



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

PROYECTO FIN DE CARRERA

PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Autora: Daniela Vicario Tomaselli

Tutor: Dr. D. Antonio Soria Verdugo

Leganés, junio de 2013

Título: Pasteurización de leche en Managua con energía solar térmica

Autora: Daniela Vicario Tomaselli

Director: Dr. D. Antonio Soria Verdugo

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 27 de junio de 2013 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

A mi familia, sobre todo, a mi padre.

A Luis.

A Beatriz, gracias por esta experiencia.

A toda la gente que he encontrado en el camino, pues todos me han enseñado cosas y de todos he aprendido algo.

Una vez, leí esto, no sé de quién es, pero me gustó:

"Teoría es cuando lo sabes todo, pero nada funciona.

Práctica es cuando todo funciona, pero nadie sabe por qué.

En nuestro laboratorio, la teoría y la práctica se combinan: nada funciona y nadie sabe por qué".

Resumen

El proyecto pretende resolver un grave problema nicaragüense: el consumo de leche cruda en amplias zonas rurales produce enfermedades, a veces graves, a sus consumidores. La solución propuesta es diseñar la instalación de un sistema de pasteurización capaz de procesar 240 litros de leche diarios que eliminaría los riesgos sanitarios actuales, el cual consta de un circuito primario donde los colectores solares calientan el agua y de un circuito secundario donde la leche se pasteuriza pasando por un serpentín que se encuentra dentro del tanque acumulador de agua.

Inicialmente, se narran las dificultades y posteriores modificaciones que sufrió el diseño del prototipo inicial del sistema de pasteurización. Diseño por AutoCAD de los varios elementos que conforman la pasteurizadora y de su conjunto, analizando para cada elemento las posibilidades en cuanto a dimensiones, tipo de material y otras, explicando los motivos de elección de un tipo concreto.

Luego, se comenta la experiencia en Nicaragua describiendo el proceso de fabricación de los colectores y del montaje del circuito primario. Terminado de construir el circuito primario, se muestran los datos experimentales que se tomaron en diferentes días y condiciones climáticas y los cálculos para obtener el rendimiento del colector.

A continuación, se realizan los cálculos teóricos de la pasteurización utilizando el programa informático, calculando la temperatura de salida de los colectores al tener los datos de irradiación solar horaria, la temperatura ambiente y la velocidad del viento. Luego, la temperatura de la leche después de recorrer el intercambiador para decidir si ha de pasar o no por el serpentín que se encuentra dentro del tanque. Se verifica si la leche ha quedado pasteurizada y de no ser así se la hace pasar por una fuente auxiliar de biomasa. Seguidamente, se obtiene la temperatura del tanque. Al terminar los cálculos, se elaboran las gráficas para que sea un estudio completo y se puedan comprender los datos obtenidos y verificar su viabilidad.

Se hace un análisis de impacto ambiental con su correspondiente cálculo de emisiones de CO₂ y del ahorro en combustible, así como un análisis económico hallando su coste inicial y los beneficios anuales a lo largo de su vida útil.

Finalmente, se recogen una serie de conclusiones, mejoras y líneas futuras de investigación a modo de análisis final de los objetivos planteados al inicio de los documentos.

Abstract

This Project aims to solve a sensible problem in Nicaragua; raw-milk consumption in broad rural zones causes diseases, some of them really hazardous, to their consumers. The proposed solution is to design the installation of a pasteurization system capable of processing 240 litres of milk per day that would eliminate the current health risks. This system is composed of a primary circuit where the solar collectors heat the water and a secondary circuit where the milk is pasteurized by circulating through a heating coil located inside the water accumulator tank.

Firstly, the difficulties and the modifications done to the initial pasteurization system prototype design are described. Then the AutoCAD design of the different elements that define the pasteurizer, analyzing for each element the dimension possibilities, the type of material used and others, explaining the reasons for choosing each particular type.

Afterwards, the experience in Nicaragua is explained describing the collector manufacturing process and the primary circuit assembly. When the primary circuit is built, the experimental data that were taken in the different days and climate conditions are shown as well as the calculation of the collector performance.

Then, a computer program is used to do the pasteurization theoretical calculations. Using the daily solar irradiation, the ambient temperature and the wind speed, the collectors' output temperature is calculated.

Next, the milks temperature is calculated after flowing through the heat exchanger to decide whether it should pass through the coil located inside the tank or not. And then to verify if the milk has been pasteurized or if the biomass auxiliary supply source is needed to reach the desired pasteurization temperature. After, the tanks temperature is calculated. When these calculations are finished, graphs are elaborated to complete the study, so that the obtained data can be understood and the viability verified.

Right after the environment impact is analyzed with its corresponding CO₂ emissions calculation and the fuel savings as well as the economic analysis, including the initial cost and the annual benefits all along its lifespan.

Finally, a series of conclusions are reached, improvements and future investigation lines are proposed serving as a final analysis of the initial considered goals.

Índice general

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
1.1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
1.1.2. PARTICIPANTES.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.3. FASES DE DESARROLLO.....	5
1.4. MEDIOS EMPLEADOS.....	7
1.5. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	8
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	11
2.1. INTRODUCCIÓN	12
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN GLOBAL	12
2.3. DESCRIPCIÓN POR COMPONENTES	18
2.3.1. ESTRUCTURA	18
2.3.2. COLECTORES.....	20
2.3.3. REFLECTORES.....	41
2.3.4. TANQUE ACUMULADOR.....	41
2.3.5. SISTEMA DE TUBERÍAS	44
2.3.6. CIRCUITO LECHE	45
2.3.7. FUENTE AUXILIAR DE ENERGÍA (BIOMASA)	50
2.3.8. VÁLVULAS, INSTRUMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL Y DE MEDIDA.....	50
2.3.9. CIRCUITO DE LIMPIEZA.....	55
2.3.10. BOTELLA DE MARIOTTE.....	55
2.3.11. SISTEMA COMPLETO	56
CAPÍTULO 3: ESTUDIO EXPERIMENTAL.....	59
3.1. INTRODUCCIÓN	60
3.2. CARACTERÍSTICAS SOLARES Y RADIACIÓN SOLAR	60
3.2.1 ESTRUCTURA SOLAR.....	60
3.2.2 MOVIMIENTOS DEL SOL	61
3.2.3 POSICIÓN SOLAR	62
3.2.4 MANAGUA.....	73
3.2.5 RADIACIÓN SOLAR SOBRE UN PLANO INCLINADO.....	75

3.2.6	CORRECCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ORIENTACIÓN	87
3.2.7	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN ÓPTIMA DE LOS COLECTORES	89
3.3.	TOMA DE DATOS PARA LA OBTENCIÓN DEL GASTO MÁSIICO	91
3.4.	TOMA DE DATOS (T_{eco} y T_{sco}) CON UN COLECTOR Y RESULTADOS.....	93
3.4.1	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 19 DE FEBRERO	100
3.4.2	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 22 DE FEBRERO	104
3.4.3	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 23 DE FEBRERO	109
3.4.4	MODIFICACIONES DE LAS ESTRUCTURAS (DE COLECTORES Y REFLECTORES) ..	113
3.4.5	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 19 DE MARZO.....	116
3.4.6	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 22 DE MARZO.....	121
3.4.7	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 23 DE MARZO.....	125
3.5.	TOMA DE DATOS (T_{eco} y T_{sco}) CON TRES COLECTORES; CONSTRUCCIÓN DE LOS REFLECTORES; RESULTADOS	125
3.5.1	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 7 DE ABRIL.....	128
3.5.2	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 15 DE ABRIL.....	129
3.5.3	MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 16 DE ABRIL.....	134
CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN	136	
4.1.	INTRODUCCIÓN	137
4.2.	SIMULACIÓN	137
4.2.1.	CÁLCULO TEMPERATURA A LA SALIDA DE LOS COLECTORES (T_{sco}).....	141
4.2.2.	CÁLCULO TEMPERATURA ENTRADA AGUA AL TANQUE (T_{etanq}).....	148
4.2.3.	CÁLCULO TEMPERATURAS CIRCUITO SECUNDARIO	149
4.2.4.	CÁLCULO TEMPERATURA INTERIOR DEL TANQUE (T_{tanque})	150
4.2.5.	CÁLCULO TEMPERATURA A LA SALIDA DEL TANQUE (T_{stanq}).....	152
4.2.6.	CÁLCULO TEMPERATURA A LA ENTRADA DEL COLECTOR ($T_{ecocomprobación}$)	152
4.2.7.	CÁLCULO DEL APORTE SOLAR	154
4.2.8.	GRÁFICAS.....	156
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS AMBIENTAL Y ESTUDIO ECONÓMICO	166	
5.1.	INTRODUCCIÓN	167
5.2.	ANÁLISIS AMBIENTAL.....	167
5.2.1.	EFFECTO INVERNADERO	167
5.2.2.	ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA PLANTA DE PASTEURIZACIÓN SOLAR.....	169
5.3.	ESTUDIO ECONÓMICO.....	172
5.3.1.	COSTE DE LA INSTALACIÓN COMPLETA	173

5.3.2.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES TÉCNICAS.....	174
5.3.3.	CÁLCULO DEL VAN.....	178
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES		181
6.1.	INTRODUCCIÓN	182
6.2.	CONCLUSIONES/RESULTADOS OBTENIDOS.....	182
6.3.	CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO	183
6.4.	DIFICULTADES, INCIDENCIAS E IMPREVISTOS	185
6.5.	MEJORAS PROPUESTAS	186
6.6.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	187
PRESUPUESTO DEL PROYECTO		189
BIBLIOGRAFÍA.....		192
1.	LIBROS	193
2.	ARTÍCULOS – REVISTAS Y CONFERENCIAS	193
3.	PÁGINAS O DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS EN LA RED.....	193
4.	PROYECTOS FIN DE CARRERA.....	195
5.	APUNTES	195
ANEXO A: PLANOS.....		196
ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL COLECTOR		212

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN



1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se encuadra en los convenios de colaboración entre la Universidad Nacional Agraria de Managua (Nicaragua) y la Universitat de Lleida (España) primero, y con la de Carlos III de Madrid después.

Como justificación del mismo, tres rasgos pueden destacarse en él:

- ◆ Internacionalización o, mejor, globalización. Dentro de su modestia supone una pieza de esta cultura contemporánea reciente en la que uno se relaciona con el mundo en su conjunto. Sea para comunicarse – internet-, sea para vivir una vida cabal y completa mediante el conocimiento de las oportunidades y sucesos que ocurren en este nuevo entorno: cultura, riesgos, viajes, comercio, oportunidades profesionales,...
- ◆ Uso de tecnología puntera como es la de las energías renovables, energía solar térmica.
- ◆ Atender una necesidad real, primaria o esencial, que puede ser crítica para un sector importante de la población de un país, Nicaragua, que aspira a mejorar las condiciones de vida de sus ciudadanos y con el que nos unen lazos culturales y tradicionales, además de la lengua común.

Dicho en otros términos, es un proyecto que combina tecnología moderna y sencillez del mecanismo en su construcción y mantenimiento que permiten que sea factible su instalación en pequeños núcleos, lo que se traducirá en que muchas personas que antes consumían leche cruda, con riesgos ciertos para su salud, puedan sustituirla por leche pasteurizada gracias a este proyecto. Lo cual, además tendrá otros efectos culturales, sociales y económicos en el entorno de su influencia, puesto que dará lugar a nuevos oficios y técnicas y mayor concienciación sobre prácticas más beneficiosas para la salud.

Nicaragua es uno de los países de Latinoamérica con un mayor número de cabezas de ganado bovino, sin embargo se encuentra al final de la lista en cuanto a consumo de leche. La causa que explica este problema tiene una doble vertiente, por un lado, no se cuentan con los métodos de tratamiento de la leche para poder garantizar unas características higiénicas y de conservación adecuadas. Por otro lado la producción se encuentra distribuida en numerosos pequeños centros de producción destinados a consumos locales. Se propone el tratamiento de pasteurización con tratamientos térmicos facilitados por energía solar.

La incorrecta manipulación de la leche provoca afecciones de tipo gástrico a la población que consume la leche entera, sin tratamiento bactericida alguno. Son comunes infecciones bacterianas causadas por *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus aureus* y *Yersinia enterocolitica*. Además, en general, algunas de las enfermedades evitadas con la pasteurización de la leche son la tuberculosis (*Mycobacterium tuberculosis*), la difteria, la salmonelosis, la polio, la fiebre escarlata y las fiebres tifoideas. Hoy en día, muchas de estas enfermedades no tienen una gran relevancia



debido al empleo generalizado de los procesos de pasteurización en las primeras etapas de manipulación de la leche.

La aplicación de tratamientos de alta temperatura como el UHT, implican un coste muy elevado, lo que impide de forma directa la construcción de diversas plantas en diversos lugares. La centralización del proceso de tratamiento de la leche requiere una serie de condiciones de transporte (refrigeración fundamentalmente), que llevan asociado un coste extra al tratamiento centralizado UHT.

La solución que se propone es el uso de la pasteurización HTST en sistemas localizados en los centros de producción, que fundamentalmente destinan su producción al consumo directo. Brevemente, Tabla 1.1, se mencionan los principales tratamientos térmicos de pasteurización que se realizan en la leche [1].

Pasteurización HTST (high temperature, short time)	72-78°C durante al menos 15 segundos
Pasteurización LTH (low temperature holding)	62-65°C durante 30 minutos

Tabla 1.1: Requerimientos para la pasteurización de la leche.

El diseño de la pasteurizadora se ha realizado considerando los recursos económicos y tecnológicos de la zona, así como los materiales y conocimientos disponibles. Sus habitantes deben ser capaces de construirla para poder hacer réplicas, de hacerla funcionar fácilmente y de llevar a cabo su mantenimiento.

En cuanto a la energía solar térmica de baja temperatura consiste en la transformación de la radiación solar en energía térmica empleando como fluido caloportador, en la mayoría de los casos, agua.

Se podrían destacar las siguientes ventajas:

- ◆ Sostenibilidad en el tiempo: la fuente de energía es el Sol y por tanto inagotable.
- ◆ Disponibilidad espacial elevada de la fuente de energía. En localizaciones remotas.
- ◆ Prácticamente nulo impacto ambiental. No contribuye al efecto invernadero, aunque habitualmente es necesario utilizar una bomba impulsada eléctricamente y/o el aporte de una fuente auxiliar, y dependiendo del tipo, en proporciones pequeñas puede contribuir, como son: una resistencia eléctrica o una caldera diesel. El único impacto ambiental puede ser el visual.
- ◆ Ahorro de combustible, lo cual supone un ahorro económico y ecológico, pues se evitan las emisiones de dióxido de carbono derivada de la combustión de combustibles fósiles.
- ◆ Ahorro en divisas, pues no precisa de importaciones de combustibles fósiles.
- ◆ Disminución de la dependencia energética del país con el exterior.



- ◆ Generación de empleo tanto en la construcción del sistema, como en la instalación y el mantenimiento.
- ◆ Transferencia de conocimiento, es una tecnología por desarrollar en Nicaragua.

Entre los inconvenientes:

- ◆ Elevado coste de inversión inicial.
- ◆ Dificultad de almacenamiento.
- ◆ Necesidad de una gran área de superficie para la instalación.
- ◆ Disponibilidad temporal de la fuente de energía variable, depende de las variaciones naturales como son día-noche, nublado-soleado, invierno-verano.

Aunque este último inconveniente, en buena parte, está directamente relacionada con la climatología del país que para el caso de Nicaragua es muy favorable por tener una temperatura y una radiación media anual elevada y constante.

1.1.2. PARTICIPANTES

El equipo de docentes investigadores: Dr. D. Carlos Zelaya, Dra. D^a. Martha Orozco (de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria) y Dr. D. Joan Ignasi Rossel (Escuela Politécnica Superior de la Universitat de Lleida) han diseñado y desarrollado el prototipo. Tutor Dr. D. Antonio Soria Verdugo (Universidad Carlos III de Madrid).

En la construcción de la instalación y los colectores solares planos, la compra de materiales, puesta en marcha y toma de datos han colaborado, entre otros, D. Jaime Enrique Muñoz (director ONG Asofenix), el profesor D. Yader Barrera (Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria), Beatriz Maroto y Daniela Vicario (alumnas de la Universidad Carlos III de Madrid).

1.2. OBJETIVOS

Se han planteado los siguientes:

- ◆ Construcción efectiva de una pasteurizadora en el ámbito de la Universidad nicaragüense, según el prototipo analizado en el proyecto.
- ◆ Análisis de las circunstancias que inciden en el diseño de la pasteurizadora:
 - Elementos que la conforman.
 - Materiales a emplear en razón de diversos factores climáticos resistencia a la corrosión.
 - Modo de ubicarla.



- Cumplimiento normas sanitarias.
- Necesidad de complementar la energía solar con otra instalación térmica de biomasa.
- Facilidad de mantenimiento.
- Autonomía total del conjunto de la pasteurizadora, incorporando su propio sistema de limpieza de los circuitos para garantizar su esterilización.
- ◆ Demostración de su utilidad. Para ello, se han comentado los peligros del consumo de una leche cruda sin hervir- que es la costumbre en esas zonas-, y más aún de las características de la leche que se consume allí con poca observancia de los niveles sanitarios adecuados. La pasteurizadora favorecerá unas mejores prácticas ganaderas en la manipulación de la leche y evitará el consumo de leche cruda.
- ◆ Toma de datos en distintas condiciones atmosféricas y en varios momentos de la jornada diaria que la leche pasteurizada que se obtenga sea sólo beneficiosa para la salud sin riesgos de toxicidad.
- ◆ Elaboración del programa informático de cálculo de las temperaturas críticas para garantizar la pasteurización en la pasteurizadora diseñada.
- ◆ Diseño de la pasteurizadora y sus componentes esenciales:
 - Circuito primario para calentar agua a 80°C, formado por tres colectores térmicos, un sistema de concentración solar mediante espejos planos y un sistema de almacenamiento de agua caliente.
 - Circuito secundario, donde se pasteuriza la leche, está formado por los depósitos de leche (sin pasteurizar y pasteurizada), el intercambiador de tubos concéntricos en contracorriente y el serpentín.
- ◆ Evaluación del impacto económico y medio ambiental de la pasteurizadora.

1.3. FASES DE DESARROLLO

- 1) Previa
- 2) Práctica
- 3) Propia del proyecto

Previa

La fase previa se refiere a la tramitación burocrática de la beca tanto en Madrid como en Nicaragua que, aunque a veces, no se le da importancia exige dedicación, tiempo y paciencia, porque es difícil conocer, dominar y acertar con todos los entresijos que ello comporta; pero



hay que admitir que es una experiencia necesaria y útil porque en las sociedades modernas actuales esta es una cuestión con la que hay que lidiar con relativa frecuencia.

Otras circunstancias dentro de esta fase previa es la de la adaptación a las condiciones nicaragüenses naturales, entre ellas unos gigantescos mosquitos “zancudos” que se empeñan en acompañar y acosar a las personas que se mueven por allí, con una saña particular para los nuevos en el lugar, la escasez de electricidad, las dificultades o peligro de circular libremente, el transporte complicado de personas o material necesario para la instalación de la pasteurizadora, dificultad para contar con una biblioteca técnica, todo esto es lógico que fuera así pero conviene resaltarlo para comprender las dificultades que pueden aparecer en casos similares, y aunque uno intente ser precavido y recopilar información con antelación, la realidad siempre tendrá reservada alguna sorpresa. También fue necesario acomodarse a las circunstancias culturales y humanas aunque la sintonía con las personas que intervinieron fue muy buena y todas demostraron interés y cariño hacia el proyecto.

Práctica

La fase práctica comprendía la incorporación al equipo que ya se estaba ocupando de construir la pasteurizadora, la responsable de ello, era mi compañera Beatriz Maroto, con la que coincidí durante mi primer periodo de 4 meses, luego ella volvió a Madrid, quedándome al frente de la construcción durante un mes. Había sólo otra persona dedicada parcialmente al proyecto, muy valiosa, por lo que todas interveníamos en las tareas que había que ejecutar para hacer realidad la pasteurizadora. En el momento de mi llegada, la pasteurizadora consistía en seis pilares que debían soportar toda la estructura del circuito primario. O sea, que prácticamente se partía de cero lo que por una parte ofrecía la oportunidad de que la experiencia fuera completa aunque por otra, producía cierta desazón.

La documentación que debía haber precedido a la construcción y que explicara algo sobre las características de la misma resultó ilocalizable.

No obstante, se avanzó bastante durante la estancia llegando a tener montado el circuito primario.

Todo ello sirvió para mejorar el conocimiento de los problemas que pueden surgir durante la construcción de la pasteurizadora como, por ejemplo, hubo que repetir el montaje para conseguir una sujeción más sólida para evitar que el viento destrozara lo instalado, y sobre todo forjar una sólida compenetración entre las personas que participábamos en esta tarea.

De manera esquemática en esta fase se hizo:

- ◆ Selección del lugar de ubicación de la pasteurizadora.
- ◆ Acopio de los materiales necesarios para la construcción de los distintos elementos.
- ◆ Pintura de algunos elementos y construcción de paneles.
- ◆ Reflectores.



Una vez montado el circuito primario se procedió a la toma de datos:

- ◆ Temperaturas a la entrada y salida de los colectores.
- ◆ Temperaturas en tanque.

Propia del proyecto

La fase propia del proyecto comprende:

- ◆ Explicación de la construcción de la pasteurizadora, con fotografías de las diversas etapas y elementos que la componían.
- ◆ Análisis de la región de Nicaragua.
- ◆ Consideraciones sobre las características de la leche y temperatura de pasteurización.
- ◆ Tablas de datos obtenidos.
- ◆ Diseño por AutoCAD de los elementos de la pasteurizadora.
- ◆ Programa informático (Mathcad) para cálculo de las temperaturas críticas.

En el marco económico y energético en que se desarrolla este proyecto de fin de carrera, la pasteurización de la leche es un proceso costoso que hoy en día no es habitual encontrar en los productos lácteos en Nicaragua, lo cual provoca enfermedades y problemas evidentes en la salud. Gracias a la utilización de paneles solares térmicos se pretende efectuar la pasteurización de un volumen de 240 litros de leche diarios y que este proceso no suponga un gasto en combustibles fósiles ni en electricidad. Para ello es necesario concienciar a la población de la necesidad del uso de los procesos de pasteurización así como el mantenimiento de sistemas asépticos en todo el desarrollo, manipulación y transporte de productos alimenticios.

Con la combinación de las tecnologías solares térmicas y los procesos de prevención de enfermedades de la pasteurización, se pretende mejorar la calidad de vida de la población local y disminuir la importación de productos lácteos pasteurizados con una producción local no dependiente de importaciones de combustibles fósiles, por lo que las zonas rurales podrán obtener productos lácteos pasteurizados de manera autónoma e independiente.

Además uno de los objetivos de este proyecto es el de pasteurizar leche sin la utilización de electricidad y sólo usando energías renovables, por lo que la implantación en esas zonas rurales sin acceso energético sería inmediato.

1.4. MEDIOS EMPLEADOS

Para la realización de este documento se han empleado los siguientes medios:

- ◆ Bibliografía: al final de éste se menciona qué fuentes son las que se ha acudido para llevar a cabo este proyecto.



- ◆ Hardware: ordenador Windows 7, impresora y escáner.
- ◆ Software: SketchUp 8 para los esquemas de la primera fase del diseño, AutoCAD 2010 para configuración de componentes y planos, 3D Studio Max 2013 y Cinema 4D R11.5 para renderizar los dibujos de AutoCAD, Adobe Photoshop para retoque de algunas figuras, Mathcad 14 para obtener los parámetros de funcionamiento de la instalación, paquete ofimático Office 2007 (Excel, Word, Power Point y Visio para los esquemas de los diseños del sistema de pasteurización) y Adobe Reader para elaboración de documentos en formato pdf.

1.5. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria de este proyecto se estructura en 6 capítulos, presupuesto del proyecto, bibliografía y dos anexos (planos y ficha técnica del colector).

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN. Se explica el ámbito del proyecto y su utilidad. Se definen los objetivos a seguir durante la realización del mismo y las fases de desarrollo que se ha seguido para poder lograr los objetivos. Por último, se explica la estructuración del proyecto.

Capítulo 2: ESTADO DEL ARTE. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN. Se describe las distintas fases por las que ha pasado el diseño de la instalación de la planta pasteurizadora y cuál es el definitivo. Descripción de todos los componentes que lo forman y su funcionamiento y cómo se construyeron los colectores solares térmicos.

Capítulo 3: ESTUDIO EXPERIMENTAL. Con objeto de maximizar la irradiación interceptada por los colectores se ha estudiado su ángulo de inclinación óptimo. Descripción de los pasos que se siguieron para construir el circuito primario para un colector y luego cómo se añadieron los otros dos, mostrando los resultados obtenidos en distintos días para conocer el rendimiento de los colectores que se construyeron.

Capítulo 4: SIMULACIÓN. Se indican los resultados obtenidos a través de la aplicación informática partiendo de los datos de irradiación, temperatura atmosférica y velocidad del viento para verificar el correcto funcionamiento de ésta.

Capítulo 5: ANÁLISIS AMBIENTAL Y ESTUDIO ECONÓMICO. Explicación de la importancia y análisis del impacto ambiental de las instalaciones sobre las emisiones de CO₂ y ahorro de combustibles fósiles. Estudio económico completo. Cálculo de los presupuestos, beneficios y periodos de retorno de la inversión.

Capítulo 6: CONCLUSIONES. Se exponen las conclusiones y aportaciones que ofrece este proyecto, también las posibles líneas de desarrollo futuras.

Presupuesto del proyecto: El coste de la realización del proyecto.

Bibliografía: La documentación consultada para la realización del proyecto.

Anexo A: PLANOS. Planos de la planta de pasteurización del último diseño para su estudio teórico y de algunos componentes.



Anexo B: FICHA TÉCNICA DEL COLECTOR. Ficha técnica del colector suministrada por el fabricante.

CAPÍTULO 2:
ESTADO DEL ARTE.
DESCRIPCIÓN DE LA
INSTALACIÓN



2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se exponen las modificaciones del diseño del prototipo, la descripción de los distintos dispositivos que componen el sistema de pasteurización - indicando su función y los principios fundamentales en que se basan las tecnologías de aprovechamiento solar por medio de colectores solares térmicos - y el proceso de construcción de los colectores.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN GLOBAL

El proyecto, "Pasteurización de leche en Managua con energía solar térmica", surgió a principios del 2008. Mediante la investigación conjunta de la Universidad Nacional Agraria (UNA) en Managua, Nicaragua, y la Universitat de Lleida (UDL) se diseñó la pasteurizadora [2]. El prototipo se instalaría en la Facultad de Ciencia Animal (FACA) de la UNA que cuenta con una planta de fabricación de quesos con producción diaria. El objetivo es pasteurizar 240 litros de leche al día.

La instalación solar térmica se compone de 5 subsistemas:

- ◆ Subsistema de captación: su función es captar la radiación solar y convertirla en energía térmica transferida al fluido caloportador. Está compuesto por los colectores solares térmicos.
- ◆ Subsistema hidráulico: su función principal es transferir el calor producido en los colectores solares térmicos al tanque de almacenamiento y de éste a la leche que se va a pasteurizar. Se compone de conducciones, intercambiadores de calor, bomba, vasos de expansión, válvulas, ...
- ◆ Subsistema de almacenamiento: el tanque de acumulación.
- ◆ Subsistema de apoyo: generar el defecto de producción de calor para conseguir una adecuada pasteurización. Es una caldera de biomasa.
- ◆ Subsistema de control: controlar la correcta operación de la instalación. Formado por sensores, válvulas,...[3]

El prototipo está compuesto de dos partes; circuito primario y secundario.

El diseño del prototipo ha pasado por varias fases, en las que se han introducido modificaciones para solventar las dificultades que surgían.

En la primera fase cada parte estaba compuesta de los siguientes componentes:

- a) El circuito primario que es cerrado y está formado por tres colectores solares planos térmicos, un sistema de concentración solar mediante espejos planos (reflectores) y un tanque acumulador (Figura 2.1).

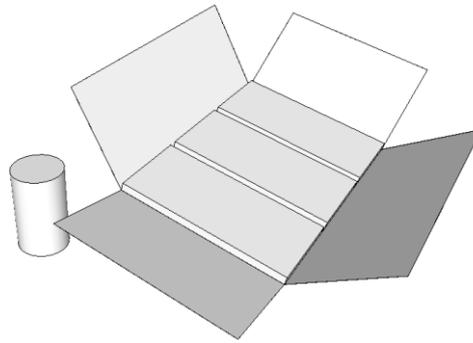


Figura 2.1: Dibujo esquemático de los componentes del circuito primario en SketchUp.

- b) El circuito secundario que es abierto y contiene el depósito de leche sin pasteurizar, el depósito de leche pasteurizada, el intercambiador de tubos concéntricos en contracorriente (doble tubo en forma de U), el serpentín (la leche sin pasteurizar circulará por ahí para pasteurizarse) y la botella de Mariotte (Figura 2.2).

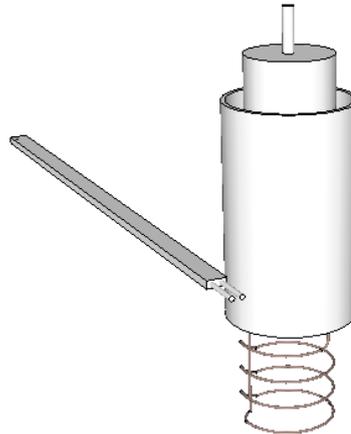


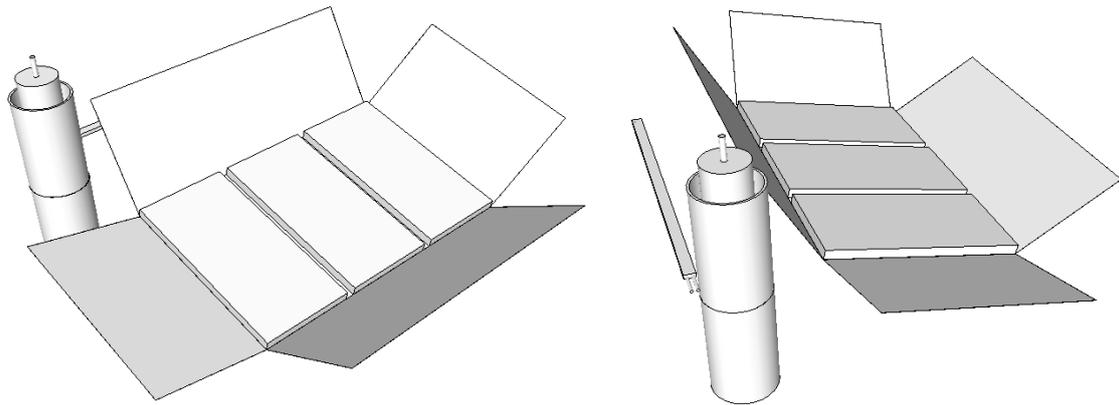
Figura 2.2: Dibujo esquemático de los componentes del circuito secundario en SketchUp.

Los colectores solares térmicos se sitúan en paralelo e integrados con el tanque acumulador. El agua se calienta en los colectores solares térmicos y llega al tanque acumulador.

Dentro del tanque acumulador, se produce la estratificación, el agua fría está en la parte de abajo y la más caliente en la parte de arriba. El serpentín se coloca en la parte de arriba del tanque acumulador, en el tercio superior, para que así la leche se pasteurice a 73°C en 15 segundos. El serpentín está unido al intercambiador de tubos concéntricos en contracorriente y éste a su vez al depósito de leche sin pasteurizar y al depósito de leche pasteurizada.

La botella de Mariotte se ubica en el depósito de leche sin pasteurizar para que la velocidad de la leche sea constante [4].

La idea inicial era que todos los componentes de la pasteurizadora solar estuvieran en el exterior y se instalaran de la manera más eficiente aprovechando mejor el espacio y reduciendo las pérdidas de calor al minimizar los desplazamientos del fluido (la leche), (Figuras 2.3.a y 2.3.b).



Figuras 2.3.a y 2.3.b: Distintas vistas del dibujo esquemático de la pasteurizadora solar en Sketch up.

Esquema del sistema de pasteurización (Figura 2.4).

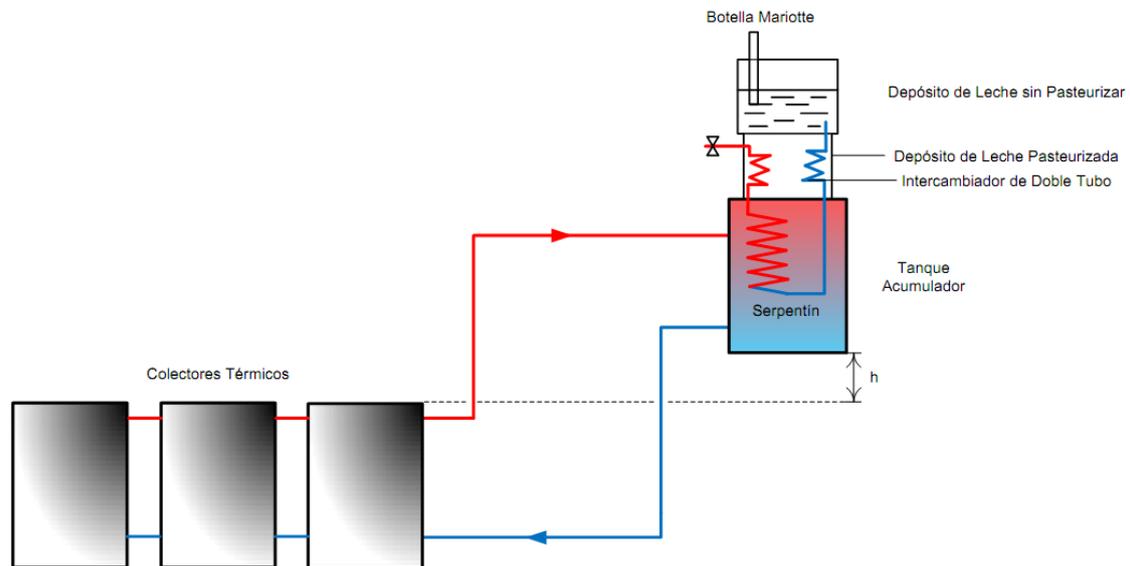


Figura 2.4: Esquema del sistema de pasteurización en Visio.

Después, se supo que el Ministerio de Salud obliga a que la leche pasteurizada esté dentro de un local acondicionado para cumplir las leyes sanitarias vigentes. Por tanto, se produjo una modificación del diseño (segunda fase).

En esta segunda fase (Figura 2.5), los colectores solares estarían en el exterior y el resto de componentes dentro de la sala.

Se prescindiría de la botella de Mariotte para poder simplificar el circuito con los componentes más necesarios y se recomienda la posibilidad de incorporarla en futuras mejoras.

Al comprobarse que si el intercambiador de doble tubo se ponía en forma de U, la grasa de la leche se quedaba en el codo, se decidió que fuera lineal.

Los días nublados o cuya temperatura ambiente no sea suficiente para pasteurizar la leche, se utilizará una fuente auxiliar de energía (biomasa, residuos forestales) para calentar el agua. La



fuente auxiliar estará colocada de manera que facilite que el agua caliente llegue al tanque acumulador.

Otra modificación que se introdujo en esta segunda fase fue el circuito de limpieza, para que después de la pasteurización se pudiera limpiar el intercambiador lineal, el serpentín y los depósitos de leche. El circuito de limpieza comprende desde el tanque acumulador al depósito de leche sin pasteurizar. Al vaciarse el tanque acumulador de agua para limpiar y esterilizar el circuito secundario se añadía la conexión del grifo al circuito primario para rellenar la cantidad de agua perdida.

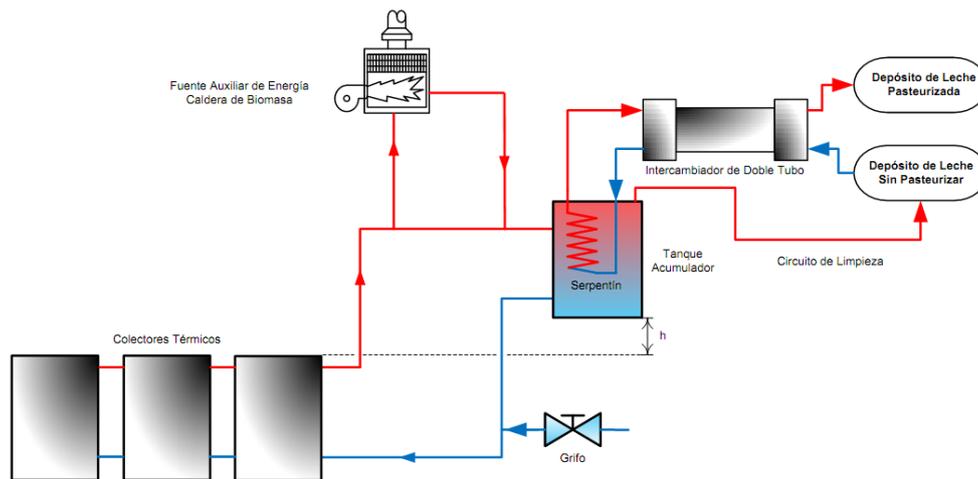


Figura 2.5: Esquema de la segunda fase.

El problema que apareció cuando se estaba llevando a cabo esta segunda fase fue que al haberse montado los colectores solares con una cierta altura y que la sala ya estuviera construida (es decir, tuviera unas dimensiones determinadas) era necesario poner el depósito de leche sin pasteurizar a una altura muy superior a la de la sala, por tanto, se necesitaba una bomba (o de agua o de leche). Por motivos económicos, se decidió poner en la parte del circuito primario una bomba de agua. Esta modificación dio lugar a la tercera fase (Figura 2.6).

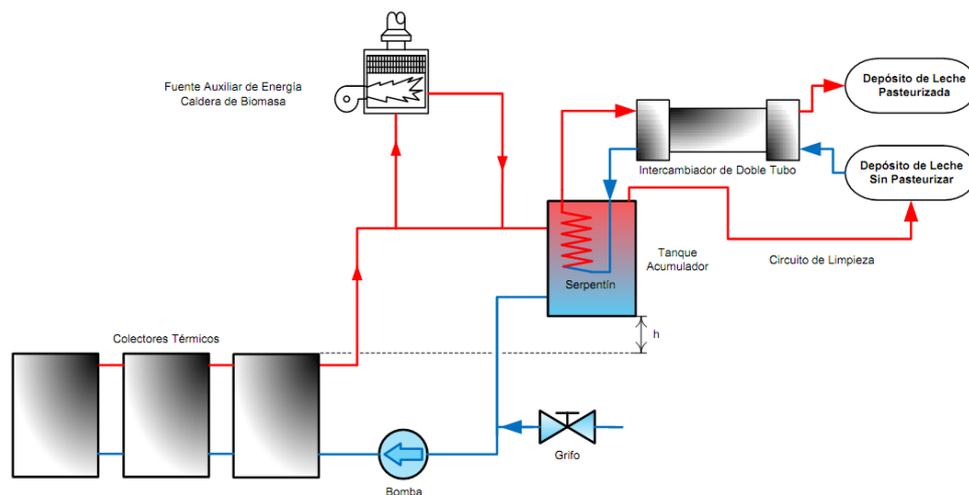


Figura 2.6: Esquema de la tercera fase.



Surgieron nuevos problemas. Para llevar a cabo la tercera fase, habría que hacer obras dentro de la habitación y podrían llegar a ser costosas. También había dificultad para encontrar la bomba de agua con un diámetro tan pequeño y unas dimensiones muy concretas. Así que se volvió a preguntar al Ministerio de Salud para ver si el tanque acumulador se podría poner fuera junto con el serpentín y parte del intercambiador de doble tubo ya que la leche pasteurizada no tiene contacto con el ambiente. Se obtuvo el permiso.

El diseño definitivo (cuarta fase) constaba de: colectores térmicos, sistema de concentración solar mediante espejos planos (reflectores), tanque acumulador, serpentín, una parte de las conexiones del serpentín con el intercambiador de doble tubo en el exterior; la otra parte de esas conexiones y los depósitos de leche dentro. La bomba de agua se sustituyó por otro componente consistente en una bomba de leche de acero inoxidable sanitario con diámetro de media pulgada (Figura 2.7).

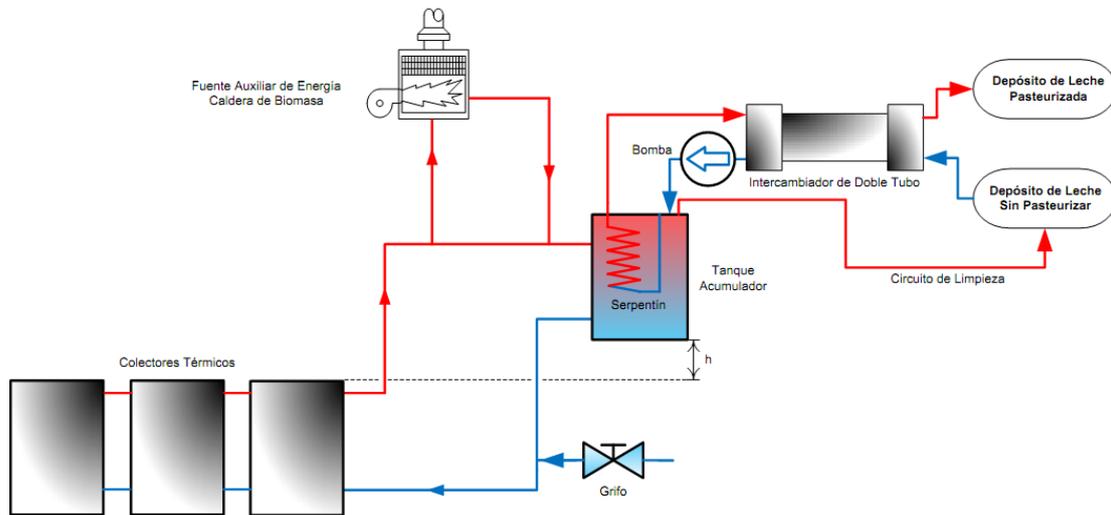


Figura 2.7: Esquema de la cuarta fase.

Diseño definitivo, desde distintas perspectivas (Figuras 2.8.a, 2.8.b, 2.9.a y 2.9.b):



Figuras 2.8.a y 2.8.b: Render de las distintas vistas de la cuarta fase finalizada.



Figuras 2.9.a y 2.9.b: Render de la vista sin local de la cuarta fase finalizada y detalle del circuito secundario.

Una vez que se conoce el diseño final de la pasteurizadora, se hacen los cálculos para el dimensionamiento del circuito primario (área de captación de los colectores, número de paneles solares necesarios,...) y después se pasa a la construcción de los colectores.

Para el estudio teórico, se ha diseñado una quinta fase. Para comprobar si es factible el proceso se quita el circuito de limpieza, y una vez se obtengan los resultados se analizarán si es viable o no integrarlo definitivamente o hay que crear un nuevo circuito de limpieza. Al no rebajarse la cantidad de agua en el tanque por no haber circuito de limpieza, tampoco hace falta la conexión con el grifo para reponer la cantidad de agua que se traspasaba.

La última modificación de esta quinta fase ha consistido en cambiar la fuente auxiliar al circuito secundario, en paralelo al conector caliente que va desde el serpentín al intercambiador de doble tubo, así se reducen pérdidas en el circuito primario y se confirma que aunque el agua dentro del tanque acumulador no esté a la temperatura para conseguir la pasteurización, la leche se pasteurizará ya que la no pasteurizada ahora pasará por la fuente auxiliar que aportará la cantidad de calor necesaria para lograrlo, mientras que de la otra manera la fuente auxiliar necesitaba más tiempo pues tenía que calentar el tercio superior del tanque a la temperatura idónea para pasteurizar. Por último, se hace un enlace entre el conector frío y caliente sin pasar por el serpentín, pues se puede dar el caso que la temperatura de la leche después del intercambiador de doble tubo esté más caliente que la del tanque acumulador en cuyo caso no debe pasar por el serpentín (Figura 2.10).

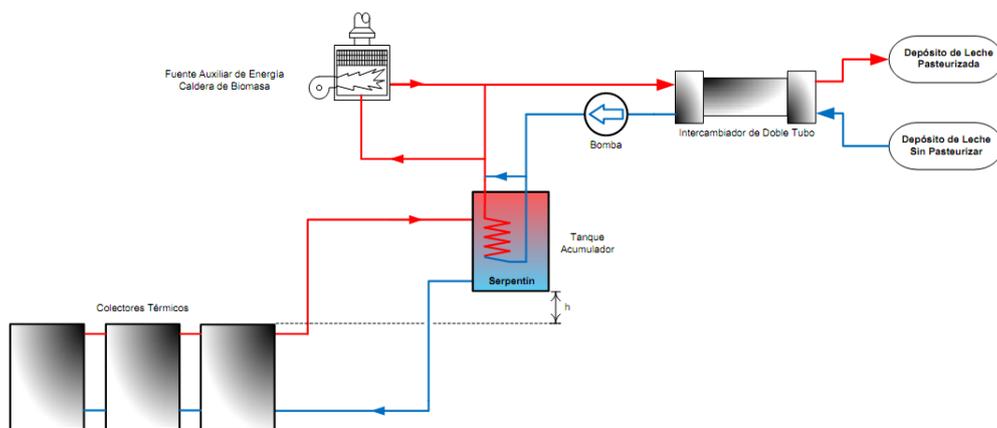


Figura 2.10: Esquema de la quinta fase.



Diseño sin circuito de limpieza (Figuras 2.11.a, 2.11.b, 2.12.a y 2.12.b):



Figuras 2.11.a y 2.11.b: Render de las distintas vistas de la quinta fase finalizada.



Figuras 2.12.a y 2.12.b: Render de la vista sin local de la quinta fase finalizada y detalle del circuito secundario.

2.3. DESCRIPCIÓN POR COMPONENTES

A continuación, se explica el funcionamiento de cada componente que forma el diseño de la pasteurizadora.

2.3.1. ESTRUCTURA

La estructura consiste en un entramado de acero u hormigón armado, que, fijado al suelo, sirve de sustentación a un edificio o elemento que tiene que estar elevado. [5]

Dentro del ámbito de la ingeniería civil, se conoce con el nombre de estructura a toda construcción destinada a soportar su propio peso y la presencia de acciones exteriores (fuerzas, momentos, cargas térmicas,...) sin perder las condiciones de funcionalidad para las que fue concebida ésta. Una estructura tiene un número de grados de libertad negativo o cero, por lo que los únicos desplazamientos que puede sufrir son resultado de deformaciones internas. [6]

La estructura soporta las cargas exteriores (acciones y reacciones), las cuales reparten su efecto por los diferentes elementos estructurales que resultan sometidos a diferentes esfuerzos, los cuales inducen un estado tensional, que es absorbido por el material que la constituye. [7]



En este proyecto, hay tres estructuras.

- a) La base del tanque acumulador, hecha de hormigón y madera.
- b) La que sostiene los colectores solares con una determinada inclinación y a cierta altura del suelo para que la sombra del local donde se pasteuriza la leche no cubra los colectores solares ni los reflectores.
- c) La de los reflectores que se puede subdividir en otras cuatro, una para cada punto cardinal, pues dependiendo de la época del año y la hora del día se utilizará una u otra o ninguna. Las estructuras de los reflectores este y oeste se unen a la estructura de los colectores independientemente y las estructuras de los reflectores norte y sur están unidas a una misma base, por lo que forman un bloque y éste se fija a la estructura de los colectores.

A consecuencia de una rotura del vidrio se había ampliado la estructura de los colectores y éstos hechos de mayor resistencia (marco más grueso). También se ampliaban las estructuras de los reflectores este y oeste (Figura 2.13).



Figura 2.13: Como se encontraba la estructura al inicio de este proyecto.

Después de probar el encaje de la estructura de los reflectores norte-sur con la de los colectores (Figuras 2.14.a y 2.14.b), se observó que los colectores no ajustaban puesto que resultaron ser más anchos que los anteriores debido a que la caja era mucho más gruesa y que dentro de las limitaciones de las dimensiones del vidrio había que conseguir la máxima área de captación, por lo que hubo que desmontar todas las estructuras (Figura 2.15.a), ampliarlas y volver a montarlas (Figura 2.15.b).



Figuras 2.14.a y 2.14.b: Foto y render de las estructuras de los reflectores, colectores y tanque.



Figuras 2.15.a y 2.15.b: Desmontaje de las estructuras y montaje de las estructuras definitivas.

2.3.2. COLECTORES

En este apartado, se analizarán las partes de que consta un colector solar y cuál es su funcionamiento y, luego, se comentará cómo se construyeron los tres colectores en Nicaragua.

El colector o convertidor tiene como finalidad la transformación de la energía solar en calor y la transferencia del calor al fluido térmico que circula por el colector, en este caso el agua.

El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar (longitudes de onda entre 0,29 y 2,5 μm) y es por naturaleza variable con el tiempo. De esta forma, un análisis de colectores solares presenta problemas relacionados con radiación y flujos de energía pequeños y variables.

Existen diversos tipos de colectores solares, según la temperatura que se necesite, el fluido de trabajo, sus características constructivas,...

- ◆ **Colectores planos:** son los más comunes. Estos pueden ser diseñados y utilizados en aplicaciones donde se requiere que la energía sea liberada a bajas temperaturas, debido a que la temperatura de operación de este tipo de colectores, difícilmente pasa los 100°C. Aprovecha la energía solar incidente, tanto la directa como la difusa, no requieren movimiento continuo para dar seguimiento al sol, prácticamente no necesitan mantenimiento y son mecánicamente de construcción más simple que los colectores concentradores. Las principales aplicaciones de estos dispositivos son en el campo del calentamiento de agua a nivel doméstico e industrial, acondicionamiento calorífico de edificios y secado de fruta y granos. [8] Son los más apropiados para este proceso de pasteurización.
- ◆ **Colectores planos de vacío:** sus temperaturas de trabajo son algo superiores a la de los planos, del orden de 130°C. En ellos, la superficie captadora está aislada del exterior por un doble tubo de vidrio que crea una cámara de vacío. Presentan un funcionamiento y mantenimiento más complejo debido a la necesidad de garantizar el perfecto aislamiento de dicha cámara. Si esto se consigue, se trata de un dispositivo con menores pérdidas que otros colectores, pero su coste es mayor.



- ◆ Colectores de concentración: interponen un dispositivo óptico en forma de espejo parabólico entre la fuente de radiación y la superficie de absorción por lo que ésta es más reducida y las pérdidas al ambiente son menores. Están destinados a aplicaciones de hasta 900°C. Su coste es significativamente superior debido a las soluciones constructivas y a la necesidad de un sistema de seguimiento de radiación solar. Se aplica en centrales térmicas solares de generación de energía. [9]

El colector plano se clasifica en función del estado del fluido térmico que utiliza, que puede ser líquido o gaseoso (en este caso líquido, agua) y por el rango de temperatura de trabajo que puede ser baja o media (en este caso, baja, temperaturas de trabajo comprendidas entre 30°C y 90°C).

La principal diferencia constructiva entre los colectores de líquido y de aire está en el tamaño y configuración de los conductos del fluido. La sección transversal del conducto del colector de aire es mayor que la sección transversal del conducto del colector de líquido, a causa de que las propiedades físicas del aire son diversas del agua, de las disoluciones acuosas y del aceite. En concreto: tanto la densidad como el calor específico del primero son inferiores y en consecuencia, para transportar el mismo calor, el caudal de aire tiene que ser mayor que el caudal de líquido.

COMPONENTES

El colector plano, tanto de líquido como de aire, está constituido por los siguientes elementos (Figura 2.16):

- 1) Convertidor, también denominado absorbedor
- 2) Cubierta transparente
- 3) Circuito de fluido térmico
- 4) Aislamiento térmico
- 5) Caja

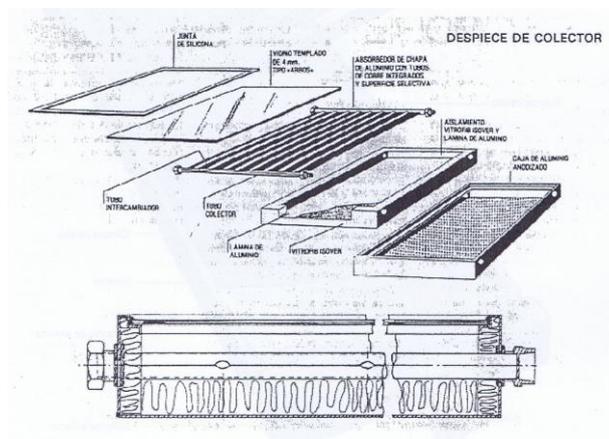


Figura 2.16. Despiece de un colector [10].



Convertidor

En el caso del colector de líquido el convertidor se compone de placa absorbente y conductos de fluido térmico.

La placa absorbente intercepta la radiación solar que deja pasar la cubierta y la transforma en calor. En los colectores de líquido el convertidor está constituido por una placa plana en la que se ha insertado una red de tuberías por las que circula el fluido térmico. Al chocar la radiación con la placa se transforma en calor. Este calor se transfiere después al fluido térmico que circula por las tuberías. Los materiales más utilizados para construir la placa y sus tuberías son el cobre y el acero inoxidable.

Hay dos tipos de convertidor de líquido (Figura 2.17). Uno con la red de tuberías distribuida en serie y otro con la disposición en paralelo. En el primer caso, todo el fluido térmico circula por una única tubería que se distribuye por la placa. Los convertidores construidos con esta disposición se denominan en serie igual que a los colectores que incorporan este convertidor. En el segundo, las tuberías están instaladas formando una parrilla entre dos tubos perpendiculares de mayor diámetro también denominados colectores de líquido. El fluido térmico entra al colector inferior y se distribuye por los tubos de la parrilla. A los convertidores con esta disposición se les denomina en paralelo, así como a los colectores que incorporan este tipo de convertidor.

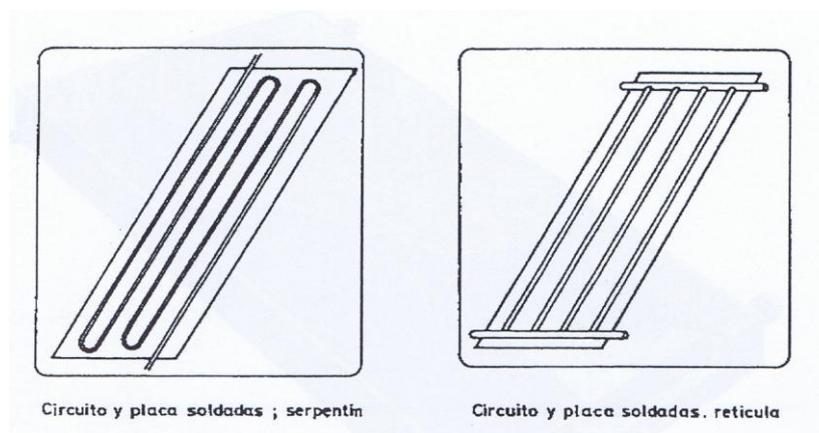


Figura 2.17. Sistema de distribución de fluido térmico [10].

La radiación interceptada por la cubierta se transmite y alcanza la placa absorbente del convertidor, transformándose en calor. Como es sabido el cuerpo que absorbe más radiación es el cuerpo negro. Por lo tanto, es conveniente que la cubierta tienda a comportarse como un cuerpo negro, con el fin de aumentar su capacidad de absorción de radiación. Por otro lado, en general, la radiación puede ser transmitida, reflejada y absorbida, pero al ser el convertidor un cuerpo sólido no transparente no puede haber transmisión, aunque sí absorción y reflexión. La reflexión transmite radiación hacia la cubierta. Es, por tanto, importante que la reflexión tenga un valor bajo y que el coeficiente de absorción de la placa sea alto. Esto se tiene en cuenta al elegir el tipo de recubrimiento del convertidor. Su coeficiente de absorción, α , ha de ser del orden de 0,90-0,95.

La radiación solar que incide directamente sobre el convertidor está comprendida entre longitudes de onda comprendidas entre 0,25 y 2,5 micras, perteneciente por tanto a la fracción del ultravioleta de baja energía, al visible y al infrarrojo de menor longitud de onda. En lo que respecta a la máxima emisión del Sol, puede deducirse por la Ley de Wien que se sitúa aproximadamente en una longitud de onda de 0,5 micras, que corresponde por tanto al espectro visible (Figura 2.18). Al chocar con la placa, la radiación solar se transforma en calor, aumentando la temperatura de la placa. Cuando el fluido térmico se encuentra a temperatura inferior a la temperatura de la placa, el calor se transfiere desde ésta hasta el fluido térmico. [10]

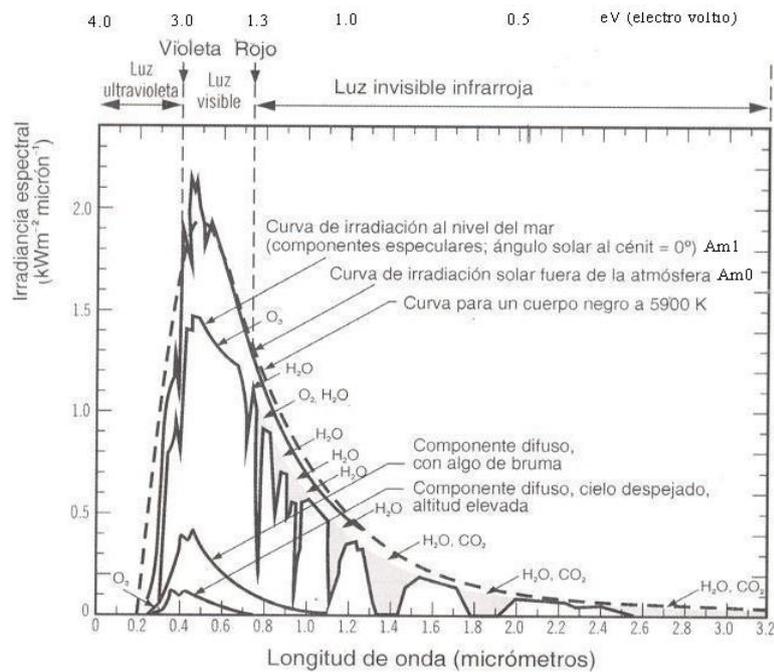


Figura 2.18. Gráfico de longitudes de onda vs Irradiación [11].

Cuando está circulando el fluido, la placa absorbente del convertidor puede alcanzar temperaturas entre 40°C y 100°C . En estos casos, la placa del convertidor se convierte en un emisor de radiación infrarroja con longitudes de onda comprendidas entre 4 y 70 micras. La radiación emitida por la placa es energía perdida. Se trata de una pérdida de calor que hace disminuir la temperatura de la placa absorbente. Interesa que esta emisión sea mínima con objeto de mantener alta la temperatura del convertidor. A la vez interesa que la absorción de radiación solar sea la máxima posible.

Para lograr que la absorción de radiación solar sea máxima y reducir en lo posible la pérdida de calor por emisión, se utilizan recubrimientos que cumplen ambos objetivos. Se denominan recubrimientos selectivos, que poseen un gran coeficiente de absorción a las longitudes de onda del espectro solar y muy bajo poder de emisión para los infrarrojos que emite la placa absorbente.

La mayor parte de las superficies que tienen alto poder de absorción para la radiación solar son a su vez excelentes radiadores térmicos; sin embargo, las superficies conocidas como



selectivas son capaces de absorber efectivamente la radiación solar mientras que irradian calor en pequeña proporción.

Las superficies selectivas están formadas por una delgada capa de un óxido metálico, de color negro, dispuesto sobre un metal brillante que hace de base. La capa de óxido citada tiene un gran coeficiente de absorción, α , del orden de 0,95 para la radiación solar, pero es esencialmente transparente a las radiaciones térmicas de longitud de onda larga correspondiente al infrarrojo que son emitidas por la placa metálica del absorbedor. Ésta, tiene baja emisividad para la radiación térmica y el conjunto escasa capacidad de emisión de calor.

La superficie selectiva con mejores resultados se ha desarrollado depositando una capa de níquel sobre el absorbedor y sobre ésta una capa de óxido de cromo extremadamente fina. El óxido de níquel también puede usarse, pero soporta peor la humedad. Las superficies selectivas más efectivas tienen coeficiente de absorción próxima a 0,95 y emisividad térmica próxima a 0,1.

