,3	2,6	450,89	222,6	150,0	95,2	75,7
11:27	6,3	2,6	450,89	222,6	150,0	94,8	77,6
11:28	6,7	2,6	479,51	222,6	163,2	96,8	77,9
11:29	7,2	2,6	515,30	222,6	179,7	96,0	76,8
11:30	7,2	2,6	515,30	222,6	179,7	96,4	77,8
11:31	6,9	2,6	493,83	222,6	169,8	95,8	79,4
11:32	6,9	2,6	493,83	222,6	169,8	95,9	79,9
11:33	6,5	2,6	465,20	222,6	156,6	95,8	79,7
11:34	6	2,6	429,42	222,6	140,1	96,5	79,3
11:35	6,3	2,6	450,89	222,6	150,0	95,8	80,7
11:36	6,3	2,6	450,89	222,6	150,0	96,5	82,3
11:37	6,5	2,6	465,20	222,6	156,6	96,5	82,8
11:38	6,4	2,6	458,04	222,6	153,3	96,2	85,3
11:39	6,1	2,6	436,57	231,2	141,2	96,5	86,6
11:40	6,1	2,6	436,57	239,7	139,0	96,8	87,0
11:41	6,1	2,6	436,57	239,7	139,0	97,1	85,6
11:42	6,2	2,7	443,73	239,7	142,3	96,8	85,5
11:43	6,4	2,8	458,04	239,7	148,9	96,3	84,4
11:44	6,8	2,8	486,67	239,7	162,1	96,5	84,8
11:45	6,8	2,8	486,67	239,7	162,1	96,4	86,7
11:46	6,8	2,8	486,67	231,2	164,3	96,7	88,3
11:47	6,5	2,8	465,20	231,2	154,4	97,4	90,7
11:48	6,5	2,8	465,20	231,2	154,4	97,6	94,5
11:49	6,1	2,7	436,57	231,2	141,2	97,5	96,5

11:50	6	2,7	429,42		222,6		140,1		97,5	97,5
11:51	6	2,7	429,42		171,2		153,4		98,5	95,2
11:52	5,7	2,7	407,94		222,6		130,3		98,5	95,2
11:53	5,9	2,6	422,26		214,0		139,1		104,6	91,9
11:54	5,9	2	422,26		222,6		136,9		101,4	93,1
11:55	5,5	2,6	393,63		239,7		119,3		110,4	83,2
11:56	5,8	2,5	415,10		239,7		129,1		104,6	89,5
11:57	5,4	2,6	386,47		239,7		116,0		101,3	91,4
11:58	6,2	2,8	443,73		239,7		142,3		107,8	86,6
11:59	6,2	2,8	443,73		239,7		142,3		111,6	82,8
12:00	6,2	2,8	443,73		248,3		140,1		113,7	80,1
12:01	6,2	2,8	443,73		205,5		151,1		112,5	81,8
12:02	6,2	2,8	443,73		196,9		153,4		101,0	91,6
12:03	6,4	2,9	458,04		188,4		162,1		107,3	86,5
12:04	8,2	2,4	586,87		196,9		219,2		100,0	93,8
12:05	7,7	2,3	551,08		205,5		200,5		102,1	92,4
12:06	8,1	2,2	579,71		188,4		218,1		105,7	91,1
12:07	8,2	2,3	586,87		188,4		221,4		108,0	88,9
12:08	11,4	2,4	815,89		179,8		329,0		104,9	90,3
12:09	7,8	2,2	558,24		188,4		208,2		98,7	95,0
12:10	8	2,2	572,55		188,4		214,8		96,7	96,5
12:11	6,7	2,1	479,51		188,4		172,0		105,3	87,4
12:12	7,3	2,2	522,46		188,4		191,8		102,0	90,5
12:13	7,3	2,2	522,46		188,4		191,8		108,2	83,9
12:14	7,3	2,2	522,46		188,4		191,8		107,0	84,3
12:15	7,3	2,2	522,46		196,9		189,6		101,8	90,5
12:16	7,3	2,2	522,46		205,5		187,4		99,8	93,3
12:17	7,3	2,2	522,46		205,5		187,4		102,1	93,2
12:18	13,8	2,3	987,66		196,9		403,6		105,3	90,5
12:19	16,4	2,4	1173,74	657,15	179,8	145,6	493,6	264,8	98,3	95,9
12:20	15	2,4	1073,54		188,4		445,3		106,0	86,3
12:21	12	2,3	858,83		154,1		355,3		101,6	90,4
12:22	9	2,1	644,12		119,9		265,4		103,8	89,3
12:23	11,8	2,2	844,52		119,9		357,6		101,8	94,1
12:24	9,5	1,8	679,91		111,3		284,1		97,7	97,1
12:25	4,4	1,4	314,90		119,9		114,0		101,3	90,7
12:26	3,7	1,4	264,81		128,4		88,7		100,8	91,6
12:27	3,4	1,3	243,34		188,4		63,4		96,4	94,8
12:28	4,3	1,4	307,75		196,9		90,8		98,6	91,7
12:29	5	1,5	357,85		196,9		113,8		108,5	80,3
12:30	14,2	2,2	1016,28		119,9		436,6		108,8	81,0
12:31	14,3	2,3	1023,44		119,9		439,9		107,1	86,2
12:32	14,2	2,3	1016,28		119,9		436,6		105,9	89,3

12:33	4,2	1,4	300,59		154,1		98,5		106,3	89,4
12:34	4,1	1,4	293,43		171,2		90,8		101,0	94,3
12:35	3,7	1,4	264,81		196,9		71,0		97,8	96,7
12:36	14	1,8	1001,97		154,1		421,2		97,9	96,8
12:37	14,2	2	1016,28		128,4		434,4		99,1	96,0
12:38	13,5	2,3	966,18		111,3		415,8		97,1	97,1
12:39	7,5	1,8	536,77		102,7		220,4		103,3	90,8
12:40	5	1,5	357,85		102,7		138,1		99,0	96,9
12:41	5,6	1,3	400,79		111,3		155,7		97,5	97,3
12:42	3	1,2	214,71		111,3		70,1		98,2	96,8
12:43	2,9	1,2	207,55		119,9		64,6		96,9	96,3
12:44	3,3	1,3	236,18		137,0		73,3		96,8	96,8
12:45	4,4	1,3	314,90		128,4		111,8		96,7	96,8
12:46	6	1,4	429,42		128,4		164,4		96,3	95,7
12:47	9,4	1,6	672,75		111,3		280,8		97,3	94,4
12:48	10,5	1,5	751,48		119,9		314,8		101,6	92,3
12:49	10,3	1,5	737,16		119,9		308,2		97,9	95,5
12:50	7	1,3	500,98		128,4		197,3		96,1	96,4
12:51	12	1,4	858,83		128,4		362,0		95,9	95,9
12:52	13	1,4	930,40		128,4		394,9		95,9	96,6
12:53	12,6	1,5	901,77		137,0		379,5		100,7	92,4
12:54	12,9	1,5	923,24		128,4		391,6		96,8	96,0
12:55	12,9	1,5	923,24		128,4		391,6		99,3	93,1
12:56	12,9	1,6	923,24		128,4		391,6		97,5	94,3
12:57	12,9	1,5	923,24		137,0		389,4		100,3	91,8
12:58	12,9	1,5	923,24		102,7		398,2		98,8	94,1
12:59	12,9	1,5	923,24		102,7		398,2		98,5	93,3
13:00	13,2	1,6	944,71		94,2		410,3		97,2	94,8
13:01	4,6	1,2	329,22		128,4		118,3		97,8	95,4
13:02	3,2	1,2	229,02		128,4		72,2		96,8	95,3
13:03	3,4	1,1	243,34		128,4		78,8		96,6	95,1
13:04	12,9	1,5	923,24		128,4		391,6		98,8	92,8
13:05	12,6	1,5	901,77		128,4		381,7		96,8	94,3
13:06	12,4	1,5	887,46		128,4		375,1		89,1	80,9
13:07	12,3	1,5	880,30		128,4		371,8		82,8	80,2
13:08	12,3	1,5	880,30		137,0		369,6		96,0	73,0
13:09	12,3	1,5	880,30		137,0		369,6		89,3	82,3
13:10	12,3	1,5	880,30		137,0		369,6		89,9	83,4
13:11	12,3	1,6	880,30	631,2	145,6	134,3	367,4	255,7	99,7	75,0
13:12	12,3	1,6	880,30		145,6		367,4		100,6	80,3
13:13	12,4	1,6	887,46		145,6		370,7		101,5	88,9
13:14	12,5	1,7	894,62		145,6		374,0		97,7	95,1
13:15	12,5	1,7	894,62		154,1		371,8		98,8	92,3

13:16	12,7	1,7	908,93	145,6	380,6	94,8	79,0
13:17	12,8	1,7	916,09	162,7	379,5	99,3	76,4
13:18	12,7	1,8	908,93	154,1	378,4	93,6	82,9
13:19	11,9	1,7	851,67	162,7	349,8	93,3	82,5
13:20	11,5	1,9	823,05	171,2	334,5	91,3	86,1
13:21	10	1,8	715,69	188,4	280,7	90,9	86,8
13:22	10,2	1,9	730,01	188,4	287,2	98,8	81,9
13:23	11	2	787,26	188,4	313,6	107,3	84,6
13:24	11,2	2,2	801,58	196,9	318,0	107,8	85,9
13:25	12,4	2,2	887,46	196,9	357,5	102,7	91,3
13:26	12,9	2,2	923,24	196,9	373,9	97,8	95,3
13:27	13	2,3	930,40	188,4	379,4	97,8	94,9
13:28	13	2,3	930,40	188,4	379,4	102,5	88,0
13:29	13,2	2,3	944,71	188,4	386,0	111,1	76,8
13:30	13,2	2,2	944,71	196,9	383,8	102,8	86,3
13:31	10,6	2,2	758,63	188,4	300,4	103,7	79,6
13:32	10,6	2,2	758,63	171,2	304,8	103,0	82,0
13:33	10	2,3	715,69	179,8	282,9	82,8	76,9
13:34	8,1	2,2	579,71	171,2	222,5	84,0	65,3
13:35	6	2	429,42	77,1	177,7	80,5	76,5
13:36	5,9	2,1	422,26	68,5	176,6	82,1	78,1
13:37	5,8	2	415,10	77,1	171,1	82,5	77,9
13:38	5,6	0,9	400,79	77,1	164,5	84,1	78,3
13:39	5,6	0,8	400,79	102,7	157,9	85,9	79,3
13:40	6,8	0,9	486,67	102,7	197,4	86,9	79,6
13:41	6,9	0,9	493,83	102,7	200,7	88,0	80,4
13:42	6,8	1,2	486,67	102,7	197,4	91,9	82,5
13:43	6,8	1,2	486,67	102,7	197,4	95,3	91,3
13:44	7,7	1,2	551,08	94,2	229,2	100,9	92,0
13:45	7,4	1,2	529,61	94,2	219,3	97,4	95,6
13:46	6	1,2	429,42	94,2	173,3	100,9	91,8
13:47	5,8	1,1	415,10	94,2	166,7	97,7	95,8
13:48	5,5	1,1	393,63	94,2	156,8	97,5	96,0
13:49	5,5	1,1	393,63	94,2	156,8	99,2	96,0
13:50	5,2	1,1	372,16	94,2	146,9	100,6	92,8
13:51	5	1,1	357,85	94,2	140,3	99,8	95,1
13:52	4,9	1,1	350,69	94,2	137,0	99,2	94,4
13:53	4,9	1,1	350,69	102,7	134,8	97,7	96,3
13:54	5	1,1	357,85	94,2	140,3	98,0	95,3
13:55	5,3	1,1	379,32	94,2	150,2	98,8	93,3
13:56	6,1	1,2	436,57	102,7	174,3	98,3	94,8
13:57	5,4	1,1	386,47	94,2	153,5	97,3	96,0
13:58	5,4	1,1	386,47	102,7	151,3	100,1	94,0

13:59	7,2	1,2	515,30	102,7	210,6	97,8	96,5
14:00	6	1,1	429,42	102,7	171,0	99,8	93,5
14:01	6	1,2	429,42	102,7	171,0	97,9	96,5
14:02	8,5	1,2	608,34	102,7	253,4	97,6	96,4
14:03	8,5	1,2	608,34	102,7	253,4	86,0	81,4
14:04	8,5	1,2	608,34	111,3	251,1	86,1	81,7
14:05	8,5	1,2	608,34	111,3	251,1	95,8	72,6
14:06	8,5	1,2	608,34	111,3	251,1	99,8	71,7
14:07	8,5	1,3	608,34	111,3	251,1	94,2	81,5

Fuente: Autores.

ANEXO H. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (martes 25 de octubre).

PRECALENTAMIENTO (martes 25 octubre)											
HORA	mv Hdirecta	mv Hdifusa	W/m2 H	Promedio H	W/m2 Hd	Promedio Hd	S	S Promedio	T H2O CPC	T vapor	T H2O teórica
9:55	5,7	1,8	407,94	465,43	154,1	165,5	147,9	171,4	28,25	27,75	28,30
9:56	5,6	1,8	400,79		154,1		144,6		28,75	28,00	28,70
9:57	5,6	1,8	400,79		154,1		144,6		29,58	28,83	29,20
9:58	5,6	1,8	400,79		154,1		144,6		30,25	29,17	29,70
9:59	5,8	1,8	415,10		154,1		151,2		31,75	29,92	30,10
10:00	5,8	1,8	415,10		154,1		151,2		32,67	30,67	30,60
10:01	6,1	1,8	436,57		154,1		161,1		32,75	31,50	31,10
10:02	6,1	1,8	436,57		154,1		161,1		33,25	31,92	31,70
10:03	6,1	1,8	436,57		154,1		161,1		34,42	32,75	32,20
10:04	6,2	1,8	443,73		154,1		164,4		36,00	33,42	32,70
10:05	6,3	1,8	450,89		154,1		167,7		36,92	34,42	33,30
10:06	6,5	1,8	465,20		154,1		174,3		37,42	35,83	33,80
10:07	6,6	1,8	472,36		154,1		177,6		38,08	36,25	34,40
10:08	6,5	1,9	465,20		162,7		172,1		38,58	36,83	35,00
10:09	6,6	1,9	472,36		162,7		175,4		38,92	37,00	35,50
10:10	6,7	1,9	479,51		162,7		178,6		40,33	37,75	36,10
10:11	6,7	1,9	479,51		162,7		178,6		41,58	38,75	36,70
10:12	6,8	1,9	486,67		162,7		181,9		42,08	39,25	37,30
10:13	6,8	1,9	486,67		162,7		181,9		43,33	39,33	37,90
10:14	6,8	1,9	486,67		162,7		181,9		44,00	40,17	38,50
10:15	6,9	1,9	493,83		162,7		185,2		44,50	41,00	39,00
10:16	6,9	1,9	493,83		162,7		185,2		46,08	41,83	39,60
10:17	7	1,9	500,98		162,7		188,5		46,83	42,75	40,30
10:18	7,1	2	508,14		171,2		189,6		48,08	43,50	40,90
10:19	7,1	2	508,14		171,2		189,6		47,83	43,33	41,50
10:20	6,9	2	493,83		171,2		183,0		49,17	44,17	42,10
10:21	6,9	2	493,83		171,2		183,0		50,17	44,00	42,70
10:22	7	2	500,98		171,2		186,3		50,42	44,33	43,30
10:23	7,1	2	508,14		171,2		189,6		51,83	45,25	43,90
10:24	7	2	500,98		171,2		186,3		52,75	46,25	44,50
10:25	7,2	2	515,30		171,2		192,9		53,83	47,17	45,10
10:26	7,3	2	522,46		171,2		196,2		54,75	47,42	45,70
10:27	7,2	2	515,30	171,2	192,9	54,83	47,33	46,40			
10:28	7,2	2	515,30	171,2	192,9	56,08	47,75	47,00			
10:29	7,3	2,1	522,46	179,8	194,0	56,92	48,17	47,60			
10:30	7,4	2,1	529,61	179,8	197,3	58,08	49,33	48,30			
10:31	7,5	2,1	536,77	179,8	200,6	59,75	50,25	48,90			
10:32	7,5	2,1	536,77	179,8	200,6	61,08	51,25	49,60			

10:33	7,7	2,1	551,08		179,8		207,2		61,08	52,17	50,20
10:34	7,8	2,1	558,24		179,8		210,4		62,17	52,92	50,90
10:35	7,8	2,1	558,24		179,8		210,4		62,75	53,75	51,60
10:36	7,9	2,1	565,40		179,8		213,7		63,08	54,42	52,30
10:37	7,8	2,1	558,24		179,8		210,4		64,33	54,08	52,90
10:38	7,9	2,1	565,40		179,8		213,7		64,50	55,08	53,60
10:39	7,6	2,1	543,93		179,8		203,9		65,17	55,25	54,30
10:40	7,8	2,1	558,24		179,8		210,4		66,75	56,00	55,00
10:41	7,9	2,1	565,40		179,8		213,7		67,67	56,42	55,70
10:42	7,7	2	551,08		171,2		209,4		68,50	57,33	56,30
10:43	7,8	2	558,24		171,2		212,6		69,33	58,08	56,90
10:44	7,7	2	551,08		171,2		209,4		70,00	58,08	57,40
10:45	6,7	1,9	479,51		162,7		178,6		70,33	59,00	57,70
10:46	6,7	1,9	479,51		162,7		178,6		70,33	58,67	58,00
10:47	5	1,9	357,85		162,7		122,7		70,33	58,17	58,30
10:48	4,4	1,9	314,90		162,7		102,9		71,00	58,00	58,60
10:49	4	1,8	286,28		154,1		92,0		70,92	57,67	58,90
10:50	4	1,8	286,28		154,1		92,0		71,58	57,25	59,10
10:51	3,8	1,8	271,96		154,1		85,4		71,92	56,83	59,40
10:52	3,9	1,8	279,12		154,1		88,7		72,67	56,67	59,70
10:53	3,9	1,8	279,12		154,1		88,7		72,83	55,92	59,90
10:54	3,8	1,8	271,96		154,1		85,4		73,17	56,58	60,20
10:55	3,7	1,8	264,81		154,1		82,1		74,08	56,17	60,40
10:56	3,7	1,8	264,81		154,1		82,1		74,08	56,25	60,70
10:57	3,7	1,8	264,81		154,1		82,1		74,50	56,83	61,00
10:58	3,8	1,8	271,96		154,1		85,4		74,08	56,58	61,40
10:59	4	1,8	286,28		154,1		92,0		74,67	56,00	61,70
11:00	4,5	1,8	322,06		154,1		108,4		74,75	55,75	62,20
11:01	4,5	1,8	322,06		154,1		108,4		75,00	55,42	62,60
11:02	5,1	1,8	365,00		154,1		128,2		75,58	55,25	63,00
11:03	5,1	1,8	365,00		154,1		128,2		75,67	55,00	63,40
11:04	5	1,7	357,85		145,6		127,1		76,17	54,83	63,80
11:05	5	1,7	357,85	620,89	145,6	111,6	127,1	256,8	76,50	55,25	64,10
11:06	5,2	1,7	372,16		145,6		133,7		77,33	55,83	64,50
11:07	4,7	1,7	336,38		145,6		117,2		77,25	56,08	64,80
11:08	4,7	1,7	336,38		145,6		117,2		77,17	56,25	65,20
11:09	4,5	1,7	322,06		145,6		110,6		77,42	56,25	65,70
11:10	4,6	1,8	329,22		154,1		111,7		77,75	56,58	66,20
11:11	5,1	1,4	365,00		119,9		137,0		78,50	56,92	66,80
11:12	5,5	1,4	393,63		119,9		150,2		79,08	57,08	67,40
11:13	6,1	1,4	436,57		119,9		169,9		79,00	57,25	68,00
11:14	6,2	1,4	443,73		119,9		173,2		79,50	57,42	68,70
11:15	7	1,4	500,98		119,9		199,6		79,50	57,58	69,30