Cuando el convertidor está a baja temperatura y comienza a recibir radiación solar, la energía radiante que emite como consecuencia de la Ley de Stefan-Boltzmann es baja, por lo que eleva rápidamente su temperatura. Cuando ésta aumenta, su emisión también aumenta y su temperatura aumenta más lentamente, hasta que llega un momento en el que la radiación solar alcanza un nivel que iguala a la suma de las pérdidas más el calor transportado por el fluido térmico. En ese momento, la temperatura del absorbedor se estabiliza.

Cubierta

La cubierta del colector es transparente y cumple una doble misión. La primera, atenuar las pérdidas de calor del convertidor impidiendo, en lo posible, el paso de la radiación que éste emite; la segunda, evitar que el aire exterior entre en contacto con el convertidor y provoque pérdidas por convección.

La atenuación de las pérdidas de calor por radiación desde la superficie del absorbedor puede lograrse aprovechando el *efecto invernadero*. Este efecto se consigue al crearse dos ambientes: uno interior, cerrado por la superficie transparente de vidrio, también puede utilizarse el plástico, y otro exterior. La radiación solar que llega del exterior se transmite a través de la superficie transparente y se propaga hasta el recinto inferior, donde es interceptada por la superficie de la placa del convertidor. Al chocar la radiación se transforma en calor y la placa eleva su temperatura. Al aumentar su temperatura la placa absorbente emite radiación en una longitud de onda mayor, con menor energía, y esta radiación interior no se transmite al exterior a través de la cubierta transparente. En consecuencia, queda atrapada entre la placa y la cubierta, efecto pretendido que facilita la transmisión de la radiación solar, pero no permite la transmisión de la radiación de origen térmico desde la placa hacia el exterior.

Así pues, puede llegar hasta el convertidor la radiación solar formada por ultravioleta, visible e infrarrojo, de longitud de onda relativamente corta, y sin embargo no puede atravesar la



cubierta transparente la emitida por aquél dentro del infrarrojo, de mayor longitud de onda. Por tanto, tiene lugar en la superficie interior de la cubierta una reflexión del espectro infrarrojo y un incremento de temperatura del convertidor, de claro efecto positivo para los propósitos que se persiguen.

Las cubiertas pueden ser, de vidrio o de plástico, aunque este último material tiene los inconvenientes de envejecer pronto bajo la acción de los rayos ultravioleta además de ser un material blando que permite su fácil rayado, lo que hace necesario reemplazarlo con relativa frecuencia. Sin embargo, los materiales plásticos tienen la ventaja de su menor coste y menor peso. En cualquier caso, si se decide la construcción de un colector con cubierta de plástico, hay que tener precaución con el tipo elegido, ya que hay algunos cuya estructura permite el paso de la radiación infrarroja emitida por la placa absorbente, no produciéndose en este caso el efecto invernadero que se persigue. La distancia de separación aconsejable entre absorbedor y cubierta transparente es del orden de 25-40 mm.

El problema del vidrio es su fragilidad que además lo hace vulnerable a agentes meteorológicos como el granizo y actos de vandalismo. Actualmente, los colectores de buena calidad incorporan una cubierta de vidrio templado capaz de resistir impactos de consideración.

En una etapa anterior, la cubierta se puso de vidrio y más tarde se rompió, no se sabe si fue por vandalismo o porque no aguantó el peso de las lluvias. Por lo que luego, se compró vidrio templado y para garantizar que no se rompiera por el peso de las lluvias se pusieron unas tes de aluminio para que soportaran el vidrio.

La radiación infrarroja que procede del absorbedor provoca el calentamiento de la cubierta transparente y ésta emite radiación tanto hacia el absorbedor como hacia el exterior. Esta última se pierde aunque puede atenuarse colocando una segunda cubierta que incrementa el efecto invernadero, si bien tiene las contrapartidas de disminuir también la radiación solar que llega al absorbedor y encarecer el colector. El uso de cubiertas múltiples, dos o tres, es apropiado para emplazarse en los climas fríos, sometidos a vientos intensos y frecuentes, pero no es aconsejable para climas cálidos como es el caso de Nicaragua (Managua).

La transmitancia del cristal, τ , es función de su calidad y del ángulo de incidencia de la radiación solar. Para un ángulo de incidencia perpendicular a su superficie, un cristal normal de ventana refleja aproximadamente el 8% de la radiación solar, y dos láminas, con espacio de aire entre ellas, reflejan aproximadamente un 15%. Las impurezas en el cristal, principalmente hierro, incrementan su capacidad media de absorción. Un típico cristal de 0,003 m de espesor absorbe entre 1 y 5%, siendo el 2% un valor medio. La transmitancia, cuando los rayos del Sol no inciden de forma normal a la superficie del cristal, disminuye ligeramente. Teniendo presente que los rayos del Sol inciden variando su ángulo sobre el cristal a lo largo del día, pueden darse como valores medios para los coeficientes de absorción, reflexión y transmisión las cifras de 2, 10 y 88% respectivamente. El coeficiente de transparencia del vidrio es, según se ha indicado, del orden del 88%, lo que quiere decir que la cubierta deja pasar el 88% de la energía solar incidente.



Otra prevención a tener en cuenta es que la cubierta, en su unión con la caja, debe ser completamente estanca, para evitar la entrada de aire del exterior, cuya circulación entre la cubierta y el absorbedor genera pérdidas por convección. Además, la estanqueidad impide la penetración de partículas de polvo o humedad, que provocan un deterioro del colector y disminuyen su rendimiento. [10]

Junta de cubierta. Es un elemento de material elástico cuya función es asegurar la estanqueidad de la unión entre cubierta y carcasa. Servirá a su vez para absorber las diferencias en las dilataciones entre la carcasa y la cubierta, para que no se produzca rotura en ningún elemento del captador. [12]

En este proyecto se puso silicona y perfiles de aluminio.

Circuito de fluido térmico

El fluido circulante ha de estar directamente en contacto con el absorbedor (placa absorbente) de forma que la transferencia de calor desde la placa al fluido se realice en las mejores condiciones. El "circuito" que sigue el calor hasta llegar al fluido térmico debe ser lo más corto posible y debe encontrar la menor resistencia posible. La radiación se convierte en calor al ser interceptada por la superficie captadora y la temperatura del convertidor aumenta hasta hacerse mayor que la temperatura del fluido. El calor se propaga siguiendo el gradiente de temperaturas: primero a través de la placa del convertidor hasta alcanzar la zona de unión entre la placa y la tubería que conduce al fluido. La unión entre la tubería y la placa suele hacerse por soldadura, en toda la longitud del tubo o por puntos. Es importante que la unión sea metálica en toda la longitud de la tubería, para que la transferencia de calor se realice a través de una superficie de alta conductividad térmica. Si la unión entre el tubo y la placa se hace por puntos hay que asegurarse de que el contacto entre tubo y placa, en aquellas zonas que no han sido soldadas, también sea metálico. Si entre el tubo y la placa existen zonas de contacto deficiente, por ejemplo una capa de aire entre ambos, entonces la transferencia de calor se efectúa por convección en lugar de por conducción como ocurre entre superficies con unión metálica. La transferencia de calor por convección genera una resistencia térmica mayor y por esta razón se dificulta la transferencia de calor desde la placa al tubo.

Si los tubos son soldados, su distribución sobre la placa puede ser apoyados sobre generatriz inferior, o bien la unión se hace soldando la placa a lo largo de dos generatrices diametrales.

Aislamiento térmico

El convertidor está a temperatura superior a la del ambiente. Por esta razón, de forma espontánea transfiere calor a la atmósfera que lo rodea. La emisión de calor (en forma de radiación de onda larga) de la cara donde recibe la radiación es mitigada por el efecto invernadero. Para reducir la emisión de calor por la cara posterior se instala una lámina de aislamiento térmico, de 4 cm o 5 cm de espesor, entre la cara posterior y la caja. El aislamiento cumple la función de disminuir las pérdidas de calor desde el convertidor hasta el ambiente que lo rodea. [10]



Para reducir las pérdidas térmicas del captador es conveniente aislar las zonas no expuestas la mayor parte del día a la radiación solar, estas son los laterales y la parte posterior del captador solar. Un buen aislamiento térmico en estas zonas contribuye a disminuir el factor de pérdidas térmicas del captador aumentando consiguientemente su rendimiento. [12]

La capacidad para impedir que el calor se fugue depende de las propiedades físicas del aislante. Las principales son: la conductividad térmica, la densidad aparente, la temperatura máxima de servicio, el comportamiento ante la humedad, la estabilidad química, el precio,...Un material aislante muy empleado es la lana de vidrio, que además de tener un bajo coeficiente de conductividad térmica, es económico y resiste temperaturas del orden de 150°C. Tiene, sin embargo, el inconveniente de perder capacidad de aislamiento en contacto con la humedad, por lo que la unión del fondo inferior y la cubierta con la caja ha de ser totalmente estanca.

La placa captadora está protegida en su parte posterior y lateral por un aislamiento que evita las pérdidas térmicas hacia el exterior.

Las características de estos aislantes han de ser:

- ◆ Resistir altas temperaturas sin deteriorarse, lo que muchas veces se consigue colocando entre la placa y el aislante, una capa reflectante, que impida que el aislante reciba directamente la radiación.
- ◆ Desprender pocos vapores al descomponerse por el calor y en caso de ocurrir que no se adhieran a la cubierta.
- ◆ No degradarse por el envejecimiento u otro fenómeno a la temperatura habitual de trabajo.
- ◆ Soportar la humedad que se pueda producir en el interior de los paneles sin perder sus cualidades.

Los materiales más usados son fibra de vidrio, espuma rígida de poliuretano y poliestireno expandido. [13]

Caja

Es la encargada de proteger y soportar los elementos que constituyen el colector solar.

La caja aloja al conjunto de componentes que constituyen el colector. Su función más importante es asegurar la estanqueidad del colector. Si en su unión con la cubierta o con el fondo del colector deja pasar aire éste circula por el colector, y en contacto con el convertidor se calienta. Como el aire acaba saliendo del colector, el efecto es una pérdida de calor, que normalmente no se puede calcular fácilmente.

Por otra parte, este aire transporta contaminantes y vapor de agua. Los contaminantes se ponen en contacto con el convertidor, quedando este expuesto a corrosión. Cuando el colector se enfría, el vapor de agua que ha entrado con el aire se condensa y se deposita en la



superficie interior de la cubierta en forma de gotas que terminan cayendo sobre la placa del convertidor. Cuando de nuevo el colector se calienta el agua se evapora y empaña la superficie interior de la cubierta, disminuyendo la transmitancia del cristal y reduciendo el flujo de radiación, lo que tiene un triple efecto: menor captación de radiación, menor calor transferido al fluido térmico y menor rendimiento del colector. En consecuencia, el colector debe ser estanco y la caja asegura esta función.

La caja soporta las condiciones ambientales propias del lugar de emplazamiento del colector, más o menos corrosivas en función de los componentes de la atmósfera. La atmósfera como tal es un agente corrosivo, y lo es más si en su composición lleva sustancias extrañas que pueden aumentar el efecto corrosivo. Como las instalaciones de energía solar deben de ser duraderas, la caja tiene que soportar el paso del tiempo con el mínimo deterioro posible, lo que exige una calidad suficiente de los materiales. Se construye de acero galvanizado con tratamiento de anodizado, pero no es aconsejable utilizar materiales como la madera, que se deforma haciendo difícil la estanqueidad, ni los plásticos, que se degradan por la acción de la radiación ultravioleta (salvo si llevan una capa protectora) y tienen un coeficiente de dilatación grande, dificultando la estanqueidad. El material debe soportar la acción de la atmósfera y las tensiones térmicas originadas por los cambios de temperatura durante un periodo de tiempo largo. [10]

Debe cumplir los siguientes requisitos:

- ◆ Rigidez y resistencia estructural que asegure la estabilidad. Estas cualidades son de suma importancia ya que debe resistir la presión del viento.
- ◆ Resistencia de los elementos de fijación: mecánica para los esfuerzos a transmitir, y química para soportar la corrosión.
- ◆ Resistencia a la intemperie, a los efectos corrosivos de la atmósfera y a la inestabilidad química debido a las inclemencias del tiempo.
- ◆ Aireación del interior del colector para evitar que allí se condense el agua. Se realiza por medio de dos técnicas:
 - Vacío en el interior del colector cuando éste está frío, para que la carcasa no esté sometida a una presión muy alta cuando el aire en su interior se caliente.
 - Practicar unos orificios en la carcasa para permitir la aireación del colector así como la evacuación de la condensación. Los orificios se localizan en la parte posterior para evitar la entrada del agua de lluvia y la pérdida de aire caliente del interior del colector.
- ◆ Evitar toda geometría que permita la acumulación de agua hielo o nieve en el exterior del colector.
- ◆ Facilitar el desmontaje de la cubierta para poder tener fácil acceso a la placa captadora. [13]



El diseño de cada colector depende fundamentalmente de la aplicación específica a la cual vaya a destinarse. Este debe ser diferente si por ejemplo se trata de calentar agua para una alberca (22 - 30°C), agua para uso doméstico (40 - 60°C) o aire para el acondicionamiento calorífico de edificios (90 - 100°C).

Algunos de los parámetros más importantes que se tienen que tomar en cuenta para su diseño y funcionamiento, son los siguientes: tipo de tubo o conducto, diámetro nominal, longitud, número de tubos y separación entre ellos; material, espesor y acabado de la placa de absorción o aleta; número y tipo de capas o cubiertas transparentes; tipo de aislante y espesor; tipo de fluido de trabajo y flujo de masa del mismo; inclinación y orientación del colector; condiciones ambientales como velocidad del viento y temperatura del aire y, por supuesto, la intensidad de la radiación solar. [8]

Un problema a tener muy en cuenta en los colectores de líquido es la corrosión, que se puede producir por los siguientes fenómenos:

- ◆ Corrosión por oxidación: producido por la presencia de oxígeno disuelto en el líquido. Un buen aislamiento respecto del aire exterior y el uso de cobre es ideal para evitar este tipo de corrosión.
- ◆ Corrosión iónica: debida a iones metálicos en el fluido caloportador. Los sistemas de inhibición pueden mitigar el problema.
- ◆ Corrosión galvánica: debida al contacto de dos metales con un electrolito. Los acoples de goma evitan esta circunstancia.
- ◆ Corrosión por agrietamiento: los materiales de instalación se pueden agrietar provocando corrosión en el sistema. Un buen filtro elimina todos estos materiales perjudiciales para la instalación.

Además, la instalación debe estar continuamente funcionando, puesto que si hay largos periodos donde no circula fluido por los colectores, este se puede evaporar dejando depósitos que obstruyen los conductos interiores y agrietan tuberías haciendo inservible la instalación. [9]

Ahora, se pasa a explicar la construcción del colector.

CONSTRUCCIÓN DE UN COLECTOR

Se querían construir 3 colectores de 2 m² de área de captación cada una. Debido a problemas de comunicación se hicieron con un área de captación menor (0,96 m x 1,904 m = 1,83 m² de área de captación). En total, 5,48 m² de área de captación.

A continuación se comentará el proceso realizado:

Material necesario para el colector

- Lámina de zinc 2,003 m x 1,008 m.



- Aluminio (barras huecas 0,10 m x 0,045 m y de espesor 4 mm, angulares y Tes, "T").
- Fibra de vidrio de 1" de espesor.
- Cobre (tubos de 5/8" de diámetro y Tes de 5/8").
- Placas de aluminio 0,16 m x 1,87 m.
- Vidrio templado 2,01 m x 0,99 m.
- Remaches 5/32".
- Silicona transparente para 230°C.
- Juntas.
- Roscas hembras.
- Tornillos.
- Pintura negra mate anticorrosiva.

Material necesario para la construcción

- Taladradora y brocas de 5/32" y broca de 5/8".
- Remachadora.
- Sierra y hojas de sierra.
- Butano para soldar.
- Bobina de 96% estaño y 3,5% plata.
- Pasta para soldar.
- Corta tubos.
- Martillo.
- Lija y lija de agua (para zonas más delicadas).
- Prensa.
- Espátula.
- Diluyente.
- Trapo.
- Avellanador.



- Alargadores.
- Limpia cristales.
- Compresor de pintura.
- Escuadra.
- Cuchilla.
- Destornillador.

Explicación de cómo se construyó el colector

Partes del colector: marco de aluminio, lámina de zinc para cerrar la caja, fibra de vidrio para aislar, parrilla de cobre y vidrio templado.

Primer paso, construir la caja, el marco de aluminio. Las barras huecas de aluminio se cortan, utilizando la sierra, 2 piezas de 2,012 m y otras 2 de 1,067 m. La prensa sirve para fijar la barra y evitar que se mueva, así el trabajo lo puede hacer una persona. Después con un ángulo de 45° se corta la esquina inferior y del mismo lado la superior, esto se realiza con todas las barras. Para garantizar una toma correcta de las medidas, se utiliza la escuadra.

Luego, un angular de aluminio, se puede aprovechar cualquier trozo de barra hueca, no tiene que tener unas dimensiones concretas, sirve para unir dos barras. El angular se introduce dentro de una barra y se taladra con brocas de 5/32", después con la remachadora hacer remaches de 5/32", más tarde se pone la otra barra para que encaje con la barra anterior y que el angular se encuentre dentro. Taladrar y remachar para que estén unidas y no se separen o se desplacen. Las barras unidas forman una ele. Y esta operación se realiza hasta completar el marco de la caja (Figura 2.19).

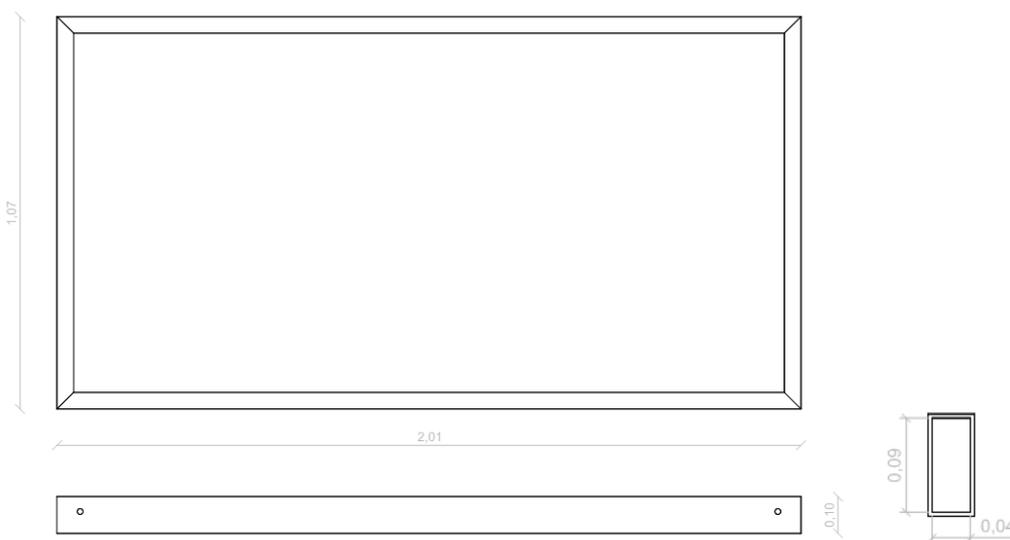


Figura 2.19: Dimensiones y forma del marco de la caja.



El siguiente paso es unir la lámina de zinc (Figura 2.20) con la caja. En este caso, se reutilizó la lámina de zinc, así que hubo que taladrar los remaches para poder separar la lámina de zinc de la caja antigua. Luego, se pasó la espátula para quitar la silicona seca y después con un trapo y un poco de diluyente se limpió la lámina de zinc. En algunos puntos, la lámina estaba doblada, así que se puso peso encima de ellas para alisarla y luego se pasó el martillo. Después, se puso la silicona transparente sobre el marco de la caja e inmediatamente la lámina de zinc, con las prensas se fijó y taladró en los agujeros de la lámina de zinc y después con la remachadora se unió a la nueva caja (Figura 2.21.a).

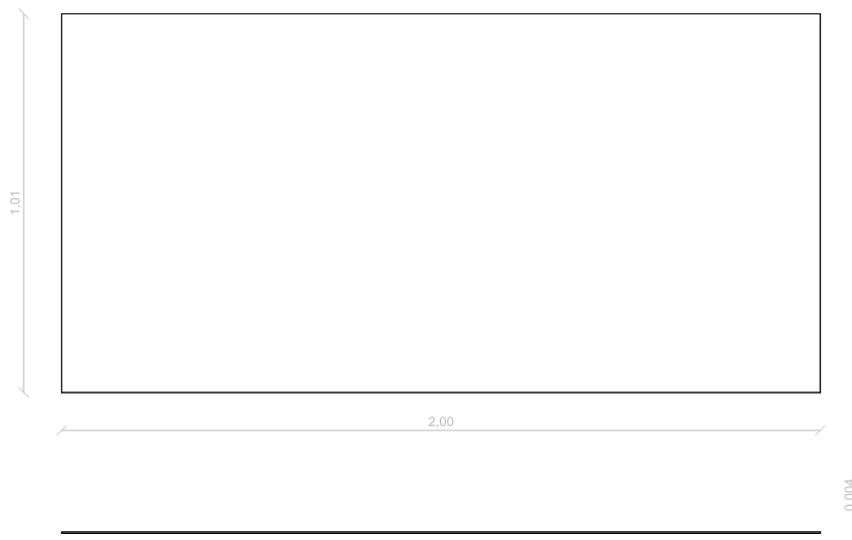


Figura 2.20: Dimensiones de la lámina de zinc.

Así queda completa la caja (Figura 2.21.b).



Figuras 2.21.a y 2.21.b: Remaches que unen la caja con la lámina de zinc y resultado final.

El siguiente paso, es construir la parrilla de cobre. Se toman las medidas para ver la altura de los tubos verticales de la parrilla, tiene que haber cierta distancia del tubo de cobre horizontal con la caja, se hizo de 1,5 cm, también hay que tener en cuenta la distancia que tiene que haber entre los tubos para que quepan las placas de aluminio. En este caso, se pusieron 6 placas de aluminio. Con el corta tubos se corta el tubo de 5/8" a la altura que se quiere (tubos



de 1,87 m), 6 tubos iguales en cada parrilla. Se lijan los extremos exteriores de los tubos y las Tes por dentro. Luego se pone pasta para soldar en los tubos de cobre y se une con la Te. Se enciende el butano y cuando esté caliente la parte del tubo que se quiere soldar, entonces con la bobina (Figuras 2.22.a y 2.22.b) se va soldando la parrilla. Luego, se cortan los tubos que se pondrán horizontalmente y son los que se unirán a los tubos verticales. Se corta a 14 cm para que quepa la placa de aluminio en ambas partes, son 10 tubos iguales. Se cortan 4 tubos de 20 cm, que estarán en los extremos de la parrilla, pues tienen que sobresalir del marco de la caja para que se puedan realizar las conexiones entre los colectores.



Figuras 2.22.a y 2.22.b: Proceso para soldar la Te con el tubo (calentar con butano y con la bobina se suelda).

Hay que tener cuidado a la hora de soldar, porque en un lado la Te está en una posición determinada y la del otro lado tiene que estar igual. Hay que estar atentos para que no se mueva. Lo recomendable es soldar todo junto, con la parrilla ya montada (Figura 2.23) porque la Te puede moverse y entonces se tendría que calentar para eliminar la soldadura y volver a rehacerla.

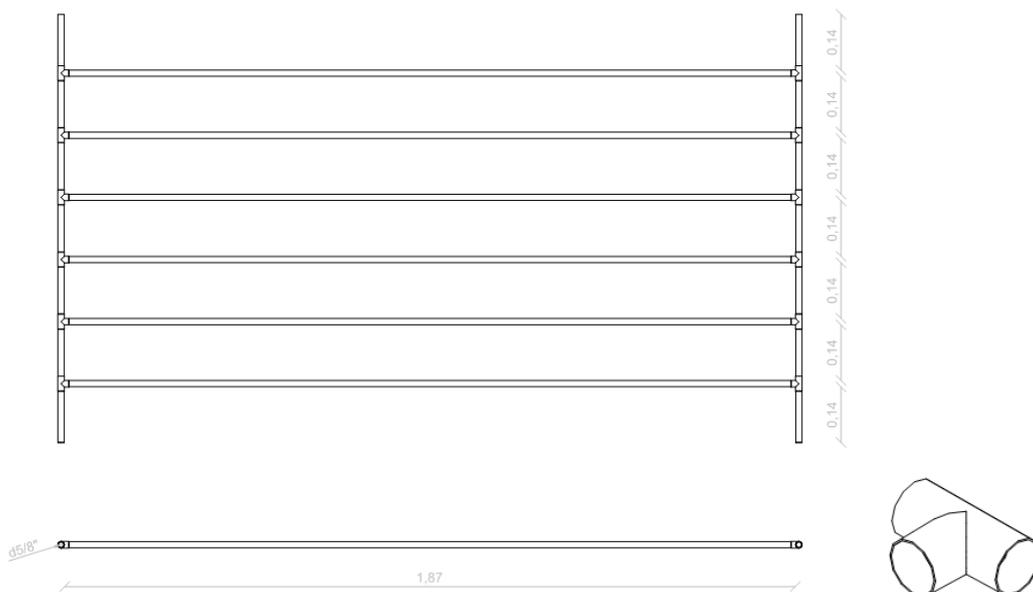


Figura 2.23: Dimensiones de la parrilla de cobre.



Una vez soldadas las parrillas (Figura 2.24.a), se realiza la prueba de que no hay fugas (Figura 2.24.b).



Figuras 2.24.a y 2.24.b: Parrilla terminada y sin fugas. Prueba de que no hay fugas.

Se hacen los agujeros al marco con la broca de 5/8" porque la parrilla de cobre sobresale. Se hace dejando una distancia de 3 cm de aire entre placas de aluminio y vidrio templado y 1,5 cm entre los tubos horizontales y la caja (Figura 2.25).



Figura 2.25: Agujero en el marco para sostener la parrilla.

Siguiente paso, se corta con la cuchilla la fibra de vidrio con las dimensiones determinadas (Figura 2.26) para que quepa dentro del marco de la caja y esté ajustado, no tiene que haber holgura entre la fibra de vidrio y la caja.



Figura 2.26: Poniendo la fibra de vidrio en la caja.



El colector tiene 2 capas de fibra de vidrio debajo de la parrilla (Figura 2.27), debido a que el espesor de la fibra de vidrio es de 1" y la distancia que hay entre la lámina de zinc y la parrilla es de 5 cm. El reflectante de una capa de fibra de vidrio está tocando la lámina de zinc y el otro está tocando la parrilla de cobre.

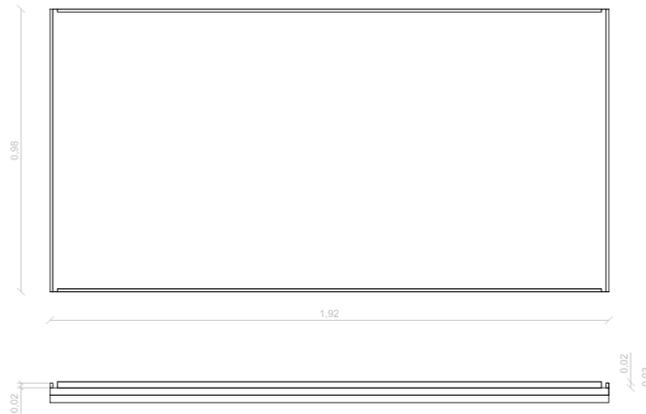


Figura 2.27: Dimensiones de la fibra de vidrio.

Siguiente paso, las placas de aluminio (Figura 2.28), 6 por cada colector. Se reutilizaron las antiguas, por lo que hubo que quitarlas de los colectores anteriores, lijarlas para quitar la pintura que tenían, limpiarlas con disolvente y cortarlas porque los nuevos colectores diferían en las medidas.

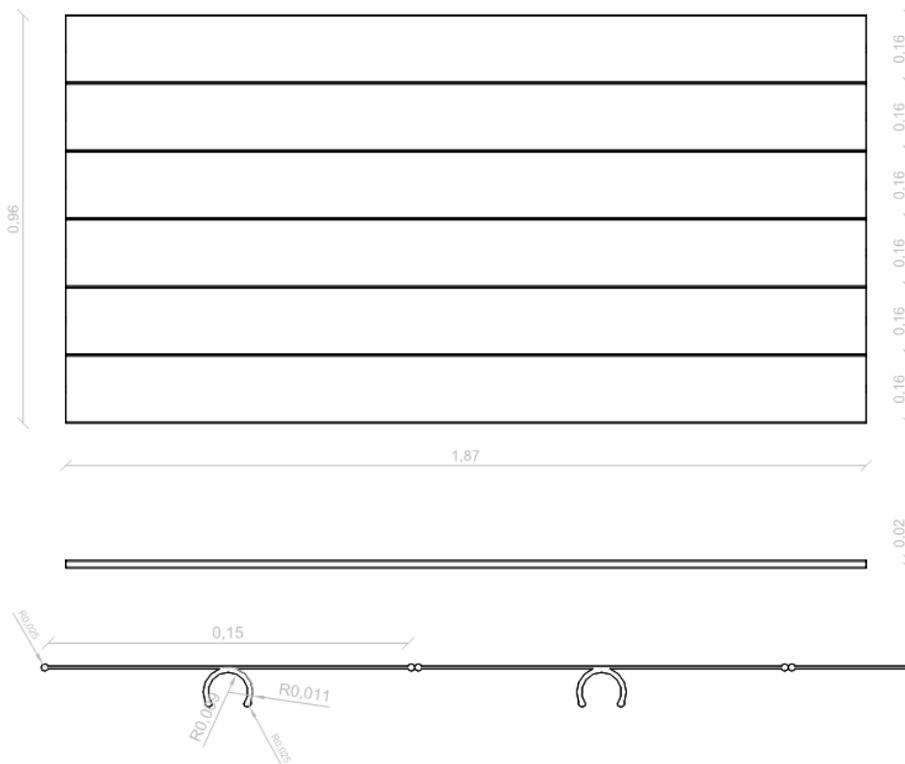


Figura 2.28: Dimensiones de las placas de aluminio.



Las placas de aluminio se encajan con los tubos de la parrilla en la parte de atrás (Figura 2.29).

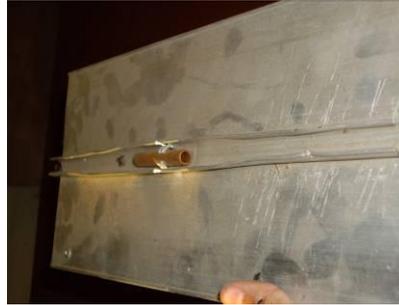


Figura 2.29: Fragmento de la parte de atrás de la placa de aluminio.

Se ponen las placas de aluminio en la parrilla, pero solamente en los tubos interiores porque la parrilla hay que moverla de un lado a otro para introducirla dentro de la caja. Los tubos horizontales extremos se ponen en los agujeros del marco, luego se empuja la parrilla hasta que el tubo vertical toque la caja. Viendo que entonces sobra un poco de los tubos horizontales extremos del otro lado, se corta el trozo que sobra y entonces se introducen en los agujeros del marco y ya está la parrilla dentro de la caja (Figura 2.30).



Figura 2.30: Parrilla de cobre, fibra de vidrio y placas de aluminio en la caja.

Después, se colocan las juntas, 4, cada una en cada tubo para que no haya holgura en los agujeros. Se puso una plaquita entre caja y junta (Figura 2.31), más bien por estética, esto es opcional.



Figura 2.31: Plaquita y junta.



Luego, se mueve la parrilla hasta que el tubo vertical esté al lado de la caja para poner la rosca hembra para avellanar (Figura 2.32.a), pues las uniones se hacen roscadas y no soldadas. Después de avellanar un lado (Figura 2.32.b) se mueve la parrilla y se avellanara el otro lado.



Figuras 2.32.a y 2.32.b: Avellanando el tubo. Tubo avellanado.

Luego, se centra la parrilla, se pone silicona en la parte interior de la caja alrededor de los tubos de la parrilla. Una vez secado, se ponen las placas de aluminio que faltan.

Como en los anteriores colectores se rompió el vidrio y no se supo la razón, se pensó que una posible causa fuera que por el peso, con las lluvias se bombeara el vidrio y acabara rompiéndose, así que se decidió, por precaución, poner Tes de aluminio (Figura 2.33), 2 por cada colector. Su anchura es 1,5 cm, pero eso depende de las que tenga el proveedor, cuanto más estrecha mejor para que no disminuya el área de captación. Las Tes se cortarán un poco más largas para poder solapar la parte que sobresale con la caja (se cortará con la sierra la parte de aluminio que sobresale, que forma la Te, y se doblará para que se taladre y se atornille en el interior de la caja, 2 tornillos para cada lado de la Te, es decir, 8 tornillos por cada colector).

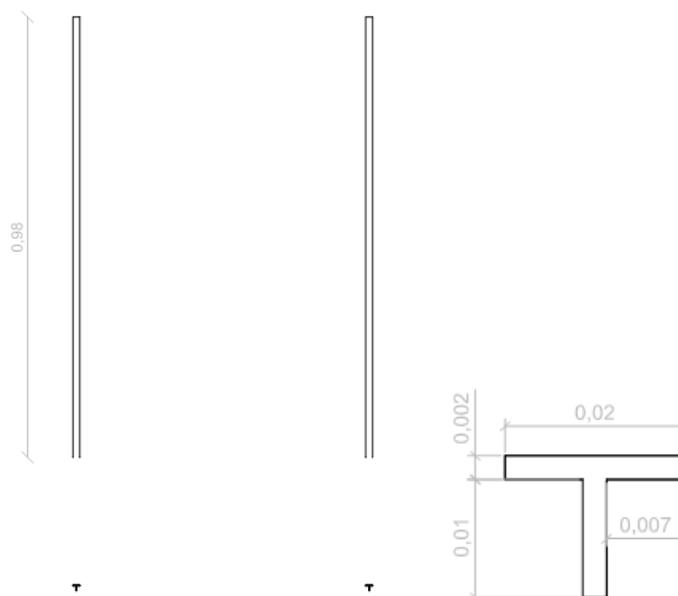


Figura 2.33: Dimensiones de las tes de aluminio.



Se pone la fibra de vidrio entre la caja y las placas de aluminio para los lados verticales y los tubos de cobre para los lados horizontales. Para que no se mueva la fibra de vidrio se pone silicona entre la caja y la fibra de vidrio (Figura 2.34).



Figura 2.34: Colector con las Tes, fibra de vidrio y placas de aluminio.

Después, con el compresor de pintura se pintan las placas de aluminio y los tubos de cobre horizontales de negro mate (Figura 2.35.a). En la Figura 2.35.b se observa el resultado final (pintado y seco).



Figuras 2.35.a y 2.35.b: Pintando las placas de aluminio y las Tes. Terminado de pintar.

El vidrio (Figura 2.36) se limpia con el limpia cristales. Se pone la silicona encima del marco y luego el vidrio.

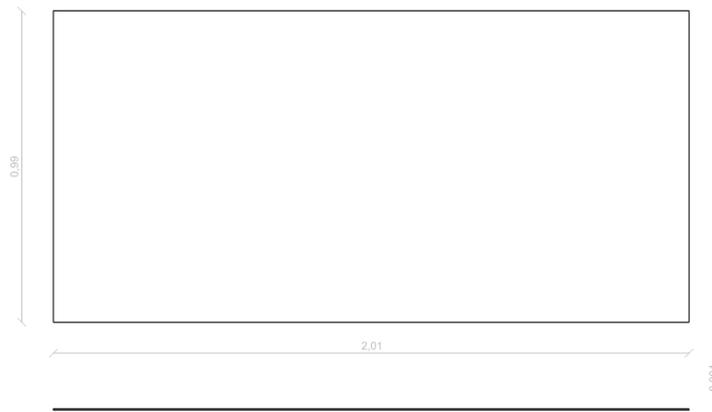


Figura 2.36: Dimensiones del vidrio.

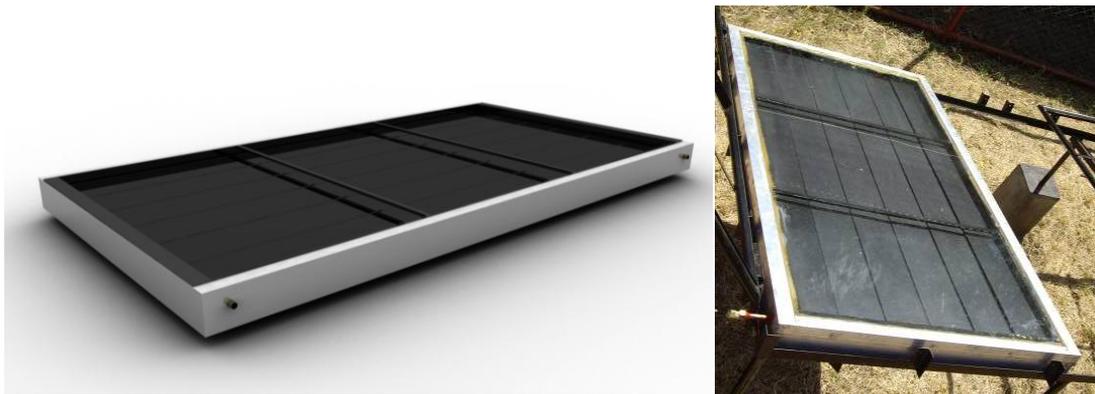


Para asegurarnos de que se fija el vidrio completamente se pondrán angulares sobre él de 1,5" en las zonas horizontales y para las verticales angulares de 2". Se pondrá silicona entre vidrio - caja y angular. Las medidas de longitud de los angulares serán las externas de la caja. Y luego, se pondrán prensas para que se fijen bien y en la parte inferior del angular se taladrará y se pondrán remaches para que esté completamente cerrada y fija (Figura 2.37).



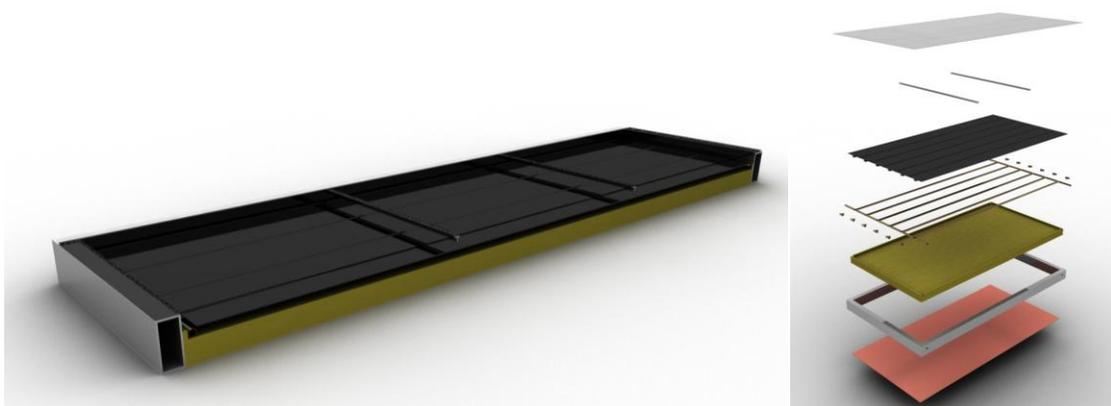
Figura 2.37: Colector con vidrio y angulares y prensas para fijar.

Cuando ya está seca la silicona y está todo fijo se quitan las prensas y se hace un último repaso con la silicona en los sitios donde haga falta (Figura 2.38.a) y se procede a la colocación del colector en la estructura que lo soportará (Figura 2.38.b).



Figuras 2.38.a y 2.38.b: Render del colector y foto del colector en la estructura que lo soportará.

A continuación, se muestra el render del corte del colector terminado y su explosionado (Figuras 2.39.a y 2.39.b)



Figuras 2.39.a y 2.39.b: Render del corte del colector terminado y su explosionado.



Render de los tres colectores sobre su estructura (Figura 2.40).

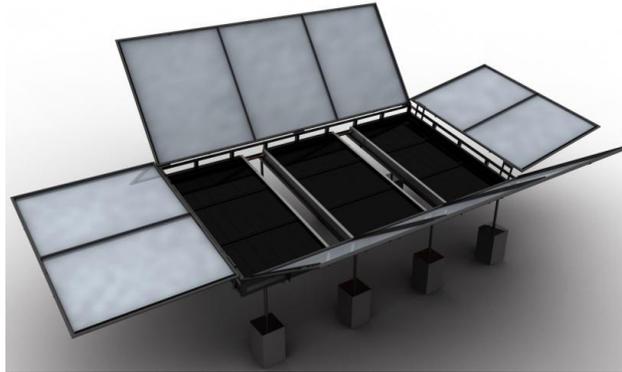


Figura 2.40: Render de los tres colectores sobre su estructura y con las estructuras de los reflectores.

Problemas: Hay que buscar la manera de que queden bien ajustadas las placas de aluminio exteriores con la parrilla, las que se ponen cuando ya está la parrilla dentro de la caja porque hay riesgo de que se salgan. Un lado de la parrilla queda más corto que otro por problemas de espacio dentro de la caja.

Mejoras:

- ◆ conviene tener más número de tubos con menos diámetro y que la placa de aluminio tenga el mayor contacto con el tubo de cobre.
- ◆ Problemas: ese tipo de molde (placa de aluminio) es muy caro y no compensa para un pequeño número de colectores.
- ◆ Que no sea un marco, que sea un perfil C, que aunque es más caro se consigue una mayor área de captación.
- ◆ Podría utilizarse vidrio normal, pues aquí no nieva y es más barato y más accesible.

Errores:

- ◆ pretender ejecutar un proyecto anterior incompleto sin tener contacto con el responsable del mismo.
- ◆ utilizar un marco muy ancho y un vidrio de dimensiones fijadas, que hizo que se perdiera área de captación por lo que luego hubo que rehacer los colectores.
- ◆ unión del tanque con colector sin poner silicona en las juntas lo que provocó fugas y entrada de agua.
- ◆ no realización del vacío previo de los colectores, ha producido aparición de condensación dentro del colector.
- ◆ compra de material innecesario.

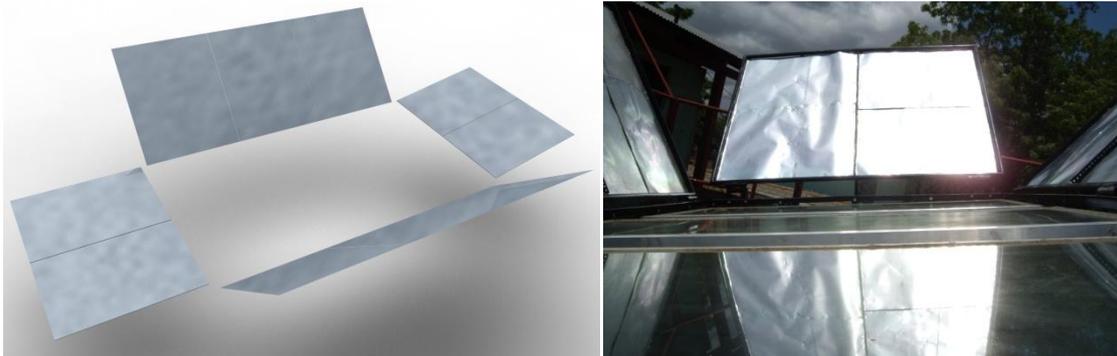


Se aprovechó del colector anterior: las láminas de zinc y las placas de aluminio. El resto no porque el aislante no ofrecía confianza suficiente para su uso, estaba estropeado. La parrilla de cobre se modificó respecto al diseño original.

2.3.3. REFLECTORES

Aparato de superficie bruñida para reflejar los rayos luminosos. [14]

En este caso, son planchas metálicas usadas en la impresión de periódicos (Figuras 2.41.a y 2.41.b). En total, se han utilizado 40 planchas.



Figuras 2.41.a y 2.41.b: Render y foto de los reflectores.

2.3.4. TANQUE ACUMULADOR

Es un depósito donde se almacena el agua calentada que circula por los colectores. El acumulador de agua tiende a estratificarse por temperaturas de tal modo que la mayor temperatura se encuentra en la parte superior del tanque. Esto se potencia con el uso de acumuladores de una altura mínima equivalente al doble de su diámetro.

Estos dispositivos deben tener un aislamiento adecuado para reducir las pérdidas así como una válvula de seguridad para evitar sobrepresiones debidas a ebulliciones en el líquido almacenado.

Un tanque excesivamente grande hace aumentar las pérdidas y el periodo de amortización del proyecto, mientras que un tanque excesivamente pequeño puede impedir que el agua alcance la temperatura adecuada. [9]

Dependiendo del número de intercambiadores de calor incluidos en el tanque de almacenamiento existen tres tipos principales: sin intercambiador, con un intercambiador o con dos intercambiadores. El que se ha elegido es con un intercambiador de calor. [10]

ESTRATIFICACIÓN

En masas de agua como lagos y mares se produce estratificación de las capas de agua. Existen dos tipos de gradientes que causan la estratificación: los físicos, producidos por la temperatura; y los químicos, producidos por la diferente composición química de las aguas superficiales y profundas.



La formación del gradiente térmico de densidad es el caso más frecuente de la estratificación. Es debida generalmente al calentamiento diferencial de las capas superficiales con respecto a las profundas. En los lagos ubicados en zonas templadas y cálidas, las capas superficiales durante el verano están más calientes que las capas frías, formándose la estratificación. En los lagos situados en latitudes frías, la estratificación tiene lugar durante el invierno, en que se hiela las capas superficiales, mientras que las profundas están más calientes; el periodo de mezcla es durante el verano. En todo lago estratificado térmicamente se distinguen tres zonas:

- ◆ Epilimnion: La zona superior de temperatura más elevada.
- ◆ Metalimnion: La zona intermedia de transición entre la zona superior más caliente y la inferior más fría.
- ◆ Hipolimnion: La zona profunda de temperatura más fría, próxima a los 4°C.

La presencia de un gradiente químico suele ser debida a la concentración de algún tipo de compuestos químicos en las zonas profundas, de forma que son más densas que las superficiales. [15]

En sistemas solares térmicos es importante que el acumulador térmico muestre un comportamiento de estratificación de temperatura lo más marcado posible. Ello es factible porque el agua caliente es más ligera que el agua fría y circulará hacia arriba. En la parte superior del acumulador se calienta el agua que es la que calentará la leche y en ocasiones se logrará pasteurizar. Aquí tienen que dominar altas temperaturas, para que se pueda pasteurizar y no sea necesaria la utilización de la fuente auxiliar. En la parte inferior del acumulador se suministra el agua que se transporta en el funcionamiento solar directamente a los colectores solares. Los colectores solares trabajan más eficientemente cuanto más fría sea el agua que circula. [16]

Cuando la temperatura en la parte superior, es más baja que la requerida para lograr la pasteurización, el sistema auxiliar se activa, aportando únicamente la energía que falta. De esta manera, se consigue un ahorro en el consumo energético, ya que la energía procedente del sol no supone coste alguno. [17]

Los tanques de acumulación de agua caliente tienen que funcionar con una diferencia de temperatura mínima de unos grados, entre la parte superior del tanque y la parte inferior. Ya que el tanque tiene que garantizar dos objetivos:

- ◆ Aportar agua fría al colector, cuanto más baja mejor (Figura 2.42).
- ◆ Recibir, en la parte superior, agua con temperatura suficiente para la pasteurización.

Es muy recomendable conseguir la más alta estratificación posible pues el rendimiento global de la instalación depende directamente de este logro al ser el agua de la parte inferior del tanque la que circula por los colectores. Un movimiento excesivo del agua en el tanque, o un



diseño inapropiado de las entradas y salidas al tanque, son variables importantes de diseño pues pueden romper la estratificación al uniformizar la temperatura del tanque. [18]

Si el tanque estuviera mezclado, se “malgastará” energía calentando el agua que está abajo, que luego irá al colector y al llegar más caliente provocará un descenso de rendimiento del colector.

El grado de estratificación del tanque depende del diseño del tanque, la temperatura de uso que se precise, del salto térmico que puedan suministrar los colectores, y de la cantidad de agua que se precise. Así se puede trabajar desde un tanque poco estratificado, en posición horizontal y/o con un elevado caudal de agua que pasa a través de colectores, o bien con un tanque vertical muy estratificado, con un caudal de agua que pasa por colectores menor, y con una temperatura en la parte superior del tanque mayor.

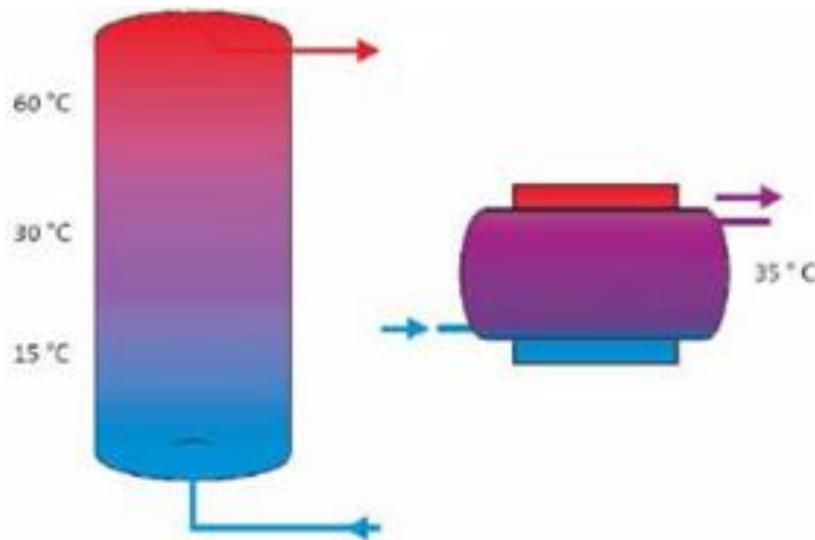


Figura 2.42: Sistema de acumulación de calor, dependiendo del tanque diferente estratificación. [19]

Se pusieron tres termómetros en el tanque; uno, en la parte baja (temperatura fría), otro, en el medio (temperatura media entre la fría y la caliente) y el último, arriba (temperatura más caliente). Se puso silicona para tapar los agujeros del taladro para el tanque, el aislante y la chapa de zinc.

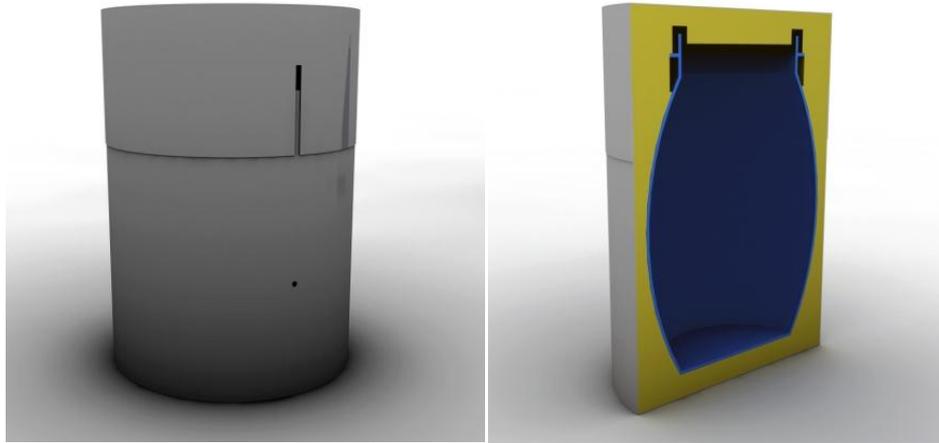
Las dimensiones del tanque acumulador son:

h (desde fuera) = 96 cm

h (desde interior) = 93 cm

ϕ = 47 cm

El tanque acumulador (Figuras 2.43.a y 2.43.b), pvc, se envolvió con chapa de zinc para que entre la chapa y el tanque poder poner aislante, polietileno expandido, y así reducir las pérdidas de calor.



Figuras 2.43.a y 2.43.b: Render del tanque acumulador y del corte del tanque.

Las dimensiones finales fueron:

h desde la chapa de zinc hasta el primer tubo = 25 cm

h desde la chapa de zinc hasta el segundo tubo = 92 cm

Diferencia de altura entre colector y tanque = 53 cm

h de H₂O (medida interior) = 85 cm

h tanque y aislante = 110 cm

2.3.5. SISTEMA DE TUBERÍAS

El sistema de tuberías comunica los distintos elementos de la instalación entre sí para habilitar la circulación de los fluidos por la instalación.

La selección de tuberías se hace en base al caudal del fluido, los fenómenos de corrosión y el coste por metro lineal de tubería.

En este proyecto, las tuberías del circuito primario son de cobre por su bajo coste, gran resistencia a la corrosión y gama muy amplia de diámetros óptimos, para unir tramos se utilizan o Tes o acopladores, según el caso. Las tuberías del circuito secundario son de acero inoxidable sanitario (AISI 316).

El aislamiento de tuberías también es de suma importancia puesto que el cómputo global del área de fluido que se encuentra en contacto con ella es muy grande y una pérdida excesiva de energía por ellas haría disminuir el rendimiento de la aplicación. Todas se aislarían con caucho sintético. [9]

MANGUERAS

Al principio, para probar que funciona la instalación y que no hay fugas se utilizarían en el circuito secundario. Son transparentes por lo que permite seguir el fluido y detectar anomalías.



El fluido del circuito secundario en la prueba sería agua para evitar desperdiciar leche. Después se sustituirían por tuberías de AISI 316.

Se usarían para la unión de los depósitos (leche sin pasteurizar y leche pasteurizada) con el intercambiador de calor, de éste con la bomba y del serpentín con la bomba y el intercambiador de calor.

Las mangueras de la prueba se utilizarían después para el circuito de limpieza.

2.3.6. CIRCUITO LECHE

Todos los componentes han de ser de acero inoxidable sanitario (AISI 316) para garantizar las condiciones asépticas de operación.

DEPÓSITOS

Depósito de leche sin pasteurizar

La leche recién ordeñada de las vacas se deposita en este tanque (Figuras 2.44.a, 2.44.b y 2.45). Ha de taparse porque, una vez introducida la leche en el tanque, no puede entrar ninguna bacteria ya que la leche se estropearía.



Figuras 2.44.a y 2.44.b: Render y foto del depósito de leche sin pasteurizar.



Figura 2.45: Tapa del depósito de leche sin pasteurizar.



Depósito de leche pasteurizada

Recibe la leche una vez pasteurizada (Figuras 2.46.a y 2.46.b). Es abierto porque inmediatamente se pasaría a la fabricación de quesos.



Figuras 2.46.a y 2.46.b: Render y foto del depósito de leche pasteurizada.

INTERCAMBIADORES DE CALOR

Es un dispositivo que transmite calor entre dos caudales de fluido a distinta temperatura. Existen infinidad de soluciones en lo que intercambiadores se refiere, en función de su construcción (de placas, tubular,...), de contacto directo (mezcla física completa entre fluidos) o indirecto y respecto a estos últimos, también los hay de flujo paralelo o flujo cruzado.

En esta instalación, el intercambiador será de doble tubo o tubos concéntricos.

Es de vital importancia seleccionar un intercambiador de calor adecuado puesto que es esencial que se produzca una adecuada transferencia de calor entre los dos fluidos para minimizar en la medida de lo posible las pérdidas de energía en la instalación. [9]

Intercambiador de doble tubo

Es el tipo más sencillo de intercambiador de calor. Está constituido por dos tubos concéntricos de diámetros diferentes. Uno de los fluidos fluye por el tubo de menor diámetro y el otro fluido por el espacio anular entre los dos tubos. En este tipo de intercambiador son posibles dos configuraciones en cuanto a la dirección del flujo de los fluidos: contraflujo y flujo paralelo. En la configuración en flujo paralelo los dos fluidos entran por el mismo extremo y fluyen en el mismo sentido. En la configuración en contraflujo los fluidos entran por los extremos opuestos y circulan en sentidos opuestos.

En un intercambiador de calor en flujo paralelo la temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente.



En un intercambiador de calor en contraflujo la temperatura de salida del fluido frío puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente. El caso límite se tiene cuando la temperatura de salida del fluido frío es igual a la temperatura de entrada del fluido caliente. La temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de entrada del fluido caliente.

Se muestran esquemas de las dos configuraciones así como la evolución de la temperatura de los fluidos en cada una de ellas (Figura 2.47):

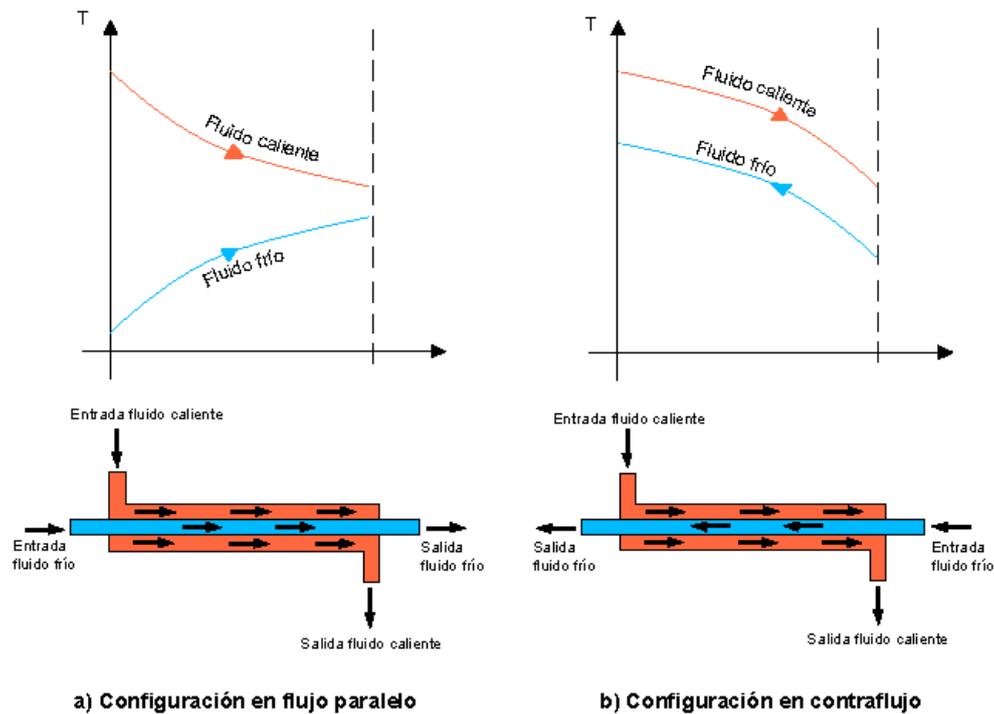


Figura 2.47. Intercambiador de Doble tubo [20].

En este caso, el intercambiador es en contraflujo (Figuras 2.48.a y 2.48.b), el tubo del fluido frío es la leche sin pasteurizar de diámetro $\frac{1}{2}$ " y el diámetro del tubo del fluido caliente (la leche pasteurizada) es de 1". La longitud es de 6 m. La entrada del tubo del fluido frío se conecta al depósito de leche sin pasteurizar y la salida del tubo del fluido frío con la bomba de acero inoxidable. La entrada del tubo del fluido caliente está conectada con el serpentín y la salida con el depósito de leche pasteurizada.



Figuras 2.48.a y 2.48.b: Render del intercambiador y detalle.



Serpentín

Consiste en una tubería lisa enrollada en forma de hélice. Su misión es separar el fluido contenido en él del fluido contenido en el circuito primario [10]. Es donde se produce la pasteurización. Se encuentra dentro del tanque acumulador, en la parte alta (en el tercio superior), donde el agua está a mayor temperatura. El serpentín (Figuras 2.49.a y 2.49.b) está unido al intercambiador de doble tubo y a la bomba. La leche sin pasteurizar llega al serpentín desde la bomba y cuando desciende por el serpentín la leche se calienta, se pasteuriza en algunos casos, y asciende por el serpentín. Si está pasteurizada llega al intercambiador de doble tubo y si no es así pasa por la fuente auxiliar. Es de 6 m de largo de $\frac{1}{2}$ " de diámetro.



Figuras 2.49.a y 2.49.b: Render y foto del serpentín.

BOMBA DE LECHE

En un principio se intentó que funcionara todo por circulación natural o termosifón, pero para adaptarse a las dimensiones del local, hubo que poner una bomba que contrarrestara las alturas y distancias que recorría el fluido.

Se estuvo buscando una bomba de agua para coches, pero con un diámetro tan pequeño no se encontró y se dio por imposible, por lo que se pasó a una bomba de leche aunque fuera más cara.

La bomba se ubicaría en el circuito secundario de leche, por tanto debería ser una bomba de acero inoxidable sanitario para asegurar las condiciones asépticas necesarias en toda instalación de productos alimenticios. Se pondría entre el intercambiador de doble tubo y el serpentín del fluido frío.

La selección de los equipos de bombeo se hace en base a la presión máxima de trabajo que deben asumir en las condiciones más exigentes de cada aplicación, así como el caudal volumétrico necesario. Es importante que el consumo eléctrico de estos equipos sea el menor posible para reducir el periodo de amortización y que además su rango de funcionamiento de acuerdo a las especificaciones del fabricante se encuentre en la zona de máximo rendimiento de la máquina.

Las bombas permiten además purgar la instalación de forma rápida y simple en caso de necesidad.



Entre los distintos tipos de bombas que comúnmente se emplean en estas instalaciones están las bombas rotodinámicas; en este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo y pueden subdividirse en:

- ◆ Radiales o centrífugas: el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.
- ◆ Axiales: fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.
- ◆ Diagonales o helicocentrífugas: la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

Según el tipo de accionamiento hay bombas neumáticas, de accionamiento hidráulico, manuales y electrobombas. [9]

En este caso, será bomba hidráulica, máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud [21]. Consta de un orificio de entrada (de aspiración) y otro de salida (de impulsión) [22] (Figura 2.50).

Entre sus inconvenientes hay que mencionar el mayor coste de la instalación y el consumo adicional de electricidad. De cualquier modo, está demostrado que el aumento de rendimiento de las instalaciones con circulación forzada compensa el coste adicional por la inclusión de una bomba y su correspondiente consumo eléctrico. Para especificar una bomba es necesario conocer el caudal del fluido que circula por la instalación, la diferencia de presiones que debe vencer, la altura neta positiva de aspiración, la potencia del motor eléctrico que la acciona, la temperatura del fluido y su composición química con objeto de prevenir la corrosión. En circuitos abiertos, este caso, donde hay que contar con la presencia de aire, es conveniente utilizar bombas centrífugas autoaspirantes. Es necesario asegurar, en cualquier caso, que la presión del fluido en la aspiración sea superior a la presión de vapor del líquido en las condiciones de presión y temperatura que se dan en la aspiración. [10]

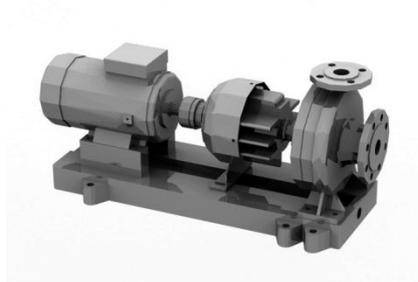


Figura 2.50: Render de la bomba de leche.



2.3.7. FUENTE AUXILIAR DE ENERGÍA (BIOMASA)

Cuando el calor útil obtenido de la radiación incidente sobre el absorbedor es menor que la carga térmica del proceso, es necesario utilizar una fuente de energía convencional, que se denomina fuente auxiliar, alimentada por combustible fósil o de otra procedencia. Hay que evitar la energía eléctrica.

Los combustibles fósiles, sólidos como el carbón o la biomasa; líquidos como el gasóleo C; o gaseosos como el propano, así como el gas natural se queman en calderas. La caldera es la fuente auxiliar más utilizada y su misión consiste en añadir a la carga el calor que la instalación solar no puede dar. Proporciona el calor que se necesita para que el fluido térmico del secundario alcance la temperatura correspondiente a la aplicación. Sin embargo, su instalación debe hacerse de forma que no afecte negativamente al rendimiento del colector.

Para cada instalación es necesario determinar la temperatura mínima de trabajo y a partir de esta integrar la fuente auxiliar de forma que no disminuya las horas de trabajo de la instalación solar.

La caldera debe utilizar combustibles que tengan el menor contenido posible de carbono y azufre para reducir al máximo la emisión de contaminantes. [10]

Se ha seleccionado una caldera de biomasa (residuos forestales). Se utilizará para los días que está nublado o la temperatura ambiente no sea suficiente para pasteurizar la leche, se pondrá en paralelo al conector caliente que une serpentín con el intercambiador de calor para calentar la leche que no se haya pasteurizado.

2.3.8. VÁLVULAS, INSTRUMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL Y DE MEDIDA

VÁLVULAS

Forman parte del circuito primario y secundario. Se utilizan para controlar el caudal, interrumpir o desviar el flujo del fluido térmico, y para mantener hermético el circuito. Pueden ser de control, de compuerta, de retención, de seguridad,...La válvula de control se utiliza para variar el caudal de fluido térmico que circula por la instalación; la de compuerta, para aislar otros componentes como el colector, el intercambiador o el tanque de almacenamiento; la válvula de retención para impedir que el fluido cambie el sentido del flujo cuando para la bomba; la de seguridad se abre cuando la presión en el circuito supera un valor límite. Todas ellas deben ser de buena calidad y se deben abrir y cerrar periódicamente para evitar que la oxidación las haga inservibles. [10]

Válvula de bola

Sirve para cortar el flujo de agua o leche a las horas en las que podría enfriar el agua del tanque acumulador en vez de calentar, por ejemplo durante la noche o los días nublados o no se vaya a pasteurizar (Figuras 2.51.a y 2.51.b).



Figuras 2.51.a y 2.51.b: Render de la válvula de bola entera y con corte.

Se pondrían dos en cada circuito. En el circuito primario, una antes del colector de entrada y otro a la salida de los colectores. En el circuito secundario, material de AISI 316, uno en el depósito de leche sin pasteurizar (antes del intercambiador de doble tubo) y otro en el depósito de leche pasteurizada (después del intercambiador de doble tubo).

Válvula de 3 vías

Se pondrán 4 en el circuito secundario, tienen que ser de acero inoxidable sanitario (Figura 2.52) su finalidad es permitir la modificación del funcionamiento del sistema. Dos válvulas harán que la leche que no sale pasteurizada sea conducida a la fuente auxiliar y las otras dos para dirigir la leche, que sale del intercambiador, hacia el serpentín o no dependiendo de su temperatura con respecto a la del tanque.



Figura 2.52: Render de la válvula de 3 vías.

Válvula antirretorno o retención

Se pone una en el circuito secundario. Entre la bomba y el intercambiador de calor. Impide el paso de fluido en sentido contrario cuando para la bomba (Figura 2.53).



Figura 2.53: Foto válvula antirretorno. [23]

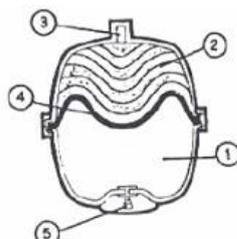
INSTRUMENTOS DE REGULACIÓN Y CONTROL

Vaso expansión

El fluido térmico contenido en los circuitos primario y secundario experimenta variaciones de temperatura durante el periodo de funcionamiento de la instalación, que generan también variación del volumen del líquido, que aumenta o disminuye cuando lo hace la temperatura. Debido a que los líquidos son incompresibles, el aumento del volumen genera altas presiones. Esta presión actúa sobre los componentes: tuberías, válvulas, bombas,...generando roturas y averías que causan la pérdida de estanqueidad del circuito y el derrame del fluido térmico. Para evitar estos inconvenientes se utiliza el vaso de expansión (Figura 2.54), que es un tanque dividido en dos partes por una membrana elástica. Una parte está llena de fluido térmico en contacto con el circuito que se trate; la otra mitad se llena con un gas inerte, por ejemplo nitrógeno o aire. Cuando aumenta la temperatura del fluido térmico se dilata, y la variación de volumen se traduce en un aumento de la presión que se traslada a la membrana, que se deforma, comprimiendo el aire o el gas, que absorbe la variación de presión. Cuando desciende la temperatura del fluido el gas se dilata recuperando el volumen inicial. [10]

Entre los tipos de vasos de expansión comunes hay: vasos de expansión abiertos (en comunicación con la atmósfera) y vasos de expansión cerrados. Los cerrados permiten presiones superiores a la atmosférica por lo que el riesgo de ebullición es menor, además de reducir las pérdidas y de posibilitar su instalación en cualquier punto del circuito. [9]

Se utilizarán dos cerrados, uno para cada circuito. El del secundario tendrá que ser de acero inoxidable sanitario.



- 1: Cámara de gas.
- 2: Cámara de expansión del fluido.
- 3: Conexión a la instalación.
- 4: Membrana elástica.
- 5: Válvula de llenado de gas.

Figura 2.54: Componentes del vaso de expansión cerrado. [1]



Se muestra a continuación dónde se pondrían las válvulas y los vasos de expansión (Figura 2.55).

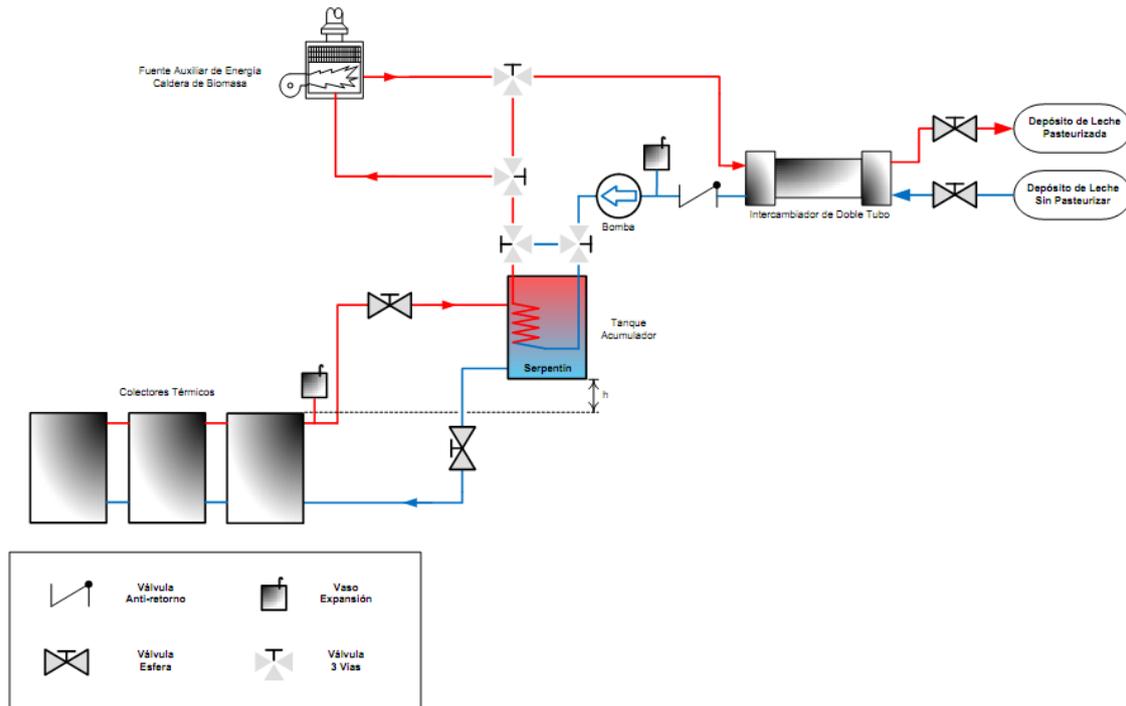


Figura 2.55: Esquema de la instalación con las válvulas y vasos de expansión.

Purgador de aire

Tiene la misión de evacuar el aire que se introduce en el interior de los circuitos. La extracción del aire hay que realizarla en el momento de la puesta en marcha de la instalación. Por lo tanto es útil prever buenas salidas de aire, para que el fluido térmico lo expulse progresivamente a medida que llene completamente los circuitos. Además, desde el punto de vista de la transferencia de calor, el aire es un gas incondensable que actúa de aislante térmico en los puntos donde se acumula, dificultando la transferencia de calor. También dificulta el funcionamiento del equipo de bombeo. Puede penetrar en los circuitos cuando éstos pierden la estanqueidad, bien por rotura de las tuberías, bien por el cierre defectuoso de las bombas,...

El purgador (Figura 2.56) se instala en los puntos más altos del sistema, para aprovechar la tendencia del aire a ocupar las zonas más altas como consecuencia de su menor densidad respecto al agua. [10]

Una buena forma de evitar un uso excesivo de estos dispositivos es configurar la red de tuberías de la forma más simple posible, evitando recodos y transiciones intrincadas, lugares ideales para la acumulación del aire.

Se pondría en el circuito primario en el tanque acumulador.

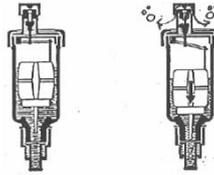


Figura 2.56: Esquema purgador de aire. [1]

INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Termómetro

Necesario para medir la temperatura del fluido térmico (Figura 2.57).

En el circuito primario, se ponen dos. Uno antes del colector de entrada y otro en el colector de salida.

En el tanque acumulador, tres. Abajo (temperatura fría), medio (temperatura media) y arriba (temperatura caliente).

En el circuito de la leche, cuatro. En las cuatro salidas del intercambiador de doble tubo.

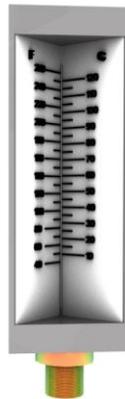


Figura 2.57: Render del termómetro.

Manómetro

Para medir la presión (Figura 2.58) del agua en el circuito primario. Uno en la entrada del colector y otro en el colector de salida.



Figura 2.58: Render del manómetro.



2.3.9. CIRCUITO DE LIMPIEZA

Después de pasteurizar hay que limpiar bien todo el circuito secundario para que no quede ninguna bacteria o grasa.

Circuito auxiliar que permite la limpieza del tanque de leche pasteurizada y sin pasteurizar. El circuito sería una manguera que conecta el tanque acumulador (el agua se cogería de la parte de arriba del tanque acumulador, es decir, la parte del tanque que por estratificación está más caliente como se explicó anteriormente y se mezclaría con cloro para que limpie mejor) con una bomba manual (Figura 2.59) que también iría al depósito de leche sin pasteurizar para que pase por todo el circuito secundario llegando al final al depósito de leche pasteurizada. Para garantizar el mantenimiento del nivel de agua se instalará un grifo para introducir el agua que se ha usado para la limpieza de la instalación.

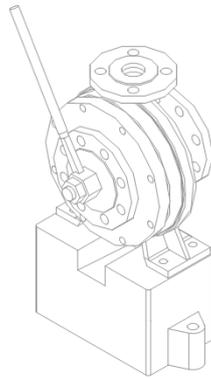


Figura 2.59: Vista en 3D de la bomba manual en AutoCAD.

2.3.10. BOTELLA DE MARIOTTE

El frasco de Mariotte podría ser un elemento a incorporar en mejoras futuras, con él se consigue una velocidad de efusión constante simultáneamente para un líquido y un gas. Este aparato facilitaría una mayor eficiencia del conjunto. (Figura 2.60). Por A y B no emerge agua, mientras que por C el chorro de agua es uniforme. [24]

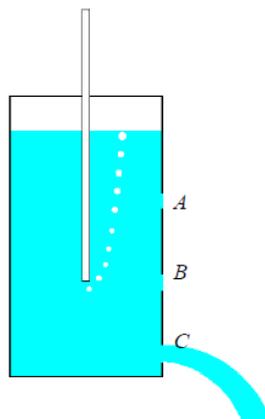


Figura 2.60: El Frasco de Mariotte. [24]



2.3.11. SISTEMA COMPLETO

En el tiempo de estancia en Nicaragua solamente se pudieron construir los colectores y montar el circuito primario con los aparatos de medida (Figuras 2.61, 2.62 y 2.63).



Figura 2.61: Render del circuito primario.

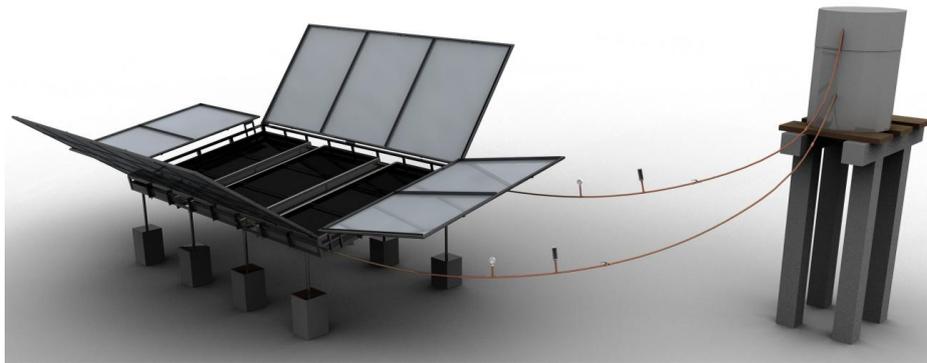


Figura 2.62: Render desde otra perspectiva del circuito primario.



Figura 2.63: Foto del circuito primario construido en Nicaragua.



Del circuito secundario se compraron los componentes salvo la bomba de leche, pero no se llegó a montar. A continuación se muestra un esquema de cómo debería ser (Figuras 2.64 y 2.65):

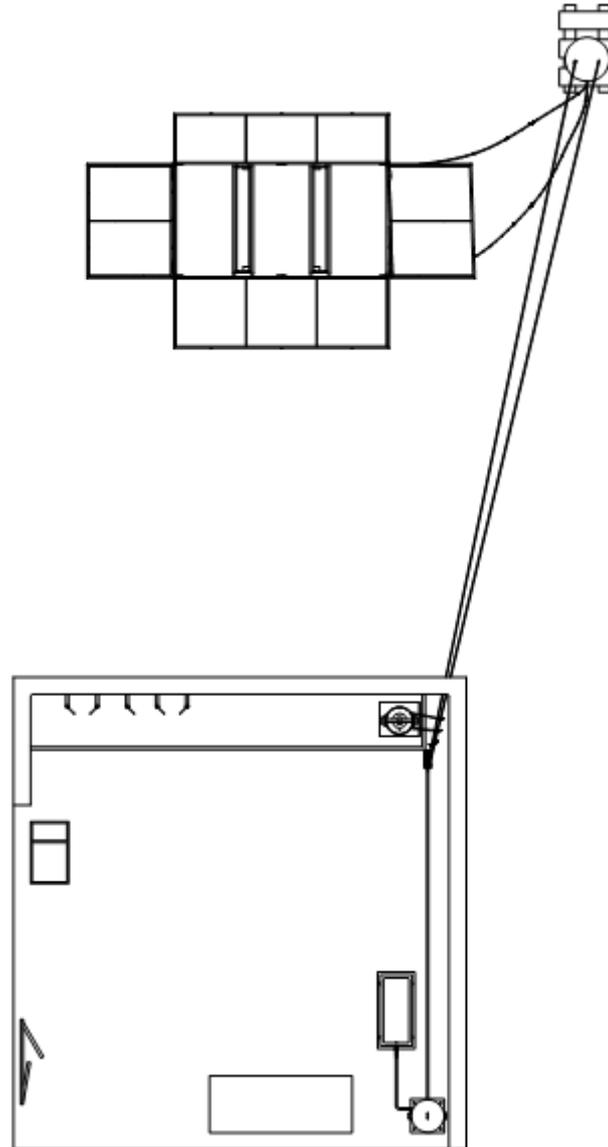


Figura 2.64: Planta del sistema de pasteurización en AutoCAD.

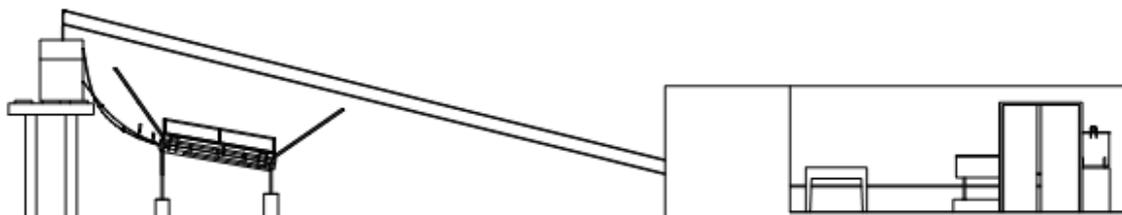


Figura 2.65: Vista lateral del sistema de pasteurización en AutoCAD.

CAPÍTULO 3:

ESTUDIO

EXPERIMENTAL



3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se estudiará la posición relativa entre el Sol y la Tierra, se analizará la radiación solar, se realizará el cálculo de la radiación solar sobre un plano inclinado y la corrección de la misma con la orientación de la superficie. Se explicará cómo se tomaron los datos para calcular el gasto másico y la temperatura de entrada y salida del colector para un circuito primario cerrado, distinguiendo dos casos “con un colector” y “tres colectores en paralelo”. Asimismo, se detallarán los pasos que hubo que realizar para poder montar el circuito primario del sistema de la pasteurización y el montaje de los reflectores y se analizarán los resultados obtenidos.

3.2. CARACTERÍSTICAS SOLARES Y RADIACIÓN SOLAR

El Sol es el objeto de mayores dimensiones del Sistema Solar (de hecho contiene más del 99% de la masa del mismo), es la estrella más cercana a la Tierra y su fuente principal de energía, manifestada fundamentalmente en forma de luz y calor.

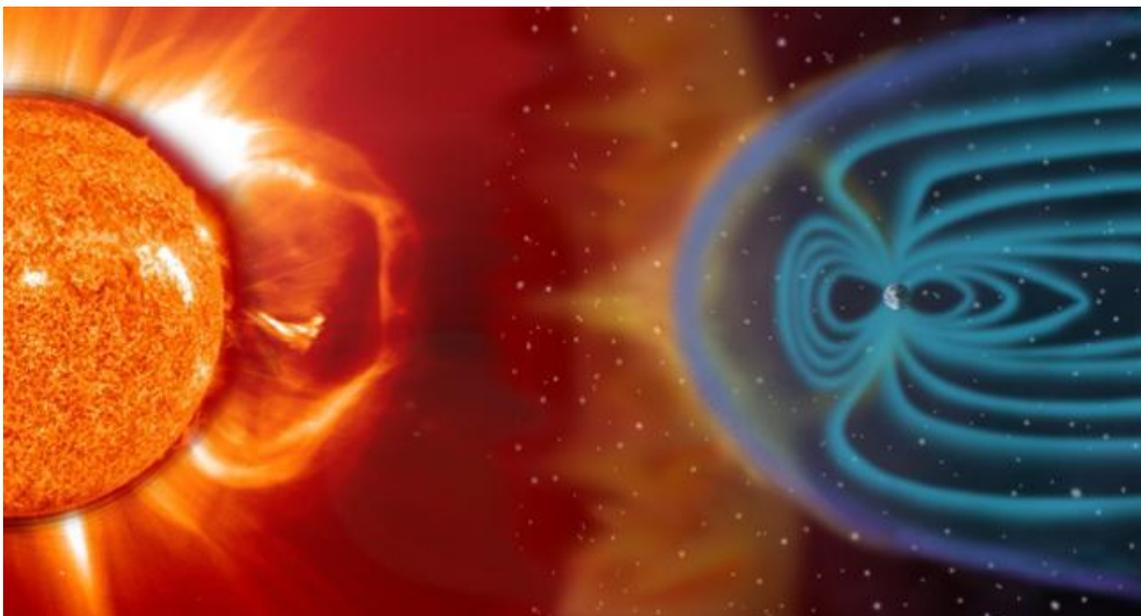


Figura 3.1: Variabilidad solar sobre el clima de la Tierra. [25]

3.2.1 ESTRUCTURA SOLAR

La estructura solar se divide en distintas capas concéntricas. Las capas con que cuenta el Sol desde el interior al exterior del mismo son (Figura 3.2):

- ◆ Núcleo: se trata de la capa más interna del astro en la cual se produce la generación energética, se encuentra a una temperatura de unos $15,6 \cdot 10^6$ K.
- ◆ Zona radiactiva: es la zona en la cual los fotones que transportan la energía procedente del núcleo son continuamente absorbidos y reemitidos en otra dirección distinta de la original. El viaje de los fotones puede llegar a durar unos 100.000 años.



- ◆ Zona convectiva: en esta capa las columnas de gas calientes ascienden, se enfrían y vuelven a descender, luego la transferencia de calor será principalmente convectiva.
- ◆ Fotosfera: es la superficie solar que se puede apreciar desde la Tierra, se encuentra a una temperatura aparente de unos 5.800 K y desde ella se irradia luz y calor al espacio exterior. La fotosfera cuenta con zonas de menor temperatura (incluso 1.000 K menos), conocidas como manchas solares debido a que por contraste con el resto se aprecian como zonas oscuras.
- ◆ Cromosfera: esta zona puede observarse únicamente durante un eclipse de Sol, está compuesta por gases enrarecidos y en ella existen fortísimos campos magnéticos.
- ◆ Corona: se trata de una capa de gran extensión que cuenta con una bajísima densidad. Al igual que la cromosfera se compone de gases enrarecidos y en ella los campos magnéticos son gigantescos.

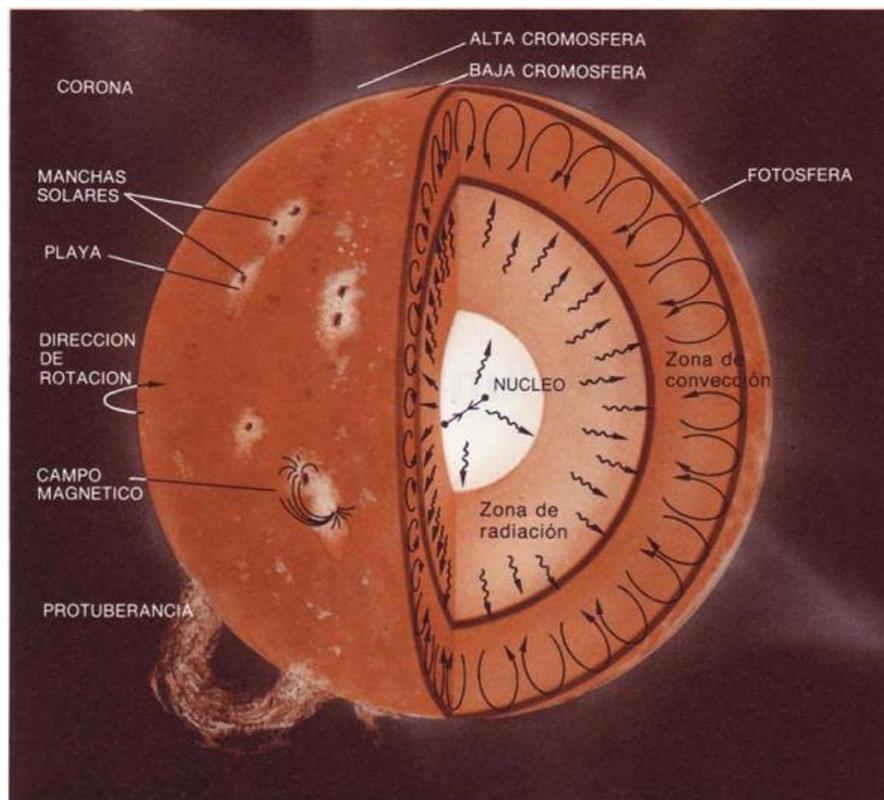


Figura 3.2: Estructura solar. [3]

3.2.2 MOVIMIENTOS DEL SOL

El Sol, como el resto del universo, no se mantiene en una posición fija, de hecho cuenta con un movimiento de traslación y otro de rotación.

- ◆ Movimiento traslacional: del mismo modo que el resto de estrellas cercanas, tanto el Sol como el resto del Sistema Solar cuentan con un movimiento de traslación alrededor del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Este movimiento se produce con



una velocidad de 216 km/s, de modo que se invierten unos 230 millones de años en realizar una órbita completa.

- ♦ **Movimiento rotacional:** las capas superficiales del Sol presentan una rotación diferencial alrededor de su núcleo, es decir, la velocidad de rotación en la zona ecuatorial diferirá de la de los polos, de hecho el periodo de rotación en la zona ecuatorial es de unos 25,4 días mientras en los polos es de unos 36 días. Este extraño fenómeno se debe a que a diferencia de la Tierra, el Sol no es un cuerpo sólido. La rotación diferencial se extiende desde las capas superficiales al interior del Sol considerablemente, no obstante, el núcleo solar gira como un cuerpo sólido.

3.2.3 POSICIÓN SOLAR

El Sol cuenta con un radio unas 109 veces mayor al de la Tierra, no obstante, su densidad media es inferior ya que se compone fundamentalmente de elementos ligeros, su masa supera a la de la Tierra en unas 332.600 veces.

COMPONENTES DE LA RADIACIÓN EN SUPERFICIE

Para entender la importancia de que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre la superficie terrestre está el concepto de masa de aire (Figura 3.3). La masa de aire se define como la longitud recorrida por la radiación solar a lo largo de la atmósfera terrestre, tomando como unidad el recorrido en dirección radial hasta el nivel del mar.

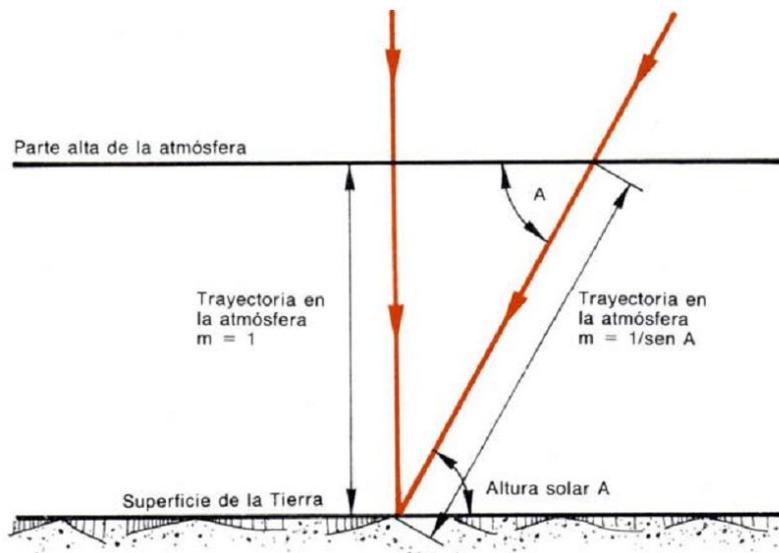


Figura 3.3: Concepto de masa de aire. [3]

Cuanto menor sea la masa de aire, es decir, cuanto más perpendicularmente incidan sobre la atmósfera los rayos solares, mayor será la radiación solar que incide sobre el suelo ya que la atmósfera (compuesta de gases, nubes y partículas sólidas en suspensión) actúa sobre la radiación como un filtro, produciéndose en ella fenómenos de absorción, difusión, dispersión y reflexión (Figura 3.4), de modo que la radiación que alcanza la superficie terrestre resulta ser muy inferior a la que incide sobre la atmósfera. [3]

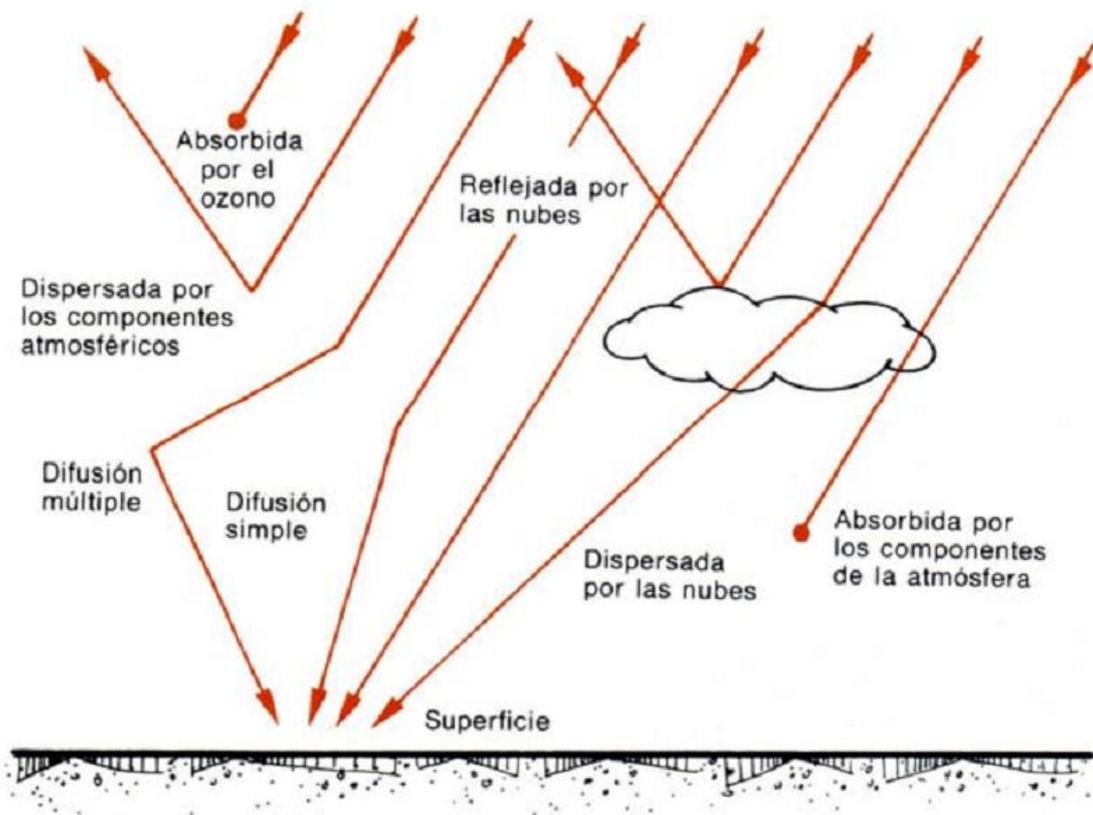


Figura 3.4: Interacción de la radiación solar con la atmósfera terrestre. [3]

Como resultado de la interacción de la radiación solar con la atmósfera la energía que llega a la superficie tiene diferentes componentes:

- ◆ Radiación directa: no ha sufrido ninguno de los citados fenómenos y llega a la superficie en la dirección del disco solar.
- ◆ Radiación difusa: procede del resto de direcciones de la atmósfera terrestre.
- ◆ Radiación reflejada: un captador inclinado también puede recibir radiación previamente reflejada en el suelo.
- ◆ Radiación global: el conjunto de radiaciones que alcanza la superficie. [1]

DISTANCIA SOL - TIERRA

La distancia entre el Sol y la Tierra es, en valor medio, de $1,495 \cdot 10^{11}$ m y se le denomina unidad astronómica (UA). Sin embargo, el movimiento que describe la Tierra alrededor del Sol no es circular sino elíptico, con excentricidad de un 3%, conociéndose el plano en que se desarrolla dicho movimiento como plano de la eclíptica (Figura 3.5). En dicho movimiento elíptico el Sol queda situado en uno de los focos de modo que la distancia Sol - Tierra variará diariamente. [3]

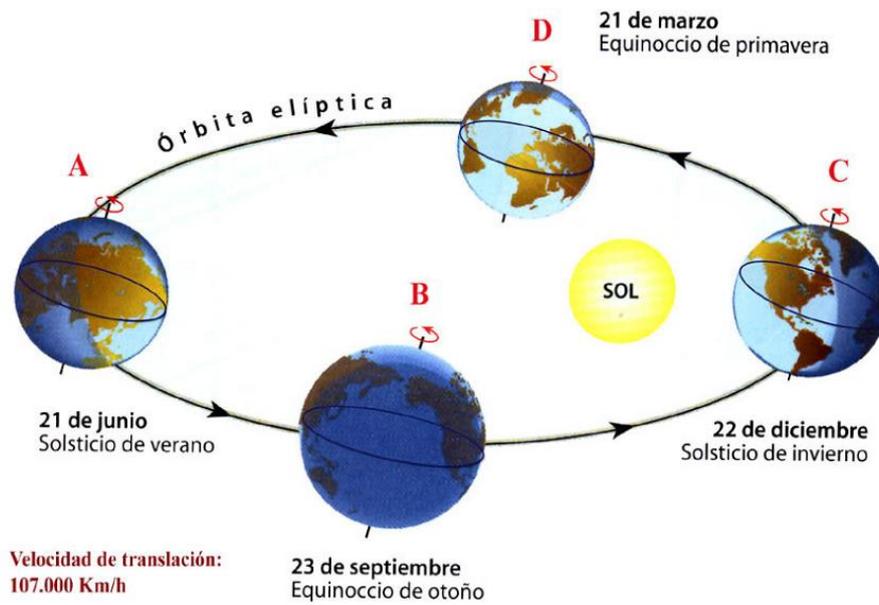


Figura 3.5: Movimiento de translación de la Tierra alrededor del Sol. [1]

La distancia entre el Sol y Tierra diaria puede ser calculada por medio de la siguiente expresión:

$$r^2 = \frac{r_0^2}{1,000110 + 0,034221 \cdot \cos(\Gamma) + 0,00128 \cdot \sin(\Gamma) + 0,000719 \cdot \cos(2\Gamma) + 0,000077 \cdot \sin(2\Gamma)} \quad (3.1)$$

Donde r_0 es la unidad astronómica y Γ , en radianes, se calcula conocido el número de día del año (n) como:

$$\Gamma = \frac{2 \cdot \pi \cdot (n - 1)}{365} \quad (3.2)$$

El resultado obtenido se muestra en la Figura 3.6.

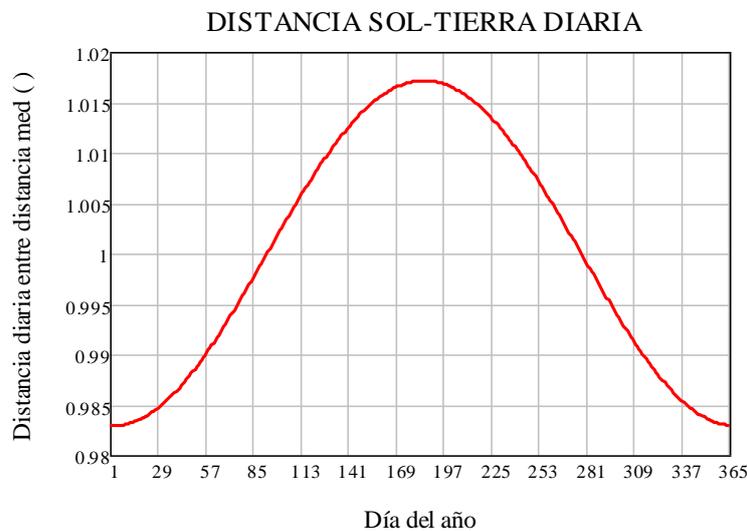


Figura 3.6: Distancia Sol – Tierra diaria.



Analizando la Figura 3.6 se observa que, curiosamente, durante los meses de invierno en el hemisferio Norte (primeros y últimos días del año) la distancia entre el Sol y la Tierra es mínima, maximizándose la misma en los meses de verano. Este hecho podría resultar extraño ya que de todos es sabido que las temperaturas durante los meses de invierno son muy inferiores a los meses de verano, para explicar esta aparente contradicción se pasa a explicar el siguiente parámetro para determinar la posición relativa entre Sol y Tierra, la declinación.

DECLINACIÓN

Además del movimiento de traslación alrededor del Sol descrito en la Figura 3.5, la Tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje que cruza los polos. La inclinación de ese eje con respecto a la normal del plano de la eclíptica permanece constante e igual a $23,45^\circ$, de modo que el ángulo formado por la línea que une los centros del Sol y la Tierra y el plano ecuatorial varíe continuamente. Este ángulo se conoce como declinación solar (δ), y puede calcularse para cada día del año como:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \quad (3.3)$$

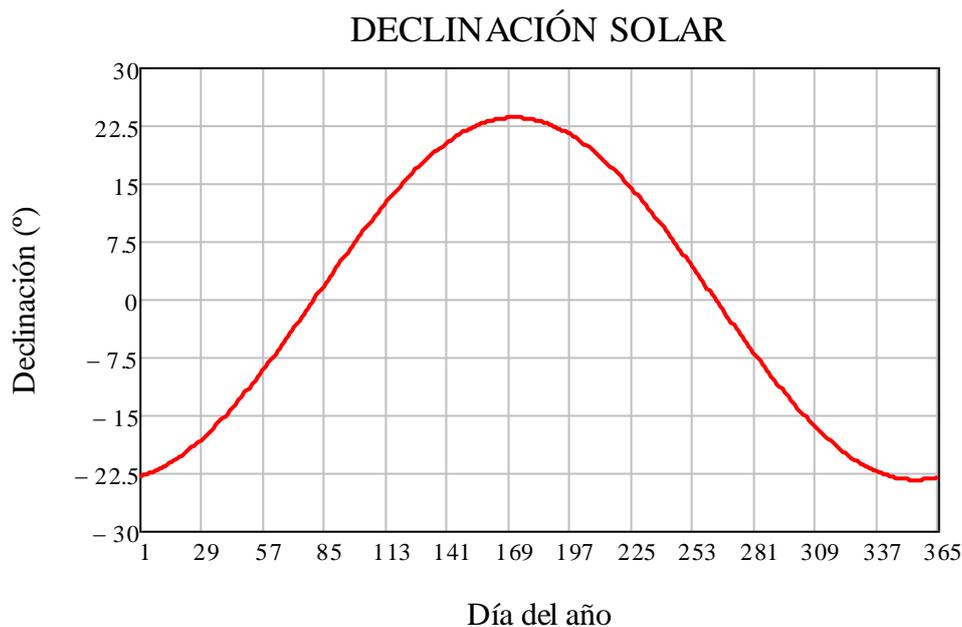


Figura 3.7: Declinación solar diaria.

En la Figura 3.7 se observa que varía entre $23,45^\circ$ el día de solsticio de verano y $-23,45^\circ$ el día del solsticio de invierno. Como durante los días centrales del año la declinación es positiva y durante los días iniciales y finales es negativa, es decir, durante los días centrales los rayos solares inciden más perpendicularmente sobre el hemisferio Norte, por lo tanto, será verano en este hemisferio e invierno en el hemisferio Sur, y durante los días iniciales y finales del año los rayos solares inciden más perpendicularmente sobre el hemisferio Sur el cual disfrutará del verano, mientras es invierno en el hemisferio Norte. Observando la Figura 3.5 se puede ver gráficamente este fenómeno. [3]



El Sol se sitúa en la perpendicular al plano del horizonte un instante al año, al mediodía del solsticio de verano y de invierno, respectivamente en los lugares extremos de latitud: los trópicos de Cáncer (23,45° Norte) y de Capricornio (23,45° Sur). [1]

ÁNGULO HORARIO

El ángulo horario (ω) para un punto determinado de la Tierra es aquel que forman dos planos que contienen al eje de rotación de la Tierra, uno de los cuales pasa por la localización deseada y el otro por el Sol. Cuando el Sol está en su cenit (punto más alto en que se encuentra el Sol en un día), es decir, a las 12 horas solares, el ángulo horario será 0° y contará con valores negativos antes de este punto y positivos después del mismo, a razón de 15° por hora dada la velocidad de giro de la Tierra (gira sobre sí misma describiendo un giro completo, es decir, 360°, en un periodo aproximado de 24 horas, de modo que, dado que la velocidad de giro permanece constante, describirá un giro de unos 15° cada hora).

Por lo tanto, el ángulo horario dependerá de la hora solar exclusivamente, “hora”, tal como se muestra en la ecuación y en la Figura 3.8.

$$\omega = \frac{15^\circ}{h} \cdot (hora - 12h) \quad (3.4)$$

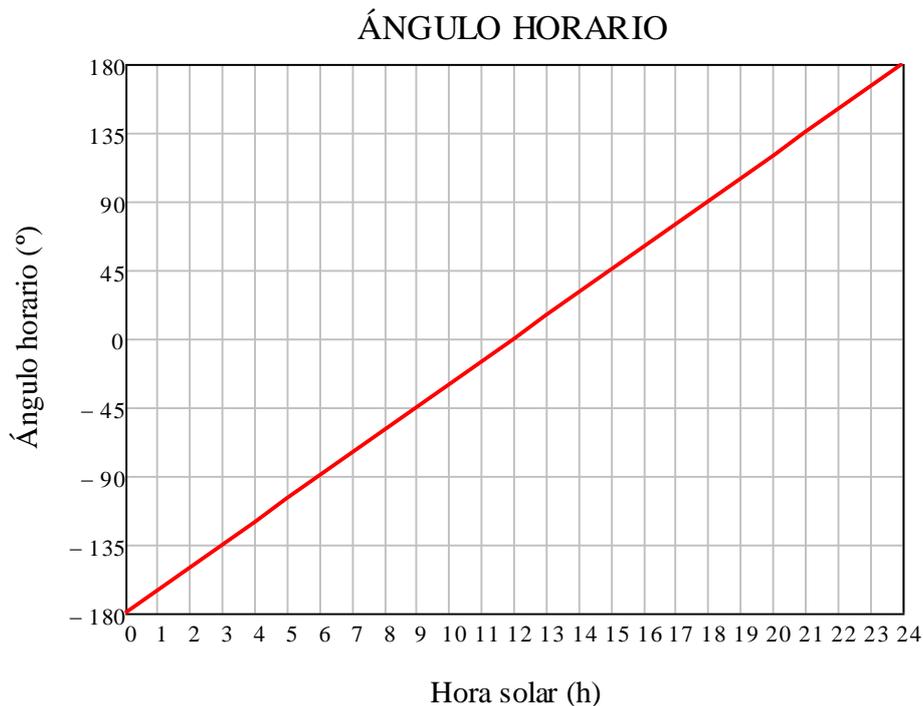


Figura 3.8: Ángulo horario.

ALTURA SOLAR Y ÁNGULO CENITAL

La altura solar (α) se define como el ángulo que forma con la horizontal una línea que une a observador con el Sol. Varía entre 0° y 90°. Para calcular la altura solar se emplea la siguiente expresión.



$$\alpha = \text{asin}(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)) \quad (3.5)$$

Donde ϕ es la latitud del lugar considerado, que para el caso de Managua es de 12,14°.

En vista de la ecuación se comprueba como la altura solar depende del momento del año en que nos encontremos (a través de la declinación), de la hora del día (a través del ángulo horario) y de la posición en que nos encontremos (a través de la latitud) (Figura 3.9).

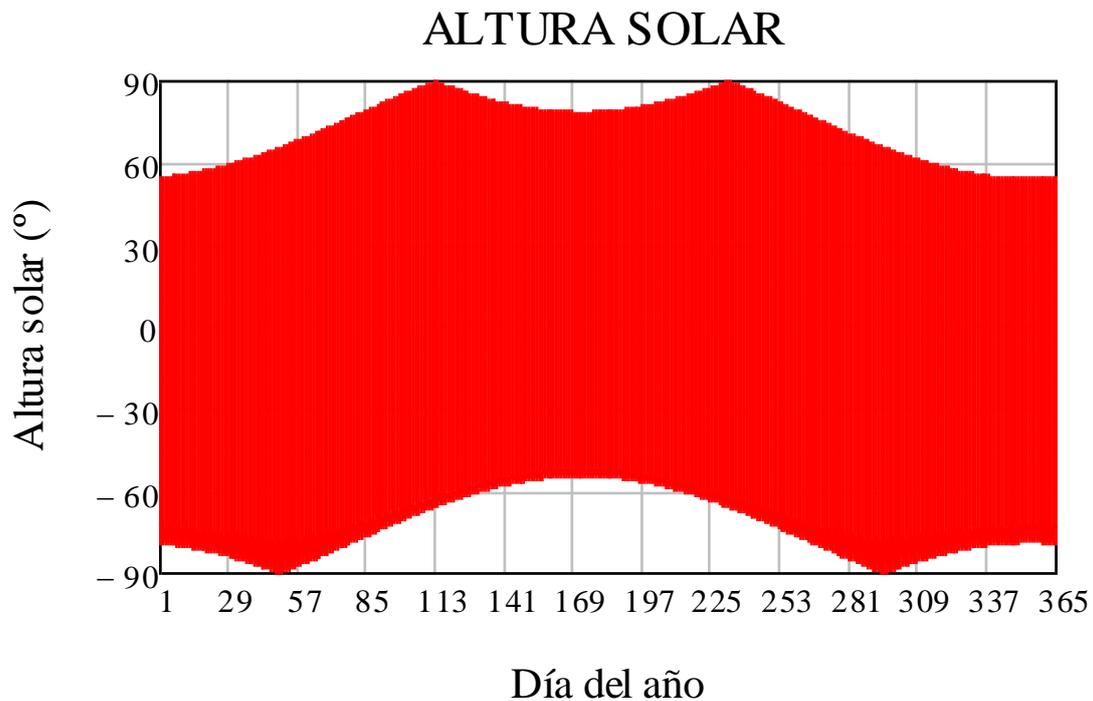


Figura 3.9: Altura solar.

Observando la Figura 3.9, la altura solar varía a lo largo del día dependiendo de la hora, al empezar el día su valor es negativo hasta llegar a las 12h que es su máximo valor y hasta terminar el día que vuelve a bajar. La altura solar es superior durante el periodo de verano, en la que al ser menor la masa de aire, se alcanzarán mayores valores de radiación.

El ángulo complementario a la altura solar, es decir el formado por la línea que une al observador con el Sol y la normal a la superficie, se conoce como ángulo cenital (θ_z). El ángulo cenital puede ser calculado conocidos el ángulo horario, la latitud y la declinación del mismo modo que se hizo con la altura solar.

$$\theta_z = \text{a cos}(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)) \quad (3.6)$$

En caso de conocer la altura solar, inmediatamente se obtendría el ángulo cenital y viceversa pues, como se decía anteriormente, ambos ángulos son complementarios. [3]

$$\theta_z = 90 - \alpha \quad (3.7)$$



ÁNGULO CENITAL

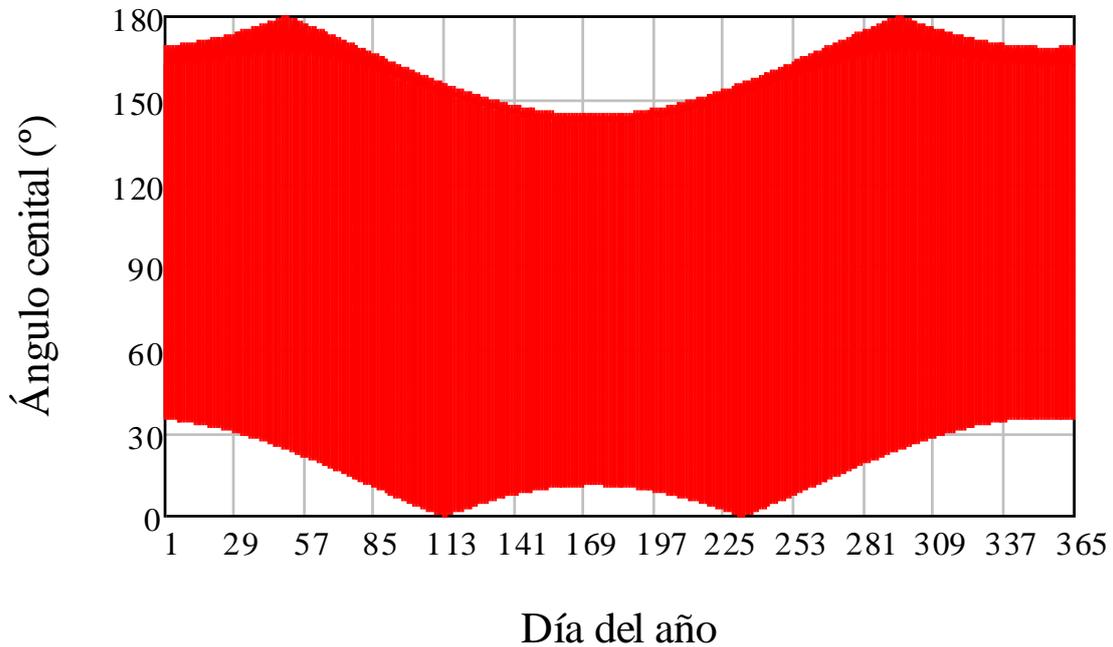


Figura 3.10: Ángulo cenital.

Comparando las Figuras 3.9 y 3.10, se observa que son complementarias.

Desde el punto de vista de un observador sobre la superficie de la Tierra, el Sol parece describir un arco de círculo desde su salida hasta su puesta. En la Figura 3.11 se puede apreciar gráficamente la diferencia entre la altura solar en invierno y en verano. [1]

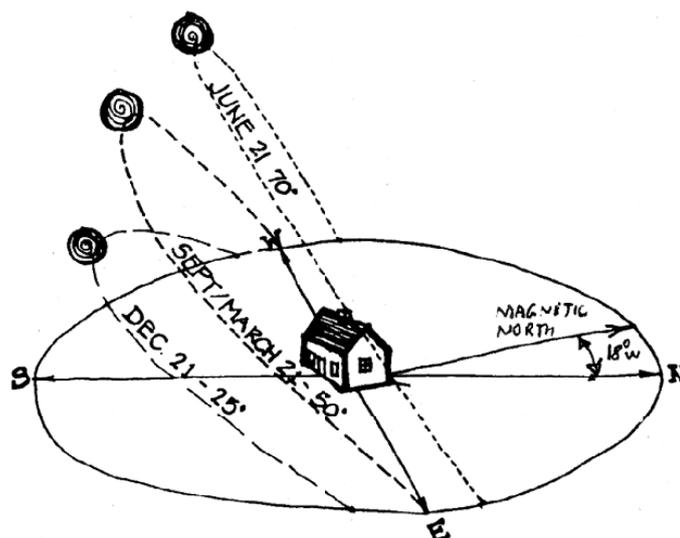


Figura 3.11: Trayectoria del Sol desde el punto de vista de un observador en la Tierra. [11]

En la Figura 3.11 se observa claramente la variación de la altura solar a lo largo del año, los valores máximo y mínimo de la altura solar dependerán de la latitud del lugar estudiado.

ÁNGULO AZIMUTAL

El ángulo azimutal (γ_s) es aquel que forma la proyección sobre la superficie terrestre de la línea que une al observador con el Sol y la dirección sur (Figura 3.12). El ángulo azimutal toma valor 0° cuando el Sol se sitúa sobre la dirección sur, valores negativos cuando se encuentra hacia el este y valores positivos cuando se posiciona hacia el oeste. [3]

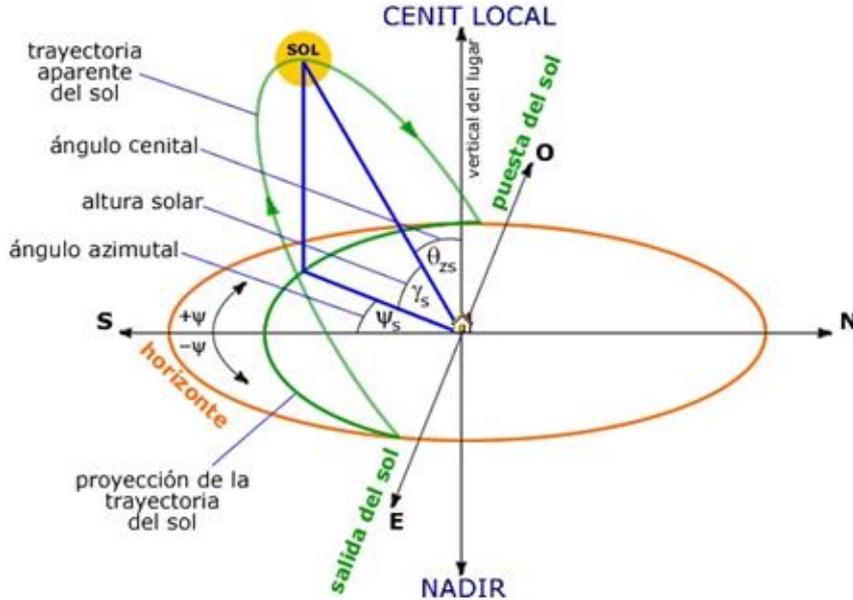


Figura 3.12: Posición del Sol. [26]

Para calcular el ángulo azimutal se debe conocer la declinación, la latitud y bien la altura solar o el ángulo cenital [27].

$$\gamma_s = \text{sign}(\omega) \cdot \left| a \cos \left(\frac{\cos \theta_z \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta_z \cdot \cos \phi} \right) \right| = \text{sign}(\omega) \cdot \left| a \cos \left(\frac{\sin \alpha \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cdot \cos \phi} \right) \right| \quad (3.8)$$

ÁNGULO AZIMUTAL

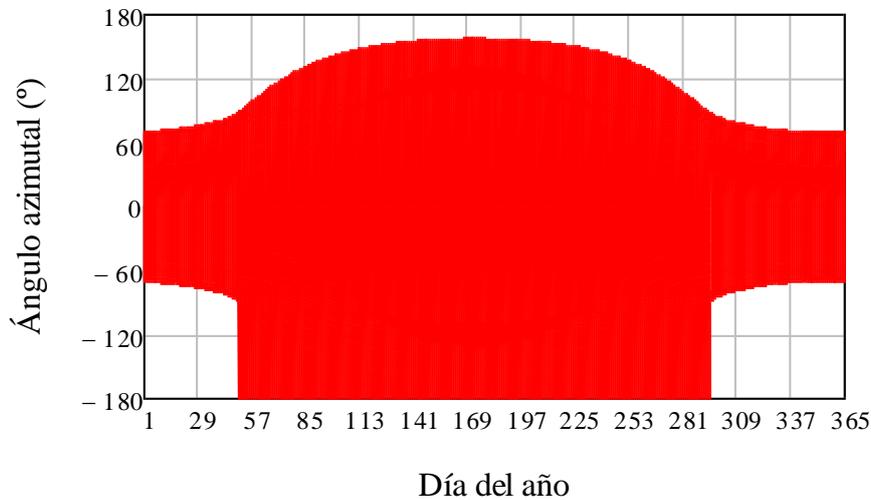


Figura 3.13: Ángulo azimutal.



En la Figura 3.13 se observa que en los días de verano el ángulo que abarca es mucho mayor que en los días de invierno.

Según el sistema de referencia escogido, la posición del Sol se puede referir en dos sistemas de coordenadas centradas en el observador: horarias (δ declinación, ω ángulo horario) y horizontales (α altura solar, γ_s azimut). Estas coordenadas determinan el vector solar entendido como un vector con origen en el observador y extremo en el Sol. [1]

A continuación, se muestra una solarigrafía (Figura 3.14) de la trayectoria del Sol durante meses, la curva más alta es el solsticio de verano y la más baja la de invierno. En el eje x se representaría el ángulo acimutal y en el eje y la altura solar.

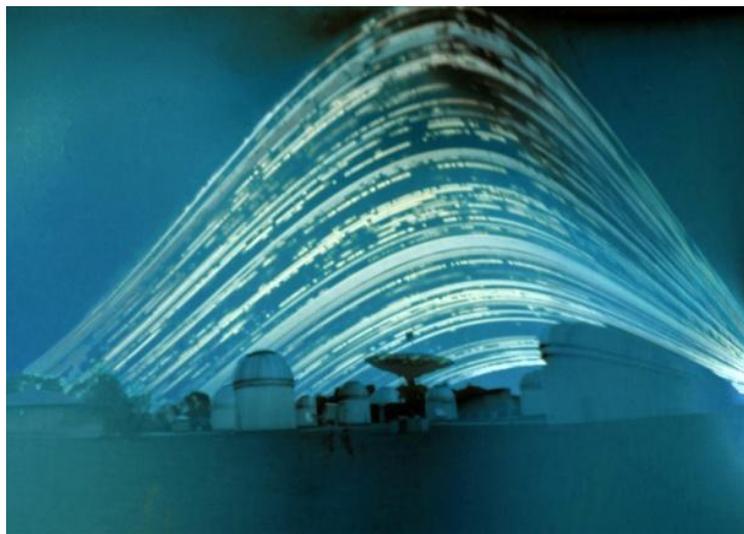


Figura 3.14: Solarigrafía. Altura solar vs Ángulo azimutal. [28]

Se ha calculado en Mathcad para la latitud de Managua la gráfica altura solar vs ángulo acimutal (Figura 3.15).

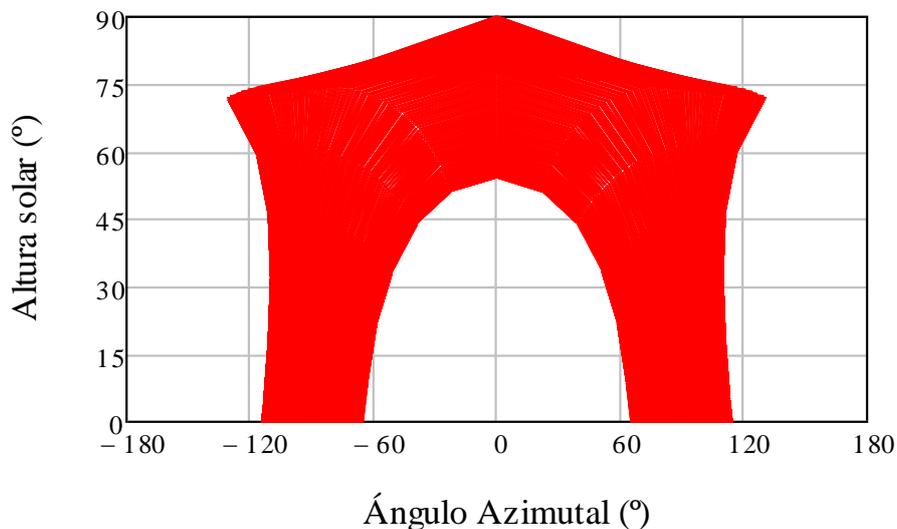


Figura 3.15: Altura solar vs Ángulo azimutal.