11:16	7,4	1,4	529,61	119,9	212,7	80,33	57,92	69,80
11:17	6,6	1,4	472,36	119,9	186,4	81,08	58,75	70,40
11:18	6,5	1,3	465,20	111,3	185,3	80,92	58,92	70,90
11:19	6	1,2	429,42	102,7	171,0	81,75	59,42	71,50
11:20	5,6	1,1	400,79	94,2	160,1	82,25	60,08	72,10
11:21	6,2	1,1	443,73	94,2	179,8	82,50	60,75	72,80
11:22	6,5	1,1	465,20	94,2	189,7	82,50	61,33	73,60
11:23	6,6	1,1	472,36	94,2	193,0	83,08	62,75	74,50
11:24	7,5	1,1	536,77	94,2	222,6	83,50	63,42	75,50
11:25	8,8	1,1	629,81	94,2	265,4	84,42	64,00	76,50
11:26	9,9	1,1	708,54	94,2	301,6	85,00	67,75	77,70
11:27	10,1	1,1	722,85	94,2	308,2	85,92	67,17	78,80
11:28	11,2	1,2	801,58	102,7	342,2	87,00	67,25	80,00
11:29	11,9	0,9	851,67	77,1	371,9	87,67	67,83	81,10
11:30	11	0,9	787,26	77,1	342,3	88,33	68,58	82,30
11:31	11,4	0,8	815,89	68,5	357,7	89,33	69,08	83,50
11:32	11,5	1,1	823,05	94,2	354,3	90,17	70,50	84,70
11:33	11,6	1,2	830,20	102,7	355,4	90,75	71,33	85,90
11:34	12,1	1,2	865,99	102,7	371,9	90,75	72,67	87,10
11:35	12,1	1,2	865,99	102,7	371,9	91,67	73,17	88,30
11:36	12	1,2	858,83	102,7	368,6	93,17	74,17	89,50
11:37	12,1	1,2	865,99	102,7	371,9	94,33	75,00	90,70
11:38	12,1	1,2	865,99	102,7	371,9	94,92	80,92	91,90
11:39	12	1,2	858,83	102,7	368,6	95,33	81,42	93,10
11:40	12	1,2	858,83	102,7	368,6	95,50	81,08	94,30
11:41	12	1,1	858,83	94,2	370,8	95,92	81,67	95,50
11:42	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	95,75	83,83	96,60
11:43	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	95,83	88,50	97,80
11:44	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	95,67	91,75	-
11:45	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	95,42	93,83	-
11:46	12	1,1	858,83	94,2	370,8	95,50	95,42	-
11:47	12	1,1	858,83	94,2	370,8	95,67	95,67	-
11:48	12	1,1	858,83	94,2	370,8	95,08	95,92	-
11:49	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	95,17	95,42	-
11:50	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	-	-	-
11:51	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	-	-	-
11:52	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	-	-	-
11:53	11,6	1,1	830,20	94,2	357,6	-	-	-
11:54	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	-	-	-
11:55	12	1,1	858,83	94,2	370,8	-	-	-
11:56	11,9	1	851,67	85,6	369,7	-	-	-

Fuente: Autores.

ANEXO I. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (jueves 27 de octubre).

PRECALENTAMIENTO (jueves 27 octubre)												
HORA	mv Hdirecta	mv Hdifusa	W/m2 H	Promedio H	W/m2 Hd	Promedio Hd	S	S Promedio	T H2O CPC	T vapor	T H2O SIN CPC	T H2O teórica
9:21	3,4	2,1	243,34	174,82	179,8	148,8	65,6	42,1	26,25	27,50	25,00	26
9:22	3,4	2,1	243,34		179,8		65,6		26,42	27,25	25,00	26,2
9:23	3,4	2,1	243,34		179,8		65,6		26,83	27,00	25,25	26,4
9:24	3,1	2,4	221,86		205,5		49,1		26,83	27,33	25,50	26,6
9:25	3,1	2,4	221,86		205,5		49,1		27,50	27,50	25,75	26,8
9:26	2,7	2,1	193,24		179,8		42,5		27,42	27,58	25,75	26,9
9:27	2,3	1,9	164,61		162,7		33,8		27,25	27,50	26,00	27
9:28	2,1	1,6	150,30		137,0		33,8		28,00	27,75	26,25	27,1
9:29	1,8	1,5	128,82		128,4		26,2		28,17	27,75	26,75	27,2
9:30	1,4	1,1	100,20		94,2		21,8		28,17	27,83	27,08	27,3
9:31	1	0,8	71,57		68,5		15,3		28,42	27,25	26,88	27,3
9:32	0,9	0,7	64,41		59,9		14,2		28,50	26,67	26,92	27,4
9:33	0,8	0,7	57,26		59,9		10,9		28,42	26,42	26,92	27,4
9:34	0,9	0,7	64,41		59,9		14,2		28,67	26,58	27,25	27,4
9:35	1	0,7	71,57		59,9		17,5		28,25	26,67	27,13	27,5
9:36	1,1	0,8	78,73		68,5		18,6		28,08	26,50	26,92	27,5
9:37	1,3	1,1	93,04		94,2		18,5		28,50	26,67	27,33	27,6
9:38	1,3	1	93,04		85,6		20,7		28,67	27,00	27,17	27,7
9:39	1,4	1,1	100,20		94,2		21,8		29,08	26,58	27,50	27,7
9:40	1,4	1,1	100,20		94,2		21,8		28,75	26,92	27,50	27,8
9:41	2	1,5	143,14		128,4		32,7		28,92	27,17	27,58	27,9
9:42	2,2	1,4	157,45		119,9		41,5		29,17	27,42	27,58	28
9:43	1,9	1,3	135,98		111,3		33,9		29,58	27,42	27,81	28,1
9:44	1,9	1,4	135,98		119,9		31,7		29,75	27,67	27,67	28,2
9:45	2,2	1,7	157,45		145,6		34,9		30,00	27,33	27,75	28,3
9:46	2,1	1,7	150,30		145,6		31,6		30,42	27,08	27,92	28,4
9:47	2,2	1,8	157,45		154,1		32,7		30,50	27,50	27,88	28,5
9:48	2,2	1,8	157,45		154,1		32,7		30,00	27,58	28,42	28,6
9:49	2,3	1,9	164,61		162,7		33,8		30,42	27,67	28,42	28,7
9:50	2,3	1,8	164,61		154,1		36,0		30,50	27,83	28,42	28,8
9:51	2,2	1,7	157,45		145,6		34,9		30,25	28,42	28,50	28,9
9:52	2,2	1,6	157,45		137,0		37,1		30,67	28,50	28,42	29
9:53	2	1,5	143,14		128,4		32,7		30,33	28,17	28,58	29,1
9:54	2,2	1,7	157,45	145,6	34,9	30,75	28,75	28,92	29,2			
9:55	2,4	1,8	171,77	154,1	39,3	31,08	29,58	28,75	29,3			
9:56	2,4	1,8	171,77	154,1	39,3	31,25	29,42	28,92	29,5			
9:57	2,4	1,8	171,77	154,1	39,3	31,58	29,50	28,75	29,6			

9:58	2,3	1,7	164,61		145,6		38,2		31,92	29,92	28,75	29,7
9:59	2,4	1,8	171,77		154,1		39,3		31,50	28,92	28,94	29,8
10:00	2,5	1,9	178,92		162,7		40,4		31,00	28,50	28,83	29,9
10:01	2,7	2,1	193,24		179,8		42,5		31,17	28,83	29,00	30,1
10:02	3,1	2,4	221,86		205,5		49,1		32,00	29,92	29,67	30,2
10:03	3,3	2,4	236,18		205,5		55,7		32,58	30,58	30,00	30,4
10:04	3,7	2,5	264,81		214,0		66,6		32,75	30,92	30,00	30,6
10:05	3,6	2,5	257,65		214,0		63,3		33,08	31,00	30,08	30,8
10:06	3,4	2,4	243,34		205,5		59,0		33,42	31,75	30,08	31
10:07	3,3	2,3	236,18		196,9		57,9		33,92	31,83	30,13	31,2
10:08	3,2	2,2	229,02		188,4		56,8		33,50	31,25	30,00	31,3
10:09	3,1	2,3	221,86		196,9		51,3		32,67	30,25	29,83	31,5
10:10	3,2	2,3	229,02		196,9		54,6		33,17	30,17	30,67	31,7
10:11	3,1	2,2	221,86		188,4		53,5		33,58	30,92	31,19	31,8
10:12	2,6	2,1	186,08		179,8		39,2		34,25	31,58	31,42	32
10:13	2,6	2,2	186,08		188,4		37,0		34,83	32,42	31,25	32,1
10:14	2,7	2,2	193,24		188,4		40,3		34,92	32,42	31,50	32,2
10:15	2,8	2,2	200,39		188,4		43,6		35,17	32,67	31,69	32,4
10:16	3	2,3	214,71		196,9		48,0		35,42	33,00	31,75	32,5
10:17	3,3	1,5	236,18		128,4		75,5		35,67	32,83	32,00	32,7
10:18	3,4	1,6	243,34		137,0		76,6		36,25	33,25	31,83	32,9
10:19	3,6	1,6	257,65		137,0		83,2		36,50	33,50	32,06	33,2
10:20	3,6	1,6	257,65		137,0		83,2		36,08	33,17	34,25	33,5
10:21	3,6	1,5	257,65		128,4		85,4		35,83	32,83	34,41	33,7
10:22	3,6	1,7	257,65		145,6		81,0		36,33	33,75	34,57	34
10:23	3,6	1,7	257,65		145,6		81,0		36,17	32,42	34,73	34,2
10:24	3,6	1,7	257,65		145,6		81,0		36,08	31,83	34,89	34,5
10:25	3,5	1,6	250,49		137,0		79,9		36,50	32,25	35,05	34,8
10:26	3,4	1,6	243,34		137,0		76,6		36,83	32,08	35,21	35
10:27	3,2	1,5	229,02		128,4		72,2		36,83	31,92	35,37	35,2
10:28	3,1	1,5	221,86		128,4		69,0		37,00	32,00	35,53	35,4
10:29	3,1	1,5	221,86		128,4		69,0		37,42	31,92	35,69	35,6
10:30	2,9	1,4	207,55		119,9		64,6		37,92	32,42	35,85	35,8
10:31	2,8	1,4	200,39	278,65	119,9	117,9	61,3	97,8	38,00	32,42	36,01	36
10:32	2,7	0,8	193,24		68,5		71,2		38,08	32,58	36,17	36,3
10:33	2,6	0,7	186,08		59,9		70,1		38,75	32,92	36,33	36,5
10:34	2,6	0,7	186,08		59,9		70,1		39,33	33,08	36,49	36,7
10:35	2,6	0,8	186,08		68,5		67,9		39,50	33,33	36,65	36,9
10:36	2,6	0,9	186,08		77,1		65,7		39,75	33,17	36,81	37,1
10:37	2,6	0,9	186,08		77,1		65,7		39,92	32,25	36,97	37,3
10:38	2,7	1	193,24		85,6		66,8		40,17	32,25	37,13	37,5
10:39	2,8	1	200,39		85,6		70,1		39,92	32,42	37,29	37,8
10:40	3	1,1	214,71		94,2		74,5		40,17	32,58	37,45	38

10:41	3,2	1,2	229,02		102,7		78,9		40,08	32,17	37,61	38,3
10:42	3,3	1,2	236,18		102,7		82,2		40,50	32,17	37,77	38,5
10:43	3,3	1,2	236,18		102,7		82,2		40,58	32,50	37,93	38,8
10:44	3,3	1,2	236,18		102,7		82,2		40,17	32,50	38,09	39,1
10:45	3,5	1,1	250,49		94,2		90,9		40,92	33,00	38,25	39,4
10:46	3,6	1,1	257,65		94,2		94,2		41,08	33,75	38,41	39,7
10:47	3,6	1,1	257,65		94,2		94,2		41,58	34,17	38,57	40
10:48	3,5	1,1	250,49		94,2		90,9		42,00	34,83	38,73	40,2
10:49	3,5	1,1	250,49		94,2		90,9		42,67	34,33	38,89	40,5
10:50	3,5	1,1	250,49		94,2		90,9		42,58	33,67	39,05	40,8
10:51	3,5	1,1	250,49		94,2		90,9		42,83	34,00	39,21	41,1
10:52	3,8	1,2	271,96		102,7		98,6		43,08	34,00	39,37	41,4
10:53	3,9	1,3	279,12		111,3		99,7		42,83	34,17	39,53	41,8
10:54	4	1,4	286,28		119,9		100,8		43,42	34,42	39,67	42,1
10:55	4,1	1,4	293,43		119,9		104,1		43,58	33,92	38,67	42,4
10:56	4,2	1,4	300,59		119,9		107,4		44,25	33,92	39,00	42,8
10:57	4,2	1,4	300,59		119,9		107,4		44,58	34,25	39,00	43,1
10:58	4,3	1,4	307,75		119,9		110,7		44,50	34,58	39,83	43,5
10:59	4,5	1,5	322,06		128,4		115,0		44,83	34,83	40,00	43,9
11:00	4,7	1,5	336,38		128,4		121,6		45,17	35,17	40,17	44,3
11:01	4,8	1,5	343,53		128,4		124,9		45,42	34,67	40,67	44,7
11:02	4,9	1,5	350,69		128,4		128,2		45,83	35,50	40,58	45
11:03	4,5	1,6	322,06		137,0		112,8		46,33	36,67	41,08	45,4
11:04	4,6	1,6	329,22		137,0		116,1		47,00	35,75	40,83	45,8
11:05	4,7	1,6	336,38		137,0		119,4		47,25	36,17	40,58	46,2
11:06	4,7	1,6	336,38		137,0		119,4		47,58	37,17	41,00	46,6
11:07	4,8	1,6	343,53		137,0		122,7		47,75	36,17	41,42	46,9
11:08	4,7	1,6	336,38		137,0		119,4		47,75	35,67	41,25	47,3
11:09	4,7	1,6	336,38		137,0		119,4		47,83	36,08	41,83	47,7
11:10	4,8	1,7	343,53		145,6		120,5		48,17	37,33	42,42	48,1
11:11	4,8	1,7	343,53		145,6		120,5		48,25	37,08	42,42	48,5
11:12	4,8	1,7	343,53		145,6		120,5		48,33	37,08	43,08	48,9
11:13	4,8	1,7	343,53		145,6		120,5		49,58	37,33	42,92	49,2
11:14	4,8	1,7	343,53		145,6		120,5		49,50	36,75	42,50	49,6
11:15	4,8	1,7	343,53		145,6		120,5		49,75	36,75	43,08	50
11:16	4,9	1,7	350,69		145,6		123,8		49,92	37,50	43,50	50,4
11:17	5	1,7	357,85		145,6		127,1		50,33	38,00	43,83	50,8
11:18	4,8	1,5	343,53		128,4		124,9		51,33	38,75	43,92	51,2
11:19	4,8	1,5	343,53		128,4		124,9		51,08	38,33	43,92	51,6
11:20	4,9	1,5	350,69		128,4		128,2		51,42	38,92	44,08	52
11:21	4,8	1,5	343,53		128,4		124,9		51,75	38,75	44,33	52,4
11:22	4,6	1,7	329,22		145,6		113,9		51,92	37,75	44,75	52,8
11:23	4,7	1,7	336,38	325,70	145,6	147,1	117,2	111,9	52,50	38,08	44,42	53,2

11:24	4,8	1,7	343,53	145,6	120,5	52,67	38,33	44,67	53,5
11:25	4,9	1,7	350,69	145,6	123,8	52,33	38,08	45,25	53,9
11:26	4,8	1,7	343,53	145,6	120,5	53,33	39,00	45,25	54,3
11:27	4,8	1,7	343,53	145,6	120,5	53,50	38,92	45,50	54,7
11:28	4,8	1,7	343,53	145,6	120,5	53,75	38,08	45,17	55,1
11:29	4,9	1,7	350,69	145,6	123,8	54,17	38,67	46,00	55,5
11:30	4,9	1,7	350,69	145,6	123,8	54,67	40,67	46,33	55,9
11:31	5	1,7	357,85	145,6	127,1	55,42	41,67	46,25	56,3
11:32	5	1,7	357,85	145,6	127,1	55,58	41,42	46,42	56,7
11:33	5	1,8	357,85	154,1	124,9	55,58	40,67	46,42	57,1
11:34	4,9	1,8	350,69	154,1	121,6	55,92	41,33	46,42	57,5
11:35	4,9	1,8	350,69	154,1	121,6	56,42	42,50	46,75	57,8
11:36	4,9	1,9	350,69	162,7	119,4	57,17	41,33	47,25	58,2
11:37	5	1,9	357,85	162,7	122,7	57,00	41,08	47,33	58,6
11:38	5,1	1,7	365,00	145,6	130,4	56,92	40,83	47,67	59,1
11:39	5,3	1,7	379,32	145,6	137,0	57,67	41,00	47,67	59,5
11:40	4,5	1,7	322,06	145,6	110,6	58,83	40,75	48,00	59,8
11:41	4,7	1,7	336,38	145,6	117,2	59,17	41,50	48,00	60,2
11:42	4,8	1,7	343,53	145,6	120,5	59,58	42,75	48,33	60,6
11:43	4,8	1,7	343,53	145,6	120,5	59,92	42,83	49,00	61
11:44	4,9	1,7	350,69	145,6	123,8	60,75	43,17	48,83	61,3
11:45	4,9	1,7	350,69	145,6	123,8	61,00	42,92	49,25	61,7
11:46	5	1,7	357,85	145,6	127,1	61,25	44,08	49,25	62,2
11:47	5,1	1,7	365,00	145,6	130,4	61,58	44,50	49,58	62,6
11:48	5,2	1,7	372,16	145,6	133,7	62,17	44,67	49,83	63
11:49	5,2	1,7	372,16	145,6	133,7	62,58	45,58	50,25	63,4
11:50	5,3	1,8	379,32	154,1	134,8	63,33	45,42	50,25	63,9
11:51	5,3	1,8	379,32	154,1	134,8	63,58	46,50	51,17	64,3
11:52	4,9	1,8	350,69	154,1	121,6	63,08	44,75	51,17	64,6
11:53	4,6	1,8	329,22	154,1	111,7	63,08	44,25	50,92	65
11:54	5,3	1,8	379,32	154,1	134,8	64,58	44,67	51,25	65,4
11:55	5,2	1,8	372,16	154,1	131,5	64,67	44,92	51,50	65,8
11:56	4,5	1,8	322,06	154,1	108,4	65,42	46,00	52,00	66,2
11:57	4,4	1,8	314,90	154,1	105,1	65,83	45,75	52,17	66,5
11:58	4,5	1,8	322,06	154,1	108,4	66,17	45,92	52,83	66,8
11:59	4,7	1,8	336,38	154,1	115,0	66,67	46,58	53,00	67,2
12:00	5,1	1,8	365,00	154,1	128,2	66,67	46,75	53,25	67,6
12:01	4,5	1,7	322,06	145,6	110,6	67,58	46,33	53,42	67,9
12:02	4,6	1,7	329,22	145,6	113,9	68,00	46,08	53,08	68,3
12:03	4,6	1,7	329,22	145,6	113,9	68,08	46,50	53,33	68,6
12:04	4	1,7	286,28	145,6	94,2	68,25	46,42	53,50	68,9
12:05	3,8	1,3	271,96	111,3	96,4	67,92	45,58	53,75	69,2
12:06	3,3	1,3	236,18	111,3	80,0	68,17	45,17	53,67	69,4