La latitud de Managua, está próxima al Ecuador por lo que la curva más interna es de 50° como se aprecia en la Figura 3.15, mientras que en la Figura 3.14 que corresponde a un lugar más al norte es de unos 15°.

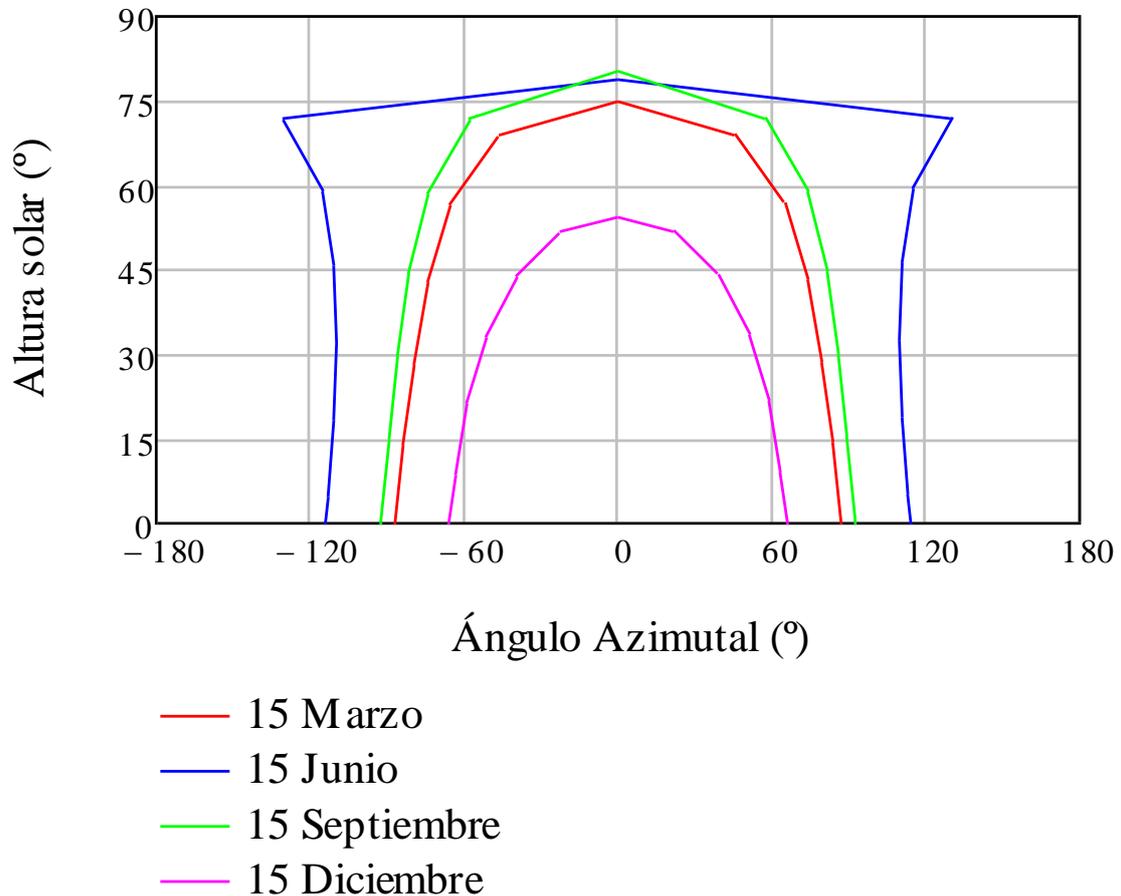


Figura 3.16: Altura solar vs Ángulo acimutal diferentes días del año.

En la Figura 3.16 se observa que la curva más interna se produce en diciembre y la más externa en junio, es en el mes de septiembre cuando se alcanza el mayor valor de la altura solar a las 12h solares (correspondiéndose a un ángulo azimutal 0°).

ÁNGULO DE SALIDA Y PUESTA DEL SOL

El ángulo de salida y puesta del Sol (ω_{sh}) es el ángulo con respecto a la dirección sur en que el Sol aparece y se pone. Dada la simetría existente el ángulo de salida coincidirá con el de puesta del Sol.

Para calcular el ángulo de salida y puesta del Sol debemos conocer la declinación y la latitud.

$$\omega_{sh} = \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)) \quad (3.9)$$

En la Figura 3.17 el máximo valor se produce en el solsticio de verano (día con mayor número de horas de Sol) y el mínimo en el de invierno (día con menor número de horas de Sol).

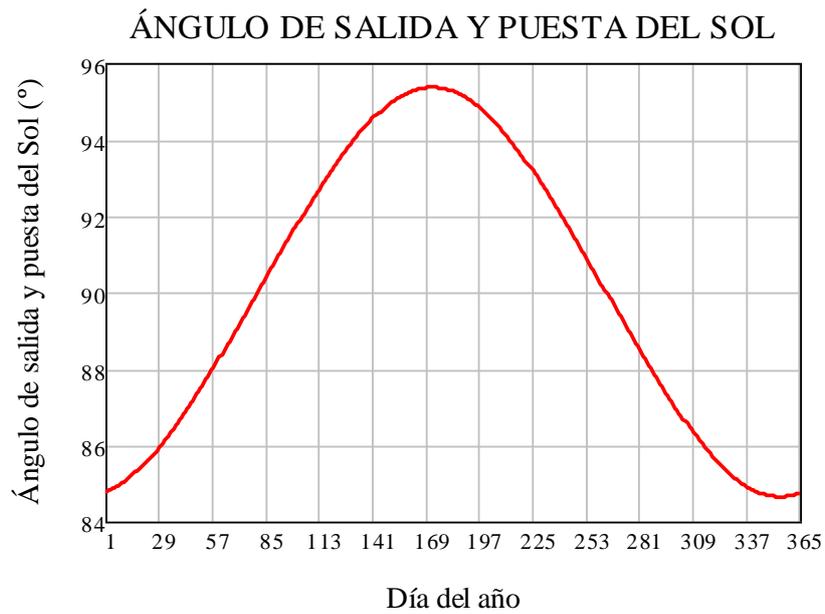


Figura 3.17: Ángulo de salida y puesta del Sol.

DURACIÓN DEL DÍA

Conocido el ángulo de salida y puesta del Sol se puede conocer la duración del día (DD) que será, en grados, el doble de dicho ángulo. Si se quiere conocer la duración del día en horas se debe dividir el valor anterior entre 15, ya que dada la velocidad de giro de la Tierra una hora se corresponde con 15°. [3]

$$DD = \frac{2 \cdot \omega_{sh}}{\frac{15^\circ}{h}} \quad (3.10)$$

Observando gráficamente la duración horaria del día a lo largo del año (Figura 3.18).

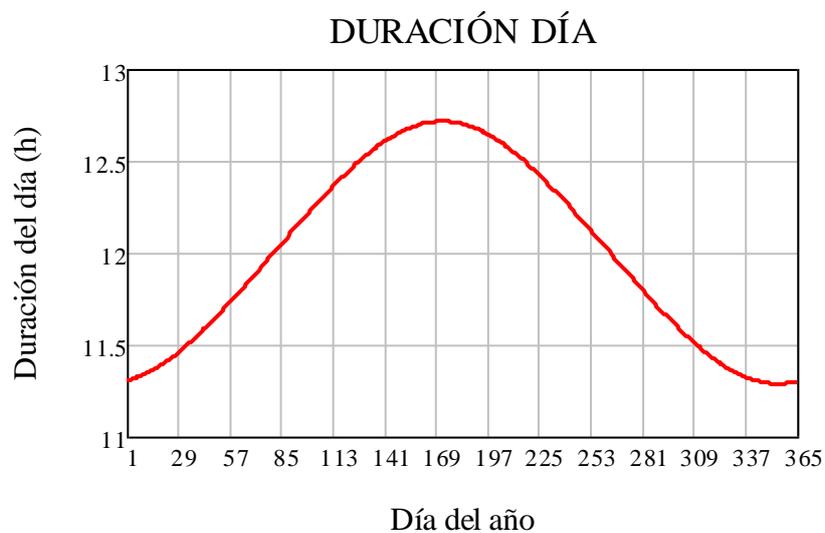


Figura 3.18: Duración horaria del día para la latitud correspondiente a Managua.



En el gráfico se observa que los días resultan ser más largos durante los meses de verano. Dicho fenómeno puede contemplarse también en la Figura 3.11, en la cual se observa claramente que el camino recorrido por el Sol es mayor durante el verano, lo cual se traduce en una mayor duración de los días.

3.2.4 MANAGUA

Nicaragua se encuentra en Centroamérica en el hemisferio Norte, la capital es la ciudad de Managua. Está ubicada a la orilla sur del Lago de Xolotlán o Lago de Managua.

Para la realización del presente proyecto se cuenta con los datos de irradiación solar sobre una superficie horizontal, temperatura atmosférica y velocidad del viento. Se analizarán los datos en los siguientes apartados, no obstante, para calcular la irradiación sobre el plano inclinado se necesita la radiación sobre superficie horizontal.

Yader Barrera, profesor de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, FARENA, de la UNA pidió los datos de temperatura y viento a la Estación Meteorológica Principal en el Aeropuerto A. C. Sandino. El problema es que solamente dan el máximo, mínimo y la media de cada día, pero no dan los datos para cada hora, por lo que hubo que acudir también a la página que se consultó para obtener los datos de irradiación, más concretamente a la del departamento de Energía de EEUU (Eficiencia energética y energías renovables) donde se pueden encontrar datos de meteorología de más de 2100 localidades; 1042 en EEUU, 71 en Canadá y más de 1000 en otros 100 países de todo el mundo. Los datos están recopilados por regiones y países por la Organización Mundial de Meteorología [29].

Estos datos se combinaron con los de temperatura atmosférica y velocidad del viento de la página web [30].

Managua es una de las capitales más cálidas de Centroamérica que por su ubicación en el trópico y a no mucha altura fácilmente alcanza en el día los 35°C y por la noche 24°C.

El clima en Nicaragua es tropical, hay dos estaciones: la seca y la húmeda. Los meses de duración de cada estación varía en función del año, una buena aproximación sería decir que los meses de la estación seca abarcan desde mediados del mes de Octubre hasta Abril incluido y la estación lluviosa el resto del año.

Para los datos disponibles se ha decidido delimitar la estación seca o verano desde el día 21 de Octubre hasta el 21 de Abril, y la estación húmeda o invierno desde el 22 de Abril hasta el 20 de Octubre.

Dada la situación geográfica de Nicaragua, es sin duda un país con gran potencial solar. En la Figura 3.19 queda patente.

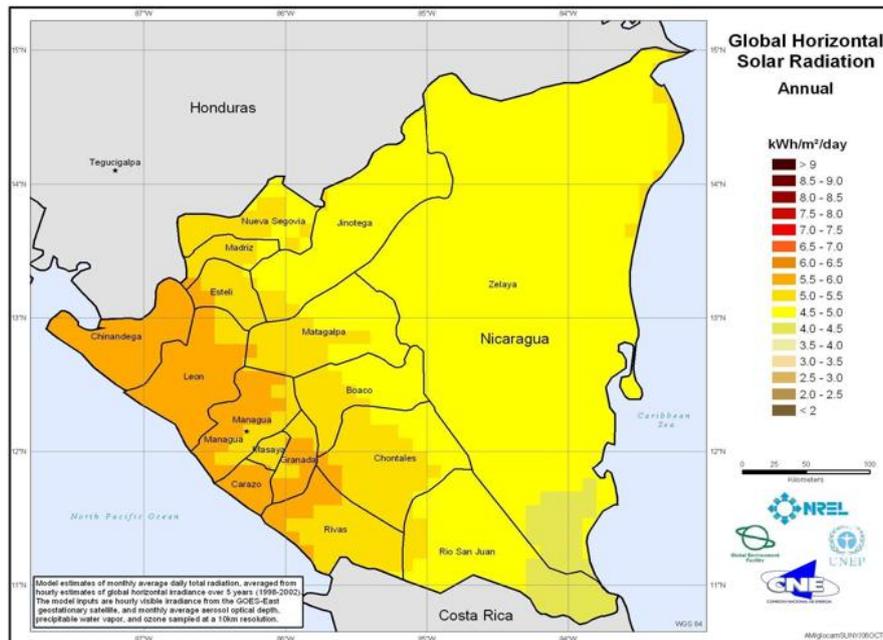


Figura 3.19: Radiación solar global diaria media sobre el plano horizontal. [11]

La Figura 3.20 muestra la posición del Sol en Nicaragua en diferentes horas del día y en distintas épocas del año. Se demuestra que el Sol se ve por el sur más días al año que por el norte ya que el área amarilla (variación anual de la trayectoria del Sol) es mayor en el sur que en el norte. La línea verde es en el solsticio de verano y la naranja la de invierno. La curva gris es en el equinoccio de otoño y primavera.

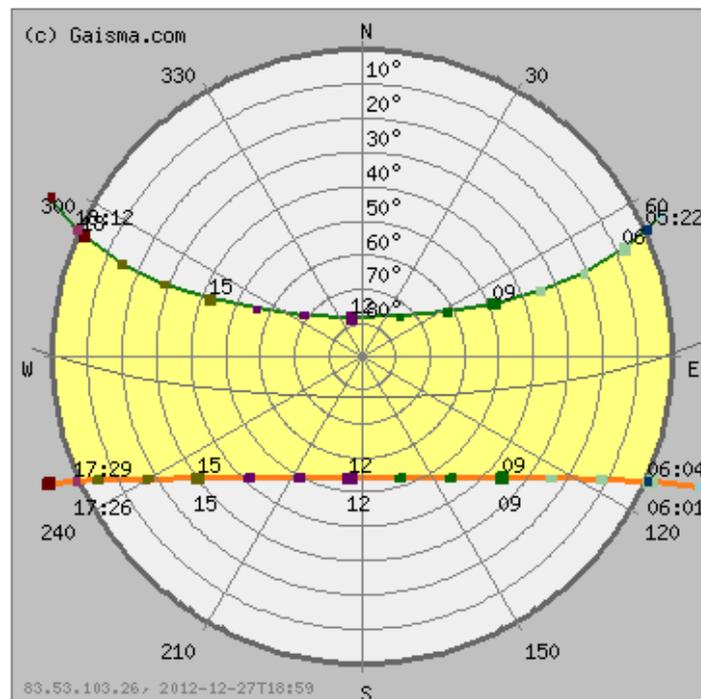


Figura 3.20: Posición del Sol en Nicaragua en distintas horas del día y épocas del año. [11]



3.2.5 RADIACIÓN SOLAR SOBRE UN PLANO INCLINADO

La energía solar que alcanza la superficie tiene una distribución temporal muy variable. Además de variar la insolación máxima diaria (horas en las que el Sol está por encima del horizonte del lugar), la radiación solar es más o menos atenuada según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa. Sólo el 47% en término medio de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre alcanza la superficie del planeta. El 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser dispersada por polvo en suspensión, vapor de agua y distintas moléculas presentes en el aire. La energía restante, un 53%, es reflejada hacia el espacio exterior o absorbida en la atmósfera.

En un instante determinado, la potencia de la radiación solar que se recibe sobre un metro cuadrado de superficie se conoce como irradiación (I) y se expresa en W/m^2 . [1]

En este apartado se tratará de corregir la radiación solar que incide sobre una superficie horizontal para calcular aquella que incide sobre un plano inclinado un cierto ángulo (β).

RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL

A continuación se muestra cómo varía la irradiación solar a lo largo del día para diferentes épocas del año en días soleados.

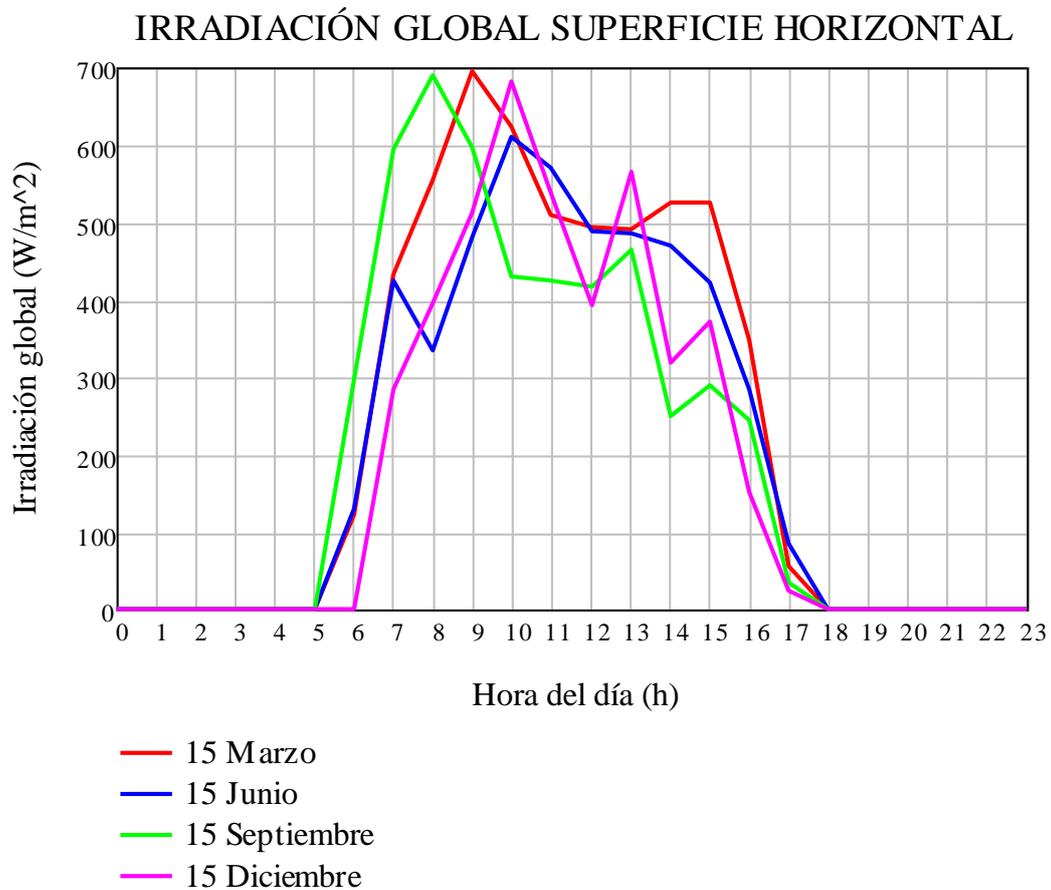


Figura 3.21: Irradiación global sobre la superficie horizontal a lo largo del día.



En la Figura 3.21 se observa que hay varios picos de irradiación y que el máximo de cada día en las distintas épocas se produce antes de las 12h. Esta gráfica suele ser una curva, pero en este caso no es así porque los datos utilizados toman la media de los últimos cinco años consecutivos y si en uno de ellos ese día estuvo nublado afecta considerablemente a los datos de irradiación con los que se trabaja en este proyecto.

No obstante, para calcular la energía captada no influye únicamente la irradiación máxima sino el tiempo de exposición, puesto que la energía captada será la integral a lo largo del tiempo de la irradiación, es decir, la superficie encerrada bajo la curva de radiación solar, pues bien, como en la época húmeda los días son más largos se contará con un mayor tiempo de exposición que en la época seca. De hecho se puede analizar la Figura 3.21 conjuntamente con la Figura 3.18 en la cual se estudiaba la duración horaria del día a lo largo del año y se veía como la duración del día en época húmeda podía extenderse hasta 12,7 horas mientras en la húmeda era de 11,3 horas, una diferencia muy pequeña y por este motivo no hay tanta diferencia entre los meses como se aprecia en la Figura 3.21.

En la Figura 3.22 se representa la irradiación solar a lo largo del año, en él se observa cómo la irradiación máxima se produce en los meses de época seca debido a que en los meses de época húmeda se producen las lluvias. La diferencia es muy pequeña entre los meses de época húmeda y seca porque la duración del día mayor en época húmeda hace que se contrarreste con las lluvias.

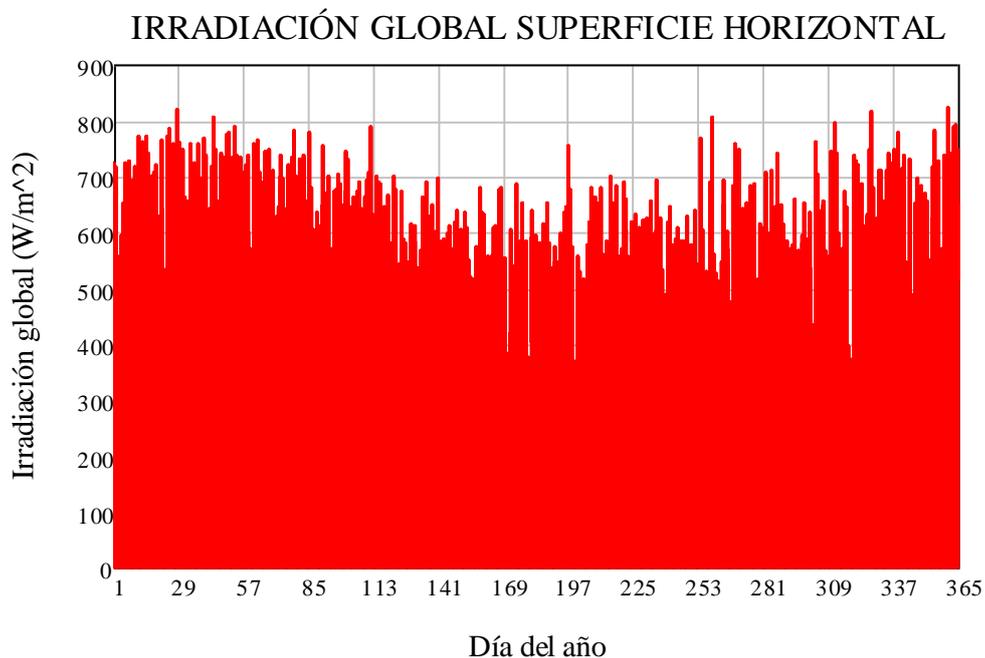


Figura 3.22: Irradiación global sobre la superficie horizontal a lo largo del año.

Una vez analizada la distribución diaria y anual de la radiación solar cabe destacar que es bastante uniforme. En la Figura 3.23 se presenta la irradiación global sobre superficie horizontal a lo largo del año, pero diferenciando la época seca y lluviosa y ahí se ve claramente que hay menor irradiación en ésta época.



IRRADIACIÓN GLOBAL SUPERFICIE HORIZONTAL

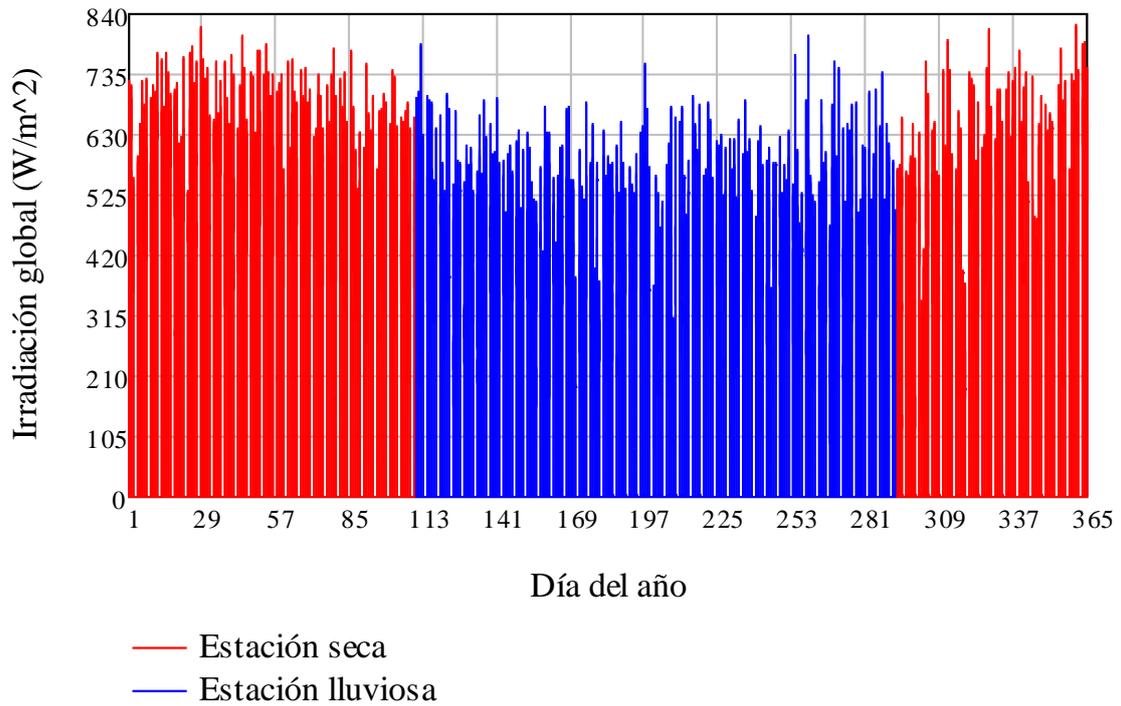


Figura 3.23: Irradiación global sobre la superficie horizontal distintas estaciones a lo largo del año.

En la Figura 3.24 se muestra los valores máximos de irradiación global sobre superficie horizontal a lo largo del año. En la Figura 3.19 se observa que en Managua los valores de radiación solar media diaria están al borde de la zona marrón, eso significa que tiene valores altos, mayores que en España mientras que en la Figura 3.24 se puede ver que el máximo de irradiación diaria no llega a los $1\text{ kW}/m^2$.

MÁXIMA IRRADIACIÓN DIARIA SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL

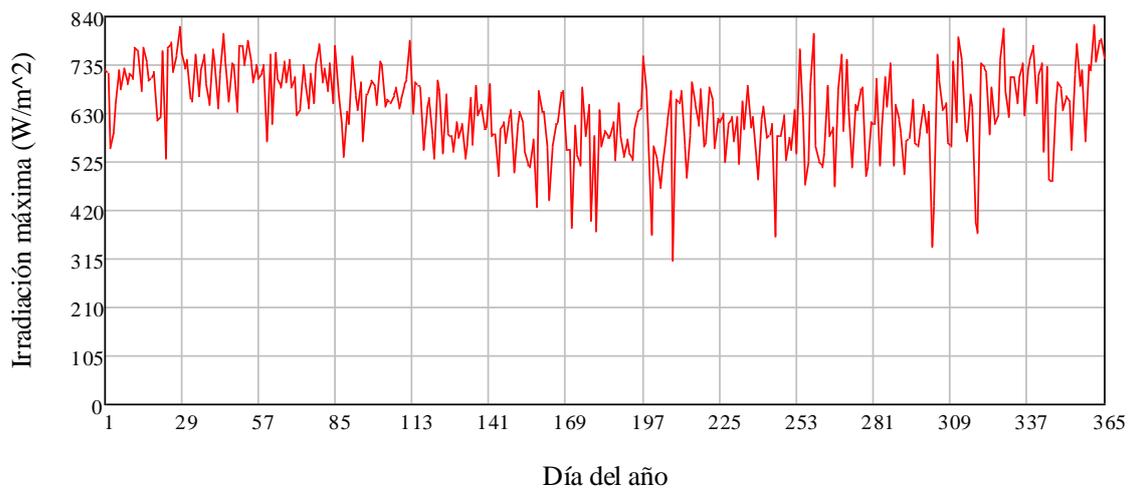


Figura 3.24: Máxima irradiación global sobre la superficie horizontal a lo largo del año.

RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIE INCLINADA CON ORIENTACIÓN SUR



Se analizará a continuación el procedimiento seguido para determinar la radiación incidente sobre una superficie inclinada.

Constante solar (G_{0n})

La constante solar es la cantidad de energía que, durante 1 segundo, alcanza un plano de 1 m^2 situado en el límite de la atmósfera terrestre perpendicularmente a la dirección de propagación de la radiación solar. Este valor permanece bastante constante, el valor determinado por la NASA es 1367 W/m^2 , a lo largo del año, si bien se ve afectado por la excentricidad de la Tierra en su camino alrededor del Sol, considerando este efecto se puede calcular la constante solar por medio de la siguiente expresión:

$$G_{0n} = 1367 \cdot \frac{W}{m^2} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right) \quad (3.11)$$

VARIACIÓN ANUAL DE LA CONSTANTE SOLAR

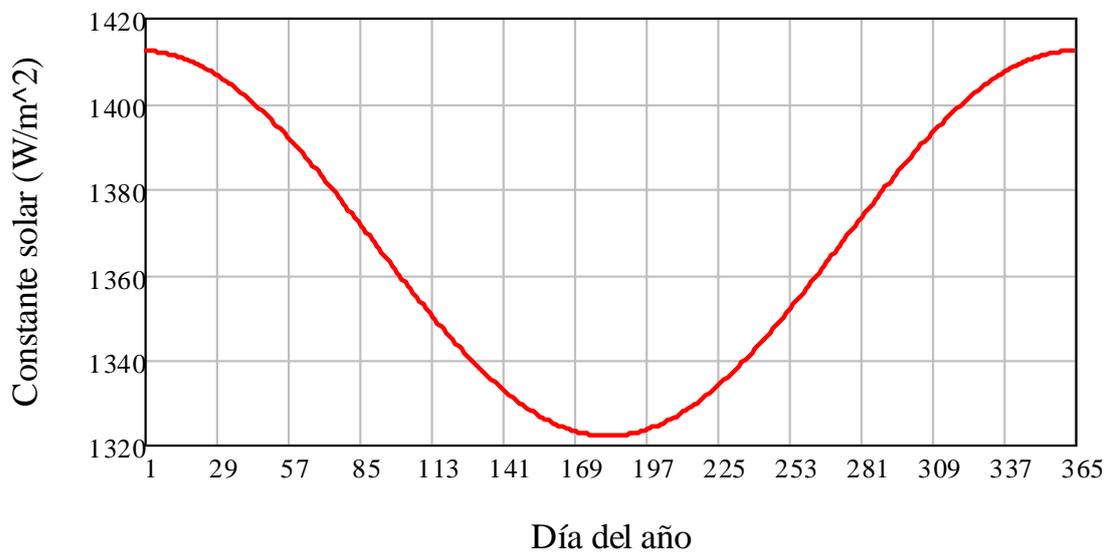


Figura 3.25: Constante solar a lo largo del año.

En la Figura 3.25 se muestra la variación anual de la constante solar, cuyo valor es inferior durante los meses de verano por situarse la Tierra en este periodo en su afelio, es decir, en la zona de la eclíptica más alejada del Sol (Figura 3.5).

Índice de claridad o de transparencia atmosférica (k_t)

Conocida la constante solar y la radiación sobre la superficie horizontal se calcula el índice de transparencia atmosférica como cociente entre ambas magnitudes. Dicho índice dará una idea de la nubosidad, de modo que si cuenta con un valor alto se tratará de un momento soleado y de lo contrario de uno nublado.

$$k_t = \frac{I_H}{G_{0n}} \quad (3.12)$$

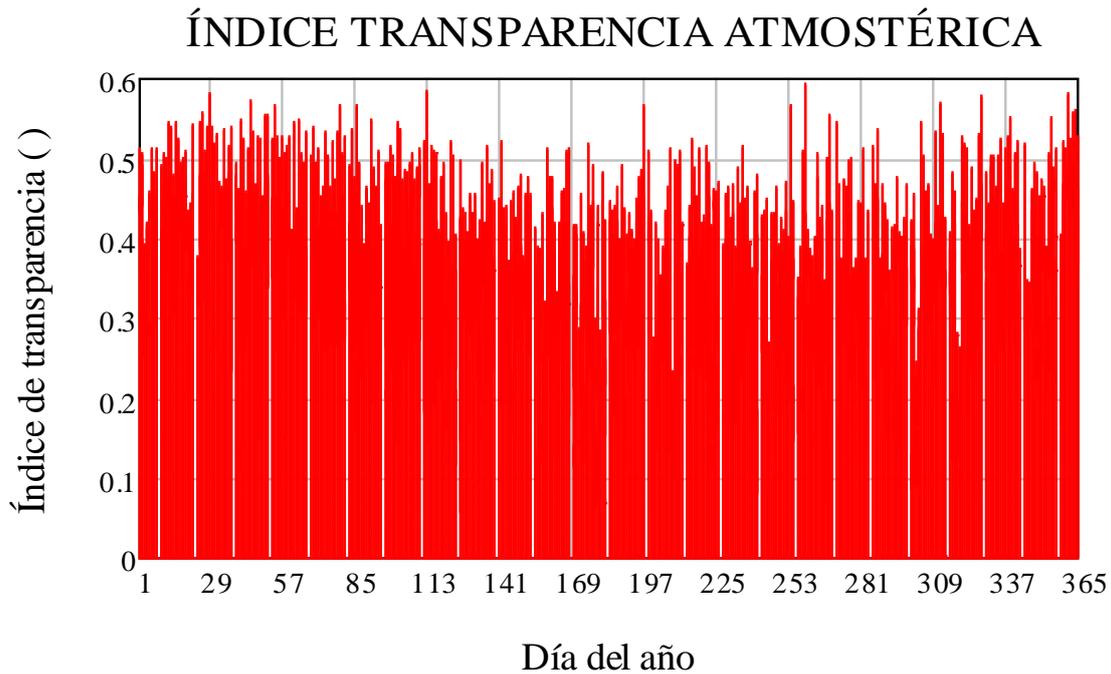


Figura 3.26: Índice de transparencia atmosférica a lo largo del año.

La Figura 3.26 muestra que la atmósfera resulta ser más transparente a la radiación solar durante el invierno, hecho que concuerda con la época seca. Además los valores obtenidos para el índice de transparencia atmosférica parecen razonables pues normalmente este factor suele estar comprendido entre 0,3 y 0,6.

Radiación difusa sobre la superficie horizontal (I_d)

Para calcular la radiación difusa se precisa emplear un modelo horario de la misma que permitirá calcularla como función de la radiación global sobre la superficie horizontal. El modelo que se empleará será el de Orgill y Hollands según el cual la radiación difusa sobre la superficie horizontal puede calcularse por medio de la siguiente expresión [27].

$$I_d = \begin{cases} (1 - 0,249 \cdot k_t) \cdot I_H & \text{si } 0 \leq k_t \leq 0,35 \\ (1,557 - 1,84 \cdot k_t) \cdot I_H & \text{si } 0,35 < k_t \leq 0,75 \\ 0,177 \cdot I_H & \text{si } k_t > 0,75 \end{cases} \quad (3.13)$$

La Figura 3.27 muestra que la variación a lo largo del año de la irradiación difusa sobre la superficie horizontal es casi constante y muy inferior a la sufrida por la irradiación global, que se mostraba en Figura 3.22. Por lo tanto, durante la época húmeda la diferencia entre irradiación global y difusa será un poco mayor que en el resto del año.

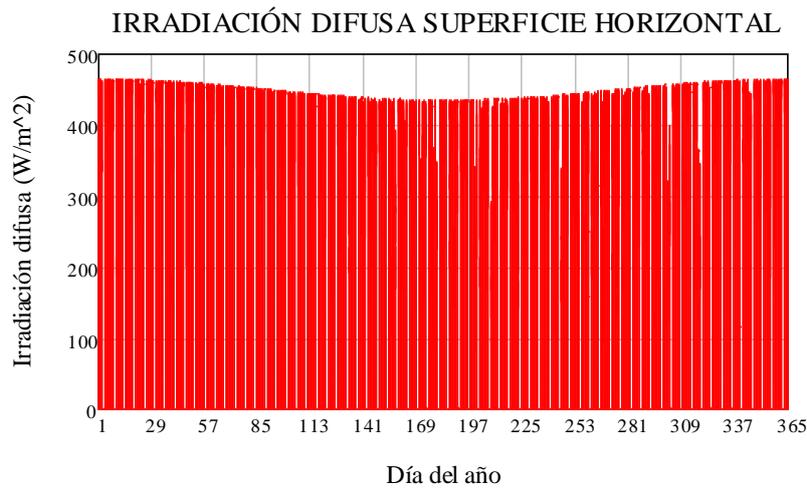


Figura 3.27: Irradiación difusa sobre superficie horizontal a lo largo del año.

Ángulo de salida y puesta del Sol para la superficie inclinada (ω_s)

Al inclinar la superficie de captación el ángulo de salida y puesta del Sol no será exactamente el mismo que para la superficie horizontal (ω_{sh}). Se calcula su valor como el mínimo entre el calculado para la superficie horizontal y el que se calcula teniendo en cuenta la inclinación (ω_{si}) [3].

$$\omega_{sh} = a \cos(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)) \quad (3.14)$$

$$\omega_{si} = a \cos(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan(\delta)) \quad (3.15)$$

$$\omega_s = \min(\omega_{sh}, \omega_{si}) \quad (3.16)$$

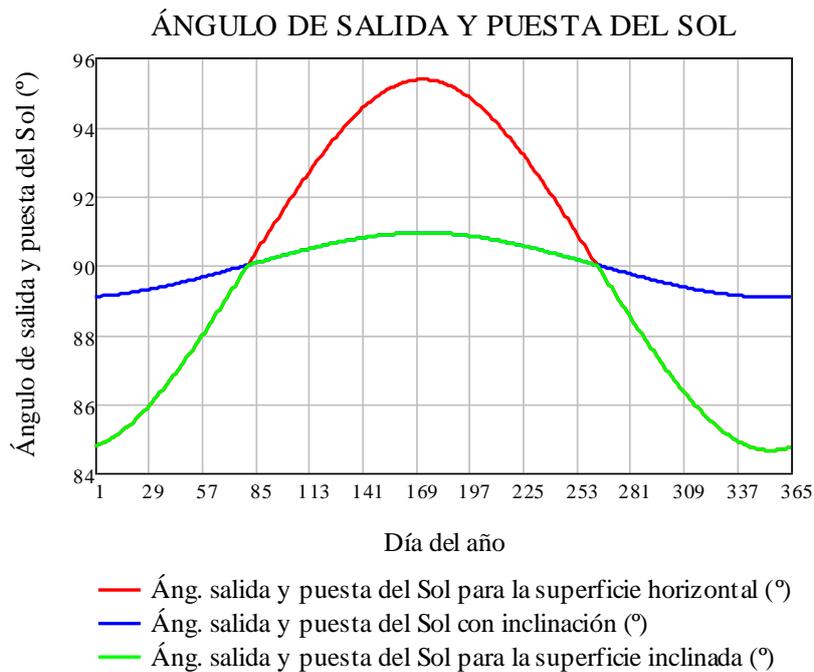


Figura 3.28: Ángulo de salida y puesta del Sol a lo largo del año.



En la Figura 3.28 hay mayor diferencia de ángulo de salida y puesta del Sol para la superficie horizontal entre las épocas húmeda y seca, aproximadamente 10°, mientras que con inclinación hay 2° de diferencia entre la seca y la húmeda. Para superficie inclinada al ser el valor mínimo entre esos valores, la diferencia entre húmeda y seca son casi 6°.

Hora solar (h_{sol})

El cálculo de la hora solar a partir de la hora local (h_{loc}) puede realizarse mediante la siguiente expresión.

$$h_{sol} - h_{loc} = 4 \cdot min \cdot (L_{std} - L_o) + E \quad (3.17)$$

$$\Delta h = -[4 \cdot min \cdot (L_{std} - L_o) + E] \quad (3.18)$$

Donde L_{std} es la zona horaria o huso horario (en el caso de Managua 90°), L_o es la longitud (en el caso de Managua 86,16°), E es la corrección debida a la excentricidad de la Tierra y Δh es la corrección global.

La corrección global cuenta con 2 términos. El primero de ellos es la corrección por zona horaria, el segundo es la corrección debida a la excentricidad de la Tierra.

La corrección debida a la excentricidad de la Tierra puede calcularse como función exclusiva del número de día [27]:

$$E = 229,2 \cdot \left[\begin{array}{c} 0,000075 + 0,001868 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot (n - 1)\right) \\ -0,032077 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (n - 1)\right) - 0,014615 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot 2 \cdot (n - 1)\right) \\ -0,04089 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot 2 \cdot (n - 1)\right) \end{array} \right] \cdot min \quad (3.19)$$

De este modo se puede calcular la hora solar a partir de la hora local sin más influencia que el día del año en el que nos encontremos y el lugar del cual conozcamos la hora local.



Figura 3.29: Corrección global a lo largo del año.



En la Figura 3.29 se observa que la menor diferencia entre la hora solar y la local se produce en Febrero con 2 minutos y que la mayor es en Noviembre con más de media hora.

Relación entre radiación sobre horizontal y superficie inclinada para componente directa (R_d)

Esta relación puede ser calculada geoméricamente como el cociente entre el coseno del ángulo de incidencia solar y el coseno del ángulo acimutal siempre que se tenga radiación directa, es decir, siempre que el valor del ángulo horario (ω) este comprendido entre el ángulo de salida y puesta del Sol para la superficie inclinada (ω_s).

$$R_d = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta)} \quad \text{si } -\omega_s < \omega < \omega_s \quad (3.20)$$

Sin embargo, esta expresión puede dar problemas en las horas cercanas a la salida y puesta del Sol, para solucionar este problema se puede emplear la expresión desde algo después de la salida del Sol hasta algo antes de su puesta.

Radiación sobre superficie inclinada (I_s)

Realizados los pasos anteriores se está en condiciones de conocer la radiación solar sobre una superficie inclinada. Para ello, se empleará un modelo de cielo isotrópico, propuesto por Liu-Jordan, según el cual la radiación difusa extraterrestre es igual en todas las direcciones.

El cálculo de la radiación sobre la superficie inclinada por medio del modelo de cielo isotrópico puede efectuarse aplicando la siguiente expresión [27].

$$I_s = (I_H - I_d) \cdot R_d + I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + I_H \cdot \rho_t \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (3.21)$$

En la expresión hay tres sumandos, el primero de ellos corresponde a la radiación directa, el segundo a la radiación difusa isotrópica y el tercero a la radiación reflejada, en el cual ρ_t es la reflectancia media del terreno que se fija en condiciones normales en 0,2.

El término $(1+\cos\beta)/2$ es el factor de visión del cielo con que cuenta una superficie inclinada un ángulo β y el término $(1-\cos\beta)/2$ su factor de visión del suelo.

Al analizar gráficamente los resultados obtenidos para la radiación sobre una superficie inclinada por medio de este procedimiento resulta más útil estudiar la radiación a lo largo de un día que a lo largo de todo el año. Por lo tanto, se analiza la radiación tanto para un determinado día de época húmeda como para un determinado día de época seca.

En la Figura 3.30 se muestra que apenas hay diferencia entre la cantidad de radiación captada entre superficie horizontal y con un ángulo pequeño hacia el sur, 10° . Incluso con 15° los valores son muy cercanos a los de la horizontal, pero a partir de ahí hasta los 90° los valores van disminuyendo progresivamente.

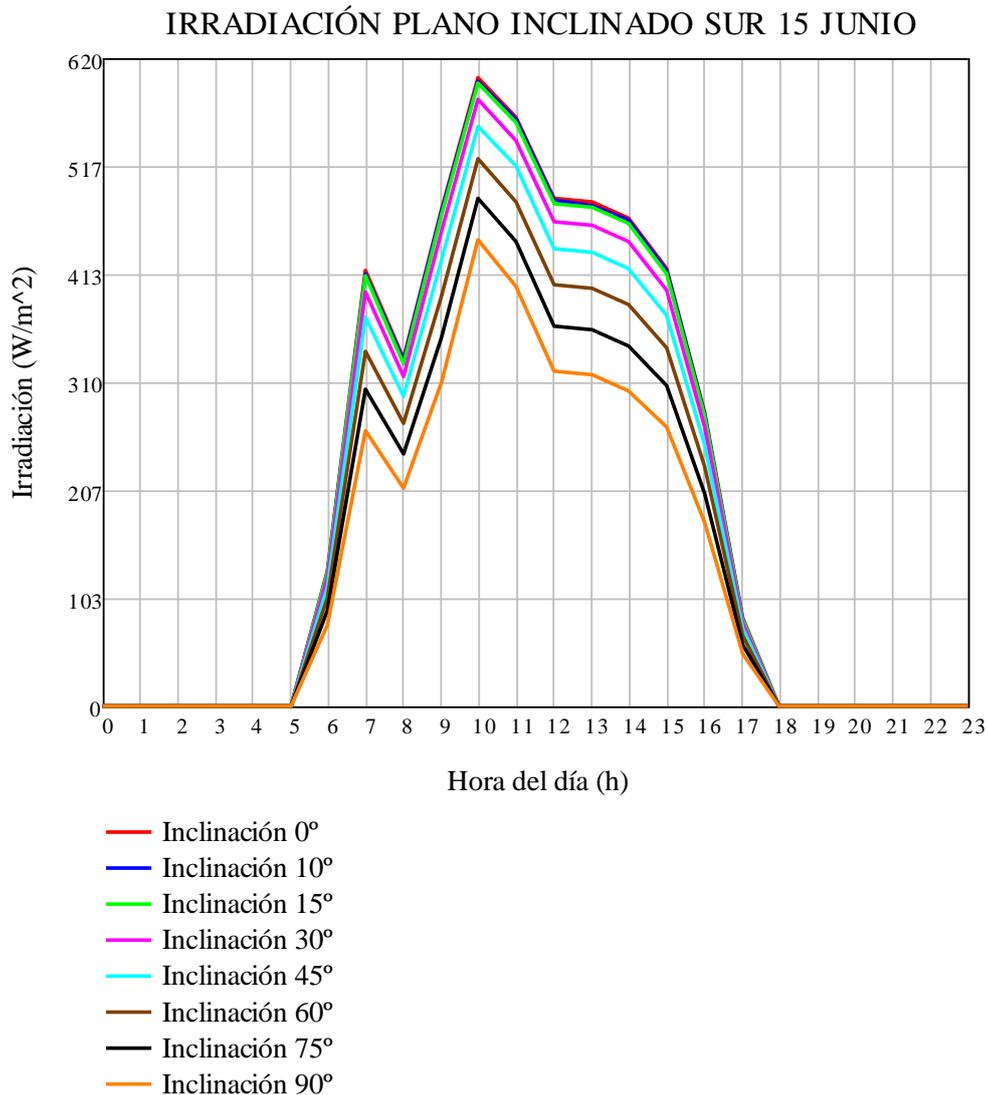


Figura 3.30: Influencia de la inclinación sobre la irradiación durante el día 15 de Junio.

De hecho existe una inclinación óptima que logrará la incidencia normal y puede ser calculada como la diferencia entre la latitud del lugar y la declinación, luego dicha inclinación óptima variará diariamente para un lugar determinado. Se puede calcular la inclinación óptima de una superficie situada en Managua para el día seleccionado (15 de Junio) como:

$$\beta_{15 \text{ junio}} = \phi - \delta_{15 \text{ junio}} = 12,14^\circ - 23,31^\circ = -11,17^\circ \quad (3.22)$$

Conocido este valor resulta más sencillo explicar la Figura 3.30 y hace que resulte totalmente lógico los resultados de ésta figura debido a que la latitud de Managua es muy pequeña y la declinación en algunos casos, como en éste es mayor por lo que se obtiene que el ángulo de inclinación óptimo es negativo lo que implica que la irradiación mayor es cuando está horizontal. Una vez sobrepasado el ángulo de inclinación óptimo, conforme se incline más la superficie la radiación captada irá disminuyendo, por ello todas las curvas a partir de la de inclinación 0° se van situando por debajo de las precedentes, alcanzándose la mínima radiación en el caso en que más lejos se esté del ángulo óptimo (inclinación 90°).

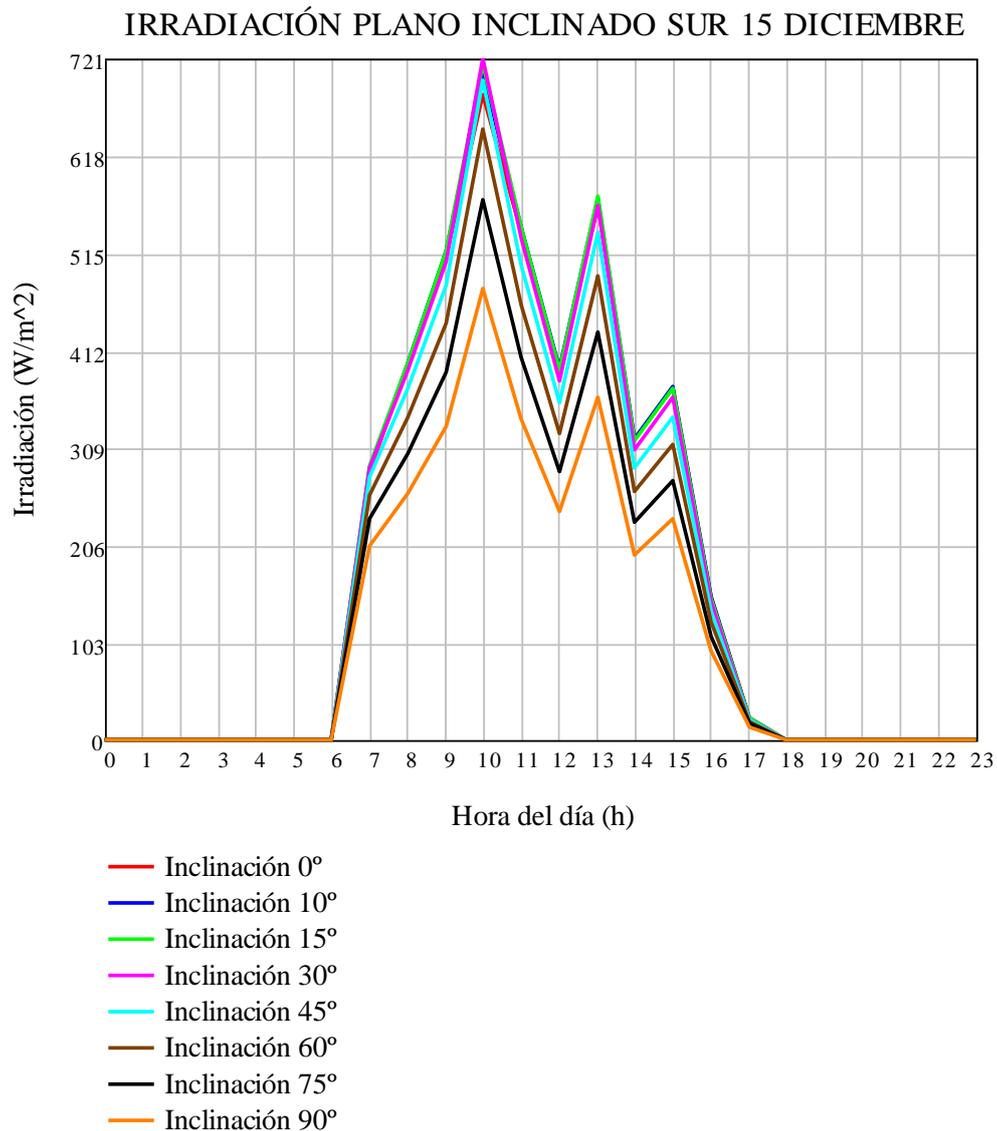


Figura 3.31: Influencia de la inclinación sobre la irradiación durante el día 15 de Diciembre.

En época seca el efecto de la inclinación es más influyente. La mejora de la irradiación al inclinar la superficie es superior debido a que al contar con una declinación menor, el ángulo de inclinación óptimo será mayor. Se calcula el ángulo óptimo para una superficie situada en Managua el día 15 de Diciembre.

$$\beta_{15 \text{ dic}} = \phi - \delta_{15 \text{ dic}} = 12,14^\circ - (-23,34^\circ) = 35,48^\circ \quad (3.23)$$

Al comenzar a inclinar la superficie respecto de la horizontal se consigue aumentar la captación de radiación directa hasta llegar al ángulo de inclinación óptimo para el día y lugar seleccionados (35,48° para una superficie en Managua el 15 de Diciembre), por ello la curva de inclinación 30° aparece por encima de la de inclinación 0°, pero parece que algo no concuerda a partir de las 11h con lo representado en la Figura 3.31, pues en éste la irradiación captada debería aumentar según se inclina la superficie captora hasta 35,48° y disminuir a continuación.



No obstante, el resultado es lógico pues lo que iría aumentando hasta alcanzar el ángulo óptimo sería la radiación directa, sin embargo, la radiación sobre la superficie inclinada depende de otros dos factores, la radiación difusa y la reflejada. A medida que se aumenta la inclinación de la superficie disminuye el factor de visión del cielo y aumenta el del suelo, disminuyendo el factor multiplicador de la radiación difusa que resulta ser más importante y aumentando el de la reflejada que cuenta con un valor inferior, de modo que la suma de ambas se reduce, reduciéndose el valor de la radiación global sobre la superficie inclinada, motivo por el cual el ángulo óptimo para la radiación global es inferior al de la radiación directa. En el caso del día de época húmeda no se apreciaba esta influencia dado que, al contar con ángulo de inclinación óptimo de 0° la disminución de la suma de radiación difusa y reflejada hasta este punto era inferior a la mejora de la radiación directa.

Para comprobar este efecto se representa gráficamente la irradiación directa para distintas inclinaciones durante el mismo día de época seca.

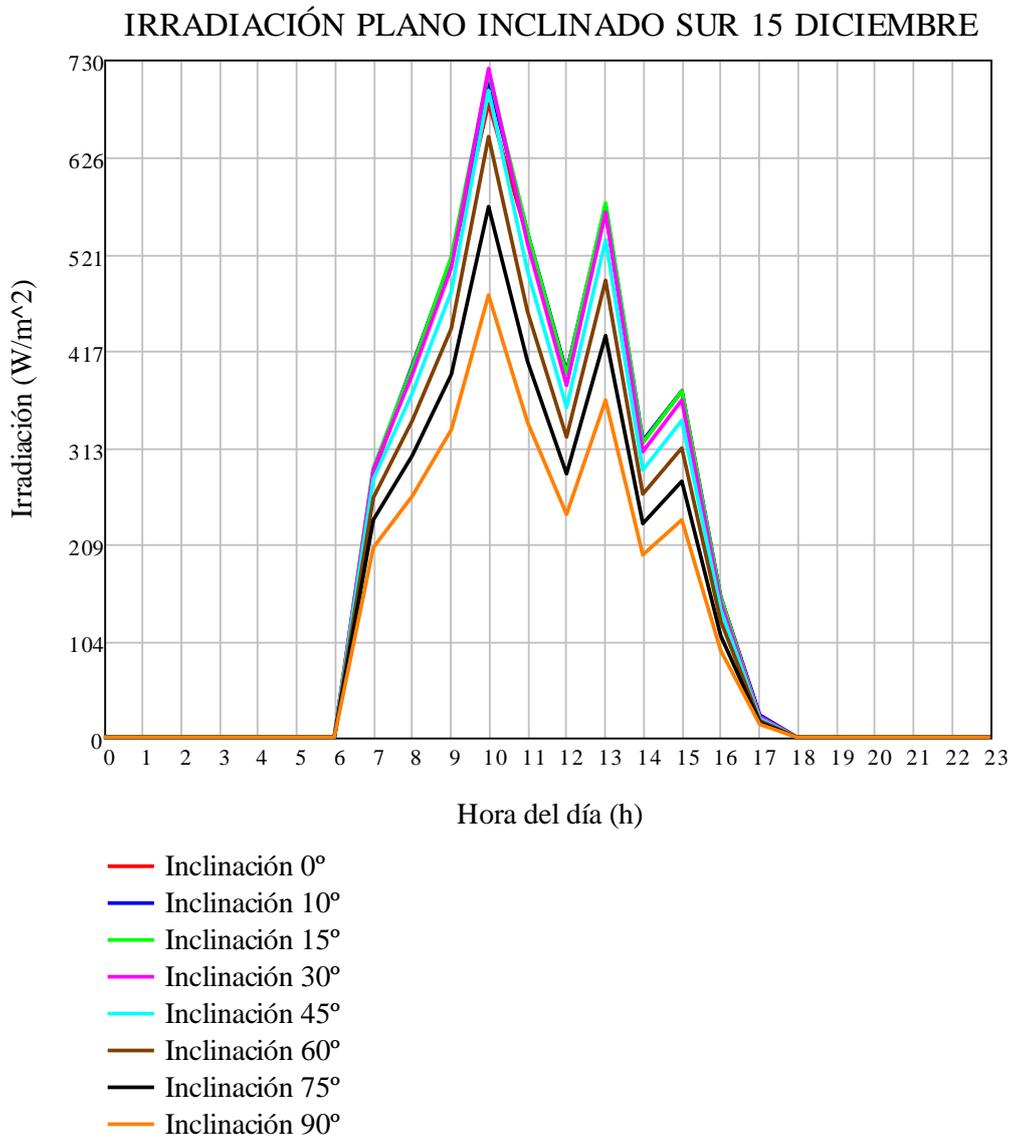


Figura 3.32: Influencia de la inclinación sobre la irradiación directa durante el día 15 de Diciembre.



En este caso, Figura 3.32, sí se aprecia una mejora de la irradiación directa hasta por encima de los 30° a las 10h, tal como indicaba el ángulo de inclinación óptimo. Incluso se observa que, lógicamente, la radiación directa sobre una superficie horizontal es inferior a la captada por una superficie inclinada 45° ya que en este último caso nos encontramos más cerca de la inclinación óptima. Después de esa hora, la irradiación directa máxima se produce con inclinación de 15°.

Para calcular la irradiación directa (I_b) sobre un plano horizontal, conociendo la global y la difusa es:

$$I_H = I_b + I_d \quad (3.24)$$

A continuación la contribución de irradiación directa y difusa para dos días representativos de cada estación, 15 de Junio y el 15 de Diciembre.

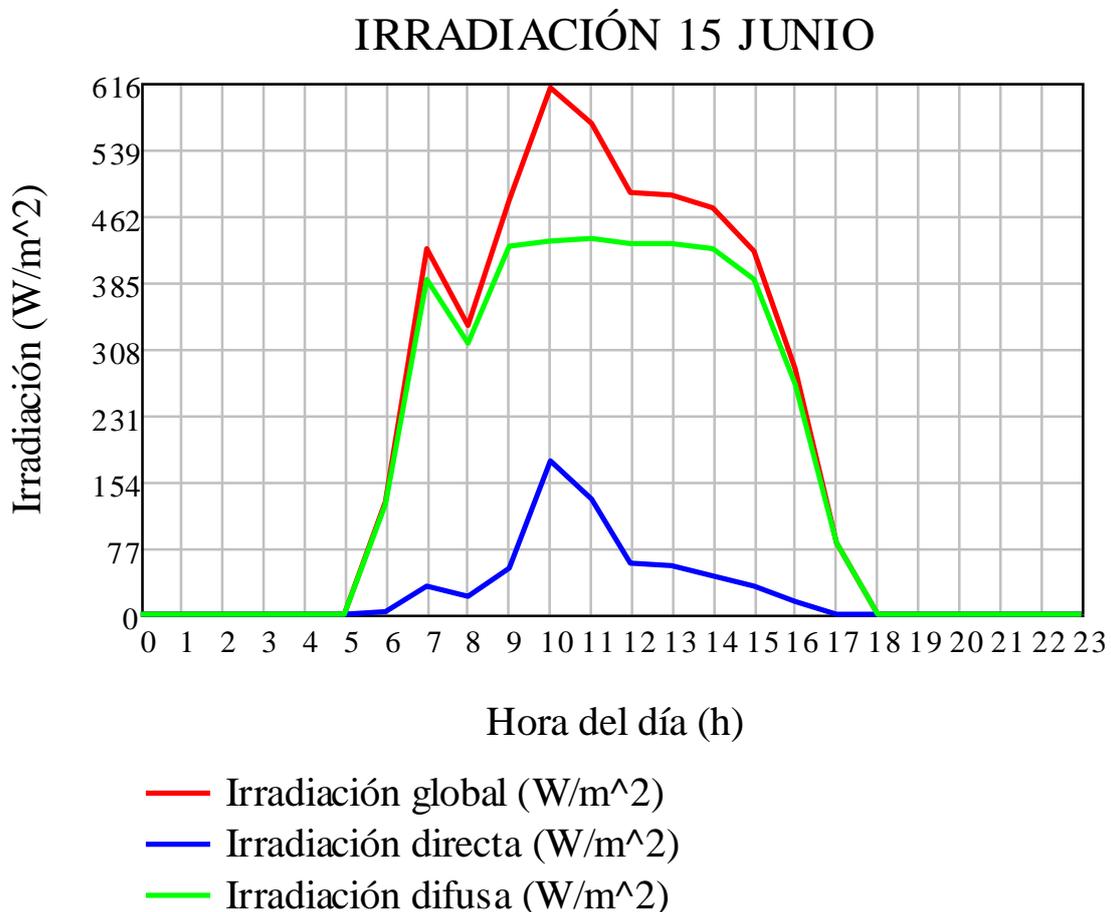


Figura 3.33: Irradiación solar global, directa y difusa el día 15 de Junio.

Tanto en la Figura 3.33 como en la Figura 3.34 se aprecia que la irradiación difusa es mayor que la directa, esto es debido a que los valores que se tienen no son los correctos o más idóneos? y que la estimación que se ha hecho de ellos se ha basado en la difusa. Hubo mayor irradiación en la estación seca (15 de Diciembre).



IRRADIACIÓN 15 DICIEMBRE

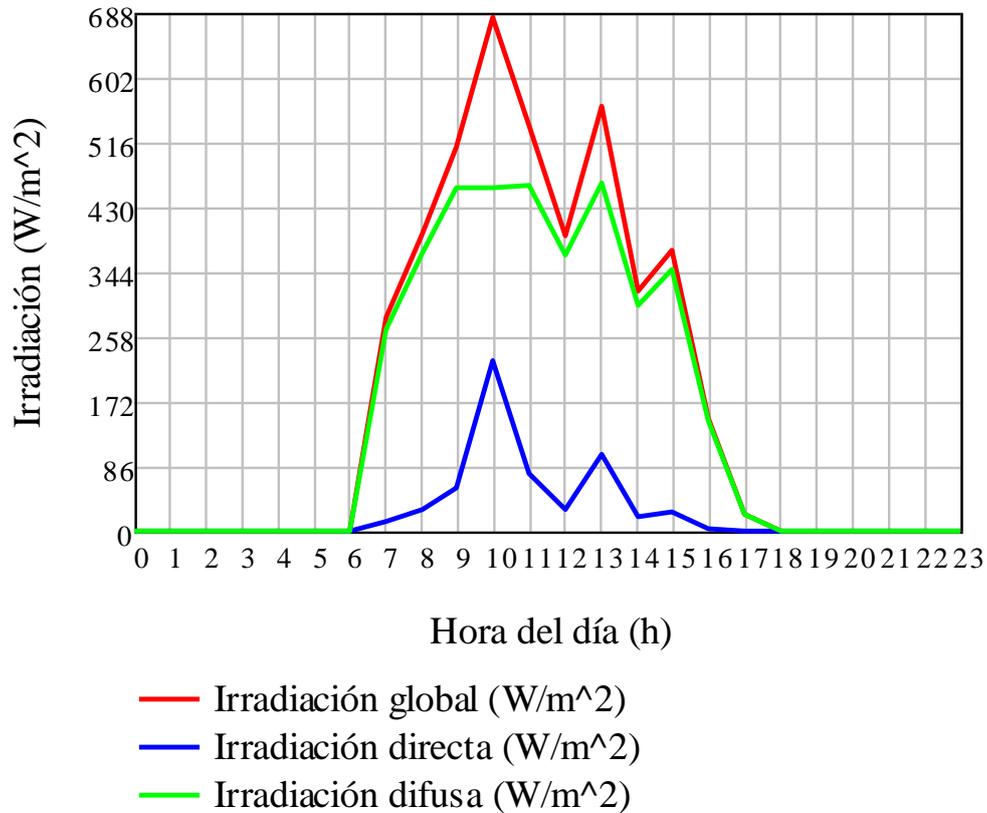


Figura 3.34: Irradiación solar global, directa y difusa el día 15 de Diciembre.

3.2.6 CORRECCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA ORIENTACIÓN

En el apartado anterior se calculó la radiación sobre una superficie inclinada con orientación sur, veamos qué ocurre cuando hay otras orientaciones, en este caso solamente ha sido con la norte pues la del este y oeste no aportan mucha información al estudio.

ORIENTACIÓN NORTE

El cálculo de la radiación con orientación norte (I_N) resulta sencillo pues no se cuenta con componente directa de la radiación, únicamente radiación difusa (I_{di}) y reflejada (I_{ri}) luego puede ser calculada como [3]:

$$I_N = I_{di} + I_{ri} = I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + I_H \cdot \rho_t \cdot \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (3.25)$$

A continuación, en las Figuras 3.35 y 3.36 se estudian la irradiación con diferentes ángulos y en distintas épocas del año (húmeda 15 de Junio y seca 15 de Diciembre), como se hizo con la orientación sur.

En la Figura 3.35 sale que la inclinación óptima es con 0° y esto contradice lo obtenido en la ecuación (3.22), $11,17^\circ$ orientación norte, ello puede deberse a la irradiación directa.

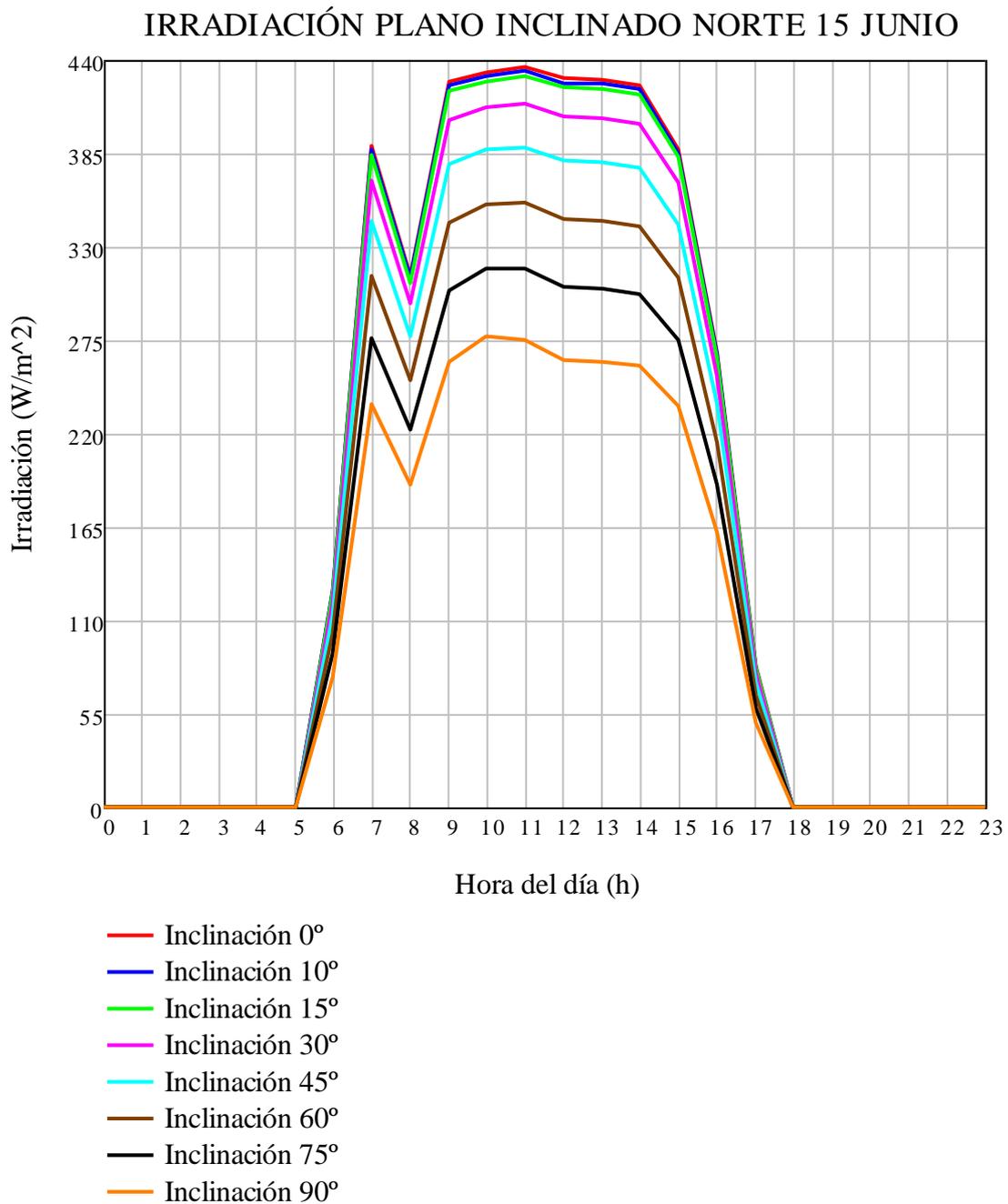


Figura 3.35: Influencia de la inclinación sobre la irradiación orientación norte durante el 15 de Junio.

En la Figura 3.36 sale que la inclinación óptima es con 0° y esto es debido a que la inclinación óptima según la ecuación (3.23) era con orientación sur, por lo que la óptima para la norte será con 0°.

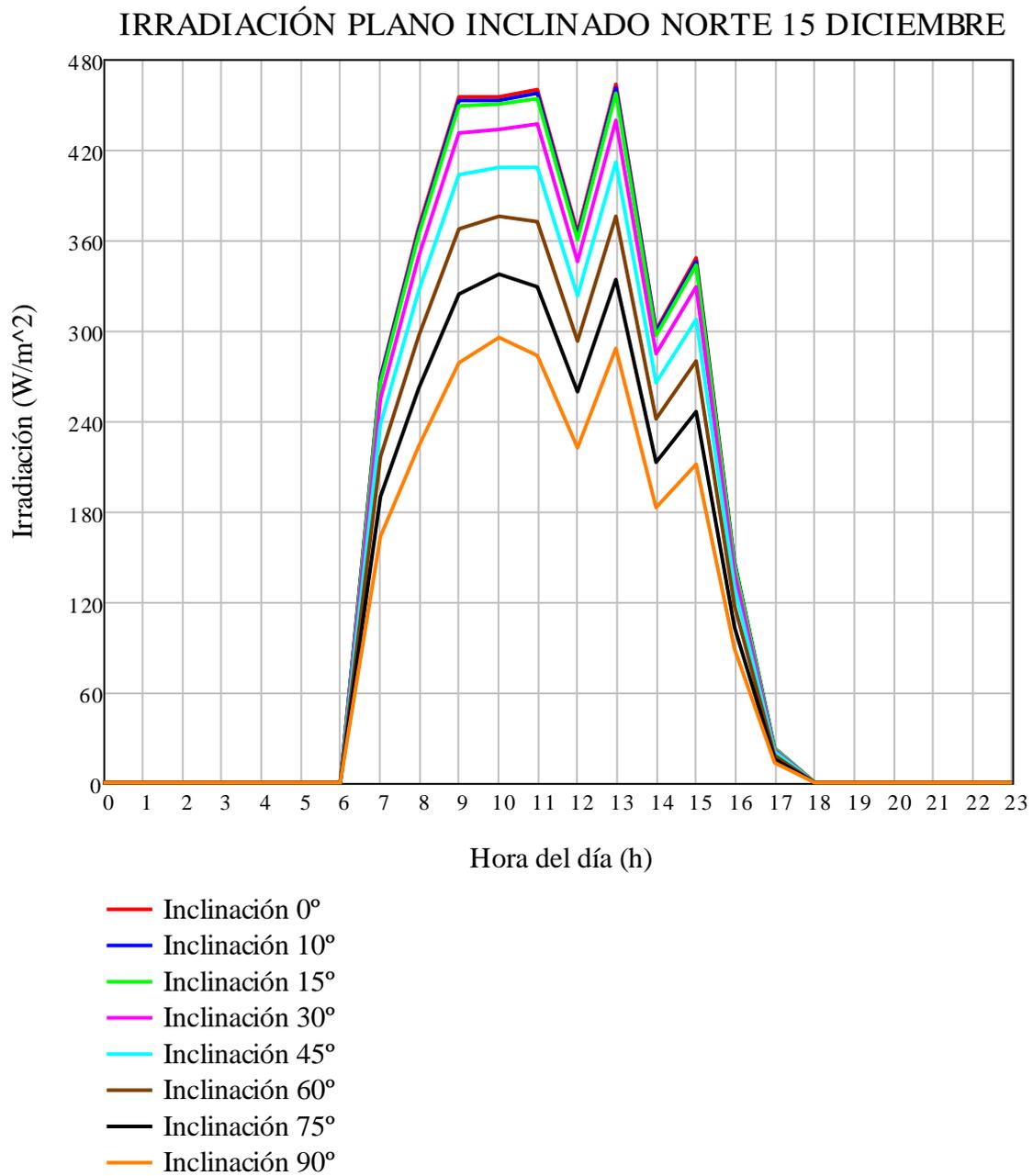


Figura 3.36: Influencia de la inclinación orientación norte sobre la irradiación durante el 15 de Diciembre.

3.2.7 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN ÓPTIMA DE LOS COLECTORES

La irradiación interceptada por un colector solar plano es proporcional a la energía calorífica absorbida por el fluido caloportador que circula en su interior. Con objeto de maximizar la ganancia térmica, la máxima cantidad de radiación solar por unidad de superficie, es preciso inclinar el colector hasta lograr la incidencia normal, por lo que se estudia el ángulo de inclinación óptimo del captador.

La orientación óptima del colector en el hemisferio Norte es hacia el sur si la latitud es mayor que la declinación y si no hacia el norte.

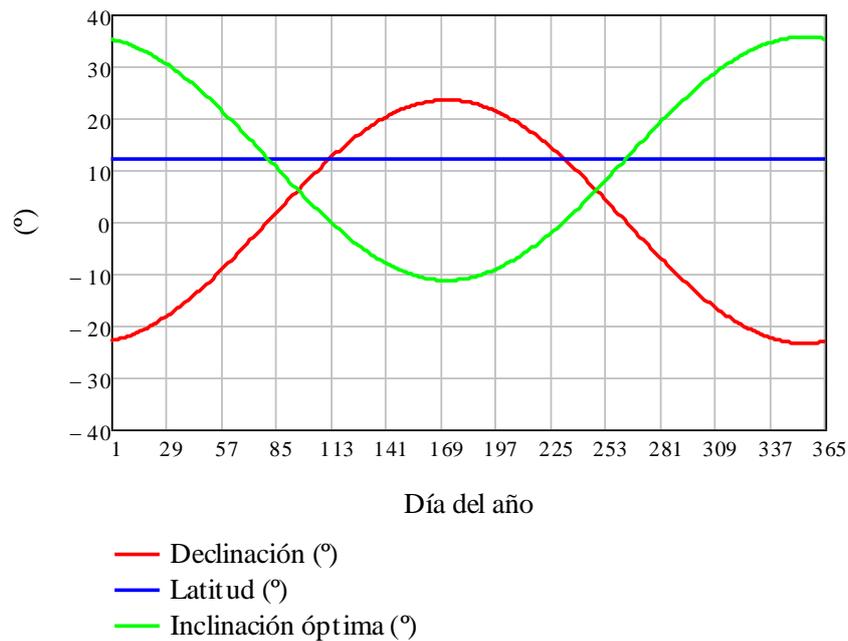


Figura 3.37: Declinación, latitud e inclinación óptima en Managua a lo largo del año.

Según la Figura 3.37 se debería orientar hacia el sur durante la estación seca y hacia el norte durante parte de la estación húmeda.

La realidad impone que la orientación de los colectores debe ser la misma durante todo el año debido a que los colectores no están monitorizados y habría que moverlos manualmente, por comodidad se ha preferido inclinarlos en una única posición durante todo el año. La orientación elegida es por tanto la sur, puesto que la mayoría de los días del año la latitud es superior a la declinación.

Se ha calculado la irradiación anual sobre superficies inclinadas distintos grados y con distinta orientación:

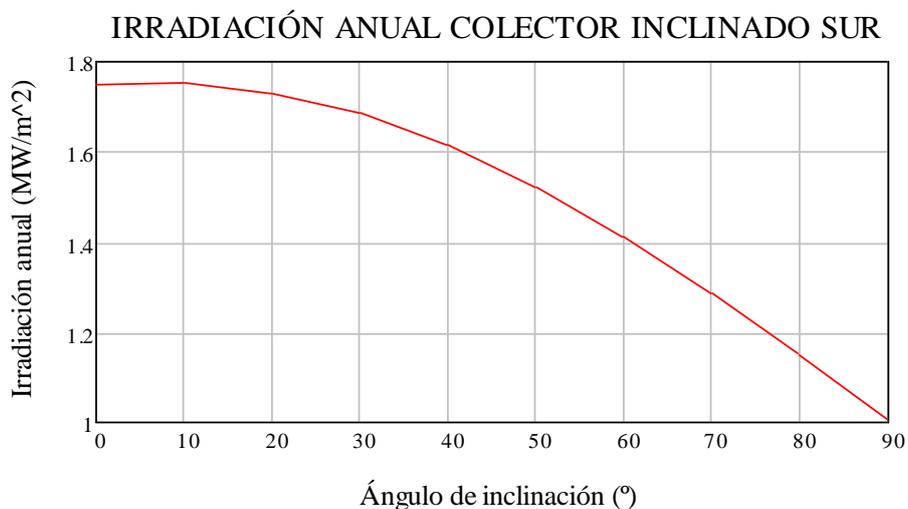


Figura 3.38: Irradiación anual con orientación sur en función del ángulo de inclinación.



En la Figura 3.38 se observa que el máximo se produce con una inclinación de 10° y después los valores caen en picado.

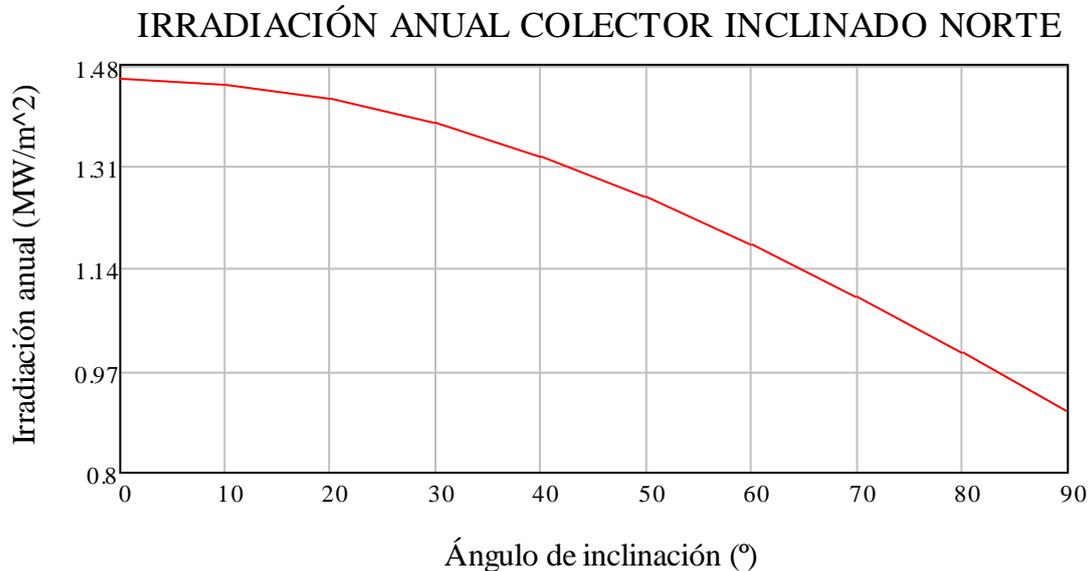


Figura 3.39: Irradiación anual con orientación norte en función del ángulo de inclinación.

Las Figuras 3.38 y 3.39 vuelven a corroborar lo ya explicado, se consigue captar mayor irradiación total en conjunto en un año, orientando el colector al sur con una inclinación entre 0° y 15°.

Diferentes estudios demuestran que el ángulo óptimo anual coincide con la latitud del lugar. Según la Figura 3.38 el máximo valor se produce con una inclinación de 10°, como el valor es muy próximo a la latitud de Managua, se va a emplear como ángulo óptimo el de esta última, 12,14°.

3.3. TOMA DE DATOS PARA LA OBTENCIÓN DEL GASTO MÁSIKO

Para poder tomar los datos para calcular el gasto másico se necesita el tanque acumulador, los orificios de entrada y salida del agua en el tanque (éstos ya estaban hechos y encajados los tubos en el tanque), que el tanque esté lleno de agua, una probeta (se pidió prestada a Damaris Mendieta, profesora de la Facultad de Ciencia Animal, FACA, de la UNA) y un cronómetro.

Se tomaron las medidas 3 días diferentes; el 11 y 24 de febrero y el 16 de marzo.

El 11 de febrero. Se puso el tanque acumulador sobre su estructura, se taparon los tubos de entrada y salida, se llenó el tanque acoplando distintas mangueras para que el agua del grifo llegara directamente al tanque. Una vez listos, se destapó el tubo de salida de agua, se puso debajo la probeta para medir el volumen en determinado tiempo. Con el cronómetro se controlaba para intentar mantener siempre el mismo tiempo, pero se paraba cuando la persona apartaba la probeta del caudal de agua (Figura 3.40). Se anotó el tiempo (s) y el volumen (ml). Se tomaron 21 datos.



Figura 3.40: Tomando el tiempo y volumen del tubo de salida del tanque.

El 24 de febrero. Después de haber tomado las temperaturas de entrada y salida del colector en un sistema cerrado con un colector, se aprovechó para volver a tomar tiempos y volumen ya que había que retocar la estructura de los reflectores, por lo que había que desmontar el sistema y guardar todos los componentes en el cuarto donde iría el circuito secundario del sistema de la pasteurización mientras se realizaban las nuevas modificaciones. Esta vez, se decidió tomar un volumen fijo (300 ml) y anotar el tiempo que tardaba en llenarse. Se tomaron 12 datos.

El 16 de marzo. Una vez finalizadas, se aprovechó para tomar nuevas medidas del tiempo y volumen antes de montar el circuito primario con los tres colectores. Se hizo igual que el 24 de febrero, pero con un volumen de 500 ml en vez de 300 ml.

De los datos que se obtuvieron, se decidió utilizar los de éste último día (16 de marzo) porque sus valores tenían poca variación. Los datos de 11 y 24 de febrero fluctúan mucho debido a que el tanque no estaba muy lleno y ya en los últimos datos el caudal era menor.

En la Tabla 3.1 se muestra en las dos primeras columnas los datos del 16 de marzo y en la tercera columna el gasto volumétrico, obtenidos de la ecuación (3.26):



Tiempo (s)	Volumen (ml)	Gasto volumétrico (l/min)
2,97	500	10,10
3,22	500	9,32
2,19	500	13,70
2,71	500	11,07
2,71	500	11,07
2,45	500	12,24
2,71	500	11,07
2,45	500	12,24
2,71	500	11,07
2,45	500	12,24
2,97	500	10,10
2,71	500	11,07

Tabla 3.1: Tiempo en llenar 500 ml el 16-3-2010.

$$\dot{V} = \frac{\text{Volumen ml}}{\text{tiempo s}} \cdot \frac{60 \text{ s/min}}{1000 \text{ ml/l}} \quad (3.26)$$

Se necesita un valor del gasto volumétrico, por lo que se toma la media, ecuación (3.27), de la columna del gasto volumétrico de la Tabla 3.1

$$\bar{\dot{V}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{V}_i = 11,28 \text{ l/min} \quad (3.27)$$

Para calcular el gasto másico se ha utilizado la ecuación (3.28),

$$\dot{m}_{co} = \rho \cdot \dot{V} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{11,28 \text{ l/min}}{1000 \text{ l/m}^3 \cdot 60 \text{ s/min}} = 0,188 \text{ kg/s} \quad (3.28)$$

3.4. TOMA DE DATOS (T_{eco} y T_{sco}) CON UN COLECTOR Y RESULTADOS

A continuación, antes de detallar cómo se tomaron datos de temperatura de entrada y salida del colector se explican todos los pasos que hubo que hacer para montar el circuito primario cerrado con un colector.

Lo primero fue aislar el tanque acumulador. Se observó que el tanque estaba aislado recubierto de chapa de zinc, aunque faltaba la tapa del tanque. Se midió el ancho del tanque aislado para conocer las dimensiones de la tapa, la cual tenía que ser un poco más ancha que el tanque para asegurar su cierre y su estanqueidad completamente. Se cogió chapa de zinc para contener el aislante. Se hizo la base, una circunferencia mayor de las medidas que se han obtenido para luego en esa diferencia hacer muchos cortes en sentido radial para así doblarlo, después se hizo la altura con otro trozo de chapa de zinc en forma rectangular, se enrolló para que tuviera la forma cilíndrica y anchura la del diámetro y se remachó para fijar la forma. Más tarde, se volvió a remachar la altura con la base con los trozos cortados que están doblados. A



continuación, se forró la tapa para que al expandirse el aislante no se pegara. Se puso unos tacos de madera entre la tapa y la chapa de zinc (Figura 3.41).



Figura 3.41: Tapa forrada y chapa de zinc.

El aislante fue polietileno expandido. El polietileno expandido se obtuvo de dos maneras. En la primera, se mezclaron dos compuestos; Poliuretano “A” (Figura 3.42.a) y Poliuretano “B” (Figura 3.42.b), en un recipiente al 50% (Figura 3.43). En la segunda, se aplicó directamente la mezcla.



Figuras 3.42.a y 3.42.b: Poliuretano “A” y “B”.



Figura 3.43: Polietileno expandido (mezcla al 50% del Poliuretano “A” y Poliuretano “B”).



La mezcla había que verterla sobre la chapa de zinc inmediatamente (Figura 3.44.a) porque es un líquido que se solidifica rápidamente y encima de la tapa se puso algo pesado para que no se levantara (Figura 3.44.b) al expandirse el polietileno (Figuras 3.45.a y 3.45.b). Cuando se nos terminó la mezcla para que no sobrara, se compró el producto en menor cantidad y con la mezcla ya hecha, su forma era tipo espuma y también se solidificaba.



Figuras 3.44.a y 3.44.b: Se vierte el polietileno expandido sobre la chapa de zinc y un peso sobre la tapa.



Figuras 3.45.a y 3.45.b: Polietileno expandiéndose y forma final del Polietileno expandido.

Cuando estuvo expandido todo el polietileno, con el cúter se cortó el aislante que sobresalía para conseguir que fuera plano, de manera que no impidiera el cierre del tanque. Esta operación también se realizó con el aislante del tanque (Figura 3.46).



Figura 3.46: Eliminación rebaba de aislante para su encaje idóneo con el tanque.



Se puso el tanque acumulador sobre la estructura que lo iba a sujetar. Se buscaron mangueras para llenarlo de agua, había días que estaba cortada el agua en la zona de trabajo y para poder llegar a la otra que sí disponía de agua, hubo que hacer empalmes de mangueras de hasta 15 metros. Una vez llenado se cerró el tanque con la tapa y por último se puso la chapa de zinc con el aislante para tener completamente cerrado y estanco el tanque.

Luego, se consiguió una camioneta para poder transportar el colector desde donde se construyó hasta la estructura que lo iba a soportar para poder realizar la pasteurización de leche. La construcción del colector se hizo en una facultad y su ubicación final estaba en otra situada a varios km.

El tanque se unió al colector mediante diferentes trozos de tubos de cobre, debido a que había que poner entre ellos la válvula de bola (para impedir o permitir, según el caso, que circulara el agua por el circuito primario) y los aparatos de medida (termómetro y manómetro). Se pusieron los acopladores hembra en los extremos de los tubos antes de avellanarlos ya que este proceso impedía sacarlos, pues la única manera era cortando el tubo. Se avellanaron los tubos de cobre (Figuras 3.47.a y 3.47.b).



Figuras 3.47.a y 3.47.b: Avellanando los tubos de cobre y avellanado tubo de cobre.

Para unir los acopladores hembra se utilizó el acoplador macho. Hubo que roscar (Figura 3.48) dejándolo muy apretado para que no hubiera fugas.



Figura 3.48: Roscando bien los acopladores.



Con este método no es necesario soldar porque la soldadura entre el acoplador y el tubo es frágil y en caso de fuga, por no estar bien presionado, se reventaría la soldadura (Figura 3.49). Cuando se comprobó que no había fugas, se echó silicona entre el acoplador y el tubo.



Figura 3.49: Fuga.

Los tubos que unen el tanque con el colector son tres; uno que está enroscado al tanque, otro que une el tanque con la válvula de bola y el último que une la válvula de bola con la parrilla del colector, éste, entre medias, tiene tubos soldados con dos tes de cobre, donde una te se conecta al termómetro y la otra al manómetro (Figura 3.50).



Figura 3.50: Detalle del termómetro y manómetro.

Esta disposición se repite tanto en la conexión de entrada como en la de salida de agua del tanque en el circuito primario con el colector (Figuras 3.51.a y 3.51.b).



Figuras 3.51.a y 3.51.b: Conexión de entrada y salida de agua del tanque con el colector.



Para que la estructura del reflector del este no estorbara en las conexiones se tomó una barra que se fijó a la pletina de la estructura y al suelo, asegurando su estabilidad.

Al otro lado del colector, en los tubos de la parrilla, se pusieron tapones para que fuera un circuito cerrado. Una vez montado todo el circuito primario con un colector (Figura 3.52), se aislaron también los tubos de cobre.



Figura 3.52: Circuito cerrado con un colector.

El aislante consistía en tubos por lo que a éstos hubo que hacerles previamente un corte con un cúter (Figura 3.53) para enrollarlos sobre los tubos de cobre.



Figura 3.53: Cortando el aislante de los tubos de cobre.



Posteriormente, se sujetó el aislante con bridas (Figuras 3.54.a y 3.54.b)



Figuras 3.54.a y 3.54.b: Aislante en los tubos del circuito primario.

Antes de tomar las medidas se decidió hacer una prueba con el tanque abierto para comprobar que llegaba el agua caliente al tanque, por si la diferencia de alturas, que era muy grande, afectaba al objetivo (Figura 3.55).



Figura 3.55: Entrada del agua caliente al tanque.

Finalmente, se tomaron los datos de temperatura de entrada y salida del colector en un día soleado. Se tomaron medidas tres días; 19, 22 y 23 de febrero cada cinco minutos desde las 11h hasta las 13h. Antes de cada medida, si se veía sucio el vidrio del colector se limpiaba.



3.4.1 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 19 DE FEBRERO

Las medidas del 19 de febrero se muestran a continuación (Tabla 3.2):

Hora	Tª entrada (°C)	Tª salida (°C)
11:00	39	43
11:05	41	48
11:10	45	52
11:15	49	57
11:20	54	67
11:25	46	68
11:30	48,5	65
11:35	53	76,5
11:40	47,5	77
11:45	48	77
11:50	49	77
11:55	48	76
12:00	49	77
12:05	48,5	76
12:10	50,5	78,5
12:15	50	75
12:20	50	74
12:25	51	75
12:30	52	74
12:35	53	74
12:40	54	76
12:45	55	75
12:50	54	74,5
12:55	47,5	67
13:00	44	61

Tabla 3.2: Temperaturas de entrada y salida del colector el 19-2-2010.

En la temperatura de entrada del agua al colector hay una diferencia de 5°C entre el primer y último dato, se aprecia que hay tres cambios de tendencia, aunque el valor máximo fue a las 12:45h con 55°C. Entre el máximo y el mínimo fue de 16°C.

Los datos que se obtuvieron de la página son en horas, por lo que los intervalos de cinco minutos desde las 11h a las 13h hubo que hacer un spline cúbico. Después se calcula la irradiación para un plano inclinado que se ha visto en el apartado anterior con ángulo igual a la latitud de Managua. A continuación, se muestran en la gráfica los valores obtenidos (Figura 3.56).

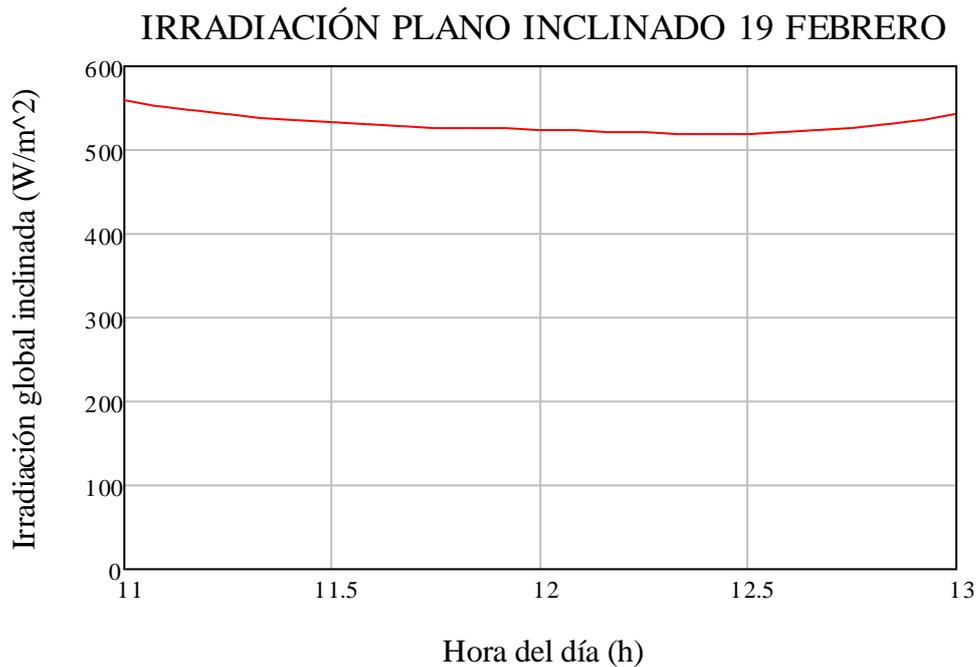


Figura 3.56: Irradiación (W/m²) vs hora (h) el 19-2-2010.

El valor máximo 557 W/m² fue a las 11h y el mínimo se produjo a las 12:25h con 518 W/m².

Con los datos de temperatura se ha hecho lo mismo que con los datos de irradiación, al darlos en horas, se calculó el spline cúbico para los intervalos de cinco minutos y en la Figura 3.57 se ven los resultados.

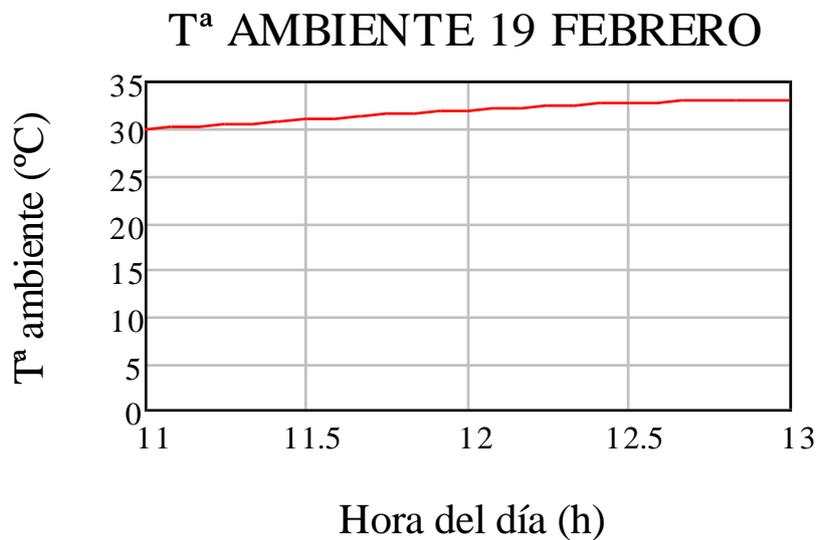


Figura 3.57: Temperatura (°C) vs hora (h) el 19-2-2010.

A las 13h fue la temperatura ambiente máxima, 33 °C. Es una curva con pendiente positiva. La temperatura media fue de 27,7 °C.

En la Figura 3.58 se observa la temperatura de salida del colector con respecto la hora.

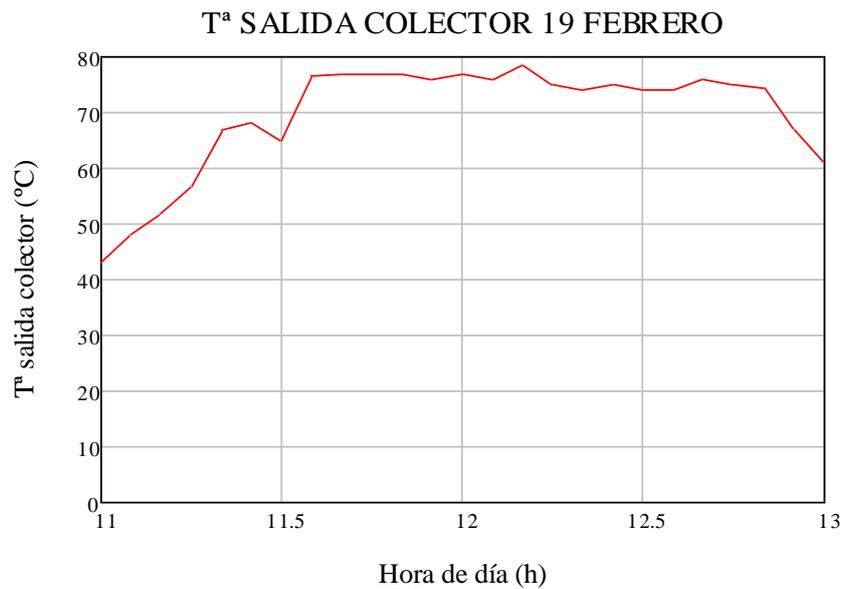


Figura 3.58: Temperatura de salida del colector (°C) vs hora (h) el 19-2-2010.

Desde las 11h hasta las 12:10h la temperatura fue aumentando, salvo a las 11:30h que bajó 3°C con respecto al dato anterior, esto puede deberse a la velocidad del viento o a que ese día no estuviera despejado del todo. La temperatura máxima fue a las 12:10h con 78,5°C, desde ahí hasta las 13h descendió hasta los 61°C, es decir, 18°C más que a la hora en que comenzó a tomarse datos. La diferencia entre el máximo y el mínimo fue de 35,5°C.

En la Figura 3.59 se hace una comparativa entre la temperatura de entrada y salida del colector con respecto a la hora.

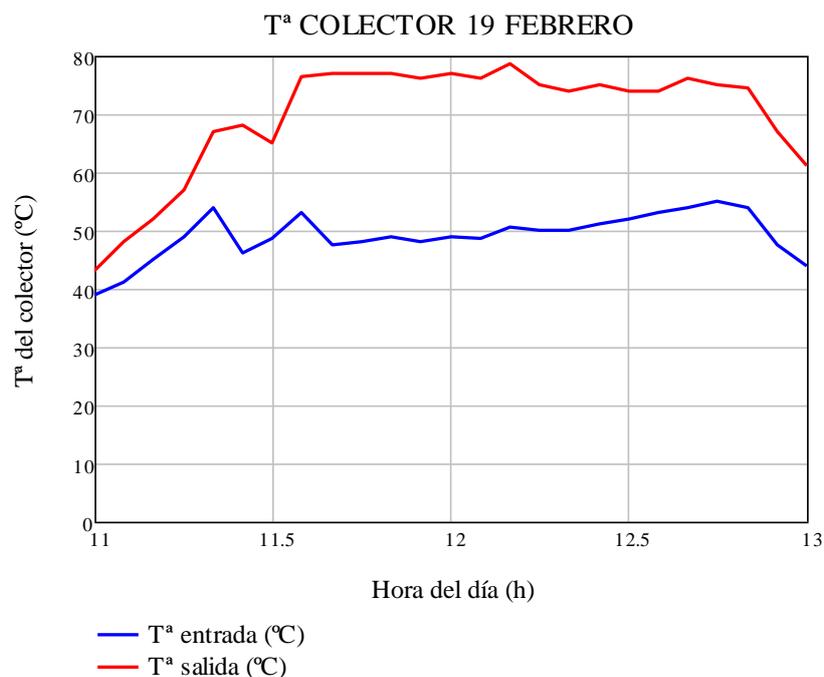


Figura 3.59: Temperatura de entrada y salida del colector (°C) vs hora (h) el 19-2-2010.



Desde las 11:25h hasta las 11:40h la tendencia de la gráfica entre la temperatura de entrada y salida es diferente, si una aumenta la otra disminuye y viceversa (se puede deber a que tarda 5-10 minutos en notarse la variación de la temperatura de entrada en la de salida), mientras que el resto de datos siguen la misma tendencia entre ellos. La mayor diferencia entre ellos se produce a las 11:40h con 29,5°C.

A partir de estos datos, se puede calcular el calor útil, ecuación (3.29). [10]

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_{co} \cdot C_p \cdot (T_{sco} - T_{eco}) \quad (3.29)$$

El gasto másico (\dot{m}_{co}) se calculó en el apartado 3.3, el calor específico (C_p) es 4,18 (kJ/kg·°C), por lo que se tienen todos los datos para calcular el calor útil, en la Figura 3.60 están los resultados.

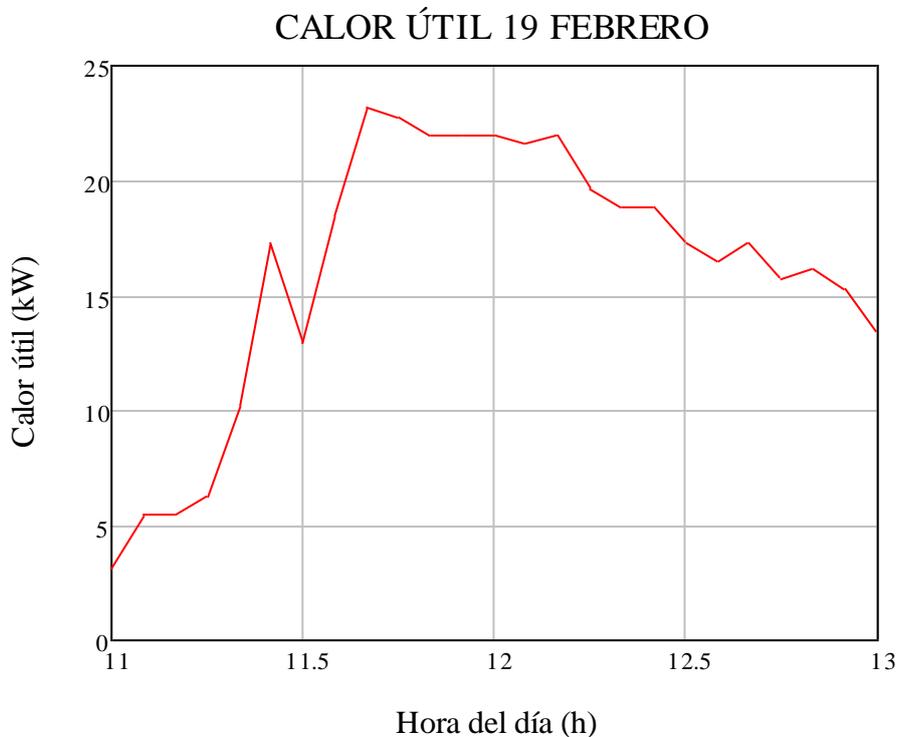


Figura 3.60: Calor útil (kW) vs hora (h) el 19-2-2010.

A las 11:40h fue el valor máximo del calor útil, 23,17 kW, en este momento había mayor diferencia entre la temperatura de entrada y salida del colector. A las 11:30h se rompe bruscamente la tendencia ascendente debido a que mientras la temperatura de entrada del colector aumenta, la temperatura de salida disminuye. Después de alcanzar el máximo, el calor cae gradualmente.

Al tener el calor útil, se puede calcular el rendimiento del colector, ecuación (3.30). [10]

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_{co} \cdot I_s} \quad (3.30)$$



El A_{co} es el área de captación del colector, en este caso habría que multiplicar el ancho de las placas de aluminio por el largo de la parrilla de cobre (las placas de aluminio a lo largo son más cortas que la parrilla), ecuación (3.31).

$$A_{co} = 0,96 m \cdot 1,9 m = 1,83 m^2 \quad (3.31)$$

El resto de valores de la ecuación (3.30) se han podido observar en la Figura 3.56 y en la Figura 3.60, en la Figura 3.61 se representa el resultado del rendimiento.



Figura 3.61: Rendimiento del colector (%) vs hora (h) el 19-2-2010.

El rendimiento máximo de este día fue de 23,98%. Este valor bajo pudo deberse a que la velocidad del viento contribuyó negativamente, pues la máxima fue de 11 m/s y la velocidad media fue de 5,5 m/s.

3.4.2 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 22 DE FEBRERO

Las medidas del 22 de febrero se muestran a continuación (Tabla 3.3):

Hora	Tª entrada (°C)	Tª salida (°C)
11:00	48	81
11:05	47	77
11:10	55,5	81
11:15	51	80
11:20	46	79
11:25	46,5	80
11:30	47	83
11:35	46	81
11:40	47	81,5
11:45	47	82,5
11:50	56	80



11:55	46,5	82
12:00	46	81
12:05	48	81
12:10	48	83
12:15	48,5	82
12:20	49	83
12:25	50	83,5
12:30	50	83,5
12:35	50	81
12:40	50	82,5
12:45	52	82,5
12:50	52	81
12:55	52	79
13:00	53	81

Tabla 3.3: Temperaturas de entrada y salida del colector el 22-2-2010.

En la temperatura de entrada del agua al colector hay una diferencia de 5°C entre el primer y último dato y hay tres cambios de tendencia, lo mismo que ocurrió el 19 de febrero. El valor máximo fue a las 11:50h con 56°C y viendo los valores próximos en esa hora es un dato atípico ya que fluctuaba entre 46°C y 48°C. La diferencia entre el máximo y el mínimo es de 10°C.

Anteriormente se explicó cómo se obtuvieron los valores de irradiación. En la Figura 3.62 se observan los resultados.

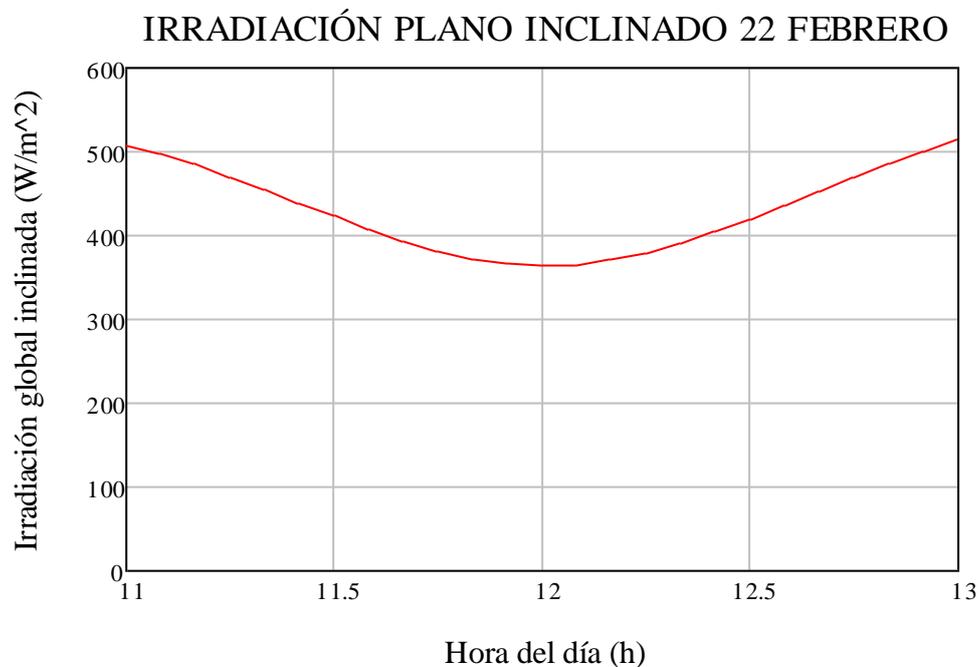


Figura 3.62: Irradiación (W/m²) vs hora (h) el 22-2-2010.



El valor máximo 519 W/m^2 fue a las 13h y el mínimo se produjo a las 12h con 365 W/m^2 . Valores mucho más pequeños que los del día 19.

En la Figura 3.63 se muestran los resultados de la temperatura ambiente.

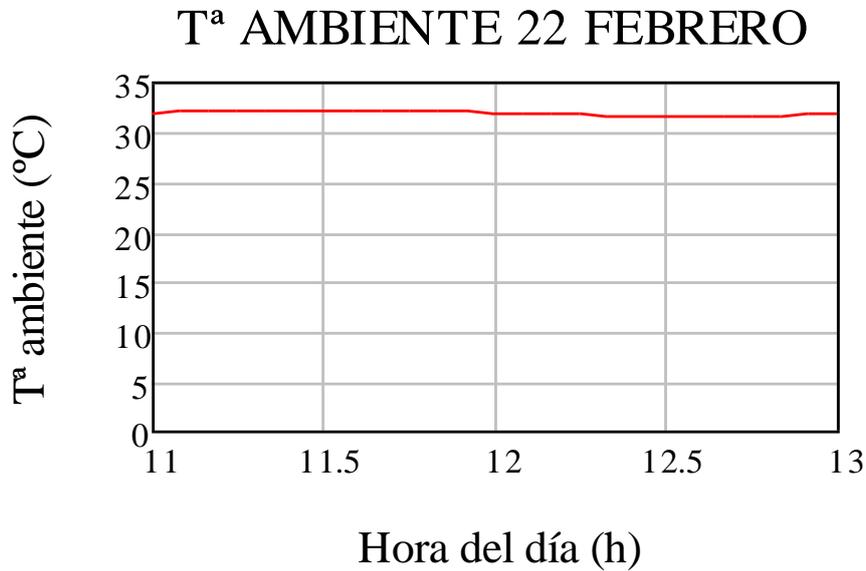


Figura 3.63: Temperatura (°C) vs hora (h) el 22-2-2010.

Realmente los datos que se tienen corresponden a las 11h, 12h y 13h y los tres tienen el mismo valor 32°C , podría ser una recta, en vez de esta curva. La temperatura media de $29,3^\circ\text{C}$. Mayor que el día 19.

En la Figura 3.64 se observa la temperatura de salida del colector con respecto la hora.

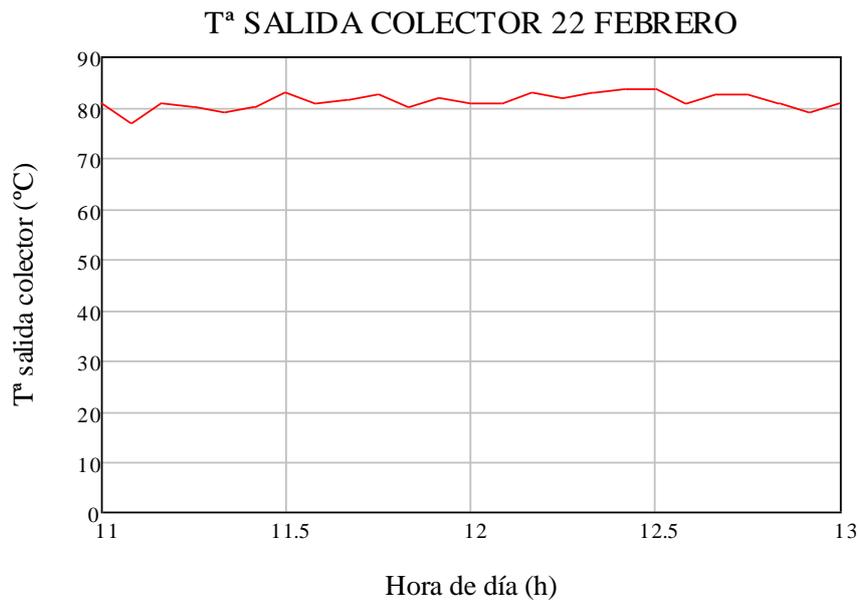


Figura 3.64: Temperatura de salida del colector (°C) vs hora (h) el 22-2-2010.



Durante el tiempo en que se tomaron los datos, la máxima diferencia fue de 6,5°C, es decir, el mínimo fue de 77°C y el máximo de 83,5°C, el 19 de febrero había más contraste. Hubo más diferencia en la temperatura de entrada del colector (10°C).

En la Figura 3.65 se hace una comparativa entre la temperatura de entrada y salida del colector con respecto a la hora.

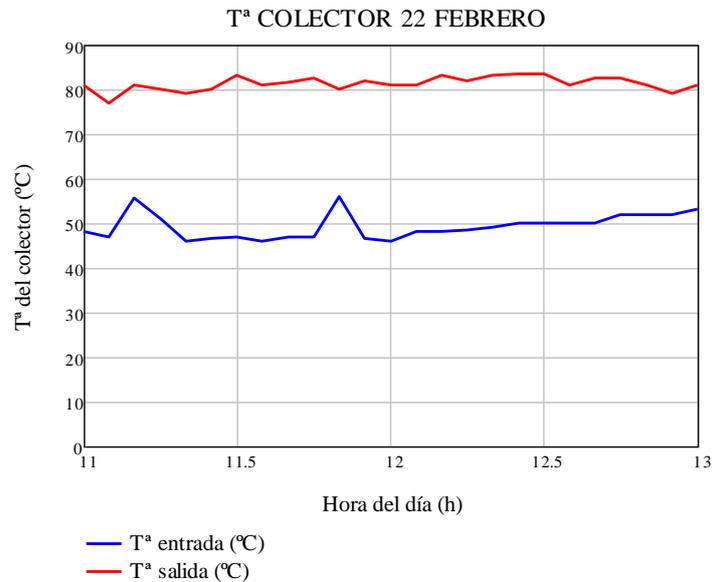


Figura 3.65: Temperatura de entrada y salida del colector (°C) vs hora (h) el 22-2-2010.

Los valores de la temperatura de entrada tienden a aumentar paulatinamente, aunque los de las 11:10h, 11:15h y 11:50h se salen de esa tendencia. En cambio, los valores de la temperatura de salida varían en torno a los 80°C. La máxima diferencia a las 11:30h con 36°C, mayor que el día 19.

En la Figura 3.66 se estudia el calor útil, cuyo cálculo se trató en el apartado anterior, 3.4.1.

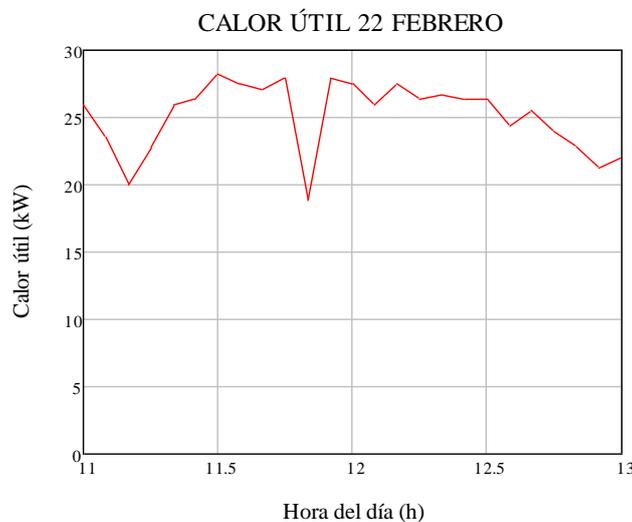


Figura 3.66: Calor útil (kW) vs hora (h) el 22-2-2010.



En esta gráfica el dato más atípico es el de las 11:50h, también pero en menor medida el de las 11:10h, por lo que se aprecia cómo afecta la temperatura de entrada en el colector sobre el calor útil. El valor máximo del calor útil, 28,28 kW, a las 11:30h, este dato es mayor que el obtenido el 19 de febrero.

En la Figura 3.67.a se enseña el resultado del rendimiento.

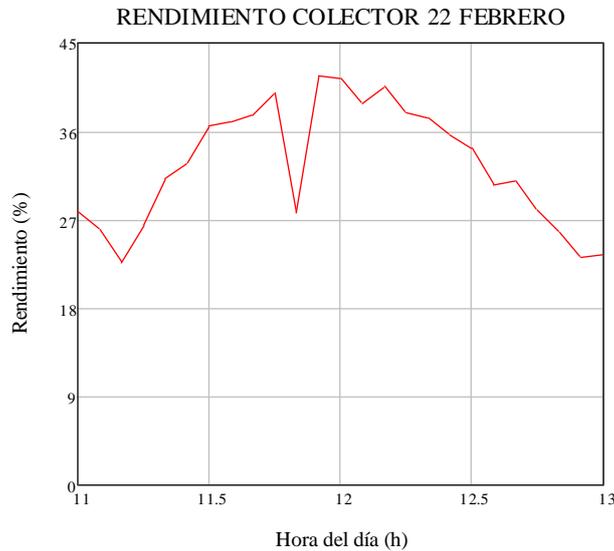


Figura 3.67.a: Rendimiento del colector (%) vs hora (h) el 22-2-2010.

El valor máximo se produce a las 11:55h con un 41,67%. Casi un 20% más que el calculado el 19 de febrero. La velocidad máxima del viento de ese día fue de 4 m/s y la media de 2,8 m/s, mucho menor que el día 19, por lo que seguramente influyó el viento en el rendimiento del colector obtenido el 19.

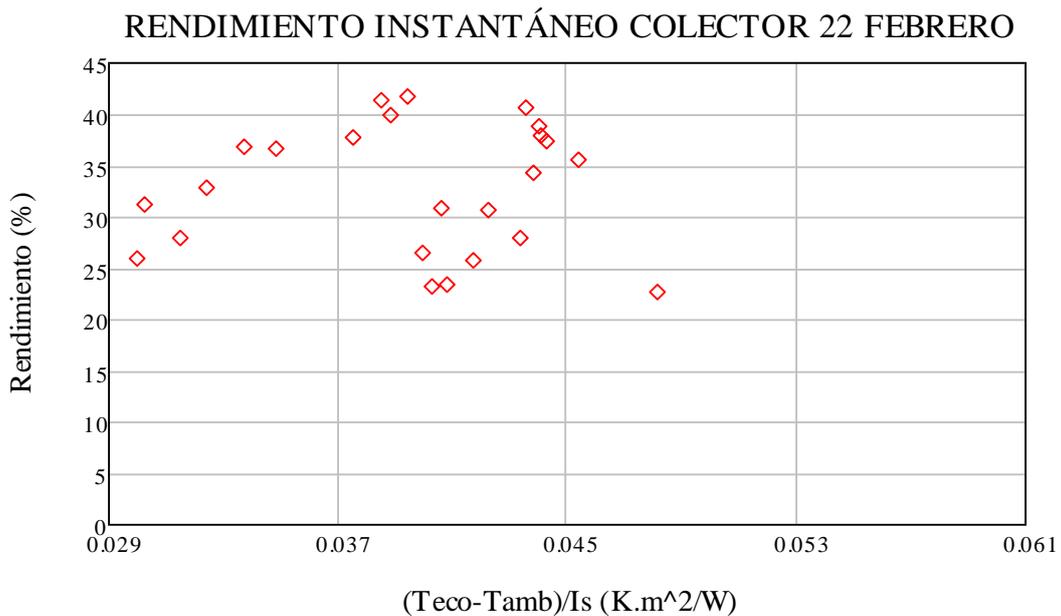


Figura 3.67.b: Rendimiento del colector (%) vs (Teco-Tamb)/Is (K.m²/W) el 22-2-2010.



La Figura 3.67.b se utiliza para conocer la tendencia de la recta de normalización, que es descendente. Se representa el rendimiento con respecto a $(T_{\text{eco}}-T_{\text{amb}})/I_s$. Los puntos se encuentran en un margen de rendimiento típico, de 20 a 45.

3.4.3 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 23 DE FEBRERO

Las medidas del 23 de febrero se muestran a continuación (Tabla 3.4):

Hora	Tª entrada (°C)	Tª salida (°C)
11:00	54	76
11:05	46,5	68
11:10	45	61,5
11:15	48	60
11:20	61	78
11:25	54	81
11:30	53	81
11:35	50	80
11:40	50	83
11:45	50	89
11:50	49	93
11:55	53	94
12:00	53	94
12:05	53	94
12:10	52	94
12:15	51	93
12:20	53	94
12:25	54	94,5
12:30	54	94,5
12:35	54	94
12:40	54,5	94
12:45	53,5	93
12:50	53	90
12:55	52	85
13:00	51	81

Tabla 3.4: Temperaturas de entrada y salida del colector el 23-2-2010.

En la temperatura de entrada del agua al colector hay una diferencia de 3°C entre el primer y último dato, pero a diferencia de los otros dos días, aquí ha sido descendente. A partir de las 12:40h disminuye. El valor máximo fue a las 11:20h con 61°C.

En la Figura 3.68, irradiación con respecto a la hora.