12:07	3,3	1,3	236,18		111,3		80,0		68,50	45,33	53,67	69,7
12:08	3,2	1,3	229,02		111,3		76,7		68,58	45,92	53,75	69,9
12:09	3,3	1,3	236,18		111,3		80,0		68,83	45,67	53,50	70,2
12:10	3,2	1,3	229,02		111,3		76,7		69,42	45,75	53,83	70,4
12:11	3,7	1,3	264,81		111,3		93,1		69,50	46,25	53,67	70,7
12:12	4	1,7	286,28		145,6		94,2		69,83	47,00	53,75	71
12:13	4	1,7	286,28		145,6		94,2		70,08	47,67	54,17	71,3
12:14	4,1	1,8	293,43		154,1		95,3		70,00	47,92	54,08	71,6
12:15	4,1	1,8	293,43		154,1		95,3		70,17	48,50	54,58	71,9
12:16	4,1	1,8	293,43		154,1		95,3		69,75	47,67	54,58	72,2
12:17	4,2	1,9	300,59		162,7		96,3		69,17	47,00	54,58	72,5
12:18	4,2	1,9	300,59		162,7		96,3		69,25	46,92	54,42	72,8
12:19	4,2	1,9	300,59		162,7		96,3		70,58	48,00	54,67	73,1
12:20	4,3	2	307,75		171,2		97,4		70,00	47,00	55,00	73,4
12:21	4,3	2	307,75		171,2		97,4		70,42	46,00	55,25	73,7
12:22	4	2	286,28		171,2		87,5		71,58	47,58	55,17	73,9
12:23	4	2	286,28		171,2		87,5		72,42	48,58	55,33	74,2
12:24	4	2	286,28		171,2		87,5		72,33	48,42	55,67	74,5
12:25	4,2	2,1	300,59		179,8		91,9		72,42	48,58	54,58	74,8
12:26	4,2	2,1	300,59		179,8		91,9		72,50	48,67	54,83	75,1
12:27	4,4	2,1	314,90		179,8		98,5		72,33	48,67	55,50	75,4
12:28	4,8	2,1	343,53		179,8		111,7		73,08	49,67	56,00	75,7
12:29	4,8	2,1	343,53		179,8		111,7		72,67	48,50	56,25	76,1
12:30	4,7	2,3	336,38		196,9		104,0		72,42	48,25	56,50	76,4
12:31	4	2,2	286,28		188,4		83,1		72,92	48,75	56,17	76,6
12:32	3,7	2,2	264,81		188,4		73,3		73,25	49,42	56,67	76,8
12:33	3,4	2,2	243,34		188,4		63,4		73,33	49,58	56,83	77
12:34	3,2	2,1	229,02		179,8		59,0		73,25	49,08	56,83	77,1
12:35	3,3	2,2	236,18		188,4		60,1		73,50	49,25	56,92	77,3
12:36	3,6	2,2	257,65	289,91	188,4	177,6	70,0	87,6	73,83	49,67	57,42	77,6
12:37	3,7	2,2	264,81		188,4		73,3		74,50	50,67	57,83	77,8
12:38	4,1	2,2	293,43		188,4		86,4		74,83	50,75	57,92	78,1
12:39	4,4	2,2	314,90		188,4		96,3		74,92	50,42	58,17	78,4
12:40	4,8	2,3	343,53		196,9		107,3		75,58	50,83	58,33	78,8
12:41	5,4	2,3	386,47		196,9		127,0		75,42	50,33	58,08	79,1
12:42	4,2	2,1	300,59		179,8		91,9		74,92	49,75	58,42	79,3
12:43	2,7	1,9	193,24		162,7		47,0		75,25	50,00	58,67	79,4
12:44	2,5	1,8	178,92		154,1		42,6		76,08	51,33	58,75	79,6
12:45	3,4	1,8	243,34		154,1		72,2		76,58	51,50	59,00	79,9
12:46	5,3	2,1	379,32		179,8		128,1		76,75	52,17	59,25	80,3
12:47	5	2,1	357,85		179,8		118,3		76,67	52,67	59,42	80,7
12:48	4,9	2,1	350,69		179,8		115,0		77,58	52,50	59,58	81
12:49	4,5	2,1	322,06		179,8		101,8		77,58	52,58	60,08	81,3

12:50	4,3	2,1	307,75		179,8		95,2		77,92	52,50	60,33	81,6
12:51	4,3	2,1	307,75		179,8		95,2		77,83	52,92	60,50	81,9
12:52	3,8	2	271,96		171,2		81,0		78,00	53,33	60,83	82,1
12:53	3,1	1,9	221,86		162,7		60,1		78,33	53,33	61,00	82,2
12:54	3,1	1,9	221,86		162,7		60,1		78,08	53,00	60,83	82,4
12:55	3,1	1,9	221,86		162,7		60,1		78,67	52,67	61,08	82,6
12:56	2,9	1,9	207,55		162,7		53,5		78,92	52,42	61,08	82,8
12:57	4	2,2	286,28		188,4		83,1		79,17	53,00	61,25	83
12:58	4,3	2,3	307,75		196,9		90,8		80,08	54,00	61,83	83,4
12:59	5,3	2,4	379,32		205,5		121,5		80,25	54,08	62,00	83,7
13:00	5	2,2	357,85		188,4		116,1		80,50	54,58	62,58	84,1
13:01	5,1	2,2	365,00		188,4		119,3		80,50	54,25	62,92	84,5
13:02	5	2,2	357,85		188,4		116,1		81,17	55,42	62,92	84,8
13:03	5	2,2	357,85		188,4		116,1		80,92	55,67	63,17	85,1
13:04	3,3	1,4	236,18		119,9		77,7		80,67	55,17	63,25	85,4
13:05	3,3	1,4	236,18		119,9		77,7		80,50	54,83	63,17	85,6
13:06	3,2	1,8	229,02		154,1		65,6		81,00	55,33	63,25	85,8
13:07	3,1	1,8	221,86		154,1		62,3		80,92	55,42	63,25	85,9
13:08	3,1	1,8	221,86		154,1		62,3		81,58	56,08	63,33	86,1
13:09	3,1	1,8	221,86		154,1		62,3		81,42	56,17	63,42	86,3
13:10	3,1	1,8	221,86		154,1		62,3		81,67	56,08	63,92	86,5
13:11	3,1	1,8	221,86		154,1		62,3		81,58	56,25	63,92	86,7
13:12	3,3	1,8	236,18		154,1		68,9		82,08	56,42	63,75	86,9
13:13	3,3	1,8	236,18		154,1		68,9		82,33	56,42	64,17	87,1
13:14	3,9	1,2	279,12		102,7		101,9		82,67	56,75	64,08	87,4
13:15	4,4	2,1	314,90		179,8		98,5		83,08	57,75	64,33	87,8
13:16	5	2,1	357,85		179,8		118,3		84,00	57,75	64,92	88,1
13:17	4,6	2,4	329,22		205,5		98,5		84,67	58,25	65,42	88,4
13:18	4,3	2,5	307,75		214,0		86,4		84,58	58,83	66,08	88,6
13:19	4	2,6	286,28		222,6		74,3		84,67	59,42	66,00	88,9
13:20	4,8	2,3	343,53		196,9		107,3		84,83	59,08	65,75	89,2
13:21	4,7	2,3	336,38		196,9		104,0		85,67	60,17	65,75	89,6
13:22	5	2,3	357,85		196,9		113,8		86,75	61,33	66,00	90
13:23	4,5	2,4	322,06		205,5		95,2		86,92	61,58	66,83	90,3
13:24	4,5	2,5	322,06		214,0		93,0		87,33	61,58	66,92	90,6
13:25	4,5	2,4	322,06		205,5		95,2		87,25	62,17	67,17	90,9
13:26	4,4	2,3	314,90		196,9		94,1		87,58	64,33	67,42	91,2
13:27	4	2	286,28		171,2		87,5		87,50	64,42	67,42	91,4
13:28	3,7	1,9	264,81	296,72	162,7	136,4	79,9	101,3	87,92	64,58	67,92	91,7
13:29	3,8	2,1	271,96		179,8		78,8		87,75	64,67	68,08	91,9
13:30	3,8	2	271,96		171,2		81,0		87,75	64,50	67,50	92,1
13:31	3,8	2,1	271,96		179,8		78,8		88,17	64,75	68,08	92,4
13:32	3,8	2,2	271,96		188,4		76,5		88,58	65,33	68,08	92,6

13:33	3,8	2,3	271,96	196,9	74,3	89,00	65,42	68,25	92,8
13:34	3,7	2,3	264,81	196,9	71,0	89,17	66,42	68,67	93
13:35	3,6	2,3	257,65	196,9	67,8	90,00	66,92	68,92	93,2
13:36	3,6	2,5	257,65	214,0	63,3	89,83	67,33	69,33	93,4
13:37	3,5	2,1	250,49	179,8	68,9	89,58	65,92	69,42	93,6
13:38	3,5	2	250,49	171,2	71,1	89,33	65,50	69,42	93,8
13:39	3,8	1,9	271,96	162,7	83,2	89,42	65,42	68,83	94
13:40	2,4	1,4	171,77	119,9	48,1	89,08	64,67	69,00	94,1
13:41	2,4	1,4	171,77	119,9	48,1	89,25	64,75	69,58	94,3
13:42	2,4	1,4	171,77	119,9	48,1	89,25	64,75	69,50	94,4
13:43	2,2	1,2	157,45	102,7	45,9	89,17	63,92	69,25	94,5
13:44	2,2	1,2	157,45	102,7	45,9	89,00	63,58	69,58	94,6
13:45	2,1	1,1	150,30	94,2	44,9	89,42	63,92	69,50	94,8
13:46	2,8	1,3	200,39	111,3	63,5	89,92	65,17	69,42	94,9
13:47	2,3	1,4	164,61	119,9	44,8	90,17	65,33	69,33	95
13:48	2,1	1,7	150,30	145,6	31,6	89,92	65,58	70,33	95,1
13:49	2	1,7	143,14	145,6	28,3	90,25	65,25	70,25	95,2
13:50	2,5	1,7	178,92	145,6	44,8	90,00	65,33	70,17	95,3
13:51	1,8	1,5	128,82	128,4	26,2	90,17	65,00	70,17	95,4
13:52	2,3	1,3	164,61	111,3	47,0	89,75	64,33	70,25	95,5
13:53	2,3	1,3	164,61	111,3	47,0	90,08	64,92	70,25	95,6
13:54	2,3	1,3	164,61	111,3	47,0	90,00	65,17	69,92	95,7
13:55	2,3	1,2	164,61	102,7	49,2	90,17	65,50	70,33	95,9
13:56	2,4	1,3	171,77	111,3	50,3	90,42	65,42	70,75	96
13:57	2,4	1,6	171,77	137,0	43,7	90,33	65,83	71,00	96,2
13:58	3,6	1,4	257,65	119,9	87,6	90,67	66,00	71,25	96,5
13:59	3,6	1,5	257,65	128,4	85,4	90,58	65,75	71,17	96,7
14:00	4	1,6	286,28	137,0	96,4	90,92	65,75	71,25	96,9
14:01	4,2	1,7	300,59	145,6	100,8	91,08	66,08	71,33	97
14:02	4,4	1,6	314,90	137,0	109,5	92,00	67,08	71,58	-
14:03	5	1,5	357,85	128,4	131,5	93,00	67,58	71,92	-
14:04	7	1,7	500,98	145,55	192,9	93,33	67,92	73,00	-
14:05	8,4	2,1	601,18	179,80	230,2	93,42	68,58	73,67	-
14:06	8,7	1,9	622,65	162,68	244,5	94,08	69,42	73,50	-
14:07	3,6	1,4	257,65	119,87	87,6	95,33	69,58	73,33	-
14:08	8,3	1,7	594,02	145,55	235,7	95,58	69,42	73,67	-
14:09	8,6	1,7	615,50	145,55	245,6	96,17	70,75	73,67	-
14:10	8,5	1,7	608,34	145,55	242,3	96,25	71,33	73,92	-
14:11	8,5	1,7	608,34	145,55	242,3	96,83	72,17	74,33	-
14:12	8,4	1,7	601,18	145,55	239,0	97,25	78,33	73,92	-
14:13	8,6	1,7	615,50	145,55	245,6	97,67	88,17	74,08	-
14:14	8,6	1,7	615,50	145,55	245,6	97,67	93,17	74,17	-
14:15	8,6	1,6	615,50	136,99	247,8	97,75	94,83	75,17	-

14:16	8,6	1,6	615,50		136,99		247,8		96,83	93,75	74,00	-
14:17	8,5	1,6	608,34		136,99		244,5		96,00	89,33	74,67	-
14:18	2,3	0,9	164,61		77,06		55,9		96,17	87,50	75,08	-
14:19	2,3	0,9	164,61		77,06		55,9		95,83	85,50	74,92	-
14:20	2,1	0,8	150,30		68,50		51,5		95,67	83,08	74,58	-
14:21	2,2	0,8	157,45		68,50		54,8		95,83	81,25	74,67	-
14:22	2	0,8	143,14		68,50		48,2		95,83	79,58	74,58	-
14:23	1,9	0,8	135,98		68,50		44,9		95,67	78,67	74,92	-
14:24	1,9	0,8	135,98		68,50		44,9		95,67	77,67	74,75	-
14:25	2	0,9	143,14		77,06		46,0		96,08	77,67	74,92	-
14:26	2,1	0,8	150,30		68,50		51,5		97,92	84,08	75,08	-
14:27	2,6	1	186,08		85,62		63,5		98,25	93,25	74,92	-
14:28	5,4	1,4	386,47		119,87		146,9		98,08	95,92	76,00	-
14:29	8,3	1,6	594,02		136,99		237,9		98,17	96,42	76,83	-
14:30	8,6	1,7	615,50		145,55		245,6		97,67	97,00	77,17	-
14:31	8,8	1,7	629,81		145,55		252,2		97,50	96,42	77,75	-
14:32	8,7	1,7	622,65		145,55		248,9		97,58	96,25	77,75	-
14:33	8,8	1,6	629,81		136,99		254,4		97,67	96,17	78,00	-
14:34	8,8	1,6	629,81		136,99		254,4		97,00	95,67	78,08	-
14:35	8,8	1,6	629,81		136,99		254,4		96,33	93,67	78,42	-
14:36	9	1,6	644,12		136,99		261,0		95,92	91,17	78,92	-
14:37	9,2	1,6	658,44		136,99		267,6		95,92	88,33	78,42	-
14:38	2	0,8	143,14		68,50		48,2		96,67	86,83	78,17	-
14:39	1,9	0,8	135,98		68,50		44,9		96,50	87,17	78,17	-
14:40	2,1	0,9	150,30		77,06		49,3		97,42	90,25	78,42	-
14:41	3,5	1,1	250,49		94,18		90,9		97,92	95,75	78,67	-
14:42	5,5	1,4	393,63	515,53	119,87	135,0	150,2	202,3	98,00	97,00	79,00	-
14:43	7,6	1,6	543,93		136,99		214,9		98,25	96,25	79,42	-
14:44	8,8	1,8	629,81		154,12		250,0		98,17	96,75	80,67	-
14:45	10,4	2,2	744,32		188,36		293,8		97,33	95,25	80,92	-
14:46	10,6	2,2	758,63		188,36		300,4		97,25	95,50	81,42	-
14:47	10,4	2	744,32		171,24		298,2		97,17	95,17	81,33	-
14:48	9,3	1,9	665,59		162,68		264,2		96,92	94,58	81,67	-
14:49	9,8	1,9	701,38		162,68		280,7		96,25	94,08	82,00	-
14:50	8,5	1,7	608,34		145,55		242,3		97,08	94,67	81,67	-
14:51	4,2	1,2	300,59		102,74		111,8		96,83	94,67	81,67	-
14:52	6,3	1,5	450,89		128,43		174,3		97,25	96,00	82,33	-
14:53	6	1,5	429,42		128,43		164,4		97,58	95,42	82,75	-
14:54	4,8	1,3	343,53		111,31		129,3		97,42	93,67	82,75	-
14:55	7,6	1,6	543,93		136,99		214,9		97,17	93,33	83,33	-
14:56	9,2	1,8	658,44		154,12		263,2		97,08	93,67	84,08	-
14:57	8,9	1,8	636,97		154,12		253,3		97,08	94,17	84,33	-
14:58	8,8	1,8	629,81		154,12		250,0		96,58	93,75	84,58	-

14:59	8,7	1,8	622,65		154,12		246,7		96,67	94,33	84,83	-
15:00	8,4	1,8	601,18		154,12		236,8		97,08	94,50	85,33	-
15:01	8,4	1,8	601,18		154,12		236,8		97,25	95,08	85,42	-
15:02	8,2	1,7	586,87		145,55		232,4		97,33	95,58	85,83	-
15:03	8,2	1,7	586,87		145,55		232,4		97,33	95,33	86,25	-
15:04	8	1,7	572,55		145,55		225,9		96,92	95,75	86,67	-
15:05	8	1,7	572,55		145,55		225,9		96,42	95,33	86,75	-
15:06	7,9	1,7	565,40		145,55		222,6		96,67	94,92	87,00	-
15:07	6,2	1,5	443,73		128,43		171,0		97,00	95,83	87,00	-
15:08	2,1	0,8	150,30		68,50		51,5		96,83	95,92	86,75	-
15:09	8,1	1,7	579,71		145,55		229,1		96,92	95,92	87,58	-
15:10	7,9	1,7	565,40		145,55		222,6		97,25	96,08	87,58	-
15:11	7,8	1,6	558,24		136,99		221,5		97,00	95,33	87,42	-
15:12	7,7	1,6	551,08		136,99		218,2		96,75	95,75	88,08	-
15:13	7	1,5	500,98		128,43		197,3		97,08	96,17	88,25	-
15:14	7,5	1,6	536,77		136,99		211,6		96,58	95,42	88,67	-
15:15	8	1,7	572,55		145,55		225,9		96,92	95,67	89,00	-
15:16	8	1,7	572,55		145,55		225,9		96,58	95,75	89,25	-
15:17	7,7	1,7	551,08		145,55		216,0		97,00	95,75	89,33	-
15:18	7,6	1,6	543,93		136,99		214,9		97,00	96,00	90,08	-
15:19	4,5	1,4	322,06		119,87		117,2		97,08	96,42	90,00	-
15:20	4,5	1,6	322,06		136,99		112,8		97,50	96,50	90,42	-
15:21	7,7	1,7	551,08		145,55		216,0		97,08	96,25	90,58	-
15:22	7,4	1,6	529,61		136,99		208,3		97,50	96,42	90,75	-
15:23	7,5	1,7	536,77		145,55		209,4		96,83	96,58	91,17	-
15:24	7,8	1,7	558,24		145,55		219,3		96,75	95,83	91,50	-
15:25	7,8	1,8	558,24		154,12		217,1		96,50	95,58	91,75	-
15:26	5,5	1,4	393,63		119,87		150,2		96,33	94,75	91,75	-
15:27	6,1	1,4	436,57		119,87		169,9		96,25	90,92	91,75	-
15:28	6,1	1,5	436,57		128,43		167,7		96,08	86,92	91,33	-
15:29	1,5	0,7	107,35		59,93		33,9		95,92	84,75	91,00	-
15:30	1,4	0,8	100,20		68,50		28,4		96,00	83,17	91,00	-
15:31	1,1	0,6	78,73		51,37		23,0		95,67	80,92	91,17	-
15:32	1,6	0,7	114,51		59,93		37,2		95,50	79,50	91,25	-
15:33	1,6	0,7	114,51		59,93		37,2		95,75	78,75	90,75	-
15:34	1,5	0,8	107,35	178,21	68,50	76,6	31,7	62,2	96,25	78,08	90,50	-
15:35	1,5	0,8	107,35		68,50		31,7		96,58	77,67	90,58	-
15:36	1,5	0,8	107,35		68,50		31,7		96,33	77,17	90,75	-
15:37	1,6	0,7	114,51		59,93		37,2		96,08	77,17	90,58	-
15:38	1,5	0,7	107,35		59,93		33,9		96,17	77,42	90,33	-
15:39	3,3	1	236,18		85,62		86,6		96,42	77,00	90,50	-
15:40	3,3	1	236,18		85,62		86,6		96,50	77,83	90,67	-
15:41	2	0,8	143,14		68,50		48,2		96,08	78,08	90,50	-

15:42	2	0,8	143,14		68,50		48,2		95,75	78,25	90,50	-
15:43	4,3	1,2	307,75		102,74		115,1		96,00	76,67	90,42	-
15:44	3,7	1,1	264,81		94,18		97,5		96,13	76,75	90,17	-
15:45	2,3	0,9	164,61		77,06		55,9		96,25	76,5	90,17	-
15:46	1,9	0,9	135,98		77,06		42,7		96,25	76,75	90,00	-

Fuente: Autores.

ANEXO J. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (viernes 28 de octubre).

PRECALENTAMIENTO (viernes 28 octubre)											
HORA	mv Hdirecta	mv Hdifusa	W/m2 H	Promedio H	W/m2 Hd	Promedio Hd	S	S Promedio	T H2O CPC	T vapor	T H2O SIN CPC
9:32	2,5	1,2	178,92	410,29	102,7	155,7	55,8	148,6	24,75	25,00	25,25
9:33	2,5	1,2	178,92		102,7		55,8		25,33	24,58	25,00
9:34	2,7	1,3	193,24		111,3		60,2		25,42	24,83	25,25
9:35	3	1,3	214,71		111,3		70,1		26,08	25,50	25,50
9:36	3	1,3	214,71		111,3		70,1		26,17	25,75	25,25
9:37	3,3	1,4	236,18		119,9		77,7		26,83	27,00	25,75
9:38	3,3	1,4	236,18		119,9		77,7		27,17	26,17	25,50
9:39	3,4	1,5	243,34		128,4		78,8		28,08	26,92	25,75
9:40	3,7	1,6	264,81		137,0		86,5		28,75	27,33	26,00
9:41	5	1,9	357,85		162,7		122,7		29,42	29,08	26,25
9:42	5,4	2	386,47		171,2		133,6		33,08	33,58	26,50
9:43	5,6	2	400,79		171,2		140,2		36,25	36,83	27,00
9:44	6	2,2	429,42		188,4		149,0		38,67	39,00	26,58
9:45	6,3	2,3	450,89		196,9		156,6		41,92	41,75	27,33
9:46	7	2,3	500,98		196,9		179,7		43,25	42,42	27,92
9:47	5,7	2,2	407,94		188,4		139,1		44,17	45,00	28,33
9:48	4,6	1,9	329,22		162,7		109,5		46,33	44,83	28,75
9:49	4,8	1,8	343,53		154,1		118,3		49,08	47,83	29,42
9:50	6,6	1,8	472,36		154,1		177,6		50,42	49,25	29,25
9:51	10,7	2	765,79		171,2		308,1		52,75	51,00	30,00
9:52	12,4	2,1	887,46		179,8		361,9		53,67	51,83	30,08
9:53	12,5	2,1	894,62		179,8		365,2		54,08	51,25	29,58
9:54	13	2,1	930,40		179,8		381,6		55,33	51,92	30,33
9:55	11	2	787,26		171,2		318,0		56,00	51,50	31,00
9:56	12	2,2	858,83	188,4	346,5	56,83	50,00	32,25			
9:57	12	2,2	858,83	188,4	346,5	58,00	49,25	32,92			
9:58	12,7	2,4	908,93	205,5	365,1	60,08	49,67	33,33			
9:59	14,1	2,5	1009,13	214,0	409,0	62,92	50,92	34,25			
10:00	14,1	2,5	1009,13	214,0	409,0	63,50	50,92	35,33			
10:01	14,1	2,5	1009,13	214,0	409,0	64,00	51,00	35,25			
10:02	13,8	2,7	987,66	231,2	394,7	64,75	51,17	35,50			

10:03	10	2,6	715,69		222,6		271,8		65,33	51,83	36,58
10:04	11,4	2,9	815,89		248,3		311,3		65,92	52,17	37,25
10:05	15,7	3,2	1123,64		274,0		446,2		66,33	51,00	37,67
10:06	7	2,5	500,98		214,0		175,3		66,92	50,67	38,08
10:07	12	2,5	858,83		214,0		339,9		67,33	49,08	38,67
10:08	8,5	2,4	608,34		205,5		226,9		67,92	48,58	39,42
10:09	9,7	2,5	694,22		214,0		264,2		68,00	48,25	40,08
10:10	1,3	1,4	93,04		119,9		11,9		68,25	48,42	40,42
10:11	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		68,25	48,08	40,00
10:12	1,6	1,4	114,51		119,9		21,8		68,33	47,08	40,58
10:13	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		68,67	46,58	41,08
10:14	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,00	46,17	41,42
10:15	1,4	1,4	100,20		119,9		15,2		69,00	45,50	41,83
10:16	2	1,6	143,14		137,0		30,5		68,83	45,25	42,25
10:17	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		68,83	45,50	42,58
10:18	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		68,75	45,75	42,67
10:19	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		68,67	44,92	42,67
10:20	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		68,50	44,17	43,58
10:21	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,08	43,75	44,08
10:22	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,08	43,42	44,67
10:23	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,42	43,00	44,92
10:24	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,38	42,63	45,83
10:25	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,40	42,62	45,67
10:26	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,43	42,62	45,83
10:27	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,46	42,62	45,92
10:28	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,49	42,62	46,33
10:29	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,51	42,61	46,42
10:30	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,54	42,61	46,92
10:31	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,57	42,61	47,08
10:32	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,60	42,61	47,17
10:33	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,63	42,60	47,50
10:34	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,65	42,60	47,83
10:35	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,68	42,60	47,58
10:36	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,71	42,60	47,83
10:37	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,74	42,60	47,75
10:38	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,77	42,59	47,92
10:39	1,9	1,4	135,98	283,93	119,9	152,4	31,7	91,3	69,79	42,59	47,83
10:40	1,7	1,4	121,67		119,9		25,1		69,82	42,59	48,08
10:41	1,5	1,3	107,35		111,3		20,7		69,85	42,59	48,25
10:42	3,8	1,2	271,96		102,7		98,6		69,88	42,58	48,08
10:43	3,3	1	236,18		85,6		86,6		69,91	42,58	48,25
10:44	2,5	0,9	178,92		77,1		62,4		69,93	42,58	48,42
10:45	2	0,8	143,14		68,5		48,2		69,96	42,58	48,42

10:46	1,6	0,8	114,51	68,5	35,0	69,99	42,58	48,33
10:47	1,4	0,9	100,20	77,1	26,2	70,02	42,57	48,08
10:48	1,4	0,9	100,20	77,1	26,2	70,04	42,57	48,00
10:49	2,3	1,3	164,61	111,3	47,0	70,07	42,57	48,00
10:50	2,3	1,3	164,61	111,3	47,0	70,10	42,57	48,17
10:51	2,4	1,3	171,77	111,3	50,3	70,13	42,56	48,17
10:52	2,6	1,4	186,08	119,9	54,7	70,16	42,56	48,25
10:53	2,7	1,5	193,24	128,4	55,8	70,18	42,56	48,00
10:54	2,9	1,6	207,55	137,0	60,2	70,21	42,56	48,00
10:55	2,7	1,5	193,24	128,4	55,8	70,24	42,56	48,08
10:56	2,7	1,3	193,24	111,3	60,2	70,27	42,55	48,25
10:57	2,6	1,3	186,08	111,3	56,9	70,30	42,55	48,08
10:58	2,6	1,3	186,08	111,3	56,9	70,32	42,55	48,25
10:59	2,6	1,3	186,08	111,3	56,9	70,35	42,55	48,08
11:00	2,6	1,3	186,08	111,3	56,9	70,38	42,54	47,92
11:01	2,6	1,3	186,08	111,3	56,9	70,41	42,54	48,17
11:02	2,4	1,2	171,77	102,7	52,5	70,44	42,54	48,17
11:03	2,4	1,2	171,77	102,7	52,5	70,46	42,54	48,00
11:04	2,5	1,4	178,92	119,9	51,4	70,49	42,54	48,25
11:05	2,5	1,4	178,92	119,9	51,4	70,52	42,53	48,17
11:06	2,7	1,5	193,24	128,4	55,8	70,55	42,53	48,25
11:07	2,7	1,5	193,24	128,4	55,8	70,57	42,53	48,58
11:08	3,3	1,7	236,18	145,6	71,1	70,60	42,53	48,50
11:09	3,3	1,7	236,18	145,6	71,1	70,63	42,52	49,08
11:10	3,9	2	279,12	171,2	84,3	70,66	42,52	49,83
11:11	3,9	2	279,12	171,2	84,3	70,69	42,52	50,08
11:12	4,2	2	300,59	171,2	94,1	70,71	42,52	50,33
11:13	4,7	2,2	336,38	188,4	106,2	70,74	42,52	50,58
11:14	4,7	2,2	336,38	188,4	106,2	70,77	42,51	50,75
11:15	5,2	2,4	372,16	205,5	118,2	70,80	42,51	51,33
11:16	5	2,5	357,85	214,0	109,4	70,83	42,51	51,17
11:17	5	2,5	357,85	214,0	109,4	70,85	42,51	51,75
11:18	5	2,5	357,85	214,0	109,4	70,88	42,50	52,08
11:19	5,1	2,5	365,00	214,0	112,7	70,91	42,50	52,25
11:20	5,6	2,5	400,79	214,0	129,2	70,94	42,50	52,42
11:21	6,5	2,3	465,20	196,9	163,2	70,97	42,50	52,75
11:22	6,5	2,3	465,20	196,9	163,2	71,00	42,50	53,08
11:23	6,4	2,9	458,04	248,3	146,7	71,17	43,33	53,58
11:24	6,9	2,5	493,83	214,0	172,0	72,17	44,33	53,75
11:25	7	2,2	500,98	188,4	181,9	73,58	46,08	54,42
11:26	8,1	3,2	579,71	274,0	196,0	75,00	48,67	55,42
11:27	9,7	3,3	694,22	282,5	246,5	75,17	48,75	55,92
11:28	10	3,2	715,69	274,0	258,6	76,08	49,83	56,08

11:29	11	3,2	787,26		274,0		291,5		77,67	51,00	56,33
11:30	8	2,5	572,55		214,0		208,2		78,75	53,25	55,83
11:31	7	2,2	500,98		188,4		181,9		78,67	53,08	56,25
11:32	6,5	2,2	465,20		188,4		165,4		78,33	52,92	56,83
11:33	9,4	3	672,75		256,9		243,3		77,83	52,67	57,75
11:34	15	3,1	1073,54		265,4		425,4		77,92	51,25	58,08
11:35	8	2,8	572,55		239,7		201,6		77,67	50,33	58,67
11:36	12	2,9	858,83		248,3		331,1		77,58	49,75	58,00
11:37	8	2,4	572,55		205,5		210,4		77,65	49,83	57,50
11:38	4,4	1,5	314,90		128,4		111,8		77,72	49,91	56,92
11:39	2,4	1,2	171,77		102,7		52,5		77,79	50,00	56,00
11:40	2,3	1,1	164,61		94,2		51,4		77,86	50,08	55,75
11:41	2	1	143,14		85,6		43,8		77,93	50,16	55,92
11:42	1,8	0,8	128,82		68,5		41,6		78,00	50,24	55,67
11:43	1,5	0,7	107,35		59,9		33,9		78,07	50,32	55,42
11:44	1,8	0,8	128,82		68,5		41,6		78,14	50,41	55,83
11:45	1,6	0,8	114,51		68,5		35,0		78,20	50,49	55,25
11:46	1,5	0,8	107,35		68,5		31,7		78,27	50,57	55,25
11:47	1,5	0,7	107,35		59,9		33,9		78,34	50,65	55,50
11:48	1,5	0,7	107,35		59,9		33,9		78,41	50,73	55,08
11:49	1,1	0,4	78,73		34,2		27,4		78,48	50,82	55,63
11:50	1,1	0,4	78,73		34,2		27,4		78,55	50,90	55,72
11:51	1	0,4	71,57		34,2		24,1		78,62	50,98	55,81
11:52	1	0,4	71,57	130,82	34,2	55,7	24,1	45,8	78,69	51,06	55,90
11:53	1	0,4	71,57		34,2		24,1		78,76	51,14	55,99
11:54	1	0,4	71,57		34,2		24,1		78,83	51,23	56,08
11:55	1	0,4	71,57		34,2		24,1		78,89	51,31	56,18
11:56	1	0,4	71,57		34,2		24,1		78,96	51,39	56,27
11:57	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,03	51,47	56,36
11:58	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,10	51,55	56,45
11:59	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,17	51,64	56,54
12:00	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,24	51,72	56,64
12:01	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,31	51,80	56,73
12:02	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,38	51,88	56,82
12:03	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,45	51,96	56,91
12:04	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,52	52,05	57,00
12:05	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,58	52,13	57,10
12:06	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,65	52,21	57,19
12:07	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,72	52,29	57,28
12:08	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,79	52,37	57,37
12:09	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,86	52,46	57,46
12:10	1	0,4	71,57		34,2		24,1		79,93	52,54	57,55
12:11	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,00	52,62	57,65

12:12	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,07	52,70	57,74
12:13	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,14	52,78	57,83
12:14	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,21	52,87	57,92
12:15	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,27	52,95	58,01
12:16	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,34	53,03	58,11
12:17	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,41	53,11	58,20
12:18	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,48	53,19	58,29
12:19	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,55	53,28	58,38
12:20	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,62	53,36	58,47
12:21	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,69	53,44	58,57
12:22	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,76	53,52	58,66
12:23	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,83	53,60	58,75
12:24	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,90	53,69	58,84
12:25	1	0,4	71,57		34,2		24,1		80,96	53,77	58,93
12:26	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,03	53,85	59,03
12:27	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,10	53,93	59,12
12:28	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,17	54,01	59,21
12:29	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,24	54,10	59,30
12:30	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,31	54,18	59,39
12:31	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,38	54,26	59,48
12:32	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,45	54,34	59,58
12:33	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,52	54,42	59,67
12:34	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,59	54,51	59,76
12:35	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,65	54,59	59,85
12:36	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,72	54,67	59,94
12:37	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,79	54,75	60,04
12:38	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,86	54,83	60,13
12:39	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,93	54,92	60,22
12:40	1	0,4	71,57		34,2		24,1		82,00	55,00	60,31
12:41	1	0,4	71,57		34,2		24,1		83,00	55,58	60,40
12:42	1	0,4	71,57		34,2		24,1		81,50	56,50	60,50
12:43	1	0,4	71,57		34,2		24,1		83,00	58,75	60,59
12:44	1,1	0,7	78,73		59,9		20,8		82,42	60,17	60,68
12:45	1,8	1,1	128,82	474,00	94,2	155,9	35,0	177,8	83,00	62,00	60,77
12:46	2,4	1,5	171,77		128,4		45,9		83,25	63,83	60,86
12:47	5,8	2,1	415,10		179,8		144,6		84,67	65,33	60,96
12:48	6,4	2,1	458,04		179,8		164,4		87,75	68,75	61,05
12:49	5,5	2,1	393,63		179,8		134,7		91,42	71,08	61,14
12:50	8	2,2	572,55		188,4		214,8		93,25	72,42	61,23
12:51	6,5	2,1	465,20		179,8		167,6		91,25	68,50	61,33
12:52	6,6	2,1	472,36		179,8		170,9		93,67	68,83	61,08
12:53	7	2,1	500,98		179,8		184,1		95,50	70,17	60,92
12:54	8,4	2,1	601,18		179,8		230,2		95,33	71,17	61,92