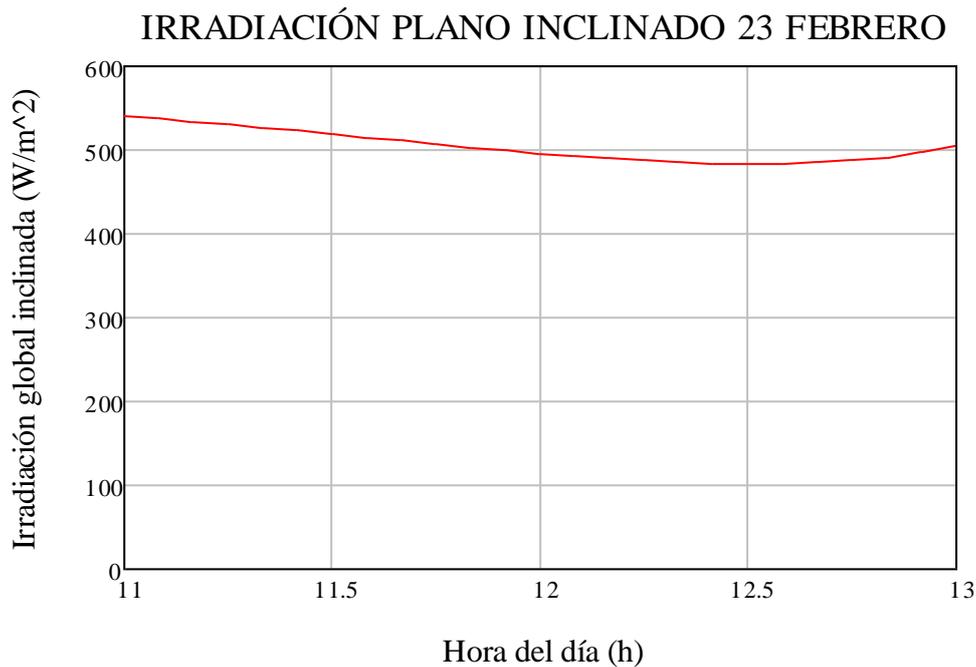


Figura 3.68: Irradiación (W/m²) vs hora (h) el 23-2-2010.

El valor máximo 539 W/m² fue a las 11h y el mínimo se produjo a las 12:35h con 484 W/m². Valores mayores que el día 22, pero menores que los del 19. Mientras que el máximo del día 22 fue a las 13h, pero el 23 y el 19 fue a las 11h.

En la Figura 3.69 se exponen los resultados de la temperatura ambiente.

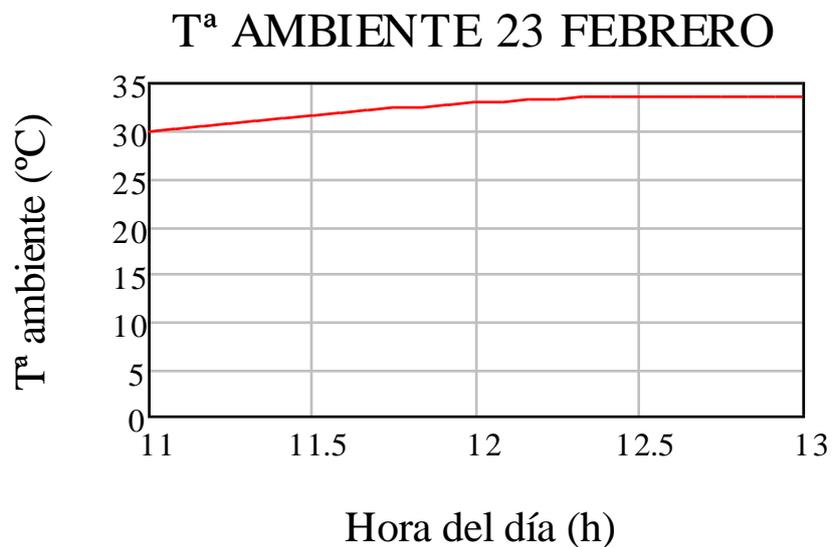


Figura 3.69: Temperatura (°C) vs hora (h) el 23-2-2010.

Curva con pendiente ascendente y la temperatura media de 29,1°C. El máximo es aproximadamente el del día 19, 33,57°C, y la media es menor por dos décimas al del día 22.

En la Figura 3.70 se observa la temperatura de salida del colector con respecto la hora.

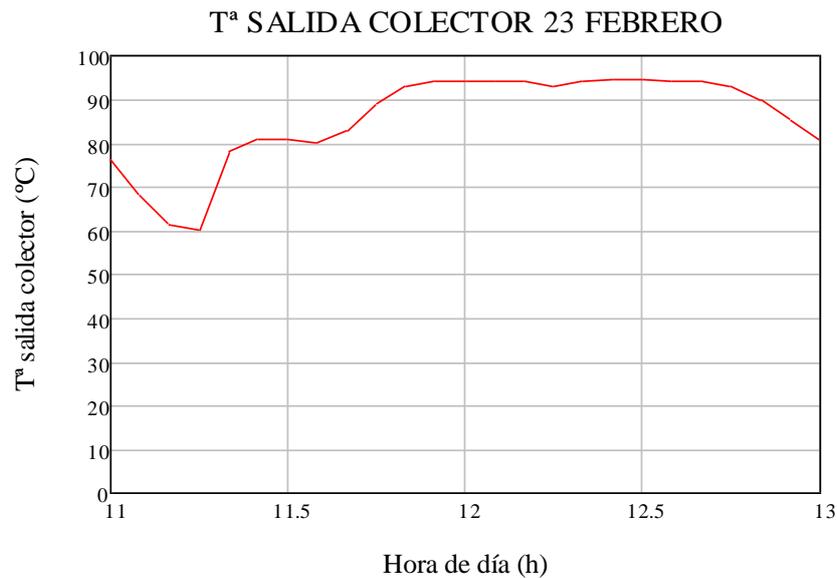


Figura 3.70: Temperatura de salida del colector (°C) vs hora (h) el 23-2-2010.

Desde las 11h hasta las 11:20h disminuye, esto puede ser a que cuando se cerró el sistema quedara agua en los colectores y al estar más fría afectó a la temperatura de salida del colector, a partir de ese momento empieza a aumentar la temperatura de salida hasta las 12:45h que vuelve a descender. La diferencia entre el primer y último dato es de 5°C. La diferencia entre el máximo y el mínimo es de 34,5°C, parecido al del día 19. De los tres días en que se tomaron datos, el máximo fue en este día, 23 de febrero, 94,5°C.

En la Figura 3.71 se hace una comparativa entre la temperatura de entrada y salida del colector con respecto a la hora.

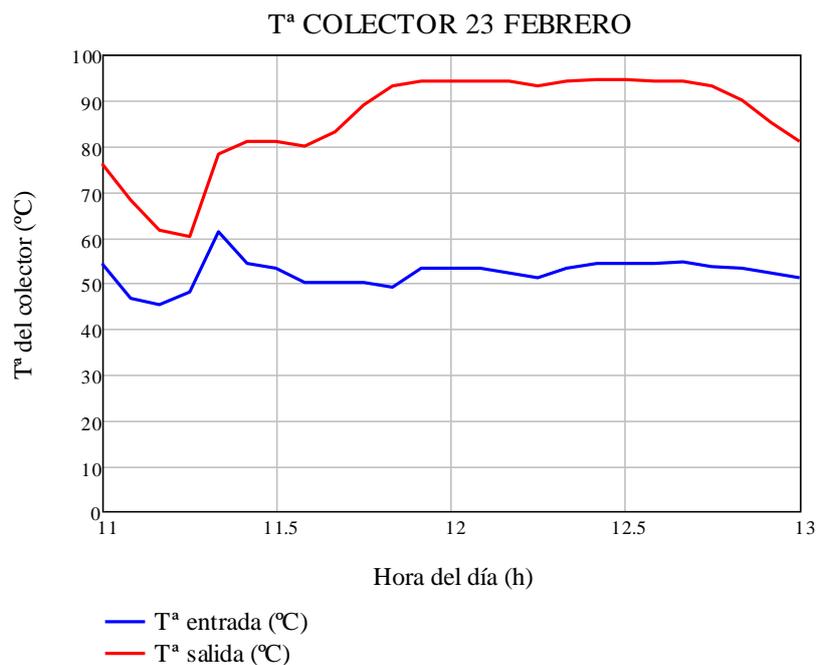


Figura 3.71: Temperatura de entrada y salida del colector (°C) vs hora (h) el 23-2-2010.



Los valores de la temperatura de entrada y salida tienen la misma tendencia salvo desde las 11:20h hasta las 11:50h que van al contrario. La menor diferencia entre ellos es a las 11:15h con 12°C y la máxima a las 11:50h con 44°C, mucho mayor que en los días anteriores.

En la Figura 3.72 se estudia el calor útil.

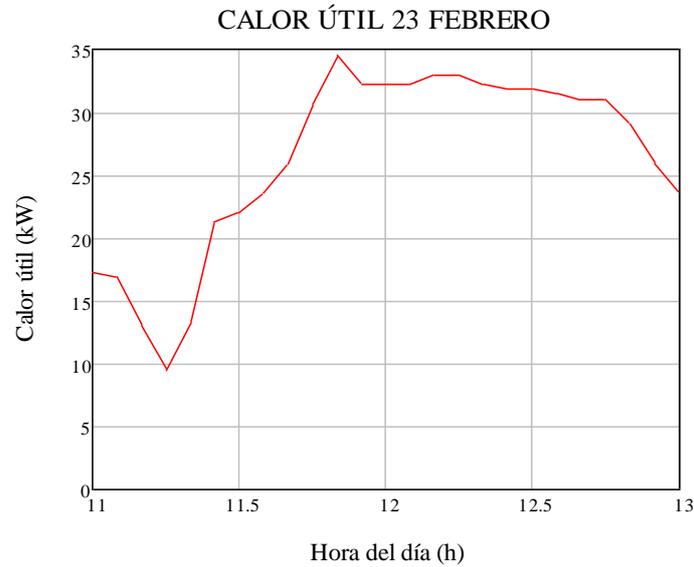


Figura 3.72: Calor útil (kW) vs hora (h) el 23-2-2010.

En esta gráfica el dato atípico es el de las 11:15h con 9,43 kW, y en este caso coincide con el mínimo y con la menor diferencia de temperaturas entre la de salida y entrada del colector. El valor máximo del calor útil, 34,56 kW, a las 11:50h, este dato es mayor que el obtenido los otros dos días.

En la Figura 3.73 se ofrece el resultado del rendimiento.



Figura 3.73: Rendimiento del colector (%) vs hora (h) el 23-2-2010.



El valor máximo se produce a las 11:50h con un 37,55%. Menor que el del día 22, pero mayor que el 19 de febrero. La velocidad máxima del viento el 23 fue de 9 m/s y la media de 4,6 m/s, valor entre medias del día 19, mayor, y del día 22, menor.

3.4.4 MODIFICACIONES DE LAS ESTRUCTURAS (DE COLECTORES Y REFLECTORES)

Los colectores son más altos que los anteriores, por lo que los angulares que había en la estructura soporte no servían para fijar la estructura de los reflectores norte-sur debido a que ésta se apoyaría sobre los colectores (Figuras 3.52 y 3.54.b) y no sobre la estructura de los colectores. Hubo que desmontar el sistema del circuito primario con un colector, para que las chispas al pasar la lijadora para quitar los angulares obsoletos en la estructura del colector o al soldar los nuevos angulares no saltaran al colector o a las conexiones y pudieran dañarlos.

Después de desmontar el sistema, se quitaron los angulares obsoletos. El angular era una barra por lo que se cortó, con la lijadora, en varios trozos con la longitud exacta de los nuevos angulares y luego estos se soldaron a la estructura del colector. Se pusieron unos tacos de madera, con la misma longitud todos, sobre la estructura del colector para que al poner la estructura de los reflectores norte-sur lo sostuvieran y así poder taladrar los angulares (la estructura de los reflectores norte-sur ya tenían hechos los agujeros) pues la unión entre las dos estructuras es con pernos (Figura 2.14.a).

Aprovechando que ya estaba montada la estructura de los reflectores norte-sur, se decidió soldar unos angulares en las pletinas de las estructuras de los reflectores (norte-sur, este y oeste), ver la longitud máxima que tendrían que tener las barras para fijar en un ángulo concreto la estructura de los reflectores y que así llegara más calor a los colectores y lo que sobraba se cortó con la lijadora. Por último, soldar angulares a las barras para que se fijen bien con las estructuras de los reflectores (Figura 3.74).



Figura 3.74: Método para fijar en un determinado ángulo los reflectores.



Una vez terminado, se desmontó la estructura de los reflectores norte-sur para luego poder poner los tres colectores. Se limpiaron las estructuras y se pintó (Figura 3.75).



Figura 3.75: Pintando las estructuras.

Cuando se secó la pintura, con una furgoneta se llevaron a FACA los 2 colectores que faltaban. Lo mismo que se había hecho con el colector de las pruebas anteriores. Al ponerlos sobre la estructura se comprobó que no cabían, que se había quedado corta la estructura, pues los colectores anteriores eran más estrechos. Hubo que desmontar todas las estructuras (la de los colectores y la de los reflectores), Figura 2.15.a, para alargar las de los colectores y la de los reflectores norte-sur. Se consiguió cortando las estructuras en dos con la lijadora y soldando un trozo de angular a cada lado.

Se aprovechó para hacer unas bisagras mayores ya que las anteriores se habían quedado pequeñas y al poner la estructura de los reflectores norte-sur no se podían cerrar las estructuras este y oeste, así que se soldaron las barras de apoyo a la estructura del colector y las barras a sus respectivas zapatas. Luego, se pusieron otra vez los tacos de madera sobre la estructura de los colectores para sujetar la estructura de los reflectores norte-sur y comprobar que los agujeros de los angulares que estaban en la estructura de los colectores coincidían con los de la estructura de los reflectores y de no ser así, hacer la oportuna rectificación. Se unieron con los pernos las estructuras de los colectores y de los reflectores norte-sur. Se hicieron perforaciones a la estructura del colector para que cuando lloviera no se quedara agua en ella. Tomar medidas para ver cómo tienen que ser las bisagras, construirlas, soldarlas a las estructuras de los reflectores este y oeste y, por último, soldarlas a la estructura de los colectores. Cuando estuvo todo soldado y montado (Figura 2.15.b), se desmontó la estructura de los reflectores norte-sur. Por último, se volvieron a limpiar y a pintar todas las estructuras.

Mientras se volvían a pintar las estructuras, se hicieron tres orificios con el taladro al tanque acumulador (por supuesto, también al aislante y chapa de zinc) para poder poner tres termómetros a tres alturas diferentes, uno abajo, otro en el medio y el tercero arriba (Figura 3.76) para poder controlar y conocer la temperatura del agua en esas tres zonas. Con respeto al suelo la altura del termómetro en la zona inferior es de 14 cm, la de la zona del medio es de 50 cm y la de la zona superior es de 78,5 cm. La altura del tubo de salida de agua del tanque se encontraba a 26 cm y la del tubo de entrada de agua a 92 cm. Los termómetros se pueden leer a partir de 20°C. No hay problema porque la temperatura siempre será mayor. Se puso silicona alrededor de los termómetros dentro del tanque para que no hubiera fugas y se dejó varios días secar la silicona.



Figura 3.76: Tres termómetros a diferentes alturas en el tanque acumulador.

Una vez seca la pintura en la estructura del colector, se pusieron los tres colectores (Figura 3.77).



Figura 3.77: Los tres colectores sobre su estructura.

Se puso el tanque sobre su estructura, con mucho cuidado para que no se rompiera ningún termómetro. Se llenó de agua.

Se realizó la conexión del tanque acumulador con el colector. Aunque estaban puestos los tres colectores, se decidió no conectarlos entre ellos (Figura 3.78.a) por lo que se taponaron los tubos de la parrilla del colector externo de la derecha para poder efectuar más medidas de un circuito con un colector. Los otros dos colectores se taponaron para que no pudiera entrar nada.



Una vez montado todo el circuito primario y comprobado que no había fugas, se procedió a aislar todos los tubos, pero en vez de sujetarlo con bridas, se hizo con cinta americana (Figura 3.78.b).



Figuras 3.78.a y 3.78.b: Tres colectores no unidos y aislada la conexión del tanque con el colector.

Se tomaron los datos de temperatura de entrada y salida del colector en un día soleado. En principio, se pensó tomar medidas otros tres días, pero el tercero estaba nublado por lo que al final solamente fueron dos días; 19 y 22 de marzo cada cinco minutos desde las 11h hasta las 13h. El 23 de marzo fue el día nublado. Al tener puestos los termómetros en el tanque, se anotaron los valores de los tres termómetros tanto el 19,22 de marzo como el 23 de marzo, pero a unas horas. Y, por supuesto, se limpiaba el vidrio antes de cada medida.

3.4.5 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 19 DE MARZO

Las medidas del 19 de marzo se muestran a continuación (Tabla 3.5):

Hora	T ^a entrada (°C)	T ^a salida (°C)
11:00	39	69
11:05	39	71
11:10	39	71,5
11:15	38	72
11:20	37	72
11:25	37	72
11:30	37	74
11:35	37	75
11:40	37	74
11:45	37	72
11:50	37	72
11:55	37,5	72
12:00	37,5	72
12:05	37,5	72
12:10	37,5	73
12:15	37,5	73



12:20	37,5	72,5
12:25	37,5	73
12:30	37,5	73
12:35	37,5	73
12:40	38	73
12:45	37,5	71
12:50	37,5	73
12:55	37,5	73
13:00	37,5	72

Tabla 3.5: Temperaturas de entrada y salida del colector el 19-3-2010.

La temperatura de entrada del colector disminuye, a partir de las 11:50h aumenta medio grado y permanece constante salvo a las 12:40h que aumenta otro medio grado. La diferencia entre el máximo y el mínimo son 2°C, ha disminuido en vez de aumentar.

En la Figura 3.79 se muestra la irradiación que hubo en el tiempo que se tomó las medidas, como en los casos anteriores, hubo que hacer un spline cúbico ya que los datos se refieren por horas.

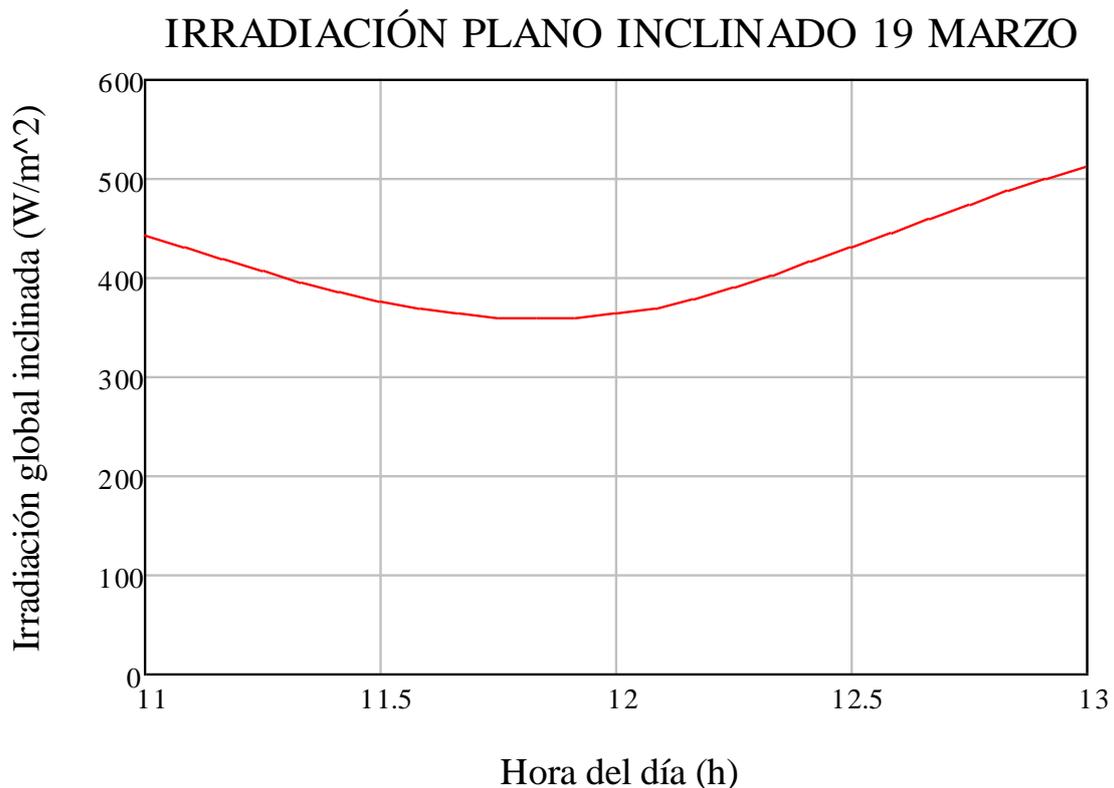


Figura 3.79: Irradiación (W/m²) vs hora (h) el 19-3-2010.

El máximo se produjo a las 13h con 513 W/m² y el mínimo a las 11:50h con 361 W/m².

En la Figura 3.80 se ve la temperatura ambiente que había en el momento en que se tomaron los datos, lo mismo que con la irradiación, se realizó un spline cúbico.

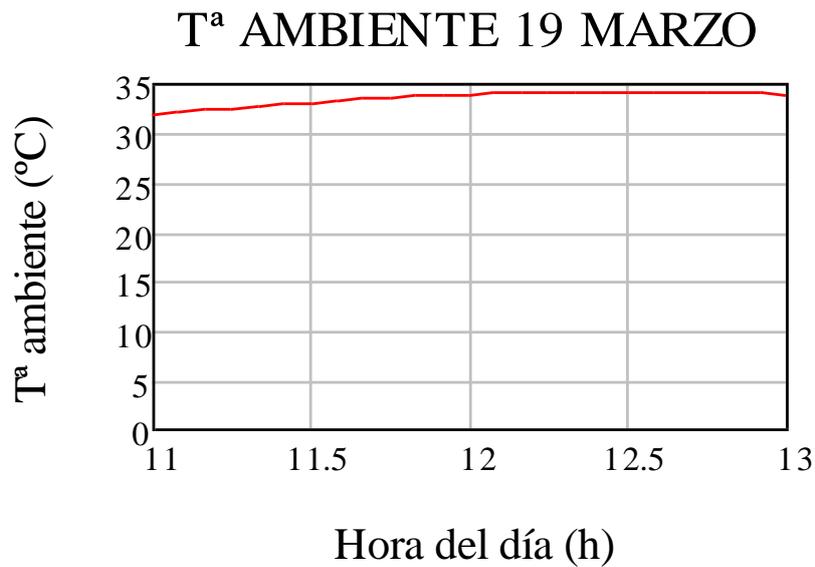


Figura 3.80: Temperatura (°C) vs hora (h) el 19-3-2010.

El máximo se produce a las 12:25h con 34,2°C. Es una curva ascendente y cuando llega al máximo disminuye con muy poca pendiente.

En la Figura 3.81 se indica la temperatura de salida del colector.

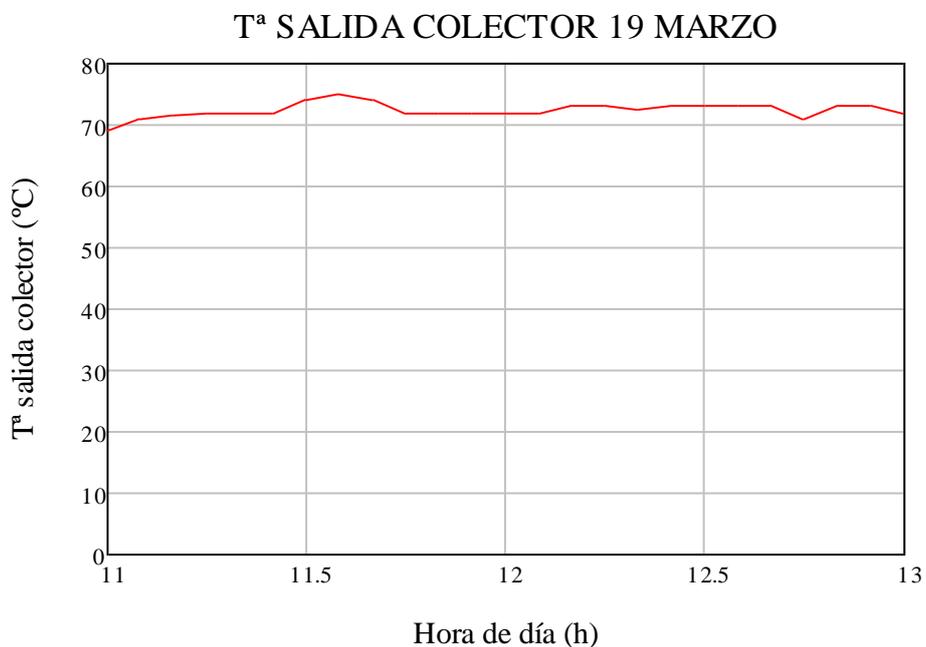


Figura 3.81: Temperatura de salida del colector (°C) vs hora (h) el 19-3-2010.

Hay un pico a las 11:35h que justo coincide con el máximo que es 75°C. Dato atípico es el que se produce a las 12:45h con una caída de 2°C. A las 11h se empezó con 69°C, coincide con el mínimo y a las 13h se termina con una temperatura de 72°C, una diferencia de 3°C, aunque si se compara con la diferencia entre el máximo y el mínimo es justo la mitad.



En la Figura 3.82 se hace una comparativa entre la temperatura de entrada y salida para ver cómo les ha afectado la irradiación y la temperatura ambiente.

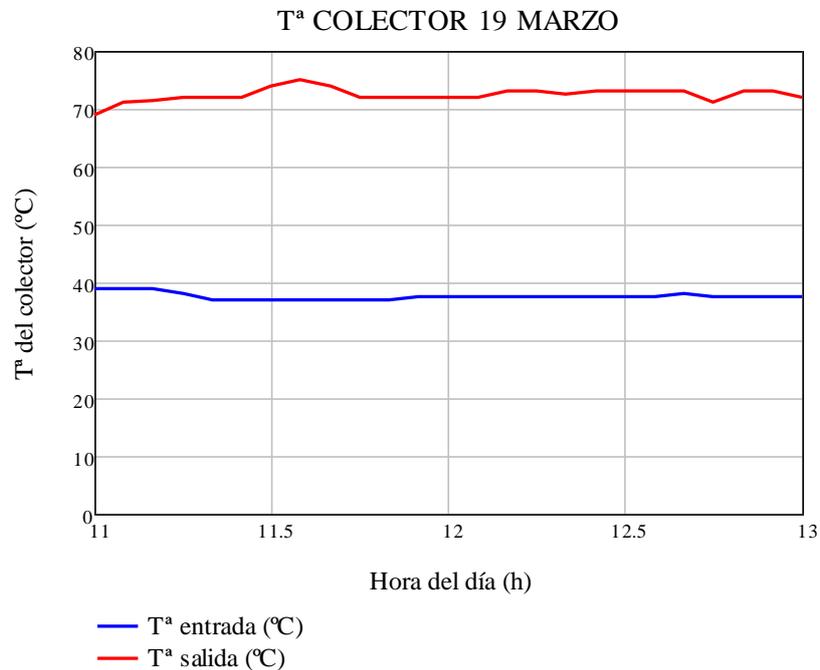


Figura 3.82: Temperatura de entrada y salida del colector (°C) vs hora (h) el 19-3-2010.

Mientras que la temperatura de entrada disminuye, aunque desde las 11:20h hasta las 13h fluctúa en medio grado, pero no se aprecia mucho en la gráfica. En cambio, en la de salida aumenta teniendo su máximo a las 11:35h que coincide con la mayor diferencia entre la temperatura de entrada y salida del colector, 38°C, menor que el día 23 de febrero.

En la Figura 3.83 se muestra el calor útil en el circuito con un colector.

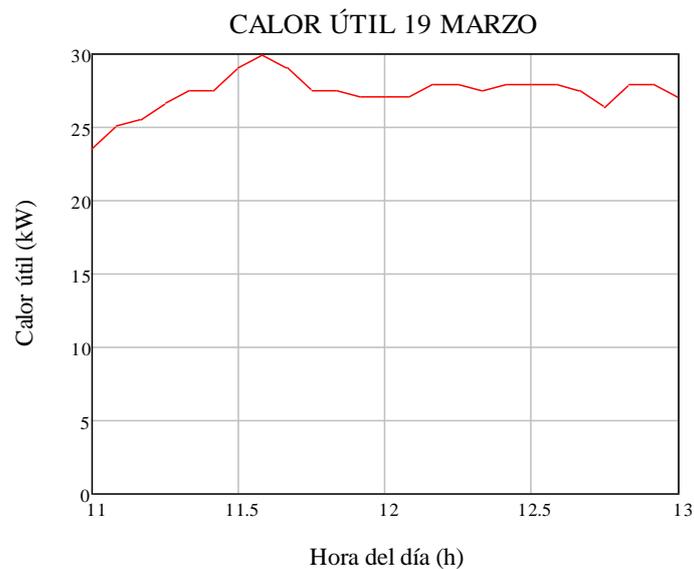


Figura 3.83: Calor útil (kW) vs hora (h) el 19-3-2010.



El máximo, por supuesto, se produce a las 11:35h ya que el calor útil es la diferencia de temperaturas del colector multiplicado por valores constantes, con 29,85 kW. El mínimo se produce a las 11h con un valor de 23,57 kW.

En la Figura 3.84 se observa el máximo rendimiento que se obtiene.

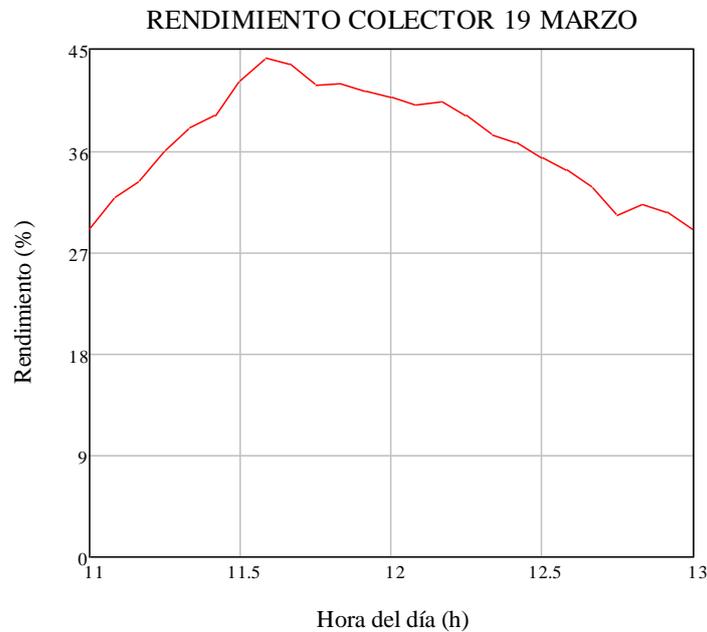


Figura 3.84: Rendimiento del colector (%) vs hora (h) el 19-3-2010.

El mayor rendimiento se produce a las 11:35h con 44,24%. El máximo que se ha obtenido hasta ahora de todos los datos que se han tomado. El mínimo es de 29% que se produjo a las 13h, valor mayor que el máximo rendimiento del 19 de febrero. El rango de valores es menor que los otros días.

La velocidad máxima del viento fue de 5 m/s y la media de 3,8 m/s.

Se tomaron las temperaturas que aparecían en los tres termómetros que hay en el tanque al llegar a la instalación y antes de irse (Tabla 3.6).

	8h	13h
Tª superior (°C)	46	65,5
Tª medio (°C)	34	34
Tª inferior (°C)	34	34

Tabla 3.6: Temperaturas en el tanque el 19-3-2010.

A primera hora de la mañana el termómetro en la zona superior marca una diferencia de 12°C con respecto al de la zona del medio y que éste y el de la zona inferior marcan la misma temperatura 34°C. Cinco horas más tarde, el único valor que varía es el de la zona superior, que ha aumentado 19,5°C. Lo ideal es que la temperatura de la zona superior sea mayor a



80°C para poder pasteurizar a 73°C, por lo que el 19 de marzo no se habría podido pasteurizar leche.

Después de tomar las medidas se dejó el circuito abierto todo el fin de semana.

3.4.6 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 22 DE MARZO

Las medidas del 22 de marzo se muestran a continuación (Tabla 3.7):

Hora	Tª entrada (°C)	Tª salida (°C)
11:00	45	78,5
11:05	45	77,5
11:10	45,5	79
11:15	45,5	79
11:20	45,5	78
11:25	45,5	77,5
11:30	45,5	77,5
11:35	45,5	77,5
11:40	45,5	77,5
11:45	45,5	78
11:50	45,5	77,5
11:55	45,5	77,5
12:00	45,5	77,5
12:05	46	78
12:10	46	77
12:15	46	77,5
12:20	46	79
12:25	46	80
12:30	46,5	78,5
12:35	47	78,5
12:40	47	78,5
12:45	47	78,5
12:50	47	77,5
12:55	47	76,5
13:00	47	74

Tabla 3.7: Temperaturas de entrada y salida del colector el 22-3-2010.

La temperatura de entrada del colector aumenta medio grado o permanece constante. La diferencia entre el primer y último dato es de 2°C.

En la Figura 3.85 se muestra la irradiación en el día 22 de marzo de 11-13h.



Figura 3.85: Irradiación (W/m²) vs hora (h) el 22-3-2010.

La máxima irradiación fue a las 12h con 442 W/m² y el mínimo a las 13h con 370 W/m², valores mayores que el 19 de marzo.

La Figura 3.86 ofrece la temperatura ambiente en las horas que se tomaron los datos del día 22 de marzo.

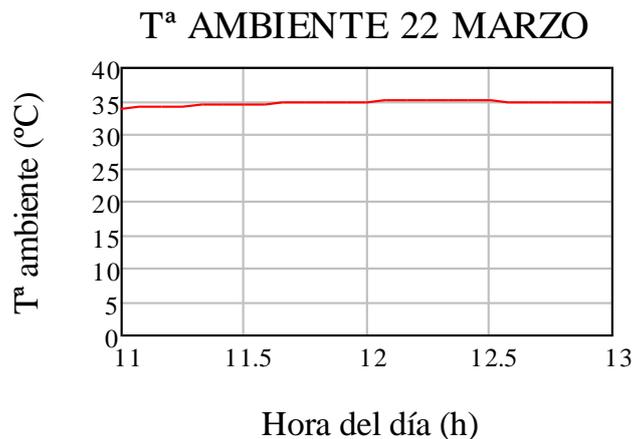


Figura 3.86: Temperatura (°C) vs hora (h) el 22-3-2010.

Desde las 11h hasta las 12h es una pendiente ascendente. A las 12h y 13h es el mismo dato, 35°C. Al no conocerse los valores de cada cinco minutos en ese rango, el spline cúbico ha calculado unos datos, pero puede que permaneciera constante y fuera una recta a lo largo de esa hora.

En la Figura 3.87 se expone la temperatura de salida del colector.

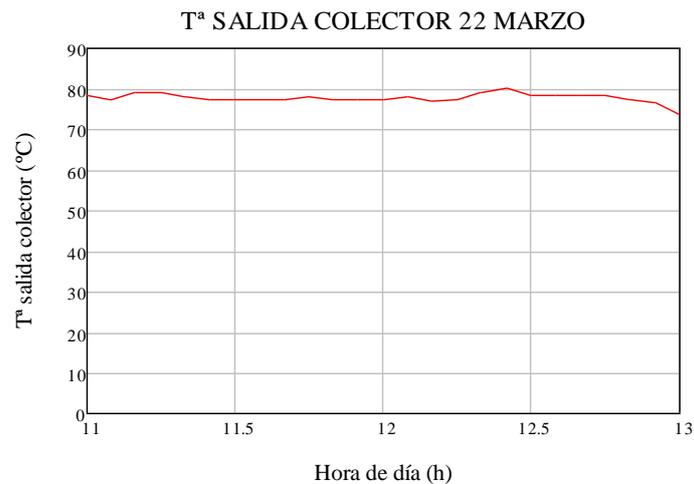


Figura 3.87: Temperatura de salida del colector (°C) vs hora (h) el 22-3-2010.

El primer dato de la temperatura de salida es mayor que el último dato, una diferencia de 4,5°C. El máximo fue a las 12:25h con 80°C y el mínimo a las 13h, que coincide con el último dato, 74°C, la diferencia entre ellos es de 6°C.

En la Figura 3.88 se hace una comparativa entre la temperatura de entrada y salida del colector.

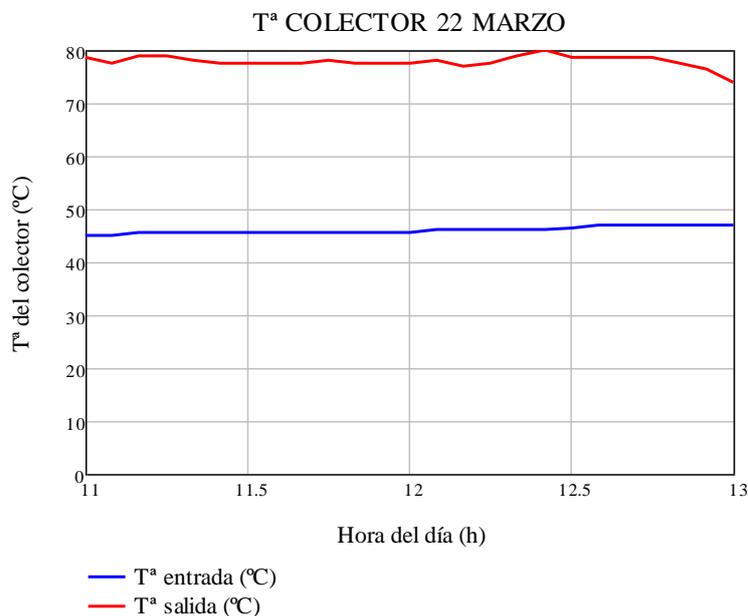


Figura 3.88: Temperatura de entrada y salida del colector (°C) vs hora (h) el 22-3-2010.

La temperatura de entrada es una pendiente ascendente, muy suave, apenas perceptible en la gráfica. La temperatura de salida es una pendiente descendente con algún dato atípico que es mayor que el anterior. La mayor diferencia entre estas dos temperaturas se produce a las 12:25h con 34°C, menor que el 19 de marzo.

La Figura 3.89 muestra los valores del calor útil del 22 de marzo.

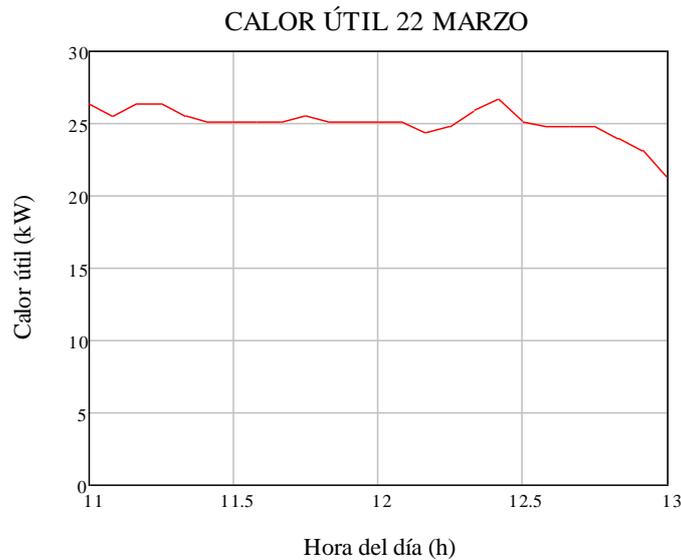


Figura 3.89: Calor útil (kW) vs hora (h) el 22-3-2010.

A las 12:25h se produjo el máximo a las 26,71 kW y el mínimo a las 13h 21,21 kW. Es una curva con pendiente descendente, salvo el valor de las 12:25h que además coincide con el máximo.

En la Figura 3.90 se expone el rendimiento desde las 11h hasta las 13h.

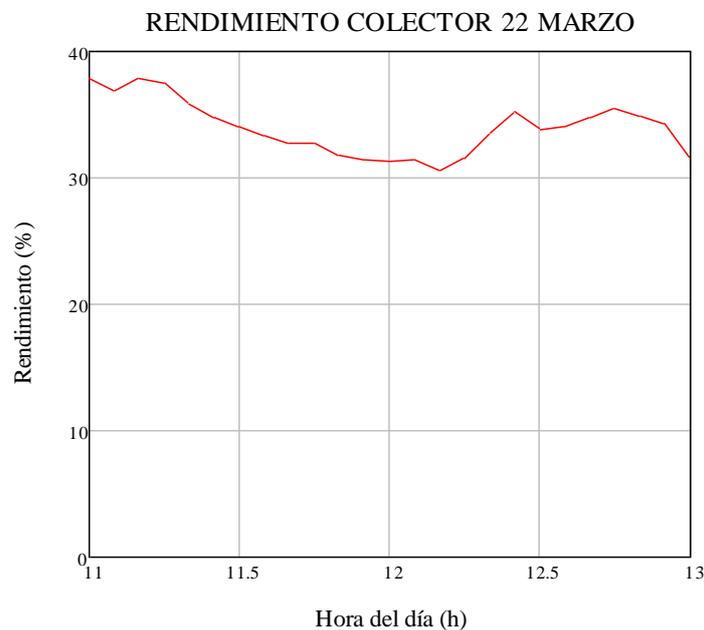


Figura 3.90: Rendimiento del colector (%) vs hora (h) el 22-3-2010.

El rendimiento obtenido el 22 de marzo es menor que el 19 de marzo, el máximo el 22 fue de 37,89% a las 11:10h. El mínimo fue de 30,62% a las 12:10h, valor mayor que el 19 de marzo. En este día es cuando se produce menor rango de valores con respecto a los datos de los otros días, varía 8 puntos y el 19 de marzo 15.

La velocidad máxima del viento fue de 4 m/s y la media de 2,8 m/s.



Se tomaron las temperaturas que aparecían en los tres termómetros que hay en el tanque (Tabla 3.8).

	8h	10:45h	13h
Tª superior (°C)	53	58	70
Tª medio (°C)	48	48	49
Tª inferior (°C)	39	40	40

Tabla 3.8: Temperaturas en el tanque el 22-3-2010.

Se había dejado el circuito abierto todo el fin semana y a primera hora de la mañana se comprobó que la zona inferior había aumentado 5°C con respecto al 19 de marzo, la zona del medio 14°C, pero la zona superior había disminuido 12,5°C. A las 10:45h, la zona inferior había aumentado un grado, la zona del medio permanecía constante y la superior había aumentado 5°C. A las 13h, la zona inferior permanecía constante, la del medio aumentó un grado y la superior 12°C. El problema es que a esas horas tampoco se podría pasteurizar leche.

Se dejó abierto el circuito.

3.4.7 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 23 DE MARZO

No se tomaron datos de temperatura de entrada y salida del colector porque estaba nublado, pero sí se tomaron los de las tres zonas del tanque (Tabla 3.9).

	8:45h
Tª superior (°C)	51
Tª medio (°C)	46
Tª inferior (°C)	41

Tabla 3.9: Temperaturas en el tanque el 23-3-2010.

A primera hora de la mañana la zona inferior había aumentado un grado comparado con el último dato del día anterior, pero disminuyó la de la zona del medio 3°C y la zona superior disminuyó 19°C.

Se cerró el circuito porque había que realizar las conexiones entre los tres colectores, armar y acoplar los reflectores en su estructura.

3.5. TOMA DE DATOS (T_{eco} y T_{sco}) CON TRES COLECTORES; CONSTRUCCIÓN DE LOS REFLECTORES; RESULTADOS

Se procedió a la unión entre los colectores, distribución en paralelo para que se calentara mayor caudal, ya que lo que interesa es que el volumen del tanque se caliente lo antes posible para llegar a superar los 80°C y así poder proceder a la pasteurización. Se hicieron las conexiones entre el colector externo de la derecha y el central y lo mismo con el central al colector externo de la izquierda (Figuras 3.91.a y 3.91.b).



Figuras 3.91.a y 3.91.b: Conexión en paralelo y detalle de la conexión.

A los tubos de la parrilla del colector externo de la izquierda que no estaban conectados se les pusieron tapones para que no saliera el agua por ahí y el circuito estuviera cerrado y estanco (Figura 3.92).



Figura 3.92: Taponando la parrilla de cobre del colector de la izquierda.

Una vez terminada la conexión en paralelo del circuito primario y comprobado que no había fugas, se aislaron los tubos con cinta americana. Después, se pasó a poner la estructura de los reflectores norte-sur debido a que por problemas de tiempo se prefirió montar todo y por último tomar datos.

Se pusieron los tacos de madera sobre la estructura del colector para poder apoyar en ellos la estructura de los reflectores norte-sur, por supuesto, se hizo con mucho cuidado. Se unieron las estructuras con los pernos y entonces se quitaron los tacos de madera y se apretaron fuertemente los pernos.

Los reflectores son cuatro planchas metálicas de imprenta. En la estructura de los reflectores hay unos angulares que cortan en secciones la estructura, por ejemplo, en la de norte-sur son tres y en este-oeste dos. En cada sección caben cuatro planchas, por lo que se contaron la cantidad que se iba a necesitar para todas las estructuras de los reflectores y se limpiaron bien (la parte que se utilizaría como reflector). Después se midieron las dimensiones de la sección, se pusieron cuatro planchas acorde a esas dimensiones y se remachó para fijarlos. Se hizo lo mismo para cada sección. Se pusieron sobre la estructura, se taladró para tener los orificios estratégicamente en cada reflector para así pasar un alambre que sujetara los reflectores a su estructura (Figura 3.93).

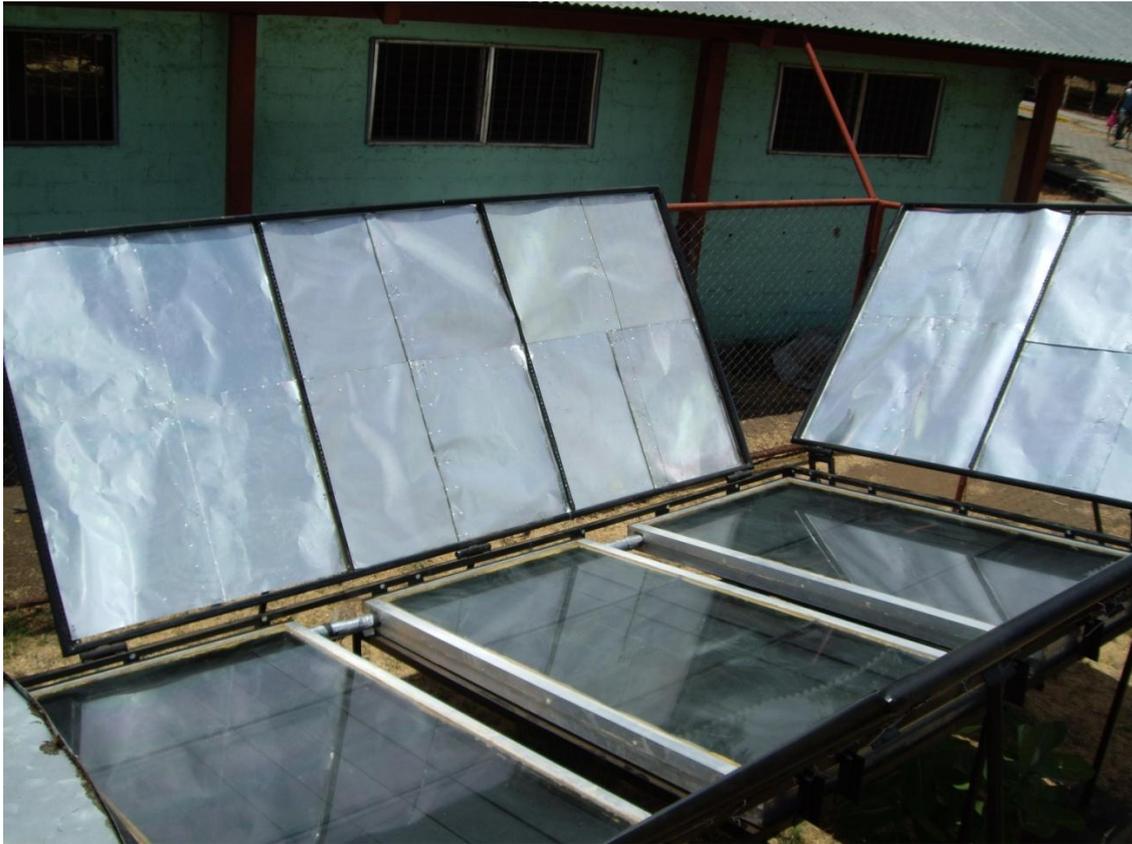
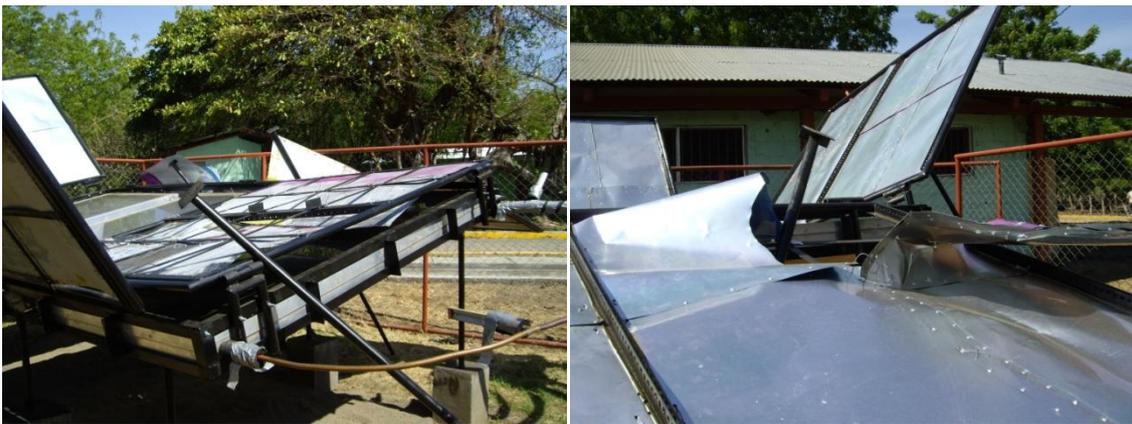


Figura 3.93: Reflectores puestos en su estructura.

Se dejaron puestos los reflectores todo el fin de semana y al llegar el lunes, se encontró que se habían caído las barras que sujetaban las estructuras de los reflectores del norte y del este (Figuras 3.94.a y 3.94.b), bien por el viento o bien porque no se habían fijado correctamente al suelo.



Figuras 3.94.a y 3.94.b: Barras que sujetaban las estructuras de los reflectores caídas.

Se procedió a sustituir los reflectores rotos y volver a fijar los nuevos y los que estaban sueltos. Se soldaron las barras de sujeción a una base para evitar futuras caídas con lo que concluía el montaje del circuito primario con los reflectores (Figura 3.95).



Figura 3.95: Circuito primario completo.

Solamente se tomaron los datos de temperatura de entrada y salida del colector en un día soleado, el 15 de abril, debido a que estaba muy próxima la vuelta a España y había que cerrar temas pendientes. Las tomas fueron cada diez minutos desde las 9h hasta las 15h. Se limpiaba el vidrio antes de cada medida. En un principio se iban a tomar los datos con los reflectores puestos, pero al final, no dio tiempo a calcular la posición óptima de los reflectores y por sencillez y falta de tiempo se decidió tomar los datos experimentales sin ellos.

El 7 y 16 de abril solamente se pudieron anotar las temperaturas en las diferentes zonas del tanque.

3.5.1 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 7 DE ABRIL

Se tomaron las temperaturas que aparecían en los tres termómetros que hay en el tanque (Tabla 3.10).

	8:52h	10h	11:10h
Tª superior (°C)	61,5	64	72
Tª medio (°C)	58	58	58
Tª inferior (°C)	58	58	58

Tabla 3.10: Temperaturas en el tanque el 7-4-2010.

A primera hora, la temperatura en la zona inferior del tanque coincide con la del medio 58°C, y la superior solamente tiene 3,5°C de más que las otras. A las 10h, la zona inferior y medio se mantienen, pero la superior aumenta 2,5°C respecto a las 8:52h. A las 11:10h, la inferior y medio se siguen manteniendo y la superior aumenta 8°C más.



3.5.2 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 15 DE ABRIL

Las medidas del 15 de abril se muestran a continuación (Tabla 3.11):

Hora	Tª entrada (°C)	Tª salida (°C)
9:00	47	42
9:10	47	38
9:20	47	37
9:30	52	66
9:40	53,5	74
9:50	53,5	74
10:00	53,5	76,5
10:10	53,5	74
10:20	53,5	76
10:30	55	79
10:40	55	79,5
10:50	55	80
11:00	55	80,5
11:10	55	80
11:20	55	81
11:30	55,5	81,5
11:40	56	83
11:50	56	84,5
12:00	56	84,5
12:10	56	83
12:20	54	78
12:30	55,5	80
12:40	55,5	80
12:50	55	80
13:00	56,5	83
13:10	56,5	82,5
13:20	57	82
13:30	58	81
13:40	58	80,5
13:50	59	82
14:00	60	81,5
14:10	60,5	83
14:20	61	83
14:30	58	72
14:40	53	64
14:50	52	62
15:00	51,5	61,5

Tabla 3.11: Temperaturas de entrada y salida del colector en paralelo el 15-4-2010.



La temperatura de entrada del colector desde las 9h hasta las 12:10h aumentó. Desde las 12:20 hasta las 12:50h fluctúa medio grado arriba y abajo. A partir de ahí hasta las 14:20 aumenta, para luego disminuir hasta las 15h. La diferencia entre el primer dato y último dato es de 4,5°C. El máximo se produjo a las 14:20h con 61°C.

La Figura 3.96 expone la irradiación que hubo ese día.



Figura 3.96: Irradiación (W/m²) vs hora (h) el 15-4-2010.

Los valores mayores se producen a las primeras horas de la mañana. El máximo a las 9:40h con 645,87 W/m² y el mínimo a las 11:40h con 361,19 W/m². Desde las 9h hasta las 9:40h aumenta, ahí empieza a descender hasta las 11:40h que vuelve a aumentar hasta las 13:50h con 565,62 W/m² y ya disminuye hasta las 15h.

La Figura 3.97 enseña la temperatura ambiente que había ese día.



Figura 3.97: Temperatura (°C) vs hora (h) el 15-4-2010.



A las 9h hay 31°C, valor mínimo, aumenta con una pendiente muy suave hasta las 13h con 37°C.

Figura 3.98 muestra la temperatura de salida del colector.

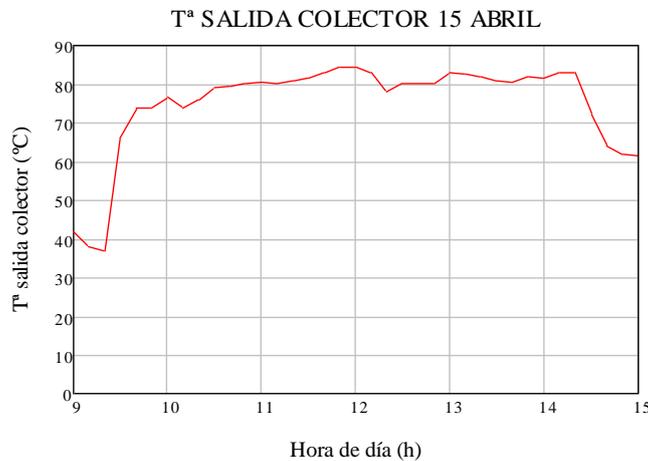


Figura 3.98: Temperatura de salida del colector (°C) vs hora (h) el 15-4-2010.

Los primeros datos disminuyen, pero luego hay un aumento brusco de temperatura y luego ya es más paulatino, con algún dato que rompe la tendencia, hasta las 12:20h con 78°C. En este caso hay dos máximos que se producen a las 11:50h y a las 12h, con 84,5°C. El máximo valor obtenido se produjo el 23 de febrero con 94,5°C. Desde las 12:20h hasta las 13h vuelve a aumentar, disminuye hasta las 13:40h y vuelve a aumentar las 14:20h para definitivamente bajar la temperatura de salida. La diferencia entre el primer y último dato es de 19,5°C.

En la Figura 3.99 se hace una comparativa entre la temperatura de entrada y salida de agua del colector.

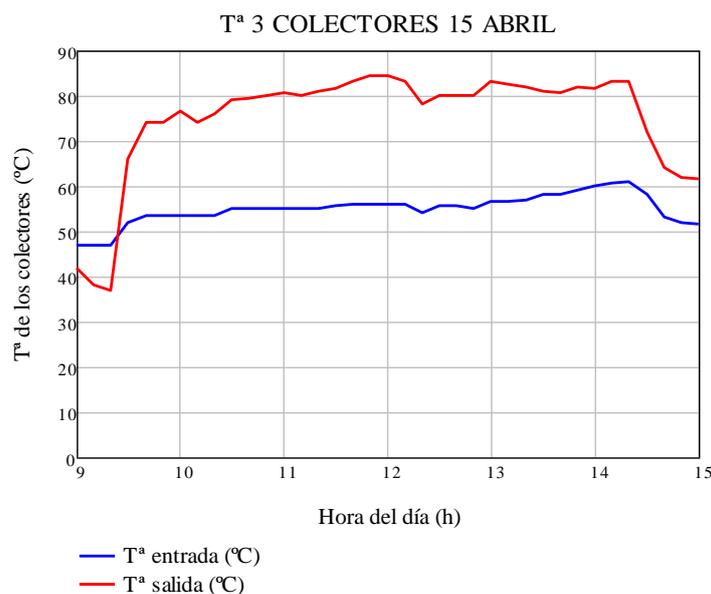


Figura 3.99: Temperatura de entrada y salida del colector (°C) vs hora (h) el 15-4-2010.



Al principio, la temperatura de entrada del colector es mayor que la de salida, esto puede deberse a que hubiera agua fría en los colectores antes de abrirse el circuito. A partir de las 9:30h es cuando la temperatura de salida es mayor que la de entrada. La mayor diferencia entre la de salida y entrada se produce dos veces, a las 11:50h y a las 12h.

La Figura 3.100 ofrece el calor útil. En este caso, la obtención del calor útil en una conexión en paralelo es igual que para un colector, pues el gasto másico calculado en el apartado 3.3 es el que pasa en la tubería de entrada al colector o colectores.

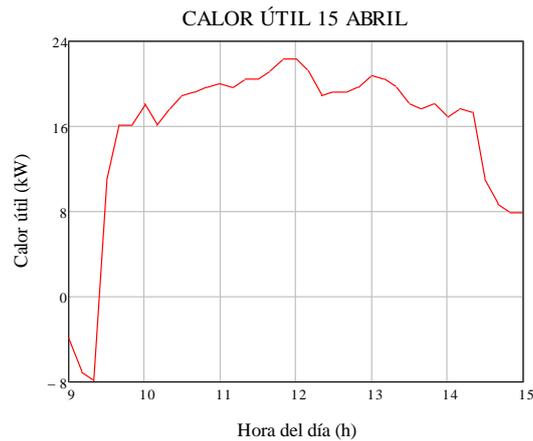


Figura 3.100: Calor útil (kW) vs hora (h) el 15-4-2010.

Los primeros datos al ser mayor la temperatura de entrada que la de salida provoca que el calor útil sea negativo. El valor máximo se produce dos veces, a las 11:50h y a las 12h, con 22,39 kW.

La Figura 3.101 muestra los valores del rendimiento.

Para obtener el rendimiento se utilizó la ecuación (3.30), pero el área del colector, en este caso, en vez de ser uno hay que tener en cuenta los tres.

$$A_{co} = 3 \cdot 0,96 \text{ m} \cdot 1,9 \text{ m} = 5,48 \text{ m}^2 \quad (3.32)$$

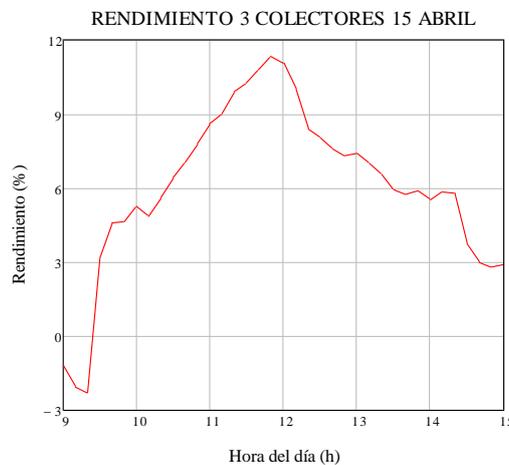


Figura 3.101: Rendimiento del colector (%) vs hora (h) el 15-4-2010.