12:55	12	2,5	858,83	214,0	339,9	98,92	74,92	62,00
12:56	13,4	3,1	959,03	265,4	372,7	100,42	87,50	63,00
12:57	14,4	3,4	1030,60	291,1	399,0	99,50	93,42	62,67
12:58	14,5	3,5	1037,75	299,7	400,1	99,33	94,08	62,50
12:59	14,9	3,5	1066,38	299,7	413,3	98,08	92,83	63,83
13:00	4,2	1,8	300,59	154,1	98,5	97,42	90,67	64,92
13:01	6	2,4	429,42	205,5	144,6	96,67	86,67	64,83
13:02	8,3	2,3	594,02	196,9	222,5	96,25	82,42	65,08
13:03	7,8	2,3	558,24	196,9	206,0	96,25	79,33	66,00
13:04	13,7	3	980,50	256,9	384,8	96,92	78,08	67,42
13:05	14,2	2,9	1016,28	248,3	403,5	97,75	82,50	67,42
13:06	4,6	1,9	329,22	162,7	109,5	97,50	87,75	68,00
13:07	11,1	2,6	794,42	222,6	308,0	97,00	85,67	67,50
13:08	14,2	2,9	1016,28	248,3	403,5	96,92	82,67	67,25
13:09	4,6	1,9	329,22	162,7	109,5	96,58	80,42	68,67
13:10	11,1	2,6	794,42	222,6	308,0	96,58	78,67	69,83
13:11	14,2	2,8	1016,28	239,7	405,7	96,83	78,83	70,00
13:12	12,6	2,7	901,77	231,2	355,2	97,08	80,67	70,33
13:13	13,4	2,7	959,03	231,2	381,6	97,67	85,17	70,83
13:14	13,2	2,7	944,71	231,2	375,0	97,17	85,50	71,33
13:15	11	2,3	787,26	196,9	311,4	96,75	83,25	71,58
13:16	13	2,5	930,40	214,0	372,8	96,08	80,33	71,25
13:17	13	2,5	930,40	214,0	372,8	96,33	78,25	71,00
13:18	10	2,3	715,69	196,9	278,5	95,92	76,67	70,83
13:19	4,8	1,8	343,53	154,1	118,3	96,42	76,17	70,83
13:20	11,2	2,5	801,58	214,0	313,5	96,58	75,42	71,08
13:21	4,1	1,7	293,43	145,6	97,5	95,67	74,08	70,58
13:22	3,6	1,6	257,65	137,0	83,2	95,83	72,58	70,83
13:23	3	1,4	214,71	119,9	67,9	96,00	72,45	70,83
13:24	2,3	1,1	164,61	94,2	51,4	96,25	72,31	70,58
13:25	2	1	143,14	85,6	43,8	95,75	72,18	70,75
13:26	1,9	1	135,98	85,6	40,5	95,50	72,04	70,92
13:27	2	1	143,14	85,6	43,8	95,25	71,90	71,08
13:28	2,2	1,1	157,45	94,2	48,2	95,75	71,77	71,42
13:29	2,9	1,2	207,55	102,7	69,0	95,50	71,63	71,58
13:30	3,9	1,4	279,12	119,9	97,5	96,00	71,50	71,58
13:31	3,8	1,3	271,96	111,3	96,4	96,25	71,36	71,83
13:32	4,6	1,4	329,22	119,9	120,5	95,75	71,22	71,67
13:33	5,8	1,8	415,10	154,1	151,2	95,50	71,09	71,17
13:34	4,4	1,5	314,90	128,4	111,8	96,00	70,95	71,42
13:35	3,6	1,4	257,65	119,9	87,6	96,00	70,82	71,25

Fuente: Autores.

ANEXO K. Toma de datos para el funcionamiento del equipo (lunes 31 de octubre).

PRECALENTAMIENTO Y EBULLICIÓN (lunes 31 octubre)												
HORA	mv Hdirecta	mv Hdifusa	W/m2 H	Promedio H	W/m2 Hd	Promedio Hd	S	S Promedio	T H2O CPC	T vapor	T H2O SIN CPC	T H2O Teórica
9:10	8,6	0,8	615,50	698,09	68,5	59,4	265,5	305,8	29,67	28,25	25,25	29,5
9:11	8,6	0,8	615,50		68,5		265,5		29,58	29,08	25,00	30,4
9:12	8,7	0,7	622,65		59,9		271,0		30,50	30,50	25,25	31,2
9:13	8,7	0,6	622,65		51,4		273,2		30,92	31,58	25,75	32,1
9:14	8,6	0,7	615,50		59,9		267,7		32,25	32,83	26,25	33
9:15	8,4	0,7	601,18		59,9		261,1		33,25	34,00	26,50	33,9
9:16	8,7	0,7	622,65		59,9		271,0		34,42	35,00	26,75	34,8
9:17	8,6	0,7	615,50		59,9		267,7		35,83	37,17	27,00	35,6
9:18	8,6	0,7	615,50		59,9		267,7		37,17	38,50	28,50	36,5
9:19	8,7	0,7	622,65		59,9		271,0		38,08	39,58	30,33	37,4
9:20	8,8	0,7	629,81		59,9		274,3		38,92	40,33	31,42	38,3
9:21	8,9	0,7	636,97		59,9		277,6		39,58	41,08	32,42	39,2
9:22	8,7	0,7	622,65		59,9		271,0		41,33	40,92	33,17	40,1
9:23	9	0,7	644,12		59,9		280,8		42,17	40,67	33,67	41
9:24	9,1	0,7	651,28		59,9		284,1		43,33	40,17	34,42	41,9
9:25	9,2	0,7	658,44		59,9		287,4		44,25	41,42	35,33	42,8
9:26	9,2	0,7	658,44		59,9		287,4		45,50	42,92	36,08	43,8
9:27	9,3	0,7	665,59		59,9		290,7		46,58	43,33	36,83	44,7
9:28	9,5	0,7	679,91		59,9		297,3		47,42	44,58	37,83	45,7
9:29	9,5	0,7	679,91		59,9		297,3		48,25	45,25	38,58	46,7
9:30	9,6	0,7	687,06		59,9		300,6		49,33	45,83	39,58	47,6
9:31	9,7	0,7	694,22		59,9		303,9		50,42	45,67	39,92	48,6
9:32	9,7	0,7	694,22		59,9		303,9		51,17	47,00	40,92	49,6
9:33	9,7	0,6	694,22		51,4		306,1		52,08	49,08	41,00	50,6
9:34	9,7	0,6	694,22		51,4		306,1		53,42	50,75	42,25	51,6
9:35	9,7	0,6	694,22		51,4		306,1		54,25	52,50	42,67	52,6
9:36	9,7	0,6	694,22		51,4		306,1		55,67	54,75	43,50	53,6
9:37	9,8	0,6	701,38		51,4		309,4		56,92	55,42	44,08	54,6
9:38	9,8	0,7	701,38		59,9		307,2		58,00	56,83	44,50	55,6
9:39	9,9	0,7	708,54		59,9		310,5		58,58	57,33	44,92	56,6
9:40	9,9	0,7	708,54	59,9	310,5	60,00	58,33	45,67	57,6			
9:41	10	0,7	715,69	59,9	313,8	60,25	58,17	46,17	58,6			
9:42	10	0,7	715,69	59,9	313,8	61,33	59,17	46,67	59,7			
9:43	10	0,7	715,69	59,9	313,8	62,42	59,75	47,83	60,7			
9:44	10	0,7	715,69	59,9	313,8	63,83	59,50	48,50	61,7			
9:45	10	0,7	715,69	59,9	313,8	64,42	60,00	49,17	62,7			
9:46	10	0,7	715,69	59,9	313,8	65,75	62,42	49,42	63,8			

9:47	10,1	0,7	722,85		59,9		317,1		66,67	63,33	49,92	64,8
9:48	10,1	0,7	722,85		59,9		317,1		67,75	63,67	49,92	65,8
9:49	10,1	0,7	722,85		59,9		317,1		68,75	64,25	51,00	66,8
9:50	10,1	0,7	722,85		59,9		317,1		69,92	66,25	51,42	67,9
9:51	10,2	0,7	730,01		59,9		320,4		71,25	67,83	52,25	68,9
9:52	10,2	0,7	730,01		59,9		320,4		72,08	66,75	52,67	69,9
9:53	10,2	0,7	730,01		59,9		320,4		72,83	66,83	53,42	71
9:54	10,3	0,7	737,16		59,9		323,6		73,67	67,33	54,08	72
9:55	10,3	0,7	737,16		59,9		323,6		74,92	68,00	54,25	73,1
9:56	10,4	0,7	744,32		59,9		326,9		76,17	70,42	54,33	74,1
9:57	10,5	0,7	751,48		59,9		330,2		77,08	72,50	55,33	75,2
9:58	10,5	0,7	751,48		59,9		330,2		77,50	70,25	55,83	76,3
9:59	10,5	0,7	751,48		59,9		330,2		78,42	71,00	56,42	77,4
10:00	10,5	0,7	751,48		59,9		330,2		79,58	71,33	56,58	78,4
10:01	10,6	0,7	758,63		59,9		333,5		81,25	72,75	56,83	79,5
10:02	10,6	0,7	758,63		59,9		333,5		82,08	73,42	57,17	80,6
10:03	10,6	0,7	758,63		59,9		333,5		82,92	74,75	57,00	81,7
10:04	10,6	0,7	758,63		59,9		333,5		84,00	74,33	58,08	82,7
10:05	10,7	0,7	765,79		59,9		336,8		85,17	74,75	58,42	83,8
10:06	10,7	0,7	765,79		59,9		336,8		86,33	76,50	58,58	84,9
10:07	10,7	0,7	765,79		59,9		336,8		87,42	80,00	57,92	86
10:08	10,7	0,7	765,79		59,9		336,8		88,75	79,50	57,25	87,1
10:09	10,6	0,7	758,63		59,9		333,5		89,58	80,33	56,67	88,2
10:10	10,6	0,7	758,63		59,9		333,5		90,17	81,58	56,92	89,3
10:11	10,6	0,7	758,63		59,9		333,5		90,83	81,08	56,58	90,3
10:12	10,7	0,7	765,79		59,9		336,8		92,42	82,08	57,58	91,4
10:13	11	0,7	787,26		59,9		346,7		93,75	82,75	57,58	92,5
10:14	10,9	0,7	780,10		59,9		343,4		94,75	84,50	57,58	93,7
10:15	11	0,7	787,26		59,9		346,7		95,83	85,00	58,75	94,8
10:16	11	0,7	787,26		59,9		346,7		97,17	87,00	59,00	95,9
10:17	11	0,7	787,26		59,9		346,7		98,58	88,75	59,25	97
10:18	11,1	0,7	794,42		59,9		350,0		98,75	90,67	60,17	-
10:19	11,1	0,7	794,42		59,9		350,0		98,83	94,25	60,33	-
10:20	11,1	0,8	794,42	810,26	68,5	66,2	347,8	355,6	98,92	97,17	60,67	-
10:21	10,9	0,7	780,10		59,9		343,4		98,50	97,58	59,92	-
10:22	11	0,8	787,26		68,5		344,5		98,42	97,08	60,50	-
10:23	11,1	0,8	794,42		68,5		347,8		98,58	97,17	61,50	-
10:24	11,1	0,8	794,42		68,5		347,8		98,67	96,58	62,75	-
10:25	11,1	0,7	794,42		59,9		350,0		98,67	97,50	63,50	-
10:26	11,2	0,8	801,58		68,5		351,1		98,67	98,00	64,42	-
10:27	11,2	0,8	801,58		68,5		351,1		98,67	98,67	64,00	-
10:28	11,2	0,8	801,58		68,5		351,1		98,83	98,33	63,58	-
10:29	11,2	0,8	801,58		68,5		351,1		98,75	98,83	63,91	-

10:30	11,2	0,7	801,58		59,9		353,3		98,50	98,00	64,23	-
10:31	11,3	0,6	808,73		51,4		358,8		98,83	98,75	64,56	-
10:32	11,2	0,7	801,58		59,9		353,3		99,00	99,00	64,88	-
10:33	11,3	0,7	808,73		59,9		356,6		99,25	97,83	65,21	-
10:34	11,3	0,8	808,73		68,5		354,4		99,17	97,83	65,53	-
10:35	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		99,08	99,08	65,86	-
10:36	11,3	0,7	808,73		59,9		356,6		99,00	99,25	66,18	-
10:37	11,3	0,7	808,73		59,9		356,6		98,42	98,17	66,50	-
10:38	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		98,42	97,83	66,83	-
10:39	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		98,67	97,92	67,15	-
10:40	11,4	0,8	815,89		68,5		357,7		98,67	98,75	67,48	-
10:41	11,4	0,8	815,89		68,5		357,7		99,08	99,50	67,80	-
10:42	11,4	0,8	815,89		68,5		357,7		99,00	98,83	68,13	-
10:43	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		97,33	96,42	68,45	-
10:44	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		103,33	94,67	68,78	-
10:45	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		109,33	94,33	69,10	-
10:46	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		119,50	97,58	69,43	-
10:47	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		104,92	95,17	69,75	-
10:48	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		106,08	94,33	70,08	-
10:49	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		100,67	94,17	70,40	-
10:50	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		98,66	94,00	70,72	-
10:51	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		97,00	93,25	71,05	-
10:52	11,4	0,7	815,89		59,9		359,9		96,17	94,83	71,37	-
10:53	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		98,00	96,17	71,70	-
10:54	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		98,08	96,58	72,02	-
10:55	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		97,42	96,50	72,35	-
10:56	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		99,00	97,25	72,67	-
10:57	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		97,83	95,08	71,83	-
10:58	11,6	0,8	830,20		68,5		364,2		98,92	93,33	72,92	-
10:59	11,5	0,8	823,05		68,5		360,9		98,25	92,33	72,92	-
11:00	11,6	0,8	830,20		68,5		364,2		99,00	92,50	73,25	-
11:01	11,6	0,8	830,20		68,5		364,2		98,33	94,58	73,42	-
11:02	11,5	0,9	823,05		77,1		358,7		96,17	96,17	73,50	-
11:03	11,5	0,9	823,05		77,1		358,7		96,42	93,00	73,50	-
11:04	11,6	0,9	830,20		77,1		362,0		93,83	90,08	73,33	-
11:05	11,5	0,9	823,05		77,1		358,7		94,00	90,33	73,67	-
11:06	11,5	0,9	823,05		77,1		358,7		94,42	90,33	74,25	-
11:07	11,6	0,9	830,20		77,1		362,0		90,75	89,17	74,17	-
11:08	11,5	0,9	823,05		77,1		358,7		85,58	86,92	74,50	-
11:09	11,6	0,9	830,20		77,1		362,0		93,08	82,50	74,92	-
11:10	11,6	0,9	830,20		77,1		362,0		91,08	84,75	75,67	-
11:11	11,6	0,9	830,20		77,1		362,0		92,42	89,17	77,33	-
11:12	11,4	1	815,89	836,66	85,6	97,1	353,2	359,8	93,58	90,58	78,17	-

11:13	11,5	1	823,05	85,6	356,5	93,33	91,25	78,67	-
11:14	11,4	1	815,89	85,6	353,2	99,08	92,42	79,17	-
11:15	11,6	1	830,20	85,6	359,8	101,75	93,75	78,75	-
11:16	11,6	1	830,20	85,6	359,8	108,17	92,00	79,92	-
11:17	11,7	1,1	837,36	94,2	360,9	114,75	93,25	80,08	-
11:18	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	111,83	93,83	80,50	-
11:19	11,9	1,1	851,67	94,2	367,5	98,75	94,25	80,67	-
11:20	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	100,08	96,17	81,33	-
11:21	11,6	1	830,20	85,6	359,8	100,08	96,92	81,08	-
11:22	11,6	1	830,20	85,6	359,8	100,00	97,50	82,00	-
11:23	11,6	1	830,20	85,6	359,8	98,75	96,83	82,17	-
11:24	11,6	1	830,20	85,6	359,8	98,67	96,58	82,17	-
11:25	11,7	1	837,36	85,6	363,1	99,42	97,17	83,00	-
11:26	11,6	1	830,20	85,6	359,8	99,50	97,00	83,25	-
11:27	11,3	1	808,73	85,6	349,9	99,42	96,58	83,33	-
11:28	11,2	1	801,58	85,6	346,7	99,92	95,17	84,00	-
11:29	11,2	1	801,58	85,6	346,7	99,83	94,83	83,67	-
11:30	10,7	0,9	765,79	77,1	332,4	99,83	94,83	83,92	-
11:31	11,4	1	815,89	85,6	353,2	99,92	94,75	84,33	-
11:32	11,4	1	815,89	85,6	353,2	99,67	95,08	84,83	-
11:33	11,5	1	823,05	85,6	356,5	99,08	94,75	85,33	-
11:34	11,5	1	823,05	85,6	356,5	97,42	92,92	85,17	-
11:35	11,6	1	830,20	85,6	359,8	88,92	86,58	85,50	-
11:36	11,6	1	830,20	85,6	359,8	89,42	78,33	85,25	-
11:37	11,7	1	837,36	85,6	363,1	92,67	75,25	85,67	-
11:38	11,8	1	844,52	85,6	366,4	95,08	73,83	86,08	-
11:39	11,8	1	844,52	85,6	366,4	97,75	76,25	87,08	-
11:40	11,7	1	837,36	85,6	363,1	100,17	82,42	87,83	-
11:41	11,8	1	844,52	85,6	366,4	100,67	96,50	87,58	-
11:42	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	100,08	96,25	88,58	-
11:43	11,8	1	844,52	85,6	366,4	99,50	95,08	88,17	-
11:44	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	99,08	96,00	88,00	-
11:45	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	99,33	96,58	88,00	-
11:46	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	98,17	95,67	88,33	-
11:47	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	98,50	95,08	88,25	-
11:48	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	98,25	95,50	89,25	-
11:49	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	98,08	95,08	89,42	-
11:50	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	97,58	93,42	89,33	-
11:51	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	97,58	93,08	89,50	-
11:52	11,8	1,1	844,52	94,2	364,2	98,50	95,33	90,25	-
11:53	12,2	1,2	873,14	102,7	375,2	99,00	95,25	90,33	-
11:54	12,3	1,2	880,30	102,7	378,5	99,00	94,83	91,25	-
11:55	12,6	1,2	901,77	102,7	388,3	98,58	93,92	91,25	-

11:56	13	1,3	930,40		111,3	399,3		97,33	91,00	90,58	-
11:57	5	0,9	357,85		77,1	144,7		97,50	93,83	90,83	-
11:58	11,8	1,3	844,52		111,3	359,8		98,75	96,50	91,67	-
11:59	12,3	1,3	880,30		111,3	376,2		99,83	95,75	91,83	-
12:00	12,4	1,3	887,46		111,3	379,5		99,83	95,58	91,75	-
12:01	11,9	1,4	851,67		119,9	360,9		99,75	97,58	93,08	-
12:02	11,9	1,4	851,67		119,9	360,9		99,08	97,17	93,08	-
12:03	11,9	1,4	851,67		119,9	360,9		99,25	96,67	93,42	-
12:04	12	1,4	858,83		119,9	364,2		98,75	95,42	92,58	-
12:05	11,9	1,4	851,67		119,9	360,9		97,50	92,50	92,92	-
12:06	12	1,4	858,83		119,9	364,2		97,17	92,92	93,25	-
12:07	11,9	1,4	851,67		119,9	360,9		97,50	94,58	93,67	-
12:08	12	1,4	858,83		119,9	364,2		97,75	94,92	94,25	-
12:09	12,3	1,5	880,30		128,4	371,8		98,75	95,83	94,50	-
12:10	12,5	1,5	894,62		128,4	378,4		99,08	96,33	94,50	-
12:11	12,3	1,5	880,30		128,4	371,8		97,92	94,17	94,55	-
12:12	12,5	1,5	894,62		128,4	378,4		97,58	93,75	94,75	-
12:13	12,4	1,5	887,46		128,4	375,1		97,58	92,92	94,75	-
12:14	12,5	1,5	894,62		128,4	378,4		96,67	91,92	94,90	-
12:15	12,5	1,5	894,62		111,3	382,8		97,92	94,42	94,95	-
12:16	12	1,3	858,83		111,3	366,4		98,42	94,83	95,00	-
12:17	12	1,3	858,83		111,3	366,4		98,42	93,00	95,25	-
12:18	12	1,3	858,83		111,3	366,4		98,50	92,92	95,50	-
12:19	12	1,3	858,83		111,3	366,4		98,08	93,92	95,75	-
12:20	12	1,3	858,83		111,3	366,4		97,50	92,50	96,00	-
12:21	11,1	1,4	794,42		119,9	334,5		96,33	91,00	95,75	-
12:22	11,1	1,5	794,42		128,4	332,3		97,50	93,67	96,00	-
12:23	11,1	1,5	794,42		128,4	332,3		97,50	95,08	96,25	-
12:24	10,7	1,5	765,79		128,4	319,2		98,33	95,67	96,50	-
12:25	11,1	1,4	794,42	781,63	119,9	334,5	127,3	98,75	95,92	-	-
12:26	11,1	1,4	794,42		119,9	334,5		99,00	95,33	-	-
12:27	11,4	1,4	815,89		119,9	344,4		97,42	93,75	-	-
12:28	11	1,4	787,26		119,9	331,2		97,75	93,58	-	-
12:29	8	1,3	572,55		111,3	234,7		98,00	93,75	-	-
12:30	11,7	1,6	837,36		137,0	349,9		97,42	94,75	-	-
12:31	11,8	1,6	844,52		137,0	353,2		98,08	95,58	-	-
12:32	11,5	1,6	823,05		137,0	343,3		98,42	96,17	-	-
12:33	11,5	1,6	823,05		137,0	343,3		98,67	95,92	-	-
12:34	11,5	1,6	823,05		137,0	343,3		98,33	96,33	-	-
12:35	11,5	1,6	823,05		137,0	343,3		98,33	95,50	-	-
12:36	11,5	1,6	823,05		137,0	343,3		98,42	94,92	-	-
12:37	11,4	1,4	815,89		119,9	344,4		97,17	94,33	-	-
12:38	11,4	1,4	815,89		119,9	344,4		97,33	94,50	-	-

12:39	11,4	1,4	815,89		119,9	344,4		97,42	93,50	-	-
12:40	11,4	1,4	815,89		119,9	344,4		97,58	95,17	-	-
12:41	11,4	1,4	815,89		119,9	344,4		97,50	95,92	-	-
12:42	11,3	1,4	808,73		119,9	341,1		97,42	93,33	-	-
12:43	11,4	1,4	815,89		119,9	344,4		97,75	94,75	-	-
12:44	11,5	1,4	823,05		119,9	347,7		97,92	95,67	-	-
12:45	11,6	1,4	830,20		119,9	351,0		97,42	95,83	-	-
12:46	10,5	1,2	751,48		102,7	319,2		97,42	95,67	-	-
12:47	10,5	1,2	751,48		102,7	319,2		97,25	94,25	-	-
12:48	11,2	1,2	801,58		102,7	342,2		97,08	91,00	-	-
12:49	11,3	1,2	808,73		102,7	345,5		96,67	92,08	-	-
12:50	11,3	1,2	808,73		102,7	345,5		97,00	93,58	-	-
12:51	11,3	1,2	808,73		102,7	345,5		96,17	92,58	-	-
12:52	11,4	1,2	815,89		102,7	348,8		95,83	91,92	-	-
12:53	11,3	1,2	808,73		102,7	345,5		97,08	94,33	-	-
12:54	11,1	1,5	794,42		128,4	332,3		96,92	93,42	-	-
12:55	11,2	1,5	801,58		128,4	335,6		95,25	90,58	-	-
12:56	11,3	1,5	808,73		128,4	338,9		96,08	91,75	-	-
12:57	10	1,7	715,69		145,6	291,7		96,25	94,50	-	-
12:58	10	1,7	715,69		145,6	291,7		93,92	90,25	-	-
12:59	10,1	1,7	722,85		145,6	295,0		96,33	94,50	-	-
13:00	10	1,7	715,69		145,6	291,7		96,17	91,92	-	-
13:01	10	1,7	715,69		145,6	291,7		95,00	91,50	-	-
13:02	9,9	1,7	708,54		145,6	288,4		97,17	95,33	-	-
13:03	9,8	1,7	701,38		145,6	285,1		97,08	95,33	-	-
13:04	10	1,7	715,69		145,6	291,7		97,33	95,33	-	-
13:05	10,2	1,7	730,01		145,6	298,3		97,00	94,33	-	-
13:06	10,1	1,7	722,85		145,6	295,0		95,33	92,58	-	-
13:07	10	1,7	715,69		145,6	291,7		95,42	93,00	-	-
13:08	9,8	1,8	701,38		154,1	282,9		95,58	92,67	-	-
13:09	9,6	1,8	687,06		154,1	276,3		92,58	91,50	-	-
13:10	10,2	1,8	730,01		154,1	296,1		73,92	80,67	-	-
13:11	9,9	1,7	708,54		145,6	288,4		81,17	73,92	-	-
13:12	8	1,7	572,55		145,6	225,9		94,92	70,33	-	-
13:13	8,4	1,7	601,18		145,6	239,0		99,75	75,50	-	-
13:14	8	1,8	572,55		154,1	223,6		96,42	90,17	-	-
13:15	10,3	1,8	737,16		154,1	299,4		106,08	92,58	-	-
13:16	10,6	1,8	758,63		154,1	309,2		109,50	94,58	-	-
13:17	9	1,7	644,12		145,6	258,8		108,17	95,33	-	-
13:18	8,5	1,9	608,34	729,07	162,7	237,9	147,8	106,08	95,92	-	-
13:19	6	1,8	429,42		154,1	157,8		109,75	94,83	-	-
13:20	9	1,8	644,12		154,1	256,6		104,33	94,92	-	-
13:21	8,5	1,8	608,34		154,1	240,1		100,58	96,17	-	-



13:22	10,7	1,8	765,79	154,1	312,5	99,67	94,50	-	-
13:23	10,9	1,8	780,10	154,1	319,1	98,67	95,00	-	-
13:24	9,7	1,8	694,22	154,1	279,6	98,33	95,58	-	-
13:25	10	1,8	715,69	154,1	289,5	98,00	95,00	-	-
13:26	10,5	1,8	751,48	154,1	306,0	98,08	95,42	-	-
13:27	11,1	1,8	794,42	154,1	325,7	103,50	95,58	-	-
13:28	10,7	1,8	765,79	154,1	312,5	98,08	96,25	-	-
13:29	11,1	1,8	794,42	154,1	325,7	98,42	95,67	-	-
13:30	11,2	1,8	801,58	154,1	329,0	97,83	95,17	-	-
13:31	11,2	1,8	801,58	154,1	329,0	97,75	94,83	-	-
13:32	11,1	1,8	794,42	154,1	325,7	97,92	95,92	-	-
13:33	11	1,8	787,26	154,1	322,4	100,67	96,25	-	-
13:34	11	1,8	787,26	154,1	322,4	99,00	97,58	-	-
13:35	11	1,8	787,26	154,1	322,4	99,42	97,00	-	-
13:36	11	1,8	787,26	154,1	322,4	98,92	96,58	-	-
13:37	10,9	1,8	780,10	154,1	319,1	97,50	95,92	-	-
13:38	10,7	1,7	765,79	145,6	314,7	97,58	96,42	-	-
13:39	10,8	1,7	772,95	145,6	318,0	98,17	96,83	-	-
13:40	10,8	1,7	772,95	145,6	318,0	98,42	95,75	-	-
13:41	10,8	1,7	772,95	145,6	318,0	98,17	95,58	-	-
13:42	10,8	1,7	772,95	145,6	318,0	98,83	94,83	-	-
13:43	10,8	1,8	772,95	154,1	315,8	99,25	96,00	-	-
13:44	10,8	1,9	772,95	162,7	313,6	98,67	94,50	-	-
13:45	10,7	2	765,79	171,2	308,1	97,42	95,58	-	-
13:46	10,8	2	772,95	171,2	311,4	98,17	95,83	-	-
13:47	10,7	2	765,79	171,2	308,1	97,58	94,58	-	-
13:48	10,5	1,7	751,48	145,6	308,2	97,67	95,33	-	-
13:49	10,3	1,6	737,16	137,0	303,8	97,58	94,42	-	-
13:50	10,5	1,7	751,48	145,6	308,2	96,58	92,83	-	-
13:51	10,2	1,5	730,01	128,4	302,7	96,75	92,50	-	-
13:52	10,4	1,6	744,32	137,0	307,1	96,00	93,50	-	-
13:53	10,2	1,7	730,01	145,55	298,3	95,67	91,42	-	-
13:54	10,3	1,5	737,16	128,43	306,0	95,33	91,00	-	-
13:55	10,2	1,7	730,01	145,55	298,3	95,67	93,08	-	-
13:56	10,2	1,5	730,01	128,43	302,7	97,75	92,83	-	-
13:57	10,4	1,6	744,32	136,99	307,1	96,33	95,42	-	-
13:58	10,5	1,5	751,48	128,43	312,6	99,25	91,92	-	-
13:59	10,4	1,6	744,32	136,99	307,1	98,67	90,25	-	-
14:00	10,5	1,6	751,48	136,99	310,4	98,08	90,50	-	-
14:01	10,9	1,6	780,10	136,99	323,5	98,83	90,67	-	-
14:02	10,3	1,6	737,16	136,99	303,8	99,25	90,17	-	-
14:03	10,3	1,7	737,16	145,55	301,6	98,58	91,08	-	-
14:04	10,3	1,7	737,16	145,55	301,6	96,75	90,25	-	-

14:05	10,2	1,8	730,01		154,12		296,1		96,75	91,42	-	-
14:06	10,2	1,8	730,01		154,12		296,1		97,17	90,83	-	-
14:07	10,1	1,7	722,85		145,55		295,0		97,00	91,67	-	-
14:08	9,9	1,6	708,54		136,99		290,6		96,25	91,00	-	-
14:09	9,8	1,6	701,38		136,99		287,3		97,00	90,17	-	-
14:10	9	1,6	644,12		136,99		261,0		97,00	90,25	-	-
14:11	9	1,6	644,12		136,99		261,0		97,92	90,67	-	-
14:12	8,5	1,6	608,34		136,99		244,5		96,92	91,25	-	-
14:13	8,3	1,6	594,02		136,99		237,9		97,17	91,00	-	-
14:14	9,3	1,6	665,59		136,99		270,9		98,75	91,00	-	-
14:15	9,2	1,5	658,44		128,43		269,8		96,75	91,17	-	-
14:16	8,5	1,5	608,34		128,43		246,7		98,42	91,25	-	-
14:17	9	1,5	644,12		128,43		263,2		98,33	94,58	-	-
14:18	8,9	1,5	636,97		128,43		259,9		98,42	92,08	-	-
14:19	8,9	1,4	636,97		119,87		262,1		97,67	92,42	-	-
14:20	9	1,5	644,12		128,43		263,2		97,58	92,33	-	-
14:21	8,9	1,4	636,97		119,87		262,1		97,83	94,00	-	-
14:22	8,9	1,4	636,97		119,87		262,1		97,33	93,25	-	-
14:23	8,9	1,4	636,97		119,87		262,1		97,92	93,50	-	-
14:24	9,3	1,7	665,59		145,55		268,7		98,08	92,58	-	-
14:25	9,2	1,7	658,44		145,55		265,4		98,42	93,17	-	-
14:26	9,2	1,7	658,44		145,55		265,4		98,67	93,42	-	-
14:27	9	1,6	644,12		136,99		261,0		97,00	93,83	-	-
14:28	8,8	1,4	629,81		119,87		258,8		98,42	94,33	-	-
14:29	8,8	1,4	629,81		119,87		258,8		98,25	95,33	-	-
14:30	8,8	1,5	629,81		128,43		256,6		97,08	96,83	-	-
14:31	8,9	1,8	636,97	585,46	154,12	183,9	253,3	221,9	96,75	95,00	-	-
14:32	9,1	2,2	651,28		188,36		251,0		96,25	94,67	-	-
14:33	9,1	2,3	651,28		196,93		248,8		96,92	94,75	-	-
14:34	9,3	2,3	665,59		196,93		255,4		96,92	93,92	-	-
14:35	9,3	2,3	665,59		196,93		255,4		98,50	92,83	-	-
14:36	9,2	2,3	658,44		196,93		252,1		98,67	92,33	-	-
14:37	9,3	2,3	665,59		196,93		255,4		97,92	93,33	-	-
14:38	9,3	2,3	665,59		196,93		255,4		96,17	93,08	-	-
14:39	9,6	2,4	687,06		205,49		263,1		96,50	94,17	-	-
14:40	9,2	2,3	658,44		196,93		252,1		96,17	94,50	-	-
14:41	9,3	2,3	665,59		196,93		255,4		97,25	93,50	-	-
14:42	9	2,1	644,12		179,80		249,9		96,58	94,58	-	-
14:43	8,6	2,1	615,50		179,80		236,8		96,92	95,50	-	-
14:44	8,5	2,1	608,34		179,80		233,5		96,50	95,50	-	-
14:45	8,5	2,1	608,34		179,80		233,5		98,17	94,08	-	-
14:46	8,6	2,3	615,50		196,93		232,4		99,08	91,17	-	-
14:47	8,6	2,3	615,50		196,93		232,4		101,08	92,75	-	-

14:48	8,9	2,5	636,97	214,05	237,8	97,67	94,50	-	-
14:49	8,9	2,6	636,97	222,61	235,6	100,08	93,50	-	-
14:50	8,8	2,7	629,81	231,17	230,1	101,75	94,92	-	-
14:51	8,8	2,7	629,81	231,17	230,1	102,17	93,75	-	-
14:52	8,8	2,7	629,81	231,17	230,1	101,17	93,50	-	-
14:53	8,6	2,7	615,50	231,17	223,5	99,50	92,25	-	-
14:54	8,5	2,7	608,34	231,17	220,2	104,33	92,92	-	-
14:55	8,9	2,9	636,97	248,30	229,0	99,42	94,17	-	-
14:56	9,1	3	651,28	256,86	233,4	99,75	92,25	-	-
14:57	9,1	3	651,28	256,86	233,4	102,17	91,17	-	-
14:58	9,2	3,1	658,44	265,42	234,5	100,83	92,25	-	-
14:59	8,9	3	636,97	256,86	226,8	96,50	94,17	-	-
15:00	9	3	644,12	256,86	230,1	96,75	94,00	-	-
15:01	8	2,5	572,55	214,05	208,2	101,42	93,67	-	-
15:02	8,3	2,7	594,02	231,17	213,7	97,83	92,25	-	-
15:03	2,4	1,6	171,77	136,99	43,7	97,50	92,92	-	-
15:04	8,2	2,8	586,87	239,73	208,2	97,83	92,00	-	-
15:05	8,1	2,8	579,71	239,73	204,9	95,58	89,58	-	-
15:06	8,2	2,8	586,87	239,73	208,2	95,25	89,67	-	-
15:07	8,2	2,8	586,87	239,73	208,2	98,00	91,75	-	-
15:08	8,1	2,8	579,71	239,73	204,9	97,83	91,17	-	-
15:09	8,1	2,7	579,71	231,17	207,1	97,50	92,42	-	-
15:10	3,4	2,1	243,34	179,80	65,6	97,17	93,67	-	-
15:11	6,5	1,8	465,20	154,12	174,3	97,58	95,25	-	-
15:12	3,3	2	236,18	171,24	64,5	97,08	94,17	-	-
15:13	3,1	1,1	221,86	94,18	77,8	97,50	92,00	-	-
15:14	1,8	1	128,82	85,62	37,2	101,92	88,33	-	-
15:15	1,1	1	78,73	85,62	14,1	99,17	92,42	-	-

Fuente: Autores.

ANEXO L. Informe de resultados sobre los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua hechos por el laboratorio químico de consultas industriales UIS.