Aquí solo hay un máximo porque la irradiación influye, el máximo se produjo a las 11:50h con 11,34%. Los primeros datos salen valores negativos porque la temperatura de salida era menor que la de entrada. A partir de estos valores, en la gráfica se aprecian dos fases, una ascendente desde las 9:30h hasta las 11:50h y desde ese momento una descendente menos acusada.

La velocidad máxima del viento fue 5 m/s y la media 3,3 m/s.

En la Figura 3.102 se estudia una comparativa de las temperaturas en las tres zonas del tanque desde las 8:40h hasta las 15:20h cada 10 minutos.

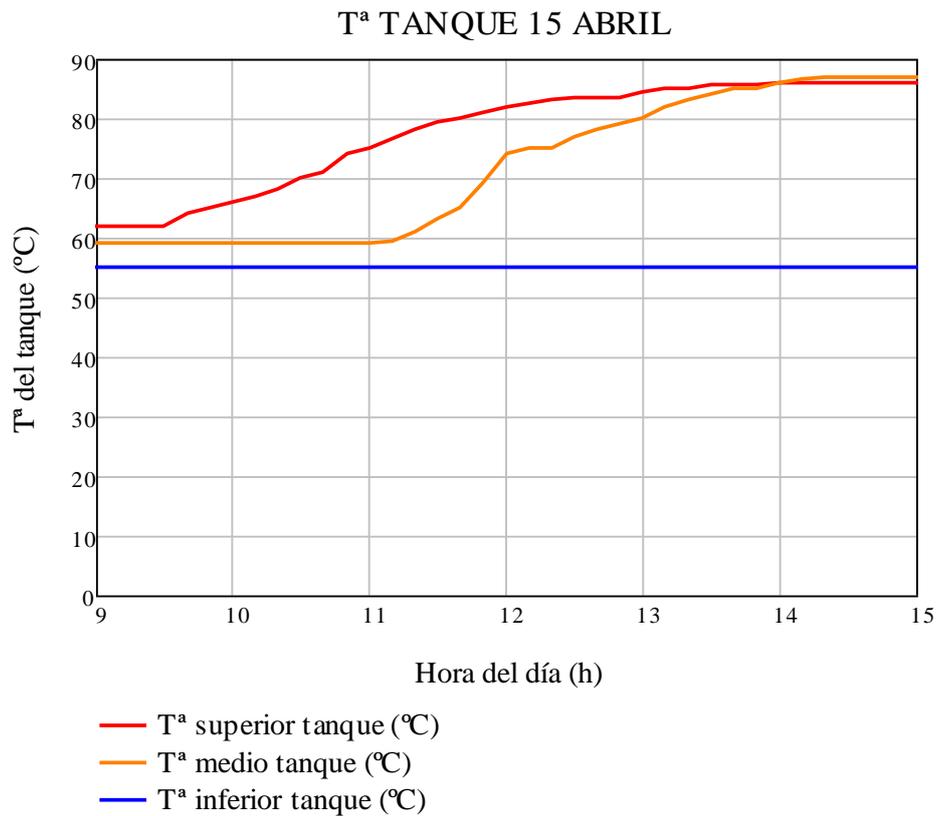


Figura 3.102: Tª superior, medio e inferior del tanque acumulador (°C) vs hora (h) el 15-4-2010.

La temperatura en la zona inferior permanece constante durante todo el tiempo con 55°C. La temperatura en la zona del medio permanece constante hasta las 11:10h con 59°C, a partir de ese momento aumenta e incluso a las 14:10h supera la temperatura de la zona superior. Desde las 14:20h hasta las 15:20h permanece constante con 87°C. A las 13h en la zona media la temperatura es de 80°C, por lo que se podría pasteurizar la leche en esta zona durante dos horas y veinte minutos porque se dejó de tomar datos, seguramente más tiempo. La temperatura en la zona superior fue constante hasta las 9:30h con 62°C. Desde ese momento hasta las 14h aumentó hasta los 86°C y a partir de ahí se mantuvo constante. A las 11:40h llegó a los 80°C, en esta zona se podría pasteurizar leche durante tres horas y cuarenta minutos, seguramente más tiempo, pero no se tomaron más datos.

Se dejó el circuito abierto para ver qué valores se obtenían al día siguiente.



3.5.3 MEDIDAS Y RESULTADOS DEL 16 DE ABRIL

Las medidas del 16 de abril se muestran a continuación (Tabla 3.12):

	11:30h
T ^a superior (°C)	81
T ^a medio (°C)	76,5
T ^a inferior (°C)	58,5

Tabla 3.12: Temperaturas en el tanque el 16-4-2010.

Al ser el último día, no se pudo llegar antes de las 11:30h. Comparado con el último valor del día anterior, la zona inferior aumentó 3,5°C. La del medio disminuyó 10,5°C y la superior 5°C. En la zona superior se podría pasteurizar un poco antes que el día anterior. En la zona del medio todavía no se podría.

La temperatura de entrada y salida del colector a esa hora se muestra en la Tabla 3.13:

	11:30h
T _{eco} (°C)	64
T _{sco} (°C)	84

Tabla 3.13: Temperaturas en el tanque el 16-4-2010.

Valores mayores que a la misma hora el día anterior.

CAPÍTULO 4:

SIMULACIÓN



4.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se estudia en profundidad la instalación solar. Simulando mediante un modelo matemático el funcionamiento de los principales componentes, se logra conocer la energía anual disponible y el aporte auxiliar necesario para lograr con éxito la pasteurización.

4.2. SIMULACIÓN

En la Facultad de Ciencia Animal hay 30 vacas que en época lluviosa dan 240 litros de leche diarios. En época seca dan menos, de promedio unos 150 litros de leche diarios, pero los litros restantes para los 240 litros de leche se completarían con las vacas de la finca de “Las Mercedes” que se encuentra a media hora de la facultad. El transporte de la leche sería en camioneta y en recipientes.

Se quiere pasteurizar a diario, partiendo de la leche recién ordeñada, que es de 38°C.

La pasteurización, es decir, el intercambio de calor entre el agua caliente y la leche, debe hacerse en el menor tiempo posible. Es por ello que se empleará la totalidad del agua calentada durante el día en los colectores para realizar el intercambio a primera hora del día siguiente. El tratamiento térmico conviene que se lleve a cabo al poco tiempo de haber recibido la leche. En la época lluviosa se haría inmediatamente ya que el establo se sitúa contiguo a la planta de pasteurización y en la época seca la leche procedente de la finca de “Las Mercedes” se pasteurizaría media hora después de su ordeño. En ambos casos se realizaría a las 8 de la mañana y durará una hora.

La simulación se hará con Mathcad [31], que es un software de programa algebraico. Es un programa más de documentación que de cálculo, aunque también es potente en este ámbito, es muy visual y permite el uso de plantillas de funciones en las que solo es necesario escribir los valores deseados, incluso para representar gráficamente funciones.

A continuación, se explicarán los pasos que se ejecutaron para poder realizar la simulación.

En el programa se parte de unos datos: los de temperatura ambiente, velocidad del viento e irradiación de Managua (vistos en el capítulo 3), la irradiación inclinada con un ángulo de inclinación igual a la latitud de Managua (calculado en el capítulo 3), propiedades del agua, del aire y de la leche, propiedades y dimensiones de los componentes de los colectores, de los tubos de cobre, del aislante de caucho sintético de los tubos de cobre, del tanque de almacenamiento y de los intercambiadores de calor (serpentín y doble tubo).

Al no encontrar fichas técnicas de tanque de almacenamiento con su valor del coeficiente global de transferencia de calor, se supuso su magnitud de $0,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Inicialmente se parte de una temperatura de entrada del colector 40°C que irá variando en sucesivas iteraciones.

En el desarrollo del programa se pueden distinguir una serie de fases que coincidirían con el cálculo de las temperaturas.



No obstante, conviene con carácter previo indicar la denominación de las temperaturas que han de alcanzarse en los distintos puntos críticos del sistema (Figura 4.1).

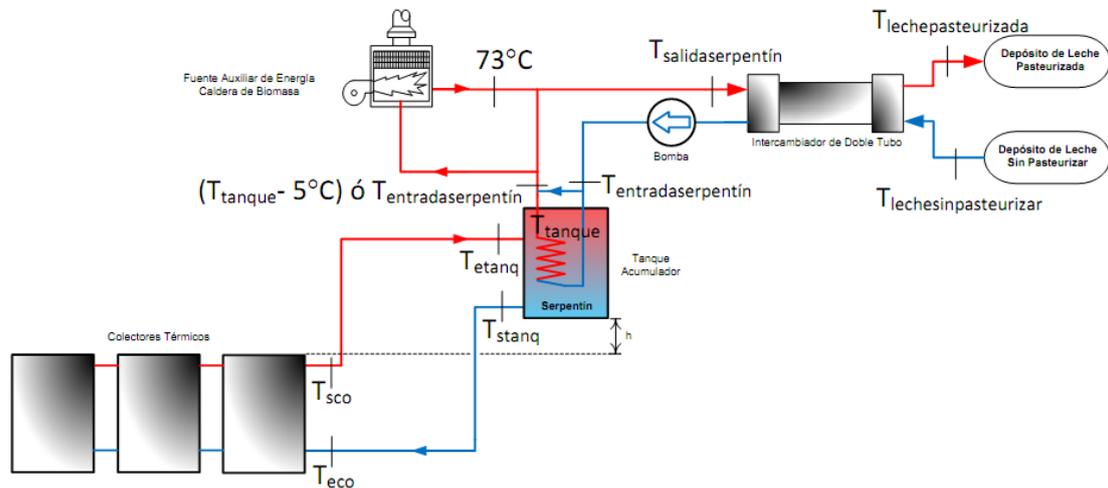


Figura 4.1: Nombre de las temperaturas durante la simulación en el esquema del sistema.

Primero se calcula la temperatura de salida del colector (T_{sco}), para ello antes se han tenido que obtener las pérdidas que se producen en la tubería que une los colectores por efecto del viento y por el calor almacenado, las pérdidas de calor en condiciones estándar, las pérdidas por convección forzada (efecto del viento al entrar en contacto con la cubierta y la caja de los colectores) y las pérdidas debidas a la inercia térmica (calor almacenado) en los componentes de los colectores. Las pérdidas por radiación son despreciables debido a las bajas temperaturas de operación.

Una vez calculada la T_{sco} , se pasa a obtener la temperatura de entrada al tanque (T_{etanq}), las únicas pérdidas que hay que tener en cuenta son las que se producen en la tubería que une la salida del agua de los colectores a la entrada del tanque por convección forzada y por inercia térmica.

Antes de calcular la temperatura del interior del tanque de almacenamiento (T_{tanque}) hay que introducir los datos que se conocen y calcular los que faltan del circuito secundario. Por lo que se notifica al programa que la temperatura de la leche sin pasteurizar, recién ordeñada, denominada $T_{lechesinpasteurizar}$ es 38°C . Inicialmente, la temperatura de salida de la leche del serpentín en el circuito secundario ($T_{salidaserpentín}$) es 73°C , ya que el primer día la leche pasaría por la fuente auxiliar donde se pasteurizaría a esa temperatura. Conociendo además la eficiencia del intercambiador de doble tubo se obtienen la temperatura antes de entrar al serpentín ($T_{entradaserpentín}$) y la temperatura de la leche de salida del serpentín después de haber pasado por el intercambiador de doble tubo, es decir, ($T_{lechepasteurizada}$), que indicaría que la leche es apta para fabricar los quesos.

Se ha decidido el empleo de la sección regenerativa (se produce en el intercambiador de doble tubo en contracorriente) entre la leche recién ordeñada que se calienta y el enfriamiento de la



leche ya pasteurizada, porque supone un ahorro de energía en el calentamiento y enfriamiento.

Después se calcula la temperatura que hay en el interior del tanque (T_{tanque}), que se obtiene con un balance energético. Para simplificar los cálculos se supone que la T_{tanque} es uniforme y no se produce estratificación en el interior del tanque. Las pérdidas son debidas a la inercia térmica del tanque de almacenamiento y la que se produce al calentar la leche que pasa por el serpentín, aunque esta última solamente ocurre cuando la ($T_{\text{tanque}} - 5^{\circ}\text{C}$) es mayor que la $T_{\text{entradaserpentín}}$ ya que si no es así la leche no pasa por el serpentín. En el bucle para conseguir la T_{tanque} , se recalcula la $T_{\text{salidaserpentín}}$ pues se puede dar el caso que sea igual a la temperatura del tanque $- 5^{\circ}\text{C}$ ($T_{\text{tanque}} - 5^{\circ}\text{C}$). Si el resultado es mayor que el de la temperatura de pasteurización, 73°C , no pasará por la fuente auxiliar.

El siguiente paso es calcular la temperatura de salida del agua del tanque de almacenamiento (T_{stanq}) que al no haber estratificación es igual a la del interior del tanque (T_{tanque}).

La última temperatura que se calcula en el circuito primario, es la de entrada del colector ($T_{\text{ecocomprobación}}$). Las pérdidas que hay que tener en cuenta son las que se producen en la tubería que une la salida del agua del tanque a la entrada de los colectores por efecto del viento y por el calor almacenado.

Se comprueba que la $T_{\text{ecocomprobación}}$ es la misma que la de T_{eco} , si no es así, entonces se cambian manualmente los nuevos datos por los obsoletos de T_{eco} y se vuelve a realizar automáticamente todo el proceso anteriormente descrito hasta que coincidan los valores de $T_{\text{ecocomprobación}}$ y T_{eco} .

Por último, se calcula el aporte solar, AS.

Terminado el cálculo de las temperaturas de la planta de pasteurización entonces se pueden representar gráficamente los resultados.

Para que quede más claro el proceso se ha hecho su diagrama de flujo (Figura 4.3), indicando antes en la Figura 4.2 los símbolos y su significado [33].

Después se explica más detalladamente cómo se ha calculado cada temperatura y sus respectivas pérdidas.

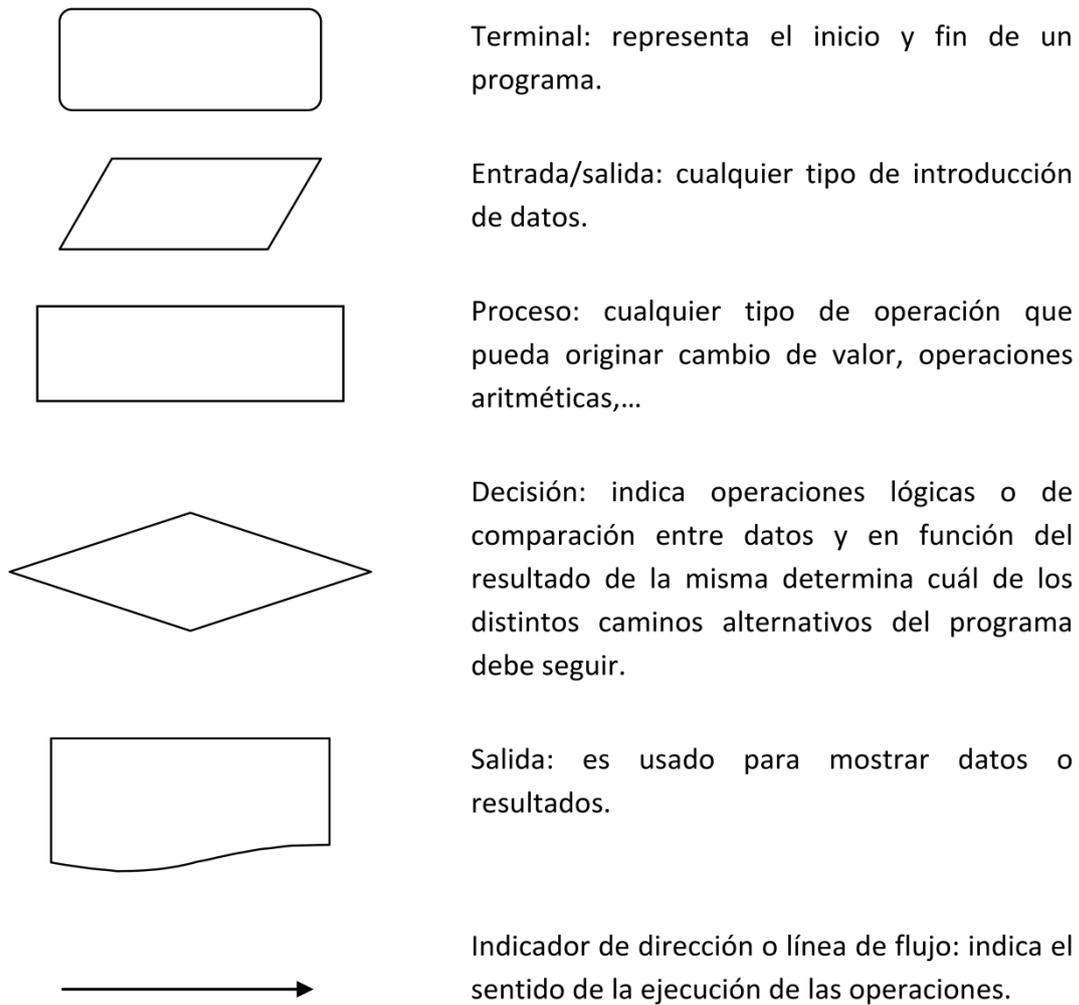


Figura 4.2: Símbolos y sus respectivas funciones que forman el diagrama de flujo.

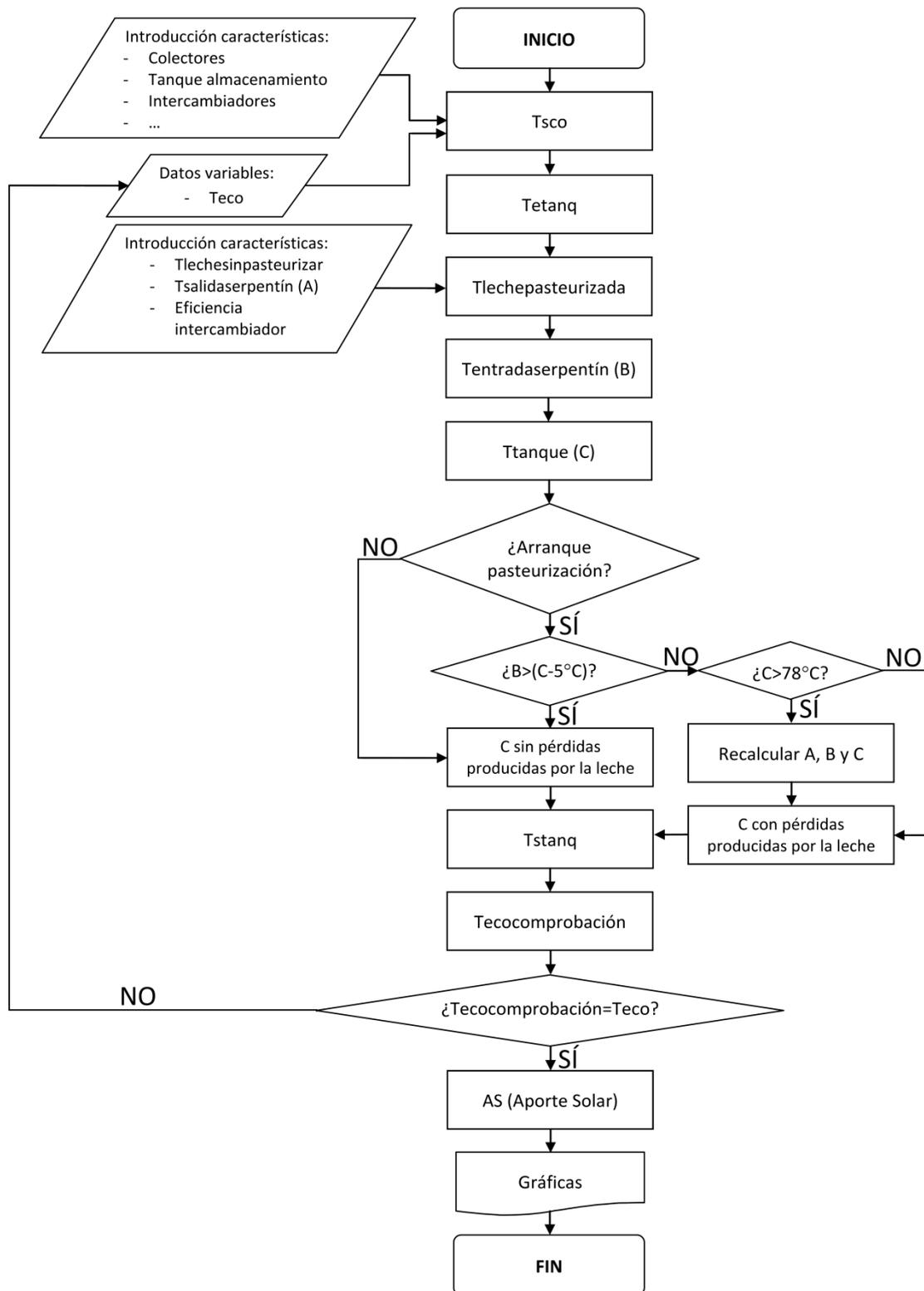


Figura 4.3: Diagrama de flujo de la simulación de la planta pasteurizadora.

4.2.1. CÁLCULO TEMPERATURA A LA SALIDA DE LOS COLECTORES (T_{sco})

PÉRDIDA DE CALOR EN CONDICIONES ESTÁNDAR



Para el cálculo del modelo de los colectores planos se ha empleado como primera aproximación el colector plano Solartech SUMMER CX C1383, cuyas características técnicas se pueden consultar en el Anexo B [34].

Su curva de normalización viene dada por la siguiente expresión:

$$\eta_{coj} = 0,613 - 5,45 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot \frac{(T_{eco j} - T_{amb j})}{I_{incli j}} \quad (4.1)$$

La curva indica el rendimiento instantáneo de los colectores planos “ η_{coj} ” en función de la radiación instantánea incidente, que en este caso es la radiación para el ángulo óptimo anual “ $I_{incli j}$ ” calculado en el capítulo anterior, la temperatura instantánea a la entrada del colector “ $T_{eco j}$ ” y la temperatura instantánea ambiente “ $T_{amb j}$ ”.

Las pérdidas de calor obtenidas en condiciones normalizadas son conocidas como pérdidas en condiciones estándar. Se calculan empleando la siguiente fórmula:

$$P_{est j} = (1 - \eta_{coj}) \cdot A_{\acute{u}til} \cdot I_{incli j} \quad (4.2)$$

Donde “ $A_{\acute{u}til}$ ” es el área útil de los tres colectores y los reflectores.

PÉRDIDA DEBIDAS A LA INERCIA TÉRMICA DE LOS COMPONENTES DEL COLECTOR

Para el cómputo de las pérdidas debidas a la inercia térmica en los componentes en un tiempo determinado, se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{comp_{ij}} = \frac{m_i \cdot Cp_i \cdot (T_{ij} - T_{ij-1})}{\Delta t} = \frac{A_i \cdot e_i \cdot \rho_i \cdot Cp_i \cdot (T_{ij} - T_{ij-1})}{\Delta t} \quad (4.3)$$

Para el que “ i ” es el componente del colector que se está analizando, “ m_i ” la masa del mismo (en función de su área, “ A_i ”, su espesor, “ e_i ”, y su densidad, “ ρ_i ”), “ Cp_i ” su calor específico y “ T_{ij} ” su temperatura para un instante de tiempo dado y “ T_{ij-1} ” su temperatura en el instante anterior y “ Δt ” el intervalo de tiempo entre el instante de tiempo dado y el anterior.

Los componentes susceptibles de incrementar las pérdidas de inercia son:

Componentes	Material	Área (m ²)	Espesor (mm)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kg·°C)	Temperatura (°C)
Placa absorbente	Aluminio	1,8	1,2	2702	903	$\frac{T_{eco} + T_{sco}}{2}$
Aire contenido	Aire	1,83	28,6	1,1614	1007	$\frac{T_{pl} + T_{cb}}{2}$
Cubierta	Vidrio	1,99	4	2500	810	$\frac{T_{air} + T_{amb}}{2}$
Aislante	Fibra de vidrio	1,88	50,8	105	795	$\frac{T_{pl} + T_{cj}}{2}$
Caja	Aluminio	0,05	100	2702	903	$T_{ais} + T_{amb}$



	Zinc	2,02	4	7140	389	
--	------	------	---	------	-----	--

Tabla 4.1: Características de los componentes del colector solar.

Siendo "T_{sco}" la temperatura a la salida del colector, "T_{pl}" la temperatura de la placa, "T_{cb}" la temperatura de la cubierta, "T_{cj}" la temperatura de la caja, "T_{ais}" la temperatura del aislante y "T_{air}" la temperatura del aire contenido entre la placa y la cubierta.

PÉRDIDAS DEBIDAS A LA CONVECCIÓN FORZADA POR EL VIENTO

El cálculo de las pérdidas debidas al viento se formula del siguiente modo:

P_viento_i_j = A_i * h_v_i * (T_i_j - T_amb_j) (4.4)

Dónde "h_v_i" es el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada cuyo valor se obtiene de la ecuación de McAdams:

h_v_i = 2,8 * (W / (m^2 * °C)) + 3 * (kg / (m * s^2 * °C)) * v_viento * (m / s) (4.5)

Esta ecuación consta de dos componentes, una dependiente de la velocidad del viento (v_viento) correspondiente a la convección forzada y otra constante relativa a la convección natural. No obstante, como se comentó anteriormente, las pérdidas por convección natural están incluidas en las pérdidas en condiciones estándar, de modo que únicamente se tendrá en cuenta la componente correspondiente a la convección forzada.

h_v_i = 3 * (kg / (m * s^2 * °C)) * v_viento * (m / s) (4.6)

Conocido el coeficiente de transmisión de calor por convección y las características de los componentes del colector plano expuestos al exterior (cubierta y caja) ya se puede calcular las pérdidas por convección forzada.

PÉRDIDAS EN LAS TUBERÍAS QUE UNEN LOS COLECTORES

La tubería de cobre del circuito primario se encuentra a la intemperie, para disminuir la pérdida de calor del agua, se recubre con el material aislante caucho sintético. Las pérdidas de calor en la tubería son causadas por transferencia de calor al ambiente y por la inercia térmica en sus materiales.

En este caso solamente se calcula el tramo de tubería entre colectores.

Pérdidas de calor de la tubería al ambiente

Unas pérdidas importantes dependientes de la temperatura del agua que recorre los colectores, son las pérdidas en las tuberías que unen el campo de colectores.

Las pérdidas de calor al ambiente de la tubería se han calculado del siguiente modo:



$$P_{tuberíacolij} = \frac{T_{plj} - T_{ambj}}{R_{totalj}} \quad (4.7)$$

Donde “ R_{totalj} ” es la resistencia total térmica en la tubería en un instante de tiempo determinado [10].

En la tubería se encuentran los tubos de cobre y el aislante que los recubre para reducir las pérdidas, por lo que la resistencia total se obtiene de la siguiente manera:

$$R_{totalj} = R_{int} + R_i + R_{extj} = R_{int} + R_{Cu} + R_{ais} + R_{extj} \quad (4.8)$$

Donde “ R_{int} ” es la resistencia térmica entre el agua y la tubería de cobre, “ R_i ” es la resistencia del material que se está analizando (“ R_{Cu} ” de la tubería de cobre y “ R_{ais} ” es la que pertenece al aislante de caucho sintético que envuelve los tubos de cobre) y “ R_{extj} ” es la resistencia térmica convectiva entre el viento y el aislante en un instante de tiempo dado.

La resistencia térmica entre el agua y la tubería de cobre, R_{int} , se calcula del siguiente modo:

$$R_{int} = \frac{1}{h_{agua} \cdot A_{Cu}} = \frac{1}{h_{agua} \cdot [\pi \cdot L_{cp} \cdot D_{tubocobre}]} \quad (4.9)$$

Donde “ A_{Cu} ” es el área de la tubería de cobre (“ L_{cp} ” es la longitud de la tubería de cobre entre colectores por área útil de colector y “ $D_{tubocobre}$ ” es el diámetro interno de la tubería de cobre, 5/8”).

Para el cálculo del coeficiente convectivo se ha usado la fórmula correspondiente a flujo interno completamente desarrollado en conductos de sección circular régimen turbulento:

$$h_{agua} = \frac{Nu \cdot k_{agua}}{D_{tubocobre}} \quad (4.10)$$

Donde “ Nu ” es el número de Nusselt en el agua y “ k_{agua} ” es el coeficiente de conductividad térmica del agua.

Fluido	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg·°C)	μ (N·s/m ²)	κ (W/m·°C)	Pr
Agua	1000	4180	$577 \cdot 10^{-6}$	$640 \cdot 10^{-3}$	3,77

Tabla 4.2: Características del agua.

Correspondiendo “ μ ” a su viscosidad dinámica y “Pr” al número de Prandtl para una temperatura ambiente media diaria.

Para poder calcular el número de Nusselt hay que saber si el flujo es laminar o turbulento, por lo que se pasa a calcular el número de Reynolds:

$$Re_{agua} = \frac{\rho_{agua} \cdot \left(\frac{V_{agua}}{3}\right) \cdot D_{tubocobre}}{\mu_{agua}} \quad (4.11)$$



Donde “ v_{agua} ” que es la velocidad del fluido se divide por 3 pues es el número de colectores en paralelo y el caudal se divide para llegar a los 3 colectores. La velocidad se obtiene dividiendo “ q ” el caudal que circula por la tubería antes de llegar a los colectores (m^3/s) entre el área transversal de la tubería:

$$v_{agua} = \frac{caudal_{agua}}{A_{transversal}} = \frac{caudal_{agua}}{\pi \cdot D_{tubocobre}^2 / 4} \quad (4.12)$$

El caudal de agua “ $caudal_{agua}$ ” se ha considerado de 235 l/h por ser un valor típico para colectores solares planos de baja temperatura.

El flujo es turbulento, por lo que el número de Nusselt se ha calculado según la correlación de Gnielinski ya que se cumplen todas las condiciones de aplicación.

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) \cdot (Re_{agua} - 1000) \cdot Pr_{agua}}{1 + \left[12,7 \cdot \left(\frac{f}{8}\right)^{1/2} \cdot (Pr_{agua}^{2/3} - 1)\right]} \quad (4.13)$$

Donde “ f ” es el factor de fricción y “ Re_{agua} ” el número de Reynolds.

Para poder obtener el factor de fricción se necesita saber el del número de Reynolds,

$$f = (0,79 \cdot \ln \cdot Re_{agua} - 1,64)^{-2} \quad (4.14)$$

La resistencia térmica de los distintos componentes, R_i , es:

$$R_i = \frac{\ln \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot e_i}{D_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_i \cdot L_{cp}} \quad (4.15)$$

Entendiendo “ D_i ” el diámetro interior de ese material.

Material	D (m)	e (mm)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kg·°C)	κ (W/m·°C)
Cobre	0,016	0,5	8933	385	401
Aislante	0,017	20	1100	2010	0,13

Tabla 4.3: Características de los materiales que forman la tubería entre colectores.

La resistencia térmica entre el viento y el aislante, R_{ext} , se calcula del siguiente modo:

$$R_{ext} = \frac{1}{h_{aire} \cdot A_{exais}} = \frac{1}{h_{aire} \cdot [\pi \cdot L_{cp} \cdot (D_{aislante} + 2 \cdot e_{aislante})]} \quad (4.16)$$

Donde “ A_{exais} ” es el área externa del aislante (“ $D_{aislante}$ ” es el diámetro interno del aislante y “ $e_{aislante}$ ” su espesor, para así obtener el diámetro externo)).



El cálculo del coeficiente de convección se ha simplificado asumiendo que la tubería es un cilindro en flujo cruzado.

Fluido	ρ (kg/m ³)	μ (N·s/m ²)	κ (W/m·°C)	Pr
Aire	1,1614	184,6·10 ⁻⁷	26,3·10 ⁻³	0,707

Tabla 4.4: Características del aire.

$$h_{aire} = \frac{Nu_{aire} \cdot k_{aire}}{(D_{aislante} + 2 \cdot e_{aislante})} \quad (4.17)$$

En este caso, el denominador es el diámetro externo del aislante.

El número de Reynolds se computa del mismo modo que para el agua con la diferencia de que ahora los parámetros corresponden al aire, la velocidad del aire es la del viento y el diámetro es el exterior del aislante. Como la velocidad del aire varía con el tiempo, se calculará el número de Reynolds instantáneo:

$$Re_{aire_j} = \frac{\rho_{aire} \cdot v_{viento_j} \cdot (D_{aislante} + 2 \cdot e_{aislante})}{\mu_{aire}} \quad (4.18)$$

El número de Nusselt se calcula [32]:

$$Nu_{aire} = C_j \cdot Re_{aire_j}^{m_j} \cdot Pr_{aire}^{1/3} \quad (4.19)$$

Donde “C” y “M” son parámetros cuyos valores dependen del número de Reynolds y están tabulados:

Re _{aire}	C	m
0,4-4	0,989	0,330
4-40	0,911	0,385
40-4000	0,683	0,466
4000-40000	0,193	0,618
40000-400000	0,027	0,805

Tabla 4.5: Constantes de la ecuación 4.19 para el cilindro circular en flujo cruzado.

Pérdidas por inercia térmica en la tubería

Las pérdidas inercia térmica en el aislante térmico y la tubería de cobre [10], se calculan de la siguiente manera:

$$P_{comp_tubería_{i,j}} = \frac{\pi \cdot \frac{(D_{ext_i}^2 - D_{int_i}^2)}{4} \cdot L_{cp} \cdot \rho_i \cdot Cp_i \cdot (T_{i_j} - T_{i_{j-1}})}{\Delta t} \quad (4.20)$$

Donde “D_{ext_i}” es el diámetro exterior de ese material, “D_{int_i}” el interior, “T_{i_j}” en un instante de tiempo dado para el cobre es “T_{pl}” mientras que para el aislante es la temperatura media entre el fluido térmico, agua, y la temperatura ambiente, “ $\left(\frac{T_{pt} + T_{amb}}{2}\right)$ ”.



Una vez calculadas todas las pérdidas de calor del colector y las pérdidas de calor en las tuberías, se halla la temperatura del agua a la salida del colector.

Antes de simular el bucle en Mathcad para hallar la temperatura que lleva el fluido caloportador a la salida del colector, se calcula un valor inicial de la variable auxiliar de temperatura (T_{sscoj}), que es igual a la temperatura a la salida del colector teniendo en cuenta únicamente las pérdidas estándar.

$$T_{sscoj} = T_{eco_j} + \frac{(I_{inclij} \cdot A_{útil} - P_{estj})}{Cp_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot q_{agua}} = T_{eco_j} + \frac{(I_{inclij} \cdot \eta_{coj} \cdot A_{útil})}{Cp_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot q_{agua}} \quad (4.21)$$

El período en que se calienta el agua en el circuito primario es de 8h hasta las 16h, el resto del tiempo está cerrado el circuito.

Esta temperatura es introducida como valor inicial del bucle para poder calcular las pérdidas totales en el colector, luego se calcula la temperatura de salida del agua teniendo en cuenta todas las pérdidas y se compara su valor con el supuesto inicialmente, si es distinto, se toma el último valor calculado como dato de partida y se vuelve al principio del bucle. Y éste finaliza cuando $T_{scoj} = T_{sscoj}$.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de este bucle.

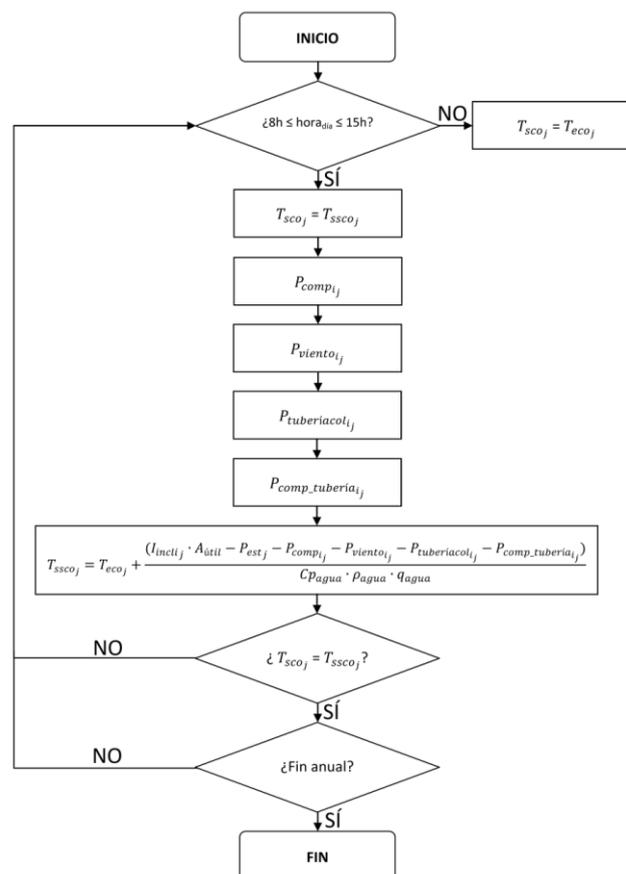


Figura 4.4: Diagrama de flujo del bucle para obtener la temperatura de salida del colector.



4.2.2. CÁLCULO TEMPERATURA ENTRADA AGUA AL TANQUE (T_{etanq})

En este caso solamente hay pérdidas en la tubería que une la salida de agua de los colectores a la entrada del tanque acumulador.

PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA QUE UNE LOS COLECTORES CON EL TANQUE

Las pérdidas son las mismas que para las tuberías que unen los colectores y se calculan de la misma manera, salvo con unas diferencias que se detallan a continuación.

Pérdidas de calor al ambiente de la tubería

En las pérdidas de calor al ambiente de la tubería (ecuación 4.7), la resistencia térmica que se obtiene es diferente al variar la velocidad del agua por lo que afecta al número de Reynolds y la " T_{pl} " se sustituye por " T_{sco} ":

$$P_{\text{tubería_salidcol}_j} = \frac{T_{sco_j} - T_{amb_j}}{R_{\text{totalsalid}_j}} \quad (4.22)$$

Donde " $R_{\text{totalsalid}_j}$ " es la resistencia total térmica en el tramo de tubería que va desde la salida del colector hasta el tanque acumulador en un instante de tiempo determinado. La fórmula es igual que la ecuación 4.8.

La resistencia térmica entre el agua y la tubería de cobre, R_{intr} , se calcula igual que la ecuación 4.9, modificando " L_{cp} " por " L_{salida} " que es la longitud de tubería que va desde el colector hasta el tanque.

El número de Reynolds se calcula:

$$Re_{\text{agua}} = \frac{\rho_{\text{agua}} \cdot v_{\text{agua}} \cdot D_{\text{tubocobre}}}{\mu_{\text{agua}}} \quad (4.23)$$

El resto de ecuaciones son iguales, salvo que los valores de los términos son diferentes.

La resistencia térmica de los distintos componentes, R_i , se obtiene igual que en la ecuación 4.15, excepto que " L_{cp} " se cambia por " L_{salida} ":

La resistencia térmica entre el viento y el aislante, R_{extr} , se calcula igual que en la ecuación 4.16, lo que cambia es el área externa de la tubería cuya longitud en vez de ser " L_{cp} " es " L_{salida} ".

Pérdidas por inercia térmica en la tubería

Las pérdidas por inercia térmica en el aislante térmico y la tubería de cobre, se calculan igual que en la ecuación 4.20, lo diferente es la longitud, que en vez de ser " L_{cp} " es " L_{salida} " y que " T_{i_j} ", para el cobre es " T_{sco} " en vez de " T_{pl} " mientras que para el aislante es la temperatura media entre la temperatura de salida del colector y la temperatura ambiente, " $\left(\frac{T_{sco} + T_{amb}}{2}\right)$ ", en vez de " $\left(\frac{T_{pl} + T_{amb}}{2}\right)$ ".



Una vez calculadas todas las pérdidas, se halla la temperatura del agua a la entrada del tanque.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo para obtener esta temperatura.

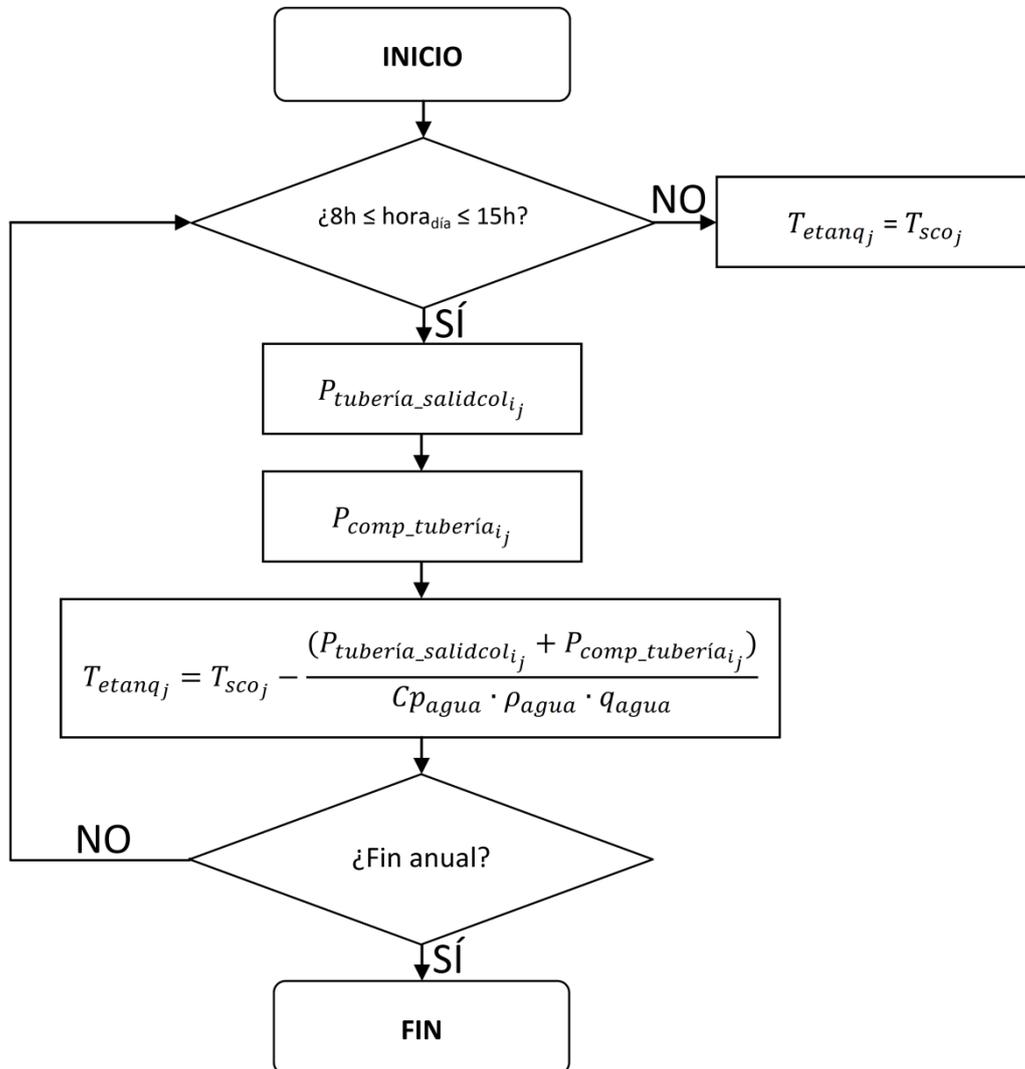


Figura 4.5: Diagrama de flujo para obtener la temperatura de entrada al tanque.

4.2.3. CÁLCULO TEMPERATURAS CIRCUITO SECUNDARIO

El único fluido que pasa por este circuito es la leche.

En este circuito no se calculan las pérdidas porque como se ve en el circuito primario son muy pequeñas, además de que la mayor parte se encuentra dentro de un local con lo que se reducen aún más. Todas las tuberías se envuelven con aislante así como el depósito de leche sin pasteurizar y el intercambiador de doble tubo. En resumen, lo único que no se aislaría sería el depósito de leche pasteurizada.

El método de cálculo térmico empleado para la simulación del intercambiador de calor de doble tubo es el método de la efectividad y el número de unidades de transmisión (ϵ -NTU).



Se prescindirá del preenfriamiento previo a la pasteurización, ya que entre el ordeño y la pasteurización no transcurrirán ni dos horas, cumpliéndose con el “Reglamento para la producción y expendio de leche” nicaragüense, que obliga a que: “Toda leche que tarde más de dos horas del ordeño a la entrega, deberá ser enfriada a una temperatura de 50 F (10°C) o menos”.

Inicialmente, se establece que la temperatura después de la fuente auxiliar, $T_{salidaserpentín}$, siempre es 73°C, aunque cuando se calcule la T_{tanque} se verificará su magnitud.

La leche que se pasteuriza en el serpentín consigue estar más de 15 segundos a esa temperatura, pues la leche que recorre la tubería que hay desde el serpentín hasta el intercambiador de doble tubo tarda más tiempo de los 15 segundos y si no se pasteuriza en el serpentín se hace en la fuente auxiliar y ahí se controla que cumpla los 15 segundos. Por lo que se consigue pasteurizar la leche siempre.

Conocida la eficiencia del intercambiador, $\epsilon_{ICdoble tubo}$, de 0,8.

Sabiendo que el intercambiador es de tubos concéntricos contraflujo y que al ser la leche la que pasa por todo el circuito secundario, sus propiedades varían muy poco, por lo que se considera que la relación de capacidad de calor ($C_r=C_{mín}/C_{máx}$) es igual a 1, calculando el NUT:

$$NUT = \frac{\epsilon_{ICdoble tubo}}{1 - \epsilon_{ICdoble tubo}} \quad (4.24)$$

A partir de estos datos, se puede obtener la temperatura de la leche que ya pasteurizada pasa por el intercambiador de calor, el producto final para elaborar quesos, $T_{lechepasteurizada}$,

$$T_{lechepasteurizada_j} = T_{salidaserpentín_j} - \epsilon_{ICdoble tubo} \cdot (T_{salidaserpentín_j} - T_{lechesinpasteurizar}) \quad (4.25)$$

Y la temperatura que después de ordeñada pasa por el intercambiador y está antes de entrar al serpentín, $T_{entradaserpentín}$.

$$T_{entradaserpentín_j} = T_{salidaserpentín_j} - \frac{\epsilon_{ICdoble tubo}}{NUT} \cdot (T_{salidaserpentín_j} - T_{lechesinpasteurizar}) \quad (4.26)$$

Como se dijo anteriormente, hay que calcular la T_{tanque} pues éste hace que varíe la $T_{salidaserpentín}$ Y como se aprecia en las ecuaciones 4.25 y 4.26 afecta también a $T_{lechepasteurizada}$ y $T_{entradaserpentín}$. [32]

4.2.4. CÁLCULO TEMPERATURA INTERIOR DEL TANQUE (T_{tanque})

Como la radiación solar varía con el tiempo, la temperatura del agua entrante en el tanque también cambiará con el tiempo. La unidad mínima de tiempo de los datos de partida es la hora, es por ello que se ha calculado la temperatura en el interior del tanque en función del caudal y su temperatura a cada hora.

La circulación del agua en el circuito primario se realiza desde las 8h de la mañana hasta las 16h para calentarla. El agua es almacenada en el tanque y mantenida durante toda la noche



hasta las 8 de la mañana, la hora de pasteurizar. Durante este tiempo (de las 16h hasta las 8h del día siguiente) se producen pérdidas de calor al ambiente principalmente.

El tanque donde se almacena el agua está compuesto de pvc separada del ambiente por un material aislante y chapa de zinc que cubre todo ello, tiene una capacidad de 170 litros y está situado en el exterior (como se explica en el capítulo 2, apartado 2.2), .pero se le pondría un parapeto para protegerle de las pérdidas del viento.

El balance energético que se produce en el tanque es:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q}_{colector} - \dot{Q}_{perd} - \dot{Q}_{leche} \quad (4.27)$$

Donde " $\dot{Q}_{colector}$ " es el calor que absorbe el agua del tanque del que ha pasado por los colectores en un instante de tiempo dado, " \dot{Q}_{perd} " se refiere a las pérdidas por inercia térmica y " \dot{Q}_{leche} " es el calor que cede el agua del tanque para calentar la leche.

$$\frac{m_{aguatanque} \cdot Cp_{agua} \cdot (T_{tanque_{j+1}} - T_{tanque_j})}{\Delta t} = \dot{Q}_{colector_j} - \dot{Q}_{perd_j} - \dot{Q}_{leche_j} \quad (4.28)$$

Donde " $m_{aguatanque}$ " es la cantidad de agua que se encuentra en el tanque en kg, " T_{tanque_j} " la temperatura del agua en el interior del tanque en un instante de tiempo dado y " $T_{tanque_{j+1}}$ " en el instante de tiempo posterior.

Para calcular \dot{Q}_{perd_j} se hace de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{perd_j} = U \cdot A_{totaltan} \cdot (T_{tanque_j} - T_{amb_j}) \quad (4.29)$$

Donde "U" es el coeficiente global de transferencia, " $A_{totaltan}$ " es el área total externa del tanque, un cilindro.

Se obtiene $\dot{Q}_{colector_j}$:

$$\dot{Q}_{colector_j} = \dot{m}_{col_j} \cdot Cp_{agua} \cdot (T_{etanq_j} - T_{tanque_j}) \quad (4.30)$$

Donde " \dot{m}_{col_j} " es el gasto másico que pasa por la tubería desde las 8h hasta las 15h en un instante de tiempo dado, el resto del tiempo es cero.

Se halla \dot{Q}_{leche_j} :

$$\dot{Q}_{leche_j} = \dot{m}_{past_j} \cdot Cp_{leche} \cdot (T_{tanque_j} - 5^{\circ}\text{C} - T_{entradaserpentin_j}) \quad (4.31)$$

Donde " \dot{m}_{past_j} " es el gasto másico de leche en un instante de tiempo dado [10].

Se parte de la hipótesis que la temperatura del tanque en el primer instante es de 40°C, por lo que la incógnita es $T_{tanque_{j+1}}$, despejando de la ecuación 4.28, se puede conseguir:



$$T_{tanque_{j+1}} = \frac{\dot{Q}_{colector_j} - \dot{Q}_{perd_j} - \dot{Q}_{leche_j} + \frac{Cp_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot V_{pvctanq} \cdot T_{tanque_j}}{\Delta t}}{\frac{Cp_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot V_{pvctanq}}{\Delta t}} \quad (4.32)$$

Donde “ $V_{pvctanq}$ ” es el volumen del tanque de pvc.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo para obtener $T_{tanque_{j+1}}$. Siempre se utiliza la ecuación 4.32, pero dependiendo de en qué momento se encuentre varían los valores de algunos términos. Es decir, el calor que aportan los colectores solamente desde las 8h hasta las 15h, por lo que el resto del tiempo este término no interviene. A las 8h también hay que tener en cuenta que el calor que absorbe la leche cuando entra por el serpentín, solamente ocurre cuando $T_{tanque} - 5^{\circ}\text{C}$ es mayor de la $T_{entradaserpentín}$ si esto no es así entonces no pasa por el serpentín y no pierde calor el agua del tanque. Si la leche sale del serpentín a una temperatura mayor de 73°C , entonces $T_{salidaserpentín}$ y $T_{entradaserpentín}$ varían por lo que también lo hace el valor de la $T_{tanque_{j+1}}$.

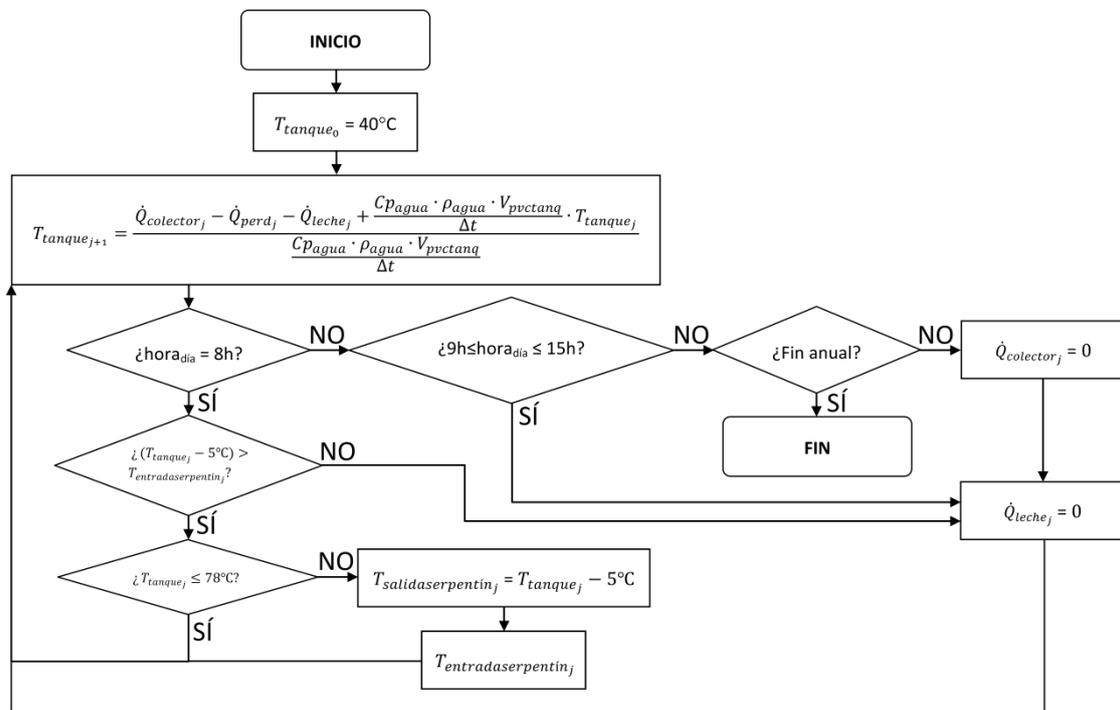


Figura 4.6: Diagrama de flujo para obtener la temperatura en el interior del tanque.

4.2.5. CÁLCULO TEMPERATURA A LA SALIDA DEL TANQUE (T_{stanq})

Al no considerarse la estratificación, la temperatura a la salida del tanque es igual a la interior, la ecuación que se utiliza es:

$$T_{stanq_j} = T_{tanque_j} \quad (4.33)$$

4.2.6. CÁLCULO TEMPERATURA A LA ENTRADA DEL COLECTOR ($T_{ecocomprobación}$)



Se calcula igual que en el apartado 4.2.2., solamente hay pérdidas en la tubería que une la salida de agua del tanque a la entrada de los colectores, las causadas por transferencia de calor al ambiente y por la inercia térmica en sus materiales.

PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA QUE UNE EL TANQUE CON LOS COLECTORES

Pérdidas de calor al ambiente de la tubería

Las pérdidas de calor al ambiente de la tubería (ecuación 4.7), se calculan igual, pero la resistencia térmica que se obtiene es diferente al variar la velocidad del agua por lo que afecta al número de Reynolds y la “ T_{pl} ” se sustituye por “ T_{stanq} ”:

$$P_{tubería_entradacol_j} = \frac{T_{stanq_j} - T_{amb_j}}{R_{totalentrad_j}} \quad (4.34)$$

Donde “ $R_{totalentrad_j}$ ” es la resistencia total térmica en el tramo de tubería que va desde la salida del tanque hasta los colectores en un instante de tiempo determinado. La fórmula es igual que la ecuación 4.8.

La resistencia térmica entre el agua y la tubería de cobre, R_{intr} , se calcula igual que la ecuación 4.9, modificando “ L_{cp} ” por “ $L_{entrada}$ ” que es la longitud de tubería que va desde el tanque hasta los colectores.

El número de Reynolds se calcula igual que en la ecuación 4.23. Por lo que h_{agua} es el mismo valor que en el apartado 4.2.2.

La resistencia térmica de los distintos componentes, R_i , se obtiene igual que en la ecuación 4.15, salvo que “ L_{cp} ” se cambia por “ $L_{entrada}$ ”:

La resistencia térmica entre el viento y el aislante, R_{extr} , se calcula igual que en la ecuación 4.16, lo que cambia es el área externa de la tubería que la longitud en vez de ser “ L_{cp} ” es “ $L_{entrada}$ ”.

Pérdidas por inercia térmica en la tubería

Las pérdidas por inercia térmica en el aislante térmico y la tubería de cobre, se calculan igual que en la ecuación 4.20, lo que cambia es la longitud, que en vez de ser “ L_{cp} ” es “ $L_{entrada}$ ” y que “ T_{i_j} ”, para el cobre es “ T_{stanq} ” en vez de “ T_{pl} ” mientras que para el aislante es la temperatura media entre la temperatura de salida del colector y la temperatura ambiente, “ $\left(\frac{T_{stanq} + T_{amb}}{2}\right)$ ”, en vez de “ $\left(\frac{T_{pl} + T_{amb}}{2}\right)$ ”.

Una vez calculadas todas las pérdidas, se halla la temperatura del agua a la entrada de los colectores.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo para obtener esta temperatura.

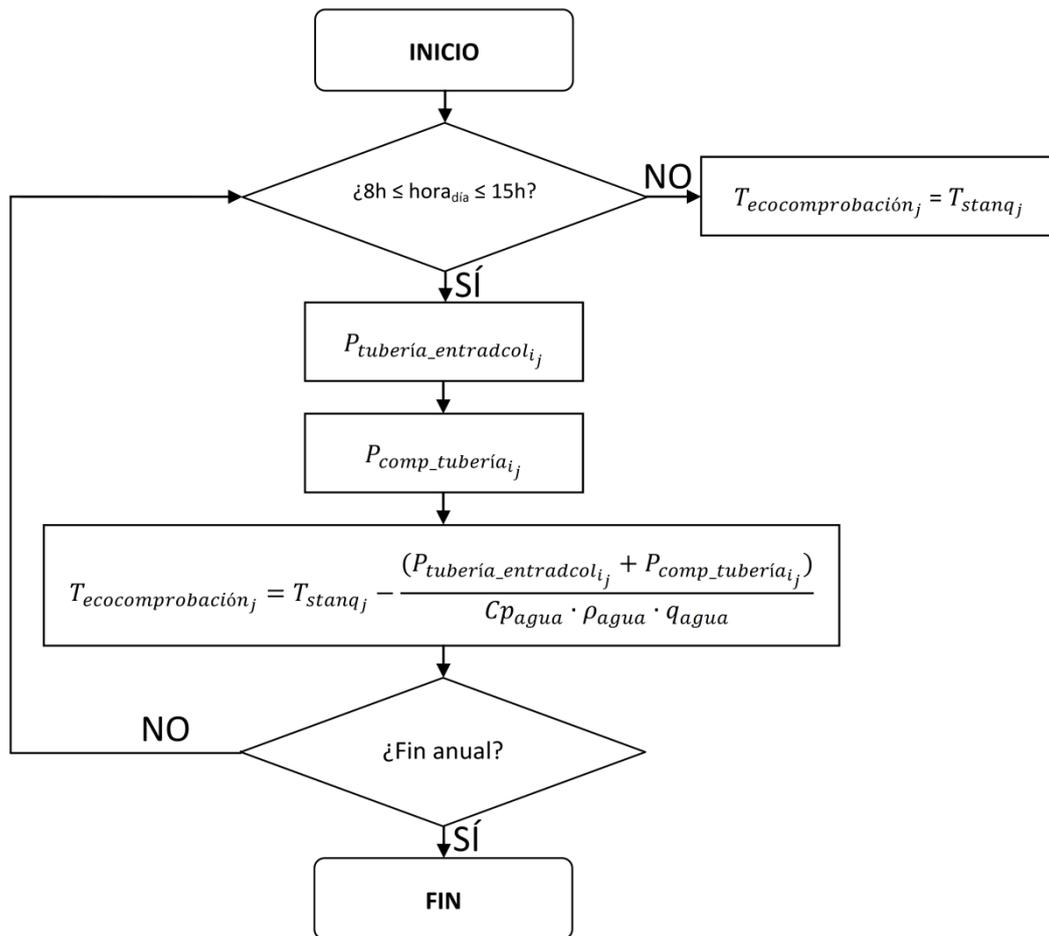


Figura 4.7: Diagrama de flujo para obtener la temperatura de entrada a los colectores.

Una vez calculada, hay que comparar si los valores de esta temperatura son los mismos de los que se partió como hipótesis. Lo más cómodo es exportar esos datos a una hoja en Excel y luego restarlos a los datos iniciales hasta que dé cero, que es cuando son iguales.