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALÍTICO	Versión: 12	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2022/11/21 Página 1 de 5	



Acreditación por el IDEAM según la Resolución No. 0400 de 2019, en los parámetros Alcalinidad total, Cloruros, DBO₅, DQO Detergentes, Fenoles, Fosforo reactivo total, Hierro Total, metales totales en la matriz agua (Cr, Cd, Cu, Co, Mn, Ni, Pb, Zn, Hg y Ag), Nitritos, Nitritos, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, toma de muestras compuesta, simple o puntual (variables medidas en campo: pH, temperatura, sólidos sedimentables y casual), en la matriz suelos pH y Metales Totales (Cd y Pb), TCLP en Residuos peligrosos Metales (Cd, Ag, Pb, Zn, Ba, Cr y Hg)

Autorización del Ministerio de la Protección Social, mediante la resolución 1615 de 2015, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano*

Certificación ICA para el control de calidad de fertilizantes de uso agrícola, mediante Resolución N. 72137 del 27 de julio de 2020; en los parámetros de: Azufre, Boro, Silicio Soluble, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Magnesio, Manganeso, Níquel, Plomo, Sodio y Zinc por Absorción Atómica, CIC, Capacidad de Retención por agua, Carbonatos por volumetría, Carbono Orgánico Oxidable total, Cenizas, conductividad, Contenido de sólidos, pH, P, K, N, As, Hg, Humedad

Informe de resultados No.	I-22-752	Fecha de emisión:	Diciembre 17 de 2022
Cliente:	Yoan Rueda		
Dirección del cliente:	Escuela Ingeniería Mecánica - UIS		
Solicitud de servicio No.	22-562	No. de muestras:	02
Fecha de recepción de las muestras:	Diciembre 06 de 2022		
Muestras recibidas por:	Natalia Gallo Corzo		
Fecha de análisis:	Diciembre 07 de 2022 – Diciembre 13 de 2022		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	22-562-01	Tipo de muestra:	Puntual
Identificación de la muestra:	No. 1		
Matriz de la muestra:	Agua Antes del Tratamiento		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	Rio de Oro – Girón – Asentamiento las Estanzuela		
Fecha del muestreo:	Noviembre 23 de 2022		

PARAMETRO	RESULTADO	MÉTODO*
pH (Unidades de pH) / T °C	10,00/24,8	Potenciométrico / SM 4500-H* B
Turbiedad (NTU)	178	Nefelométrico / SM 2130 B
Color Aparente (UPC)	480	Espectrofotométrico / SM 2120 B
Conductividad (µS/cm)	274,0	Conductivimétrico / SM 2510
Hierro Total (mg Fe/L)	0,86	Espectrofotométrico / SM 3500-Fe
Nitritos (mg NO ₂ /L)	0,19	Espectrofotométrico / SM 4500-B
Sulfatos (mg SO ₄ ²⁻ /L)	158,92	Espectrofotométrico / SM 4500 E

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 1469-2463-2465. Celular: 3182061814
 E-mail: labquimco@gmail.com, labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 11	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2022/11/21 Página 2 de 5	

Informe de resultados No. I-22-752 Solicitud de servicio No. 22-562-01

PARAMETRO	RESULTADO	MÉTODO*
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	99,84	Titrimétrico / SM 2320 B
Cloro Residual (mg Cl ₂ /L)	<0,02	Espectrofotométrico / SM 4500 D
Sólidos Totales (mg/L)	290,0	Gravimétrico / SM 2540 B
Nitratos (mg NO ₃ /L)	54,20	Espectrofotométrico/ SM 4500-B
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	33,38	Argentométrico / SM 4500-Cl ⁻ B
Fosfatos (mg PO ₄ ⁻³ /L)	0,38	Espectrofotométrico/ SM 4500-P
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	54,00	Titrimétrico-EDTA / SM 2340 C
Dureza Cálctica (mg CaCO ₃ /L)	40,00	Titrimétrico-EDTA / SM 3500-B

*Los métodos utilizados en la ejecución de los ensayos para los análisis realizados en el laboratorio, han sido tomados de las normas, métodos estándar o procedimientos internos, de acuerdo a la matriz y los parámetros analizados.

1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO*
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	1980	Filtración por Membrana/ SM 9222 J
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	460	

Observaciones: Si el resultado de cada parámetro se compara con la Resolución 2115 de 2007 destinada como control para agua potable de consumo humano y animal, esta muestra resulta inviable sanitariamente para su consumo, eso significa que como es agua cruda se debe realizar un tratamiento primario que consiste en captar el agua para llevar a cabo el proceso en estudio pero hay que tener presente que también se requieren ciertas condiciones fisicoquímicas para no perder las propiedades minerales que debe contener toda muestra de agua para su respectivo uso, así mismo se puede proceder a aplicar la desinfección del agua

LOS DATOS REPORTADOS EN ESTE INFORME DE ANÁLISIS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA RECIBIDA EN EL LABORATORIO, LA CUAL FUE SUMINISTRADA POR EL CLIENTE BAJO SUS CONDICIONES DE MUESTREO.

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Comutador: (7) 6344000 Ext. 1469-2463-2465. Celular 3182061814
 E-mail: labquimco@gmail.com, labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 11	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2022/11/21 Página 3 de 5	

Informe de resultados No. I-22-752 Solicitud de servicio No. 22-562-02

con el fin de eliminar la carga microbiológica sin temor a producir compuestos que por su acumulación resultan tóxicos y cancerígenos.

2. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

Codificación de la Muestra: 22-562-02	Tipo de muestra: Puntual
Identificación de la muestra: No. 2	
Matriz de la muestra: Agua Después del Tratamiento	
Muestreo realizado por: El Cliente	
Lugar y punto de muestreo: Río de Oro – Girón – Asentamiento las Estanzuela	
Fecha del muestreo: Noviembre 23 de 2022	

PARAMETRO	RESULTADO	MÉTODO*
pH (Unidades de pH) / T °C	7,62/24,8	Potenciométrico / SM 4500-H ⁺ B
Turbiedad (NTU)	3,2	Nefelométrico / SM 2130 B
Color Aparente (UPC)	10	Espectrofotométrico / SM 2120 B
Conductividad (µS/cm)	108,6	Conductivimétrico / SM 2510
Hierro Total (mg Fe/L)	0,10	Espectrofotométrico / SM 3500-Fe
Nitritos (mg NO ₂ /L)	0,09	Espectrofotométrico / SM 4500-B
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	1,04	Espectrofotométrico / SM 4500 E
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	58,24	Titrimétrico / SM 2320 B
Cloro Residual (mg Cl ₂ /L)	<0,02	Espectrofotométrico / SM 4500 D
Sólidos Totales (mg/L)	96,0	Gravimétrico / SM 2540 B
Nitratos (mg NO ₃ /L)	10,24	Espectrofotométrico/ SM 4500-B
Cloruros (mg Cl ⁻ /L)	19,47	Argentométrico / SM 4500-Cl ⁻ B
Fosfatos (mg PO ₄ ⁻³ /L)	0,12	Espectrofotométrico/ SM 4500-P
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	12,00	Titrimétrico-EDTA / SM 2340 C
Dureza Cálcica (mg CaCO ₃ /L)	6,00	Titrimétrico-EDTA / SM 3500-B

LOS DATOS REPORTADOS EN ESTE INFORME DE ANÁLISIS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA RECIBIDA EN EL LABORATORIO, LA CUAL FUE SUMINISTRADA POR EL CLIENTE BAJO SUS CONDICIONES DE MUESTREO.

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 1469-2463-2465. Celular 3182061814
 E-mail: labquimco@gmail.com, labquimico@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 11	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2022/11/21 Página 4 de 5	

Informe de resultados No. I-22-752 Solicitud de servicio No. 22-562-02

2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO*
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	420	Filtración por Membrana/ SM 9222 J
<i>E. coli</i> (UFC/100 ml)	300	





Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

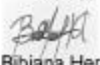
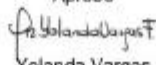
LOS DATOS REPORTADOS EN ESTE INFORME DE ANÁLISIS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA RECIBIDA EN EL LABORATORIO, LA CUAL FUE SUMINISTRADA POR EL CLIENTE BAJO SUS CONDICIONES DE MUESTREO.

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 1469-2463-2465. Celular 3182061814
 E-mail: labquimco@gmail.com, labquimico@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 11	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2022/11/21 Página 5 de 5	

Informe de resultados No. I-22-752 Solicitud de servicio No. 22-562-02

Estimado Cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

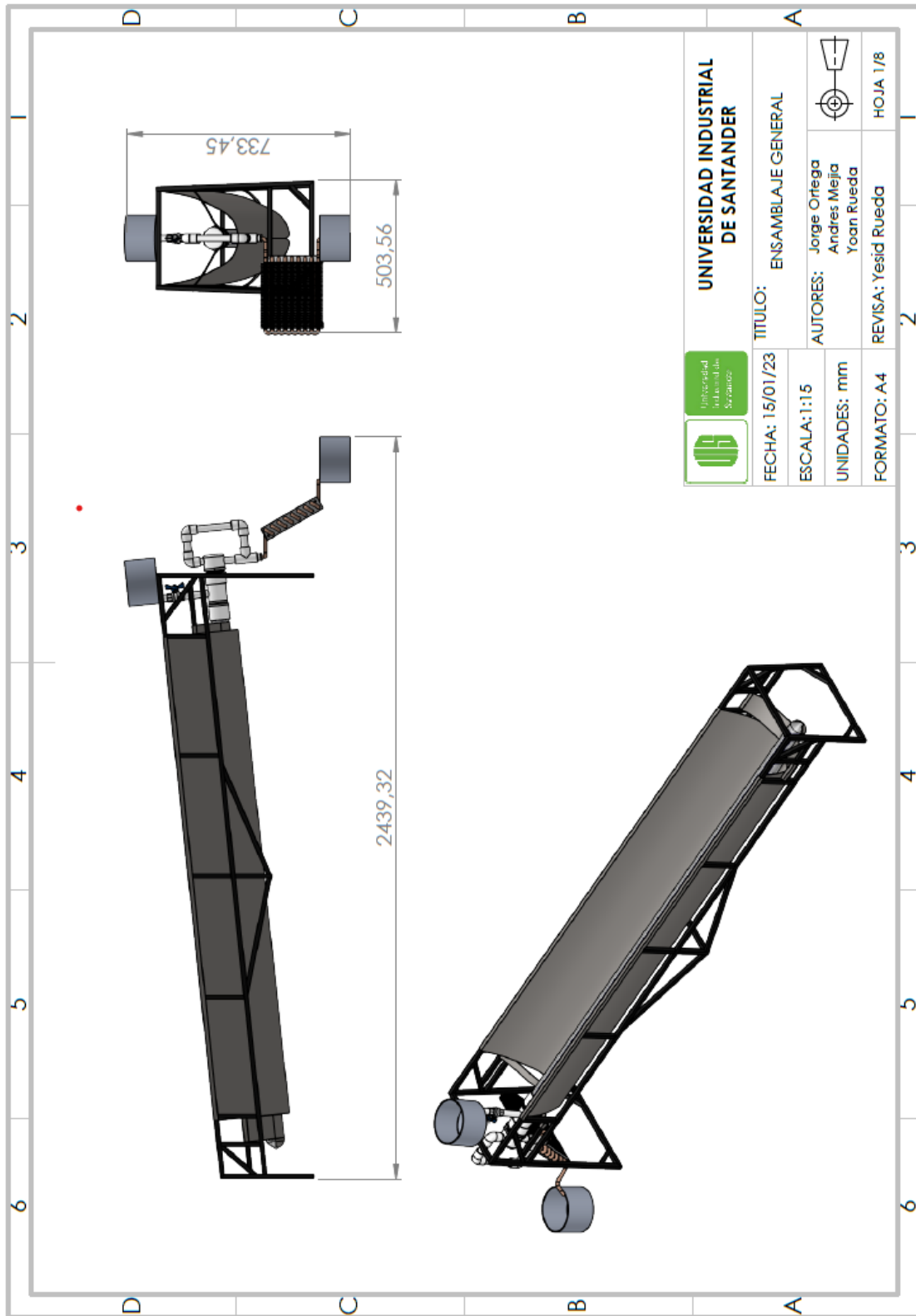
<p>Elaboró Natalia Gallo Corzo Natalia Gallo Ingeniera Industrial Profesional de Calidad</p>	<p>Revisó  Bibiana Herrera Química. Esp. Coordinadora de Calidad</p>	<p>Aprobó  Yolanda Vargas Química. M.Sc Directora del Laboratorio</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

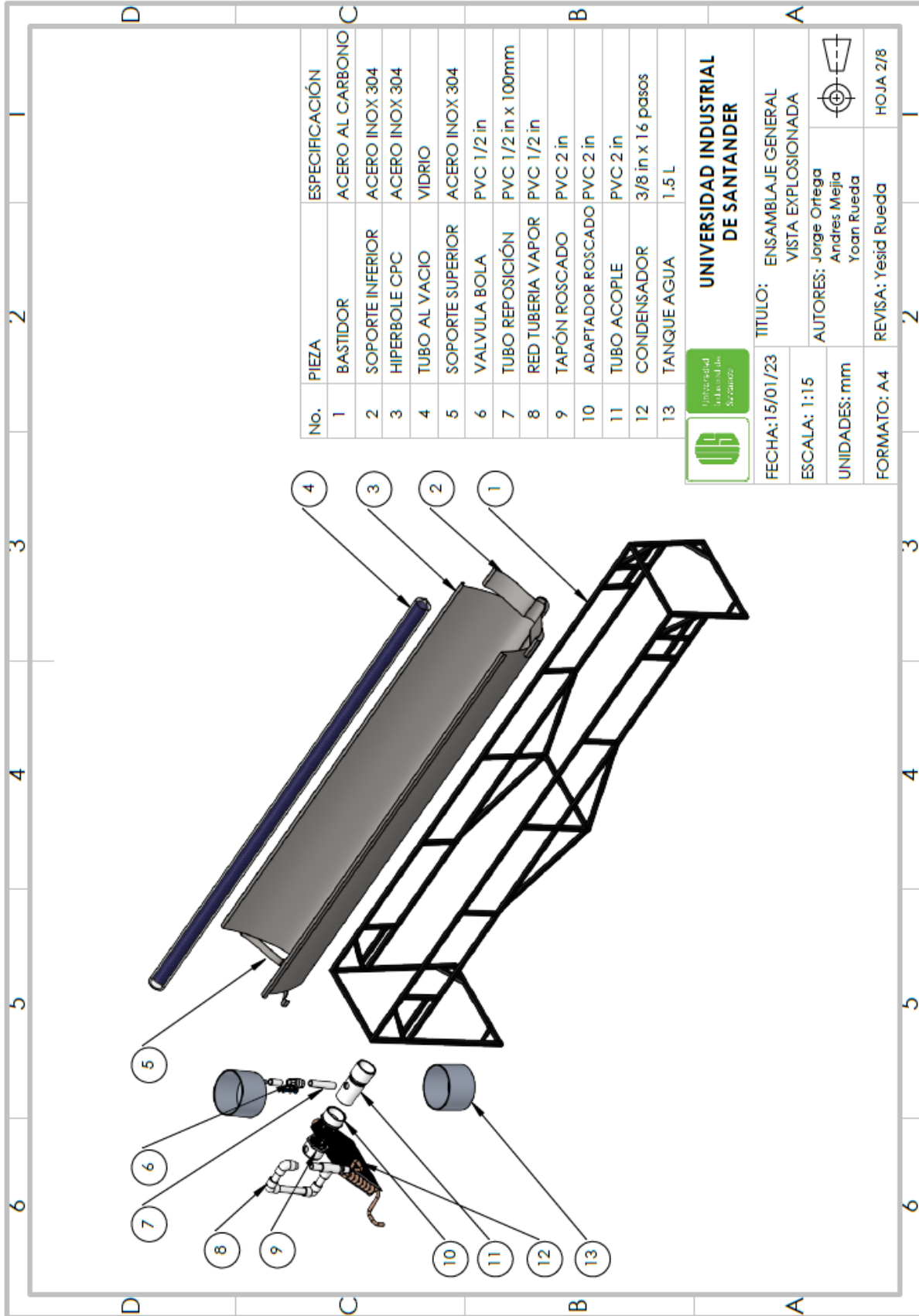
----- Fin del informe de resultados -----

LOS DATOS REPORTADOS EN ESTE INFORME DE ANÁLISIS SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE PARA LA MUESTRA RECIBIDA EN EL LABORATORIO, LA CUAL FUE SUMINISTRADA POR EL CLIENTE BAJO SUS CONDICIONES DE MUESTREO.

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 1469-2463-2465. Celular 3182061814
 E-mail: labquimco@gmail.com, labquimco@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

ANEXO M. Planos del sistema térmico.