4.2.7. CÁLCULO DEL APORTE SOLAR

Para calcular el aporte de la fuente auxiliar hay que conocer la temperatura que tiene la leche antes de la fuente auxiliar, se le ha llamado $T_{fuenteauxiliar}$. Si la leche pasa por el serpentín, entonces su temperatura es igual a la del tanque menos cinco grados y si no pasa es la de la entrada al serpentín y si es mayor de 73°C, se pone este valor porque en este caso que supere nos da igual.

Se muestra el diagrama de flujo a continuación.

La fórmula para calcular el aporte horario es:

$$Aporte_j = caudal_{leche} \cdot \rho_{leche} \cdot Cp_{leche} \cdot \Delta t \cdot (73^\circ\text{C} - T_{fuenteauxiliar_j}) \quad (4.35)$$

Donde el “caudal_{leche}” es 240 l/h, “ ρ_{leche} ” es 1032 kg/m³, “ Cp_{leche} ” es 3894 J/kg·°C.

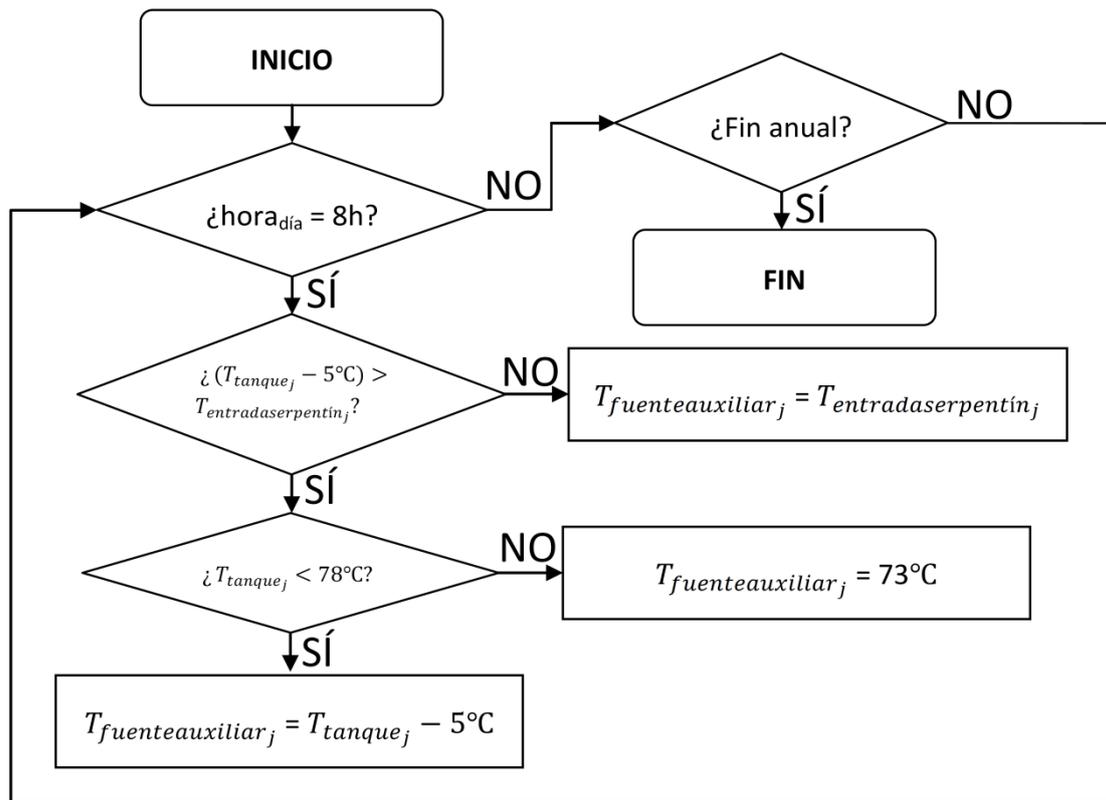


Figura 4.8: Diagrama de flujo para obtener la $T_{fuenteauxiliar}$.

El bucle para calcular el aporte horario es:

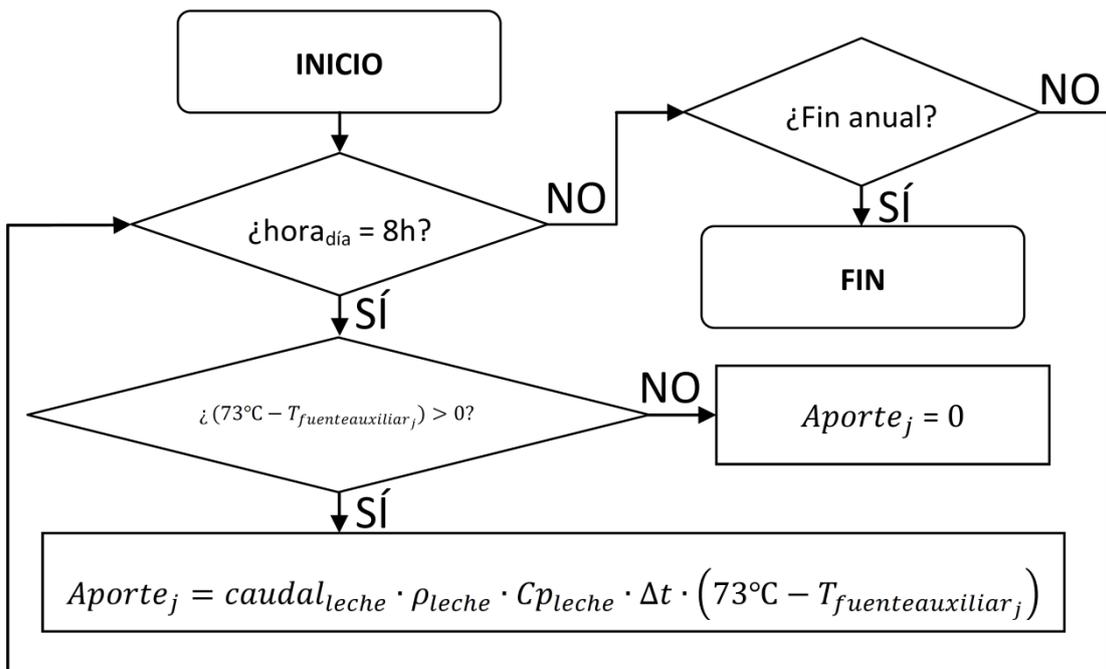


Figura 4.9: Diagrama de flujo para obtener el aporte diario.



El aporte de la fuente auxiliar en un año es:

$$E_{fn\text{teaux}} = \sum_j (A\text{porte}_j) = 654,15 \cdot kWh \quad (4.36)$$

La energía necesaria para pasteurizar leche un año, como el primer día no se pasteuriza se considera el año de 364 días, es:

$$E_{past} = caudal_{leche} \cdot \rho_{leche} \cdot Cp_{leche} \cdot \Delta t \cdot (73^\circ C - T_{lechesinpasteurizar}) \quad (4.37)$$

$$E_{pasttotalaño} = E_{past} \cdot 364 \text{ días} = 3,413 \cdot 10^3 \cdot kWh \quad (4.38)$$

Por lo que el aporte de la fuente auxiliar es:

$$AS_{fn\text{teaux}} = \frac{E_{fn\text{teaux}}}{E_{pasttotalaño}} \cdot 100\% = 19,17\% \quad (4.39)$$

Por tanto, el aporte solar es:

$$AS_{solar} = 1 - AS_{fn\text{teaux}} = 80,83\% \quad (4.40)$$

4.2.8. GRÁFICAS

En este apartado, se analizará los resultados obtenidos en este programa.

Comparando los datos de irradiación de los que parte este proyecto (Figura 3.22) con los inclinados a $12,14^\circ$ (Figura 4.10) se puede apreciar que aumenta la cantidad de irradiación cuando está inclinado tanto en época seca como en la lluviosa, hay algún día puntual que es menor, ocurre solamente en época lluviosa, de donde se deduce que hay días en que es mejor la orientación norte como se explicó en el capítulo 3 porque el sol está orientado en la dirección norte en vez de la sur, pero en global se observa que aumenta.

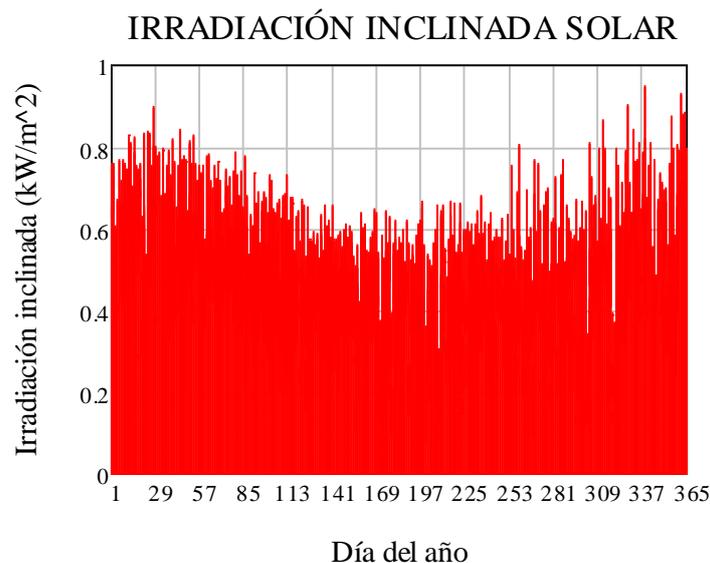
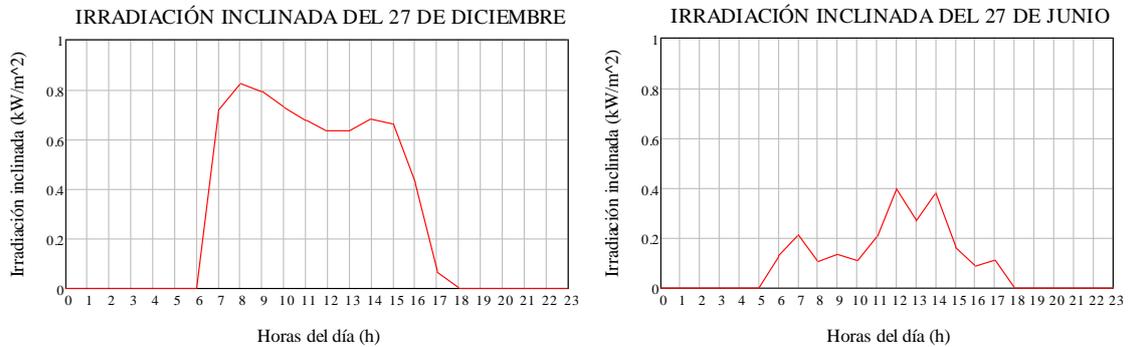


Figura 4.10: Irradiación inclinada solar a lo largo del año.



En la Figura 4.10 se puede ver que el máximo es 0,95 kW/m².

Durante la estación seca, la radiación interceptada por los colectores será mayor que en la estación húmeda. A continuación, se muestran dos días representativos de cada estación, el 27 de Diciembre correspondiente a la estación seca y el 27 de Junio a la húmeda.



Figuras 4.11.a y 4.11.b: Irradiación inclinada el 27 de Diciembre y el 27 de Junio.

En las Figuras 4.11.a y 4.11.b se aprecia que es mucho mayor la irradiación interceptada en época seca que en época lluviosa, más del doble llegando en algunos casos a cuadruplicarse.

La potencia transmitida al fluido caloportador en el colector, se ha calculado,

$$Pot_{colector_j} = caudal_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot (T_{sco_j} - T_{eco_j}) \quad (4.40)$$

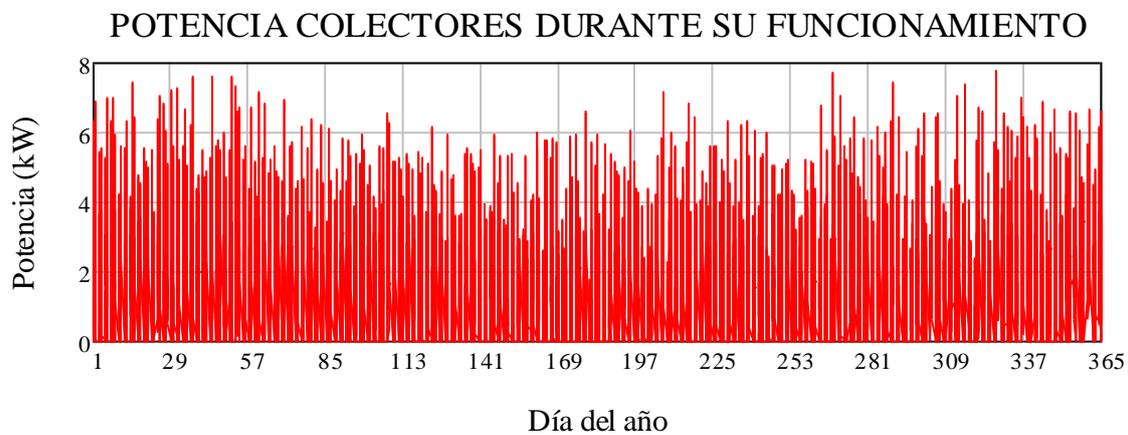


Figura 4.12: Energía de los colectores cedida al agua.

En la gráfica se muestra solamente las horas en que funcionan los colectores. Todos los valores son iguales o mayores de cero, eso significa que la temperatura de salida de los colectores es igual o mayor al de entrada a los colectores. En la estación seca, la energía es mayor.

Se pasa a estudiar las pérdidas que sufren los colectores, primero por partes y, luego, globalmente.

Las pérdidas estándar durante el funcionamiento del circuito primario:

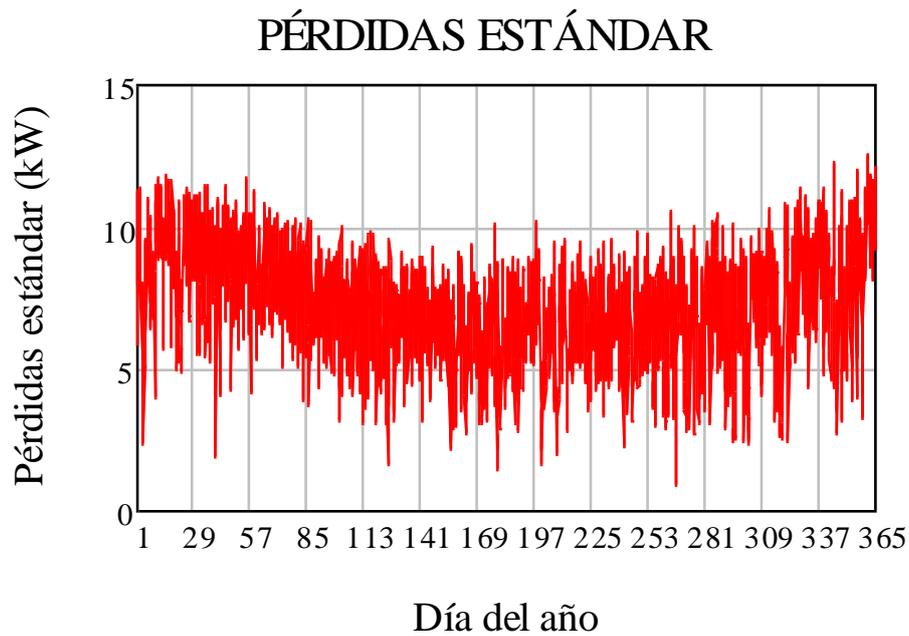


Figura 4.13: Pérdidas estándar en los colectores.

En la Figura 4.13 se observa que las pérdidas en condiciones estándar son altas.

Las pérdidas por inercia térmica de los componentes que constituyen los colectores:

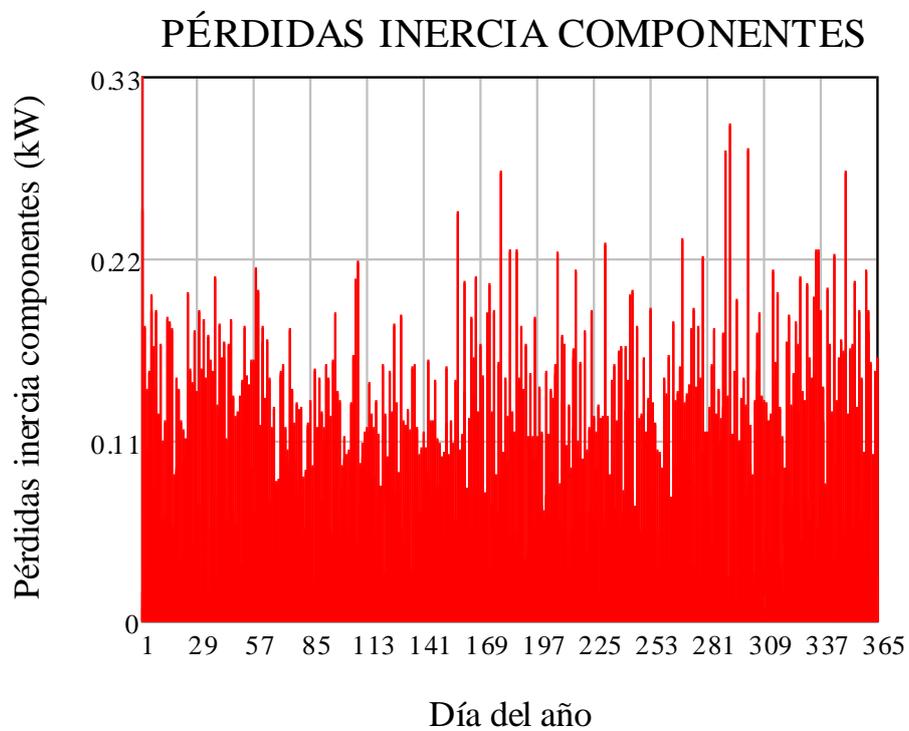


Figura 4.14: Pérdidas por inercia térmica en los componentes de los colectores.

En la Figura 4.14, comparando con las pérdidas estándar (Figura 4.13) son muy pequeñas.



Las pérdidas por viento son:

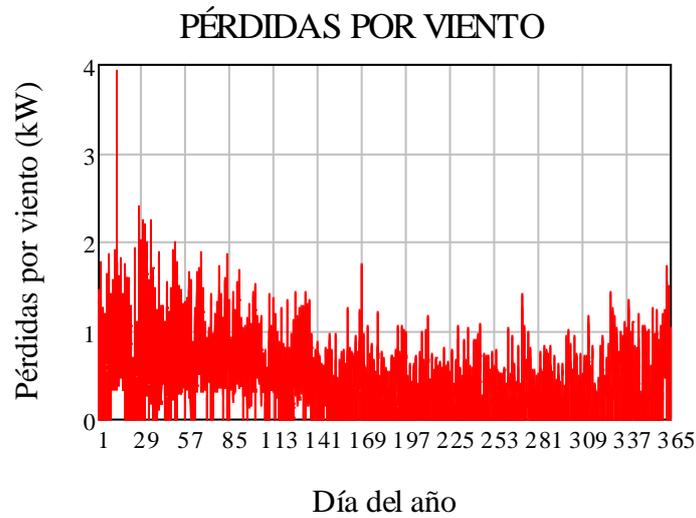


Figura 4.15: Pérdidas por viento en los colectores.

En la Figura 4.15, las pérdidas por el viento son mayores que por inercia térmica y menores que las pérdidas estándar.

Las pérdidas en las tuberías entre colectores por inercia térmica de sus componentes y por transmisión de calor al ambiente son:

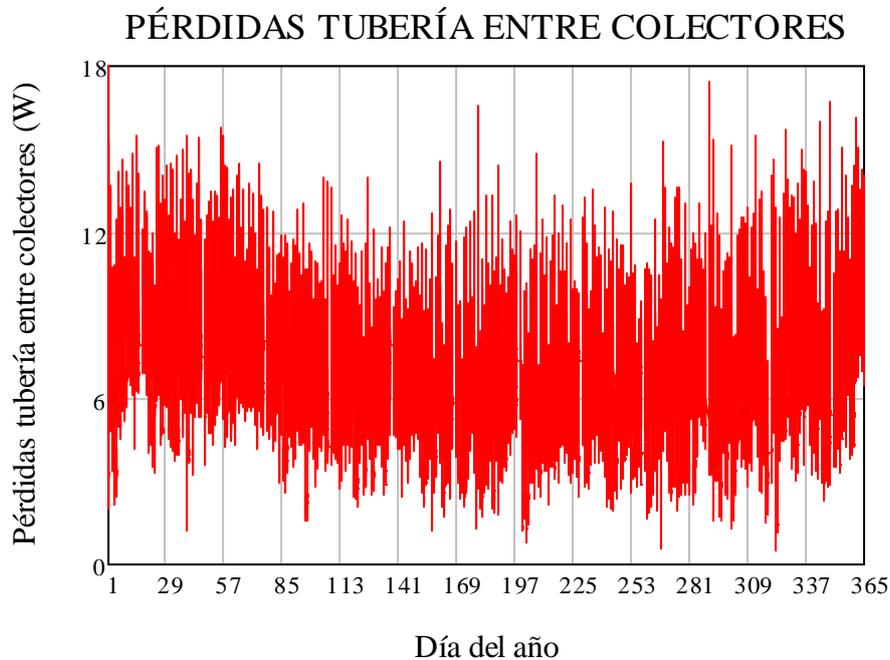


Figura 4.16: Pérdidas en las tuberías entre colectores.

Son las más pequeñas (Figura 4.16), pues éstas se miden en W mientras que el resto era en kW. Al ser tan pequeñas estas pérdidas que están en el exterior, en el circuito secundario se han despreciado ya que además parte de él se encuentra en el interior del local.



A continuación, se muestra las pérdidas globales:

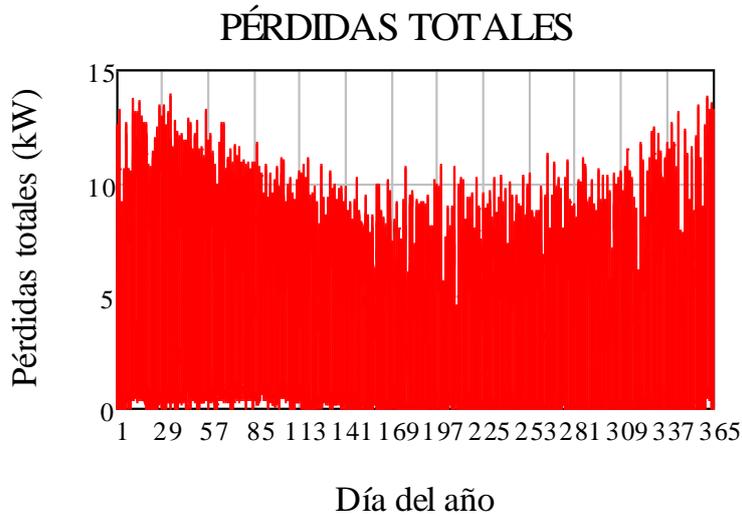


Figura 4.17: Pérdidas globales en los colectores.

En la Figura 4.17 se observa que las pérdidas que más afectan son las estándar, luego las del viento, mucho menos las debidas por inercia térmica y casi despreciables las que se producen en las tuberías que unen los colectores.

La temperatura del agua a la salida de los colectores es:

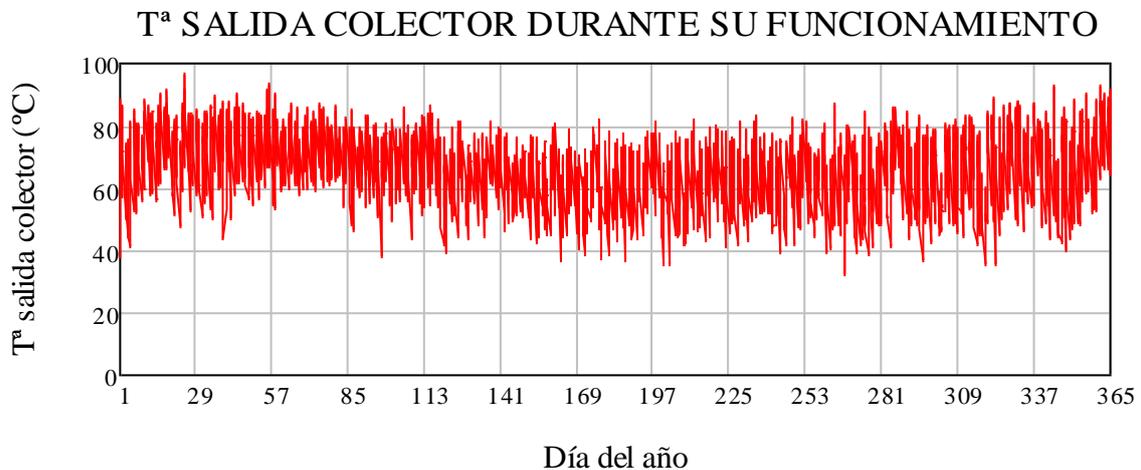


Figura 4.18: Tª del agua a la salida de los colectores durante su funcionamiento.

En la Figura 4.18 donde hay mayores temperaturas es en la época seca. Las temperaturas más bajas ocurren tanto en época lluviosa como en seca, alrededor de los 30°C y la más alta es a los 97°C, en el mes de Enero.

El porcentaje de horas de Sol al año cuya temperatura supera los 78°C es 11,48%. Si se tiene en cuenta únicamente las horas de trabajo del colector, el porcentaje asciende a 15,58%.

Las pérdidas de tubería de unión entre la salida de los colectores y la entrada del tanque:

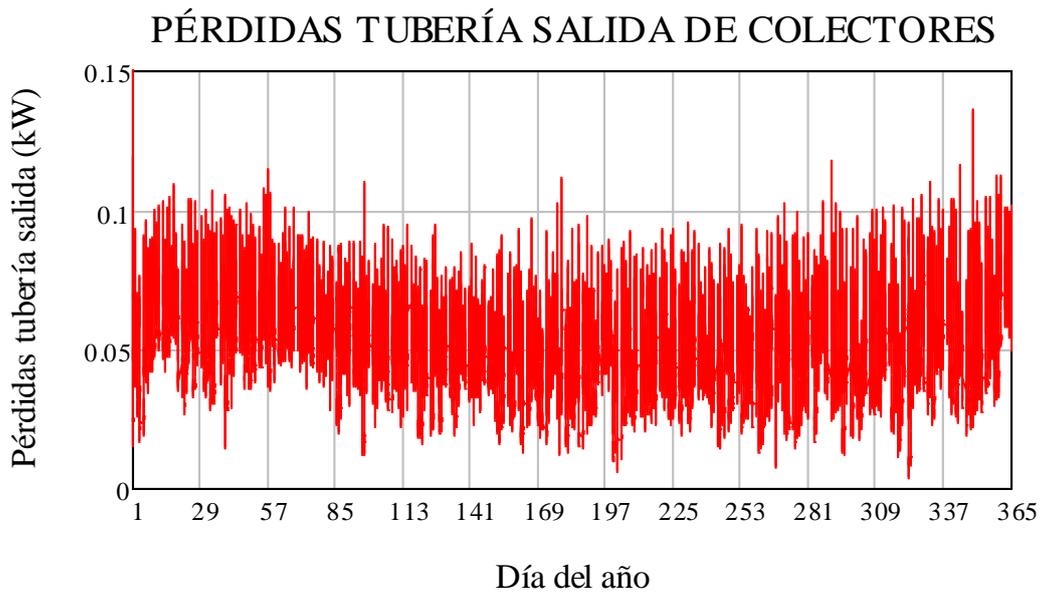


Figura 4.19: Pérdidas en la tubería de unión de la salida de los colectores al tanque.

Contrastando la Figura 4.16 con la Figura 4.19, son mayores las pérdidas en la tubería de unión entre la salida de los colectores al tanque, se debe a que la longitud y la velocidad de caudal es mayor. Aún así son mucho menores que el resto de pérdidas que se producían en el colector.

La temperatura a la entrada del tanque es:

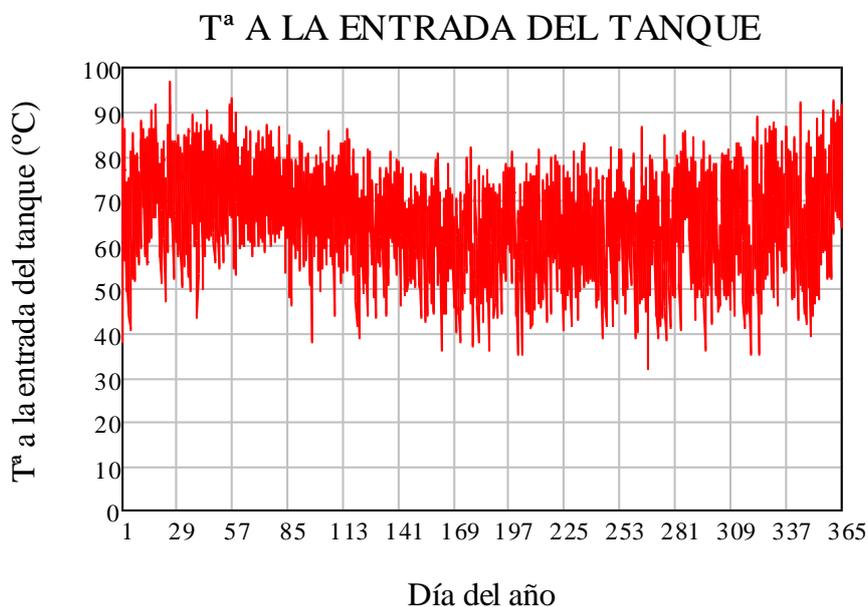


Figura 4.20: Temperatura a la entrada del tanque.

En la Figura 4.20, la temperatura de entrada al tanque es mayor en la época seca que en la lluviosa. Se aprecia que en la mayor parte de los días en época seca la temperatura ronda entre los 70°C y 80°C, con lo que calentaría el agua y se podría pasteurizar.



Las pérdidas de tubería de unión entre la entrada de los colectores y la salida del tanque:

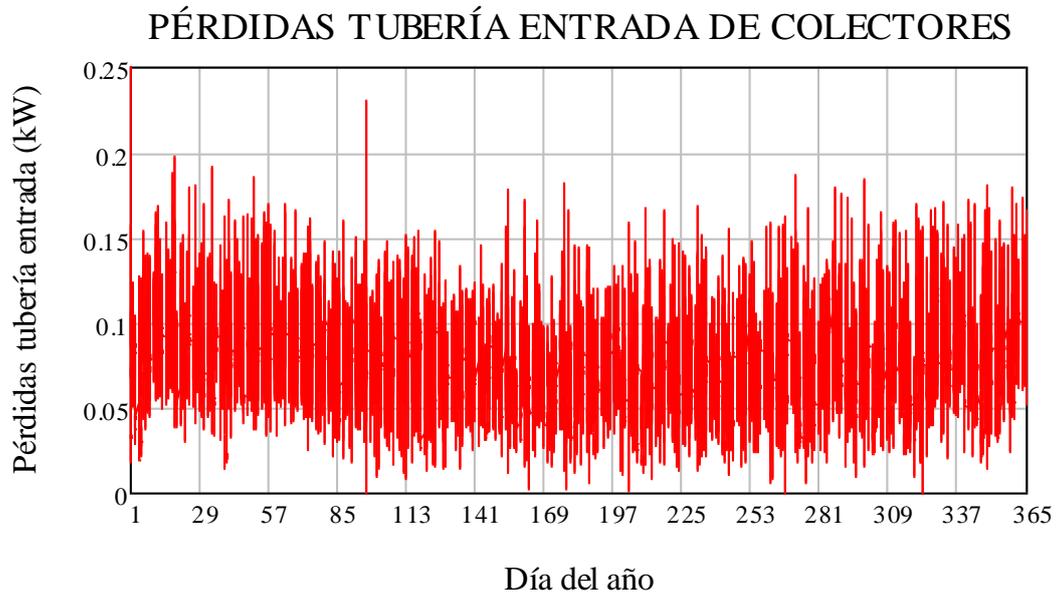


Figura 4.21: Pérdidas en la tubería de unión de la entrada de los colectores al tanque.

En la Figura 4.21 contrastando con la Figura 4.19, se observa que son mayores las pérdidas en la tubería de entrada, pero tampoco mucho.

La temperatura que hay en el interior del tanque es:

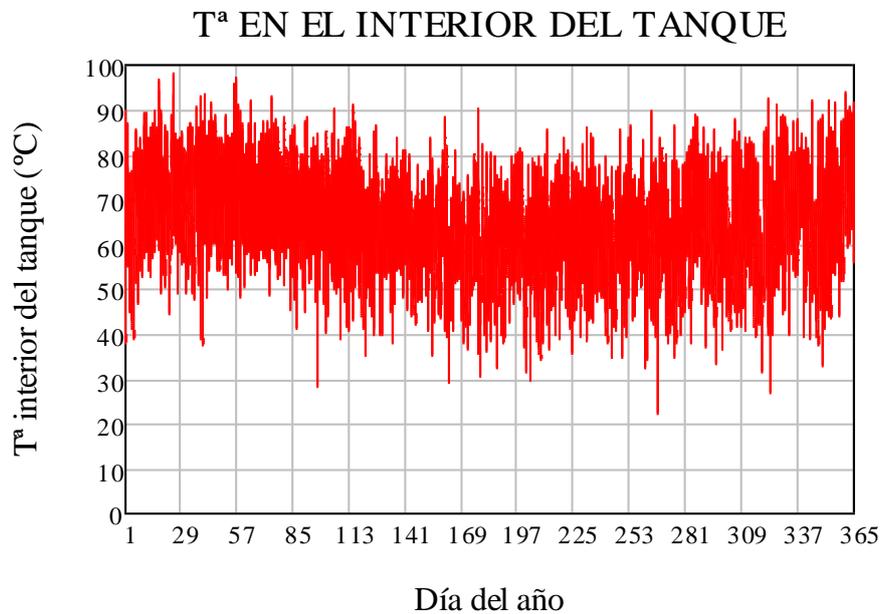


Figura 4.22: Temperatura en el interior del tanque.

En la Figura 4.22 se aprecia que en la época lluviosa muy pocos días logra superar los 78°C, mientras que en la época seca ocurre con más frecuencia.



La temperatura en el interior del tanque durante la pasteurización:

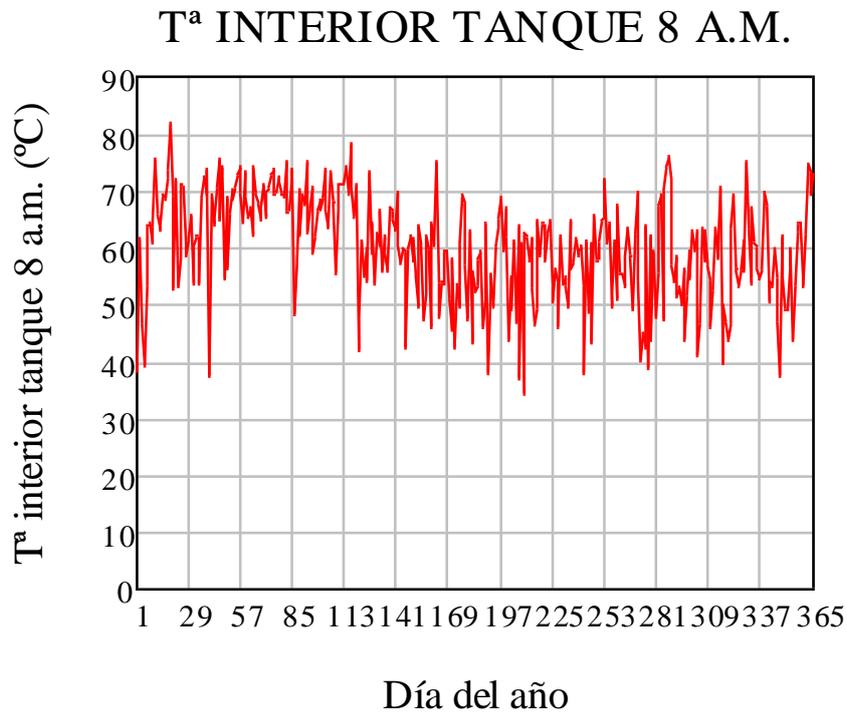
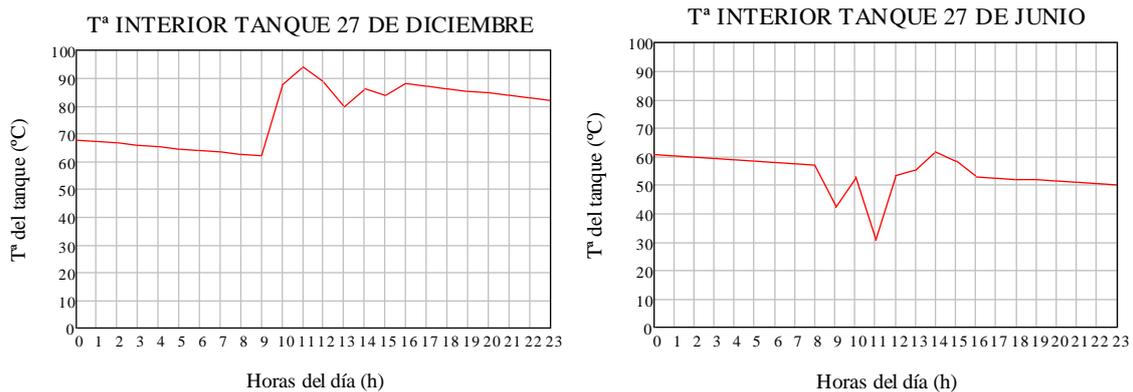


Figura 4.23: Temperatura en el interior del tanque durante la pasteurización.

En la Figura 4.23, se puede observar que en pocas ocasiones se consigue pasteurizar la leche, eso significa que casi todos los días tendría que pasar por la fuente auxiliar.

Se toma un día de la época seca y otro de la lluviosa:



Figuras 4.24.a y 4.24.b: Temperatura en el interior del tanque el 27 de Diciembre y el 27 de Junio.

En las Figuras 4.24.a y 4.24.b, se observa cómo en la época seca la temperatura en el interior es mucho mayor, pero aún así no se podría pasteurizar antes de las 9h y 30 min, pero a partir de ahí se podría hasta las 23h, mientras que el 27 de Junio a ninguna hora se podría pasteurizar.

Las pérdidas por inercia térmica en el tanque:

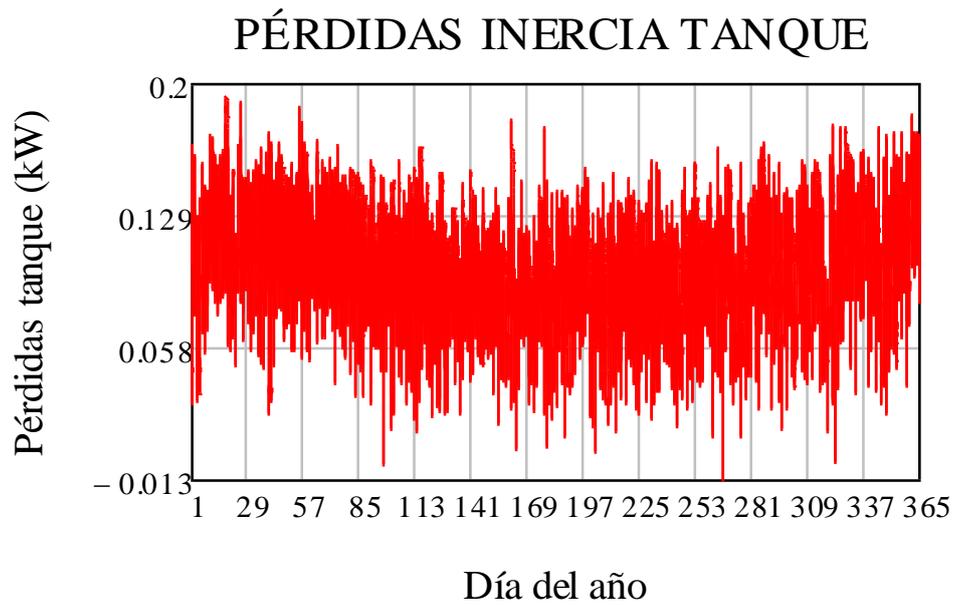


Figura 4.25: Pérdidas por inercia térmica en el tanque.

Los valores de las pérdidas producidas por inercia térmica en la Figura 4.25 son pequeños, incluso en algunos casos negativos, se debe a que la temperatura ambiente es mayor a la de la temperatura del interior del tanque.

CAPÍTULO 5:

ANÁLISIS AMBIENTAL Y ESTUDIO ECONÓMICO



5.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se realizan un análisis ambiental y un estudio económico de la planta pasteurizadora.

5.2. ANÁLISIS AMBIENTAL

5.2.1. EFECTO INVERNADERO

DEFINICIÓN

El efecto invernadero de la atmósfera terrestre tiene que ver con procesos de radiación que ocurren en la misma. Las características de la radiación, que se propaga en forma de ondas electromagnéticas incluso en el vacío, dependen de la temperatura del cuerpo que la emite. En la atmósfera están presentes dos tipos de radiación, por una parte la radiación solar, que proviene de la superficie del Sol a unos 6000 °C y se manifiesta principalmente en la forma de rayos en el espectro visible. Por otra parte, al igual que el Sol, la superficie de la Tierra y la atmósfera también emiten radiación, si bien lo hacen con un nivel de energía mucho menor que la del Sol como consecuencia de su menor temperatura, esta radiación denominada infrarroja no es visible, pero se propaga en forma similar a la radiación solar.

La atmósfera, que es bastante transparente a la radiación solar, es considerablemente más opaca a la radiación infrarroja que proviene de la superficie de la Tierra, pues una buena parte de la radiación infrarroja terrestre es absorbida en la atmósfera por los gases denominados de efecto invernadero, entre los cuales los más importantes son el dióxido de carbono (CO₂) y el vapor de agua (H₂O). Parte de esta energía atrapada por la atmósfera es reemitida hacia la superficie de la Tierra, sumándose durante el día a la radiación solar, y compensando parcialmente durante la noche el enfriamiento de la superficie. Este efecto se conoce como efecto invernadero.

El efecto invernadero es un proceso natural que permite la vida en nuestro planeta, sin embargo, este fenómeno se está viendo perturbado por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, produciéndose el calentamiento global del planeta. [3]

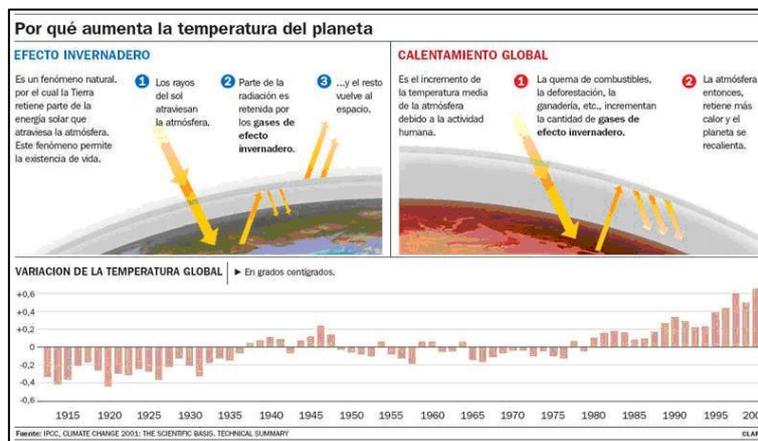


Figura 5.1: Gráfica explicativa de la contribución del efecto invernadero al calentamiento global. [1]



GASES DE EFECTO INVERNADERO

Entre los principales gases de efecto invernadero se encuentran los siguientes:

- ◆ Vapor de agua (H_2O): gas que se obtiene por evaporación o ebullición de agua líquida o sublimación del hielo. El vapor de agua existe de forma natural en la naturaleza debido al ciclo hidrológico y es emitido por la acción humana como producto de la combustión. Es el que más contribuye al efecto invernadero debido a su capacidad de absorción de los rayos infrarrojos, si bien no resulta preocupante pues el vapor de agua precipita en forma de lluvia.
- ◆ Dióxido de carbono (CO_2): gas que se genera al oxidarse el carbón o cualquier compuesto que lo forme. El dióxido de carbono existe también en la atmósfera de forma natural, pero su concentración en la misma está aumentando debido a su emisión como producto de la combustión (de los hidrocarburos de automóviles, calefacciones industriales,...). Su concentración en la atmósfera se ha incrementado notablemente, 30% con respecto a la era preindustrial, debido a la industrialización.
- ◆ Metano (CH_4): el metano es emitido a la atmósfera como escape de hidrocarburos y como producto de la fermentación, generado mayormente en actividades agropecuarias.
- ◆ Halocarbonos: suelen emplearse como fluidos refrigerantes presurizados y, por lo tanto, su emisión a la atmósfera se debe fundamentalmente al escape de los mismos. Antiguamente se empleaban los clorofluorocarbonos (CFC), cuyo uso se encuentra prohibido en la actualidad, habiendo sido sustituidos por los hidrofluorocarbonos (HFC) y los prefluorocarbonos (PFC). Los CFC contribuyen a la destrucción de la capa de ozono y hacen que una mayor proporción de rayos ultravioletas lleguen a la faz de la Tierra.
- ◆ Óxido nitroso (N_2O): el óxido nitroso se produce durante la actividad microbiana en suelos, las emisiones aumentan cuando se emplean abonos y fertilizantes. Los procesos de combustión (chimeneas de las centrales energéticas que utilizan carbón, de los tubos de escape de los automóviles,...) son también causantes de emisión de óxido nitroso, si bien la emisión fundamental se debe a actividades agrícolas.
- ◆ Hexafluoruro de azufre (S_6F): el hexafluoruro de azufre se emplea como aislante en circuitos eléctricos, como gas trazador y en el moldeado a presión de magnesio. Se trata de un gas artificial producido por la industria, aunque es un eficaz gas de efecto invernadero, su contribución es absolutamente ínfima.
- ◆ Ozono (O_3): el ozono se encuentra en la atmósfera de forma natural. Su concentración en la estratosfera es elevada y muy beneficiosa pues absorbe la radiación ultravioleta procedente del Sol, sin embargo, cuenta con una concentración baja en la troposfera, la cual está aumentando debido a la acción humana. A diferencia de los anteriores gases de efecto invernadero, el ozono troposférico es un contaminante secundario



(que no es emitido directamente a la atmósfera sino que es producido por reacciones químicas que se producen en la misma), cuyos precursores son los óxidos de nitrógeno (NOx), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). Además de ser un gas de efecto invernadero, el ozono troposférico es un constituyente de la neblina fotoquímica (o neblumo o smog, que es la niebla que envuelve en ciertas ocasiones a las grandes ciudades, cuyos constituyentes principales son los hidrocarburos inquemados, los óxidos de nitrógeno y el ozono troposférico). La formación de neblina fotoquímica se ve favorecida por situaciones meteorológicas como la insolación y la inversión térmica (existencia de una capa de aire anormalmente caliente en una zona alta, de modo que no se producen corrientes verticales de aire por diferencia de densidad). El contribuyente principal a este fenómeno es el transporte por carretera. [3]

Si bien la mayoría de ellos son naturales, en tanto que ya existían en la atmósfera antes de la aparición del hombre, desde la Revolución Industrial y debido al uso intensivo de combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitroso y dióxidos de carbono emitidas a la atmósfera, con el agravante de que otras actividades humanas, como la deforestación, han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero.

Los gases de efecto invernadero cuentan con dos características fundamentales: el potencial de efecto invernadero y el tiempo de vida en la atmósfera.

- ◆ Potencial de efecto invernadero (PEI): capacidad de absorción relativa a la del CO₂ en términos de masa. En la tabla 5.1 se representa el potencial de efecto invernadero para los distintos gases:

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC	HFC
PEI	1	20-30	230	4000-15000	400-3000

Tabla 5.1: Potencial de efecto invernadero de distintos tipos de gases. [3]

- ◆ Tiempo de vida en la atmósfera: es el tiempo que tarda un contaminante en ver reducida su concentración a la mitad, bien por procesos físicos (lluvia,...) o por procesos químicos (reacciones en la atmósfera). El tiempo de vida de este tipo de contaminantes es elevado, en el caso del dióxido de carbono se encuentra entre 50 y 200 años.

La emisión de gases de efecto invernadero es medida en toneladas equivalentes de CO₂.

5.2.2. ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA PLANTA DE PASTEURIZACIÓN SOLAR

Uno de los objetivos de esta instalación es ahorrar energía (y con ello, dinero) para que no tenga que ser generada mediante combustibles fósiles o empleada a partir de energía que en algún punto de su proceso de generación emita gases de efecto invernadero, esto es, ahorrar en CO₂ emitido a la atmósfera.



En este apartado se va a evaluar la instalación desde el punto de vista medio ambiental. Para ello se calcularán las emisiones de gases de efecto invernadero como si la planta de pasteurización se realizara con una caldera de diesel, el sistema más empleado actualmente en la industria láctea, debido a que la planta no produce emisiones de gases de efecto invernadero por los colectores y la fuente auxiliar (caldera de biomasa). Y también se supondrá que la fuente auxiliar es una resistencia alimentada por electricidad o por otra caldera diesel.

POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO (PEI)

El potencial de efecto invernadero (PEI) es el potencial que tienen los gases de efecto invernadero liberados en la combustión. Se divide en:

- ◆ **Potencial de efecto invernadero indirecto (PEII):** es el efecto invernadero generado por el dióxido de carbono producido al quemar el combustible fósil.

$$PEII = E_c \cdot peii \cdot N \quad (5.1)$$

Donde “ E_c ” es la energía consumida a lo largo del año, “ $peii$ ” el potencial de efecto invernadero indirecto por unidad de consumo y “ N ” el número de años de la instalación, (se ha fijado en 25 años).

- ◆ **Potencial de efecto invernadero directo (PEID):** es una característica propia del refrigerante, son las fugas directas a la atmósfera de los gases de efecto invernadero.

$$PEID = f \cdot c \cdot peid \cdot N \quad (5.2)$$

Siendo “ f ” el factor de fugas, porcentaje que anualmente se fuga, “ c ” la cantidad de gas de efecto invernadero en kilogramos y “ $peid$ ” el potencial de efecto invernadero directo por unidad de masa.

En este caso sólo se tendrá en cuenta el potencial de efecto invernadero indirecto ya que el potencial de efecto invernadero directo es nulo tanto para la instalación solar como para la de diesel.

Para el cálculo del PEII, se necesita conocer la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) que se emite a la atmósfera por unidad de energía primaria consumida ($peii$):

Combustible	peii o emisión CO_2 (kg CO_2/kWh_c)
Diesel	0,27
Fuel oil o bunker	0,32
Leña	0,39

Tabla 5.2: Emisión de CO_2 por kWh_c para distintos combustibles.

Para calcular la cantidad de dióxido de carbono que genera una unidad de energía eléctrica, se tienen que tener en cuenta las diferentes fuentes primarias que contribuyen a la producción de electricidad y cuáles aportan gases de efecto invernadero en la combustión.

En la Figura 5.2 se muestra la evolución de la matriz de generación eléctrica en el periodo 2006-2011:

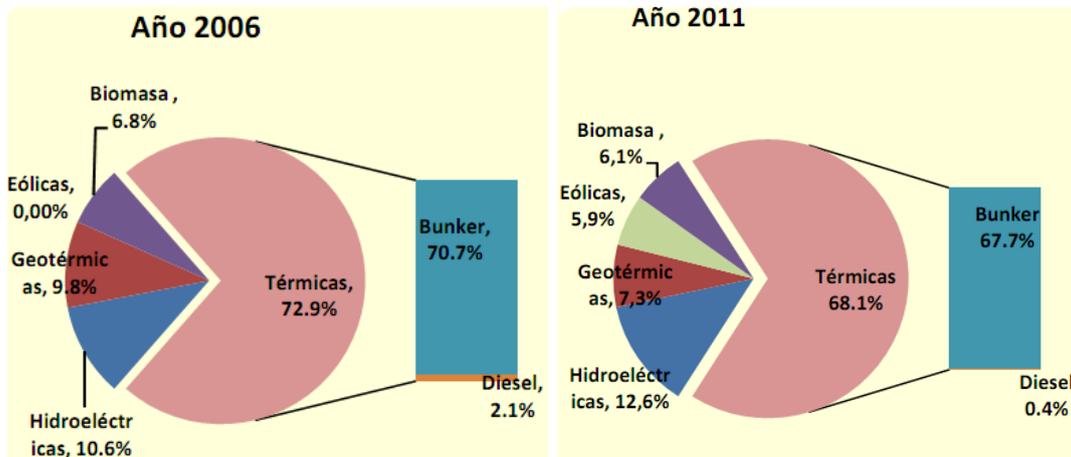


Figura 5.2: Evolución de la matriz de generación eléctrica en 2006 y en 2011. [35]

Según la Figura 5.2, en el año 2006 en la generación de electricidad se desarrolla la mayor parte de la industria de energía renovable: eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa, el porcentaje es del 27,1% frente al 72,9% de la producción que se cubre con centrales térmicas que emplean derivados del petróleo. En el año 2011 se empieza a ver el cambio de tendencia con un porcentaje del 31,9% dedicado a las energías renovables. Mientras que el 68,1% de la energía eléctrica es generada a partir de combustibles fósiles, donde un 0,4% corresponde al diesel, y un 67,7% fuel oil o bunker, el otro 31,9% correspondiente de generación de electricidad es a energías renovables con cero emisiones de CO₂. Además es indispensable conocer el rendimiento de la central eléctrica para saber cuánta energía combustible puede transformarse en energía eléctrica, se estima un rendimiento del 35%.

$$E_{eleCO_2} = 0,681 \cdot \left(\frac{0,004 \cdot 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_c + 0,677 \cdot 0,32 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_c}{0,35 \text{ kWh}_e/\text{kWh}_c} \right) = 0,424 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_e \quad (5.3)$$

La energía consumida a lo largo del año y liberadora de monóxido de carbono en la instalación solar, es la energía eléctrica consumida por la bomba, pero al ser una cantidad tan pequeña, se puede despreciar. Así que se calculará como si la fuente auxiliar es una resistencia alimentada por electricidad.

$$PEI_{fntaux} = E_{fntaux} \cdot E_{eleCO_2} \cdot N \quad (5.4)$$

$$PEI_{fntaux} = 654,15 \text{ kWh/año} \cdot 0,424 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_e \cdot 25 \text{ años} = 7,64 \text{ tmCO}_2 \quad (5.5)$$

Si la fuente auxiliar, la resistencia eléctrica, estuviera alimentada con paneles solares fotovoltaicos o con energía eólica, entonces, el potencial de efecto invernadero indirecto de la instalación solar sería nulo.

Para calcular la energía aportada por la caldera diesel se utiliza la misma que la ecuación 4.37.



Se va a considerar el rendimiento de la caldera (η_{cal}) del 90%.

$$PEII_{caldera} = \frac{3413 \text{ kWh/año} \cdot 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_c \cdot 25 \text{ años}}{0,9} = 28,22 \text{ tmCO}_2 \quad (5.6)$$

El potencial de efecto invernadero indirecto de la fuente auxiliar de la instalación solar supone el 27% del potencial de la caldera diesel.

Si se supone que la fuente auxiliar es una caldera diesel, entonces,

$$PEII_{caldfnteaux} = \frac{654,15 \text{ kWh/año} \cdot 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_c \cdot 25 \text{ años}}{0,9} = 5,41 \text{ tmCO}_2 \quad (5.7)$$

Es menor, el potencial de efecto invernadero indirecto de la caldera diesel que la resistencia eléctrica como fuente auxiliar.

AHORRO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

El poder calorífico inferior del diesel es (PCI_{diesel}) 10,2 kWh/l.

El ahorro de diesel que supone el empleo de la instalación solar en 25 años es de:

$$A_{diesel} = \frac{E_{pasttotalaño}}{\eta_{cal}} \cdot \frac{N}{PCI_{diesel}} = \frac{3413 \text{ kWh/año}}{0,9} \cdot \frac{25 \text{ años}}{10,2 \text{ kWh/l}} = 9,29 \text{ kl} \quad (5.8)$$

Donde A_{diesel} es el ahorro de combustible fósil diesel, $E_{pasttotalaño}$ la energía necesaria para pasteurizar 240 l de leche al día durante un año, η_{cal} la eficiencia con que cuenta la caldera de diesel es de 0,9 y PCI_{diesel} poder calorífico inferior del diesel y N el número de años en funcionamiento.

El ahorro de diesel en 25 años es de 9,29 kl [1].

5.3. ESTUDIO ECONÓMICO

Se van a evaluar los costes de inversión inicial y de explotación de la instalación para los distintos casos que se quieren comparar:

- a) solar térmica.
- b) caldera de diesel.
- c) solar térmica con una resistencia eléctrica como fuente auxiliar (en vez de la caldera biomasa).
- d) solar térmica con la caldera diesel como fuente auxiliar.



En el estudio del impacto ambiental se vio que era menor el potencial efecto invernadero indirecto con fuente auxiliar caldera diesel que con la resistencia eléctrica, por lo que se va a analizar la comparativa de ambas tecnologías en el ámbito económico.

Para poder comparar las distintas soluciones técnicas se han estimado los costes de los equipos teniendo en cuenta los precios del mercado español, por no disponer de todos sus precios en el mercado nicaragüense.

Es importante cuando se diseña una instalación intentar garantizar su durabilidad, teniendo en cuenta las características del país donde se va a realizar. Una manera de hacerlo sostenible es que los principales componentes de la instalación se compren o construyan en el país, de este modo, además, se consigue abaratar el coste de la inversión inicial y el mantenimiento.

5.3.1. COSTE DE LA INSTALACIÓN COMPLETA

A continuación, se detallan los costes de la instalación.

Primero, se muestra el coste de un colector en la Tabla 5.3, luego, en la Tabla 5.4 se enseñan los costes del circuito primario y, por último, en la Tabla 5.5 los costes del circuito secundario.

MATERIALES	UNIDADES	COSTE (€)	COSTE UNITARIO (€)
Tubería de cobre	4	130,33	32,58
Plancha zinc	1	5,12	5,12
Placa de Aluminio	6	39,48	6,58
Aislante	2	44,28	22,14
Vidrio templado	1	67,40	67,40
Aluminio rectángulo	1	34,82	34,82
Aluminio angular	1	6,22	6,22
Te aluminio	2	9,40	4,70
Tes	12	15,18	1,27
Materiales complementarios		45,60	
TOTAL		397,82	

Tabla 5.3: Desglose de los costes de un colector.

En materiales complementarios se está añadiendo silicona, remaches,...

Realmente el coste del colector fue menor, por el ahorro de material derivado de que sean 3 colectores. El colector solar plano es una tecnología fácil de fabricar con los medios que se tienen al alcance.

MATERIALES	UNIDADES	COSTE (€)	COSTE UNITARIO (€)
Colectores solares	3	1193,46	397,82
Tanque agua PVC	1	87,00	87,00
Vaso expansión	1	58,60	58,60
Válvula de bola cobre	2	6,40	3,20
Tubería de cobre	1	32,58	32,58



Tes	6	8,45	1,41
Roscas Machos	20	31,56	1,58
Roscas Hembras	38	26,31	0,69
Termómetros	2	32,00	16,00
Termómetros tanque	3	41,47	13,82
Manómetros	2	12,80	6,40
Reflectores	40	15,33	0,38
Tapones	2	2,23	1,11
Materiales complementarios		174,73	
TOTAL		1722,92	

Tabla 5.4: Desglose de los costes del circuito primario.

MATERIALES	UNIDADES	COSTE (€)	COSTE UNITARIO (€)
Intercambiador acero inoxidable	1	245,34	245,34
Tubería serpentín acero inoxidable	1	56,35	56,35
Tubería acero inoxidable 1/2 in	5	525,73	105,15
Tubería acero inoxidable 1 in	1	35,02	35,02
Codos 90° 1/2"	3	12,24	4,08
Codos 90° 1"	4	16,32	4,08
Válvula antirretorno	1	4,08	4,08
Válvula de bola acero inoxidable	2	63,30	31,65
Válvula de 3 vías acero inoxidable	4	192,00	48,00
Vaso expansión acero inoxidable	1	75,00	75,00
Bomba sanitaria	1	864,49	864,49
Termómetros acero inoxidable	4	117,01	29,25
Recipiente fuente auxiliar inoxidable	1	264,43	264,43
Tanque leche sin pasteurizar	1	739,40	739,40
Tanque leche pasteurizada	1	590,39	590,39
Caldera biomasa	1	2250,00	2250,00
Materiales complementarios		274,73	
TOTAL		6325,83	

Tabla 5.5: Desglose de los costes del circuito secundario.

En "Materiales complementarios" de las