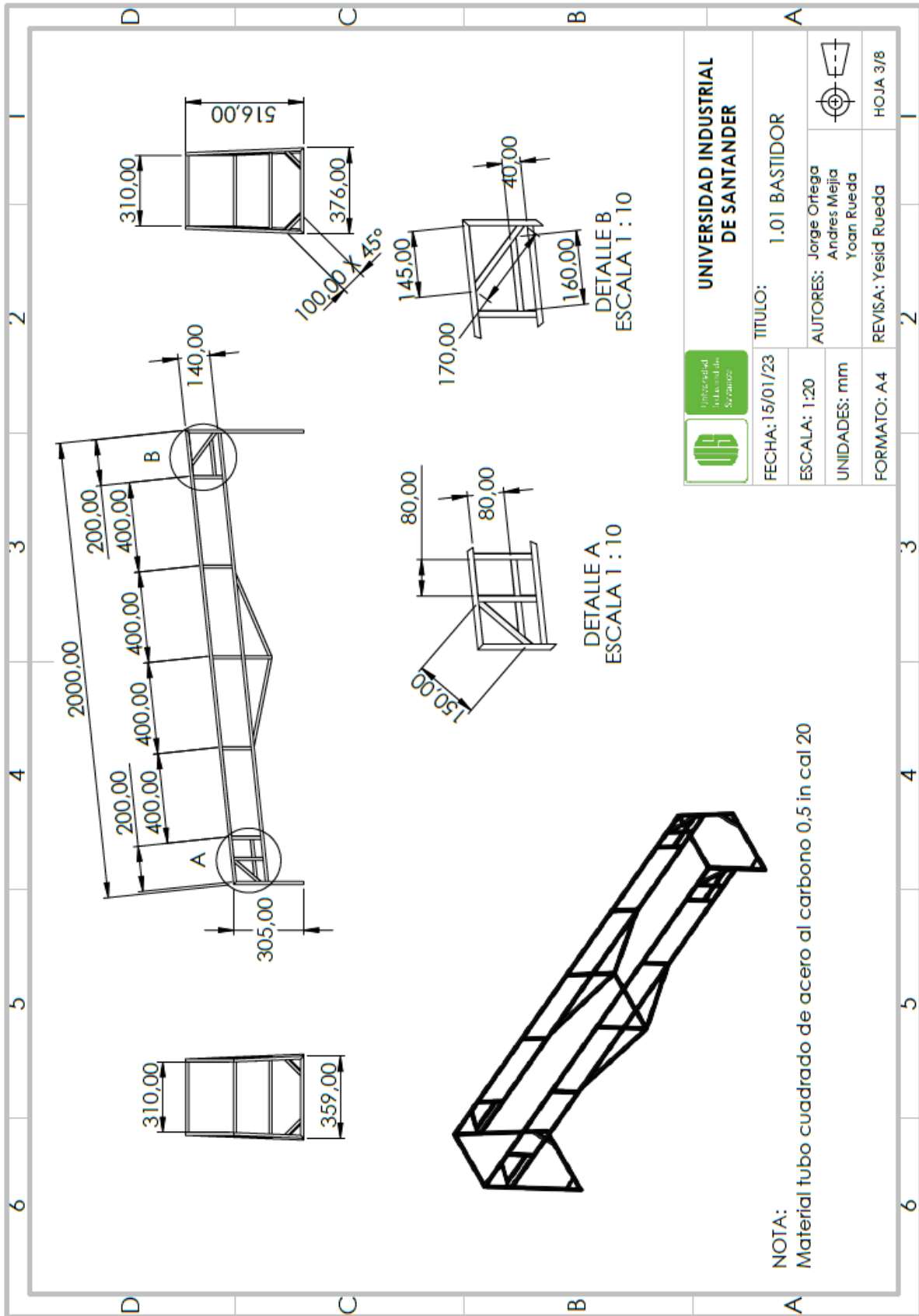


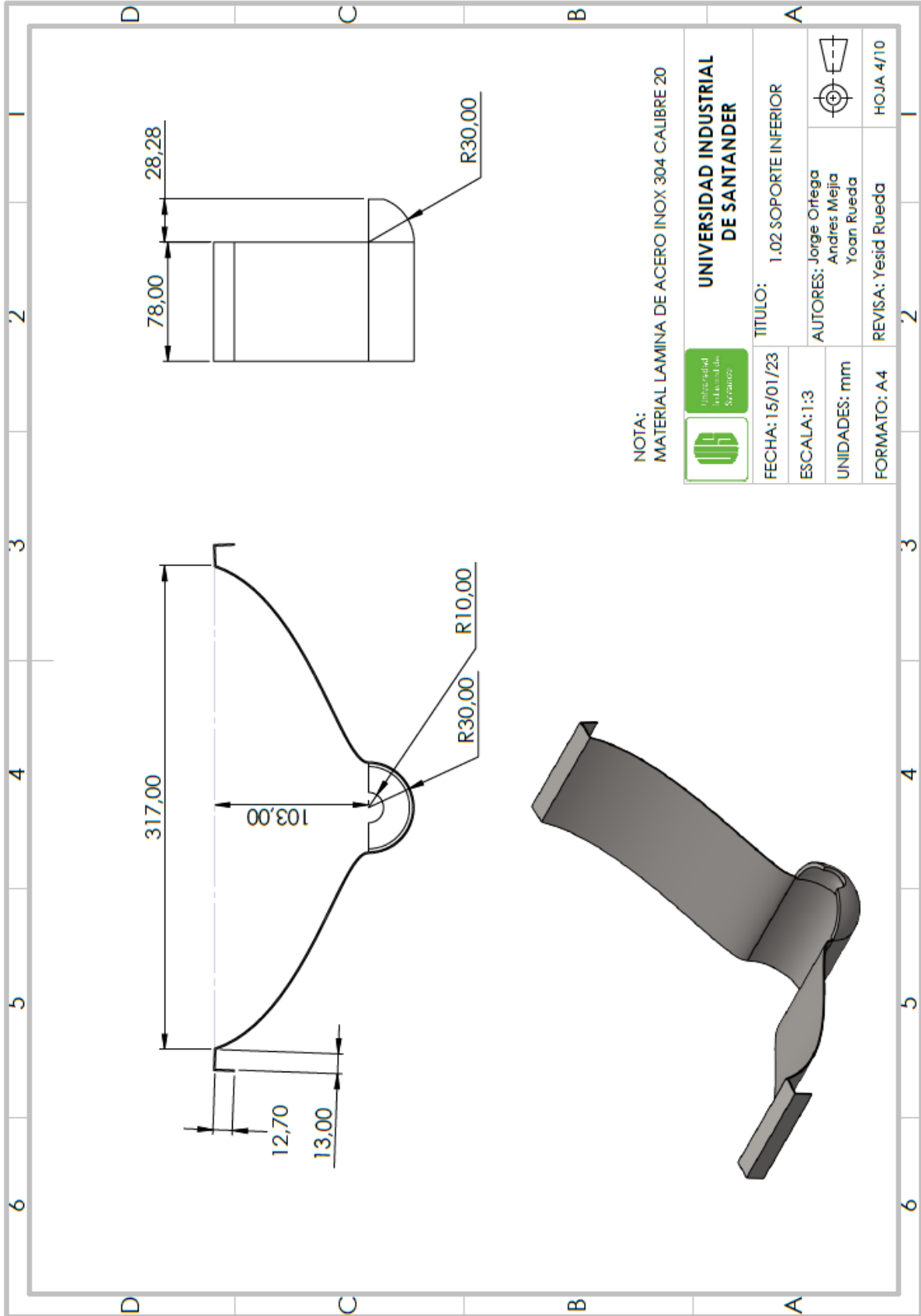


No.	PIEZA	ESPECIFICACIÓN
1	BASTIDOR	ACERO AL CARBONO
2	SOPORTE INFERIOR	ACERO INOX 304
3	HIPERBOLE CPC	ACERO INOX 304
4	TUBO AL VACIO	VIDRIO
5	SOPORTE SUPERIOR	ACERO INOX 304
6	VALVULA BOLA	PVC 1/2 in
7	TUBO REPOSICIÓN	PVC 1/2 in x 100mm
8	RED TUBERIA VAPOR	PVC 1/2 in
9	TAPÓN ROSCADO	PVC 2 in
10	ADAPTADOR ROSCADO	PVC 2 in
11	TUBO ACOUPLE	PVC 2 in
12	CONDENSADOR	3/8 in x 16 pasos
13	TANQUE AGUA	1.5 L

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER**

TÍTULO: ENSAMBLAJE GENERAL VISTA EXPLOSIONADA	
FECHA: 15/01/23	AUTORES: Jorge Ortega Andrés Mejía Yoan Rueda
ESCALA: 1:15	REVISAS: Yesid Rueda
UNIDADES: mm	HOJA 2/8
FORMATO: A4	





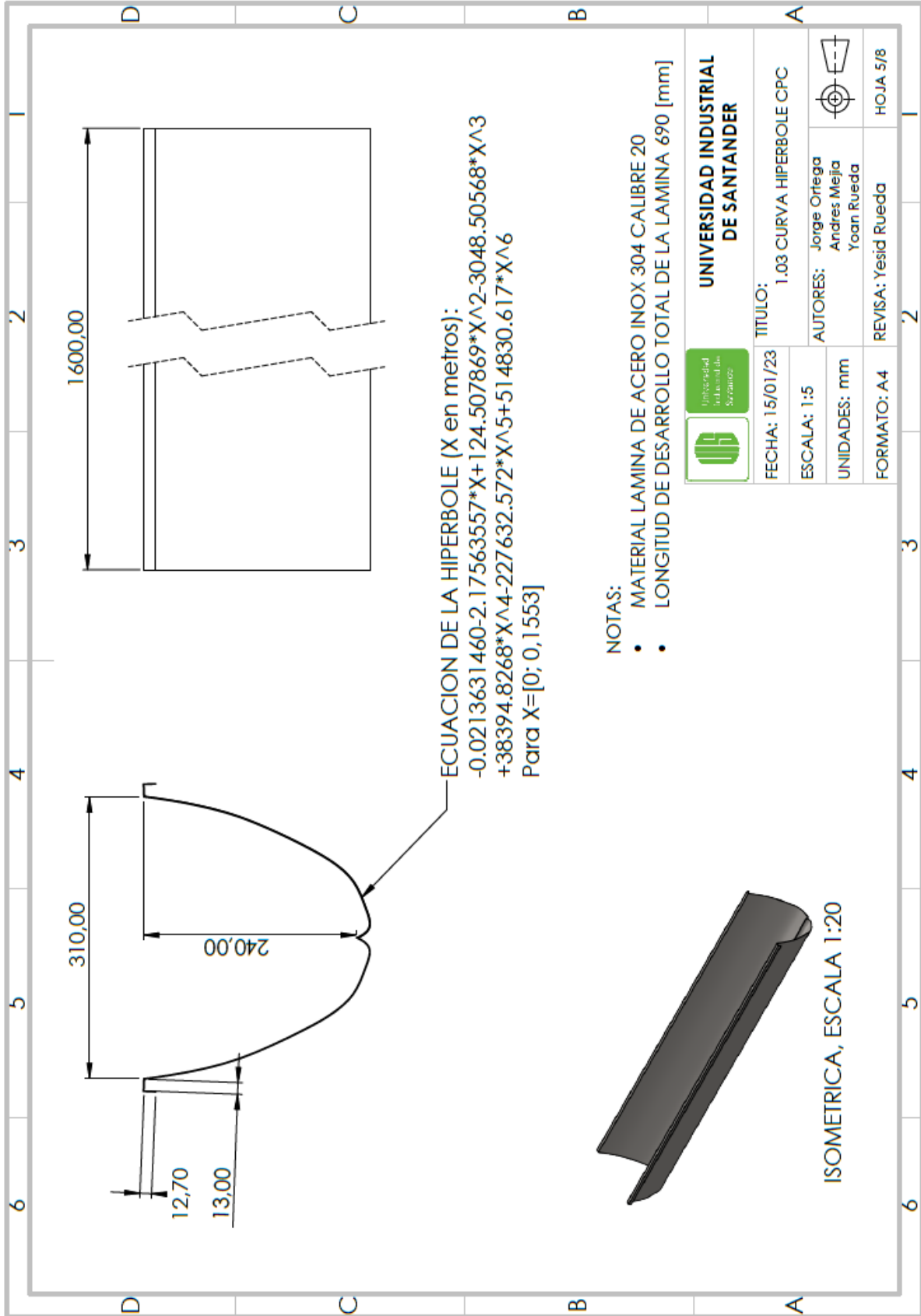
NOTA:
MATERIAL LAMINA DE ACERO INOX 304 CALIBRE 20



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 15/01/23	TITULO: 1.02 SOPORTE INFERIOR	AUTORES: Jorge Ortega Andres Mejia Yoan Rueda	HOJA 4/10
ESCALA: 1:3			
UNIDADES: mm			
FORMATO: A4			





ECUACION DE LA HIPERBOLE (X en metros):
 $-0.0213631460-2.17563557*X+124.507869*X^2-3048.50568*X^3$
 $+38394.8268*X^4-227632.572*X^5+514830.617*X^6$
 Para X=[0; 0,1553]

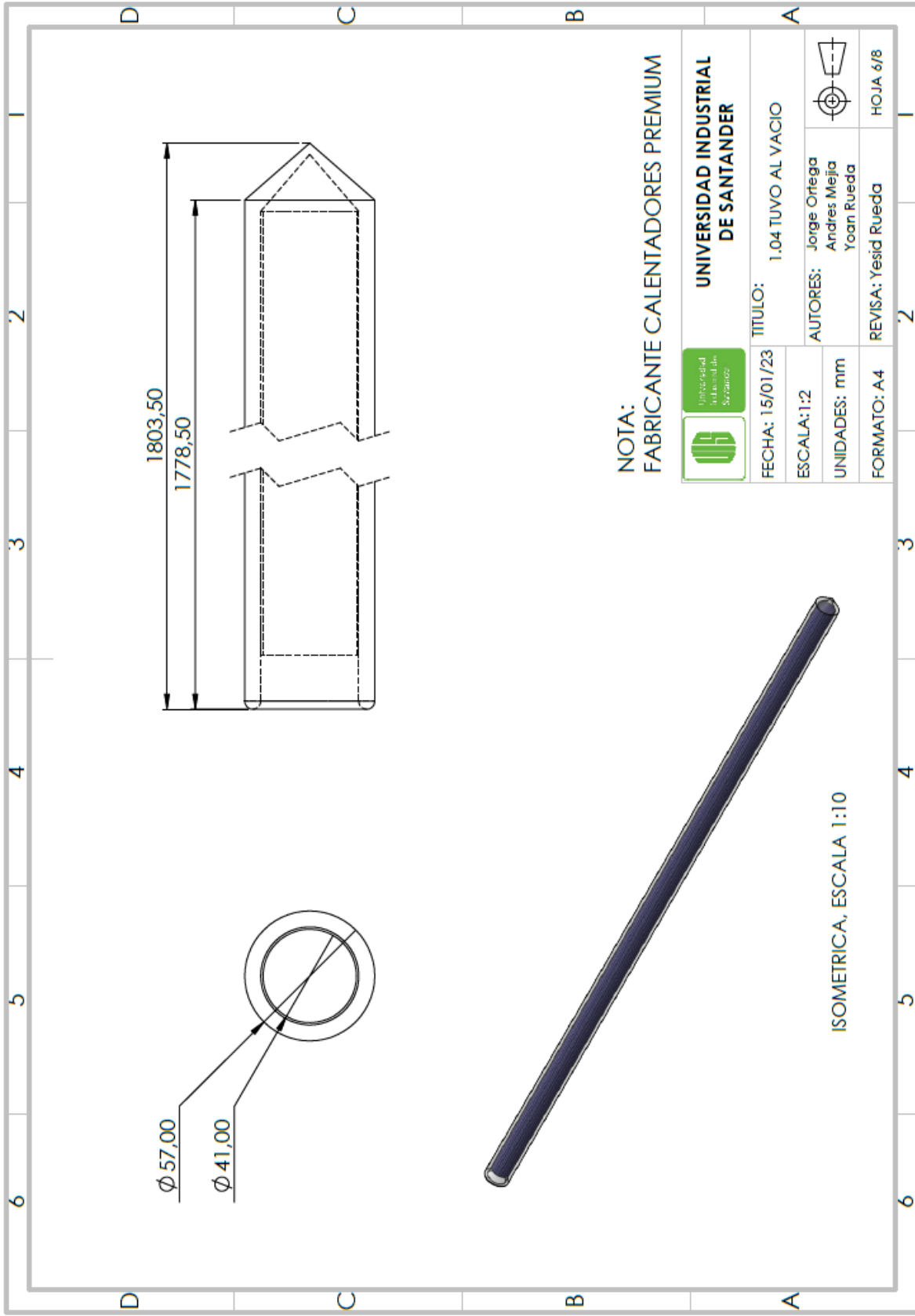
NOTAS:

- MATERIAL LAMINA DE ACERO INOX 304 CALIBRE 20
- LONGITUD DE DESARROLLO TOTAL DE LA LAMINA 690 [mm]

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/01/23	TITULO:	1.03 CURVA HIPERBOLE CPC	
ESCALA: 1:5	AUTORES:	Jorge Ortega Andres Mejia Yoan Rueda	
UNIDADES: mm	REVISAS:	Yesid Rueda	
FORMATO: A4	HOJA:	5/8	



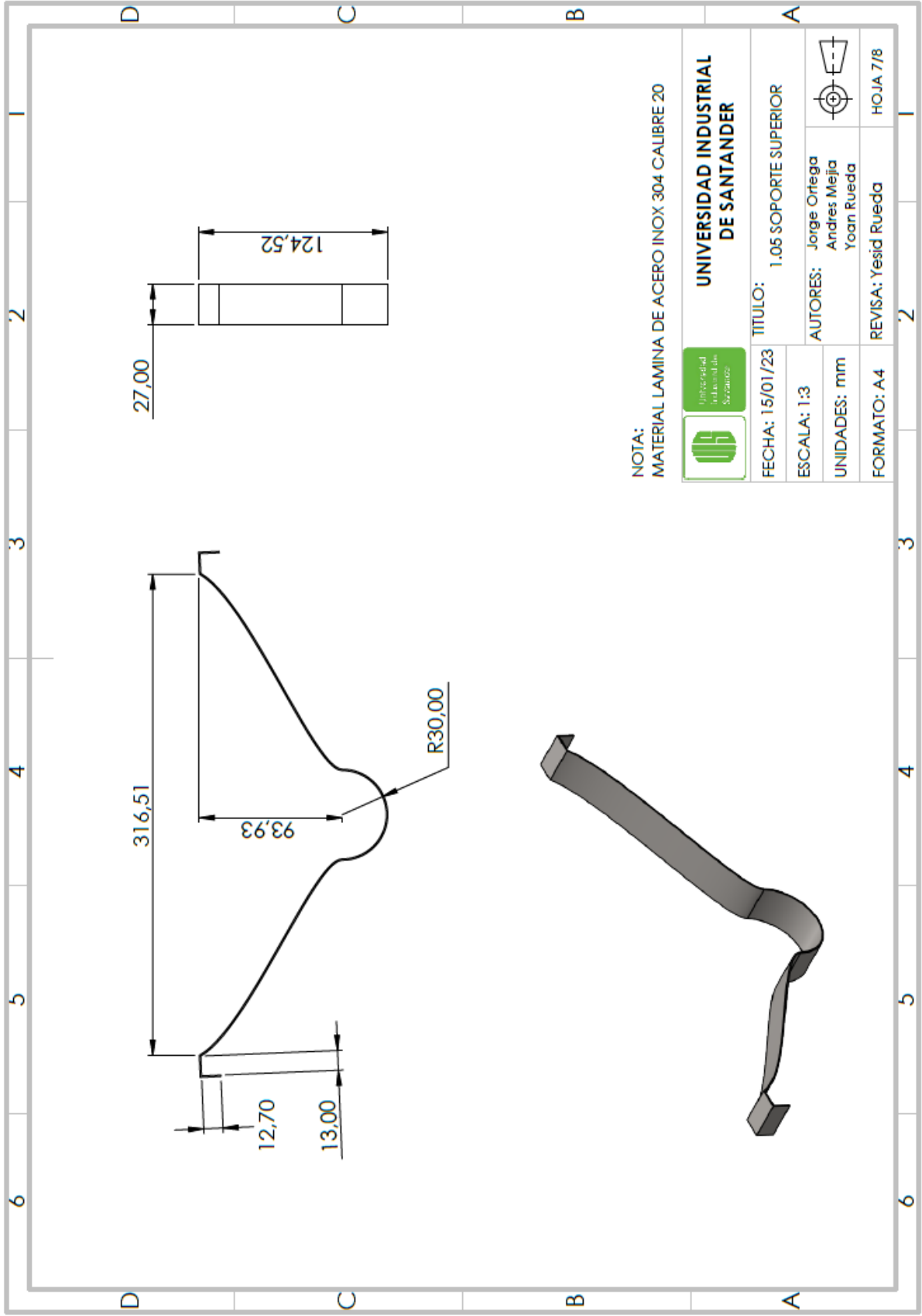
ISOMETRICA, ESCALA 1:20



NOTA:
FABRICANTE CALENTADORES PREMIUM

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FECHA: 15/01/23	TITULO: 1.04 TUVO AL VACIO
ESCALA: 1:2	AUTORES: Jorge Ortega Andrés Mejía Yoan Rueda
UNIDADES: mm	REVISAS: Yesid Rueda
FORMATO: A4	HOJA 6/8

ISOMETRICA, ESCALA 1:10



NOTA:
MATERIAL LAMINA DE ACERO INOX 304 CALIBRE 20

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
FECHA: 15/01/23	TITULO: 1.05 SOPORTE SUPERIOR	
ESCALA: 1:3	AUTORES: Jorge Ortega Andres Mejia Yoan Rueda	
UNIDADES: mm	REVISAS: Yesid Rueda	HOJA 7/8
FORMATO: A4		

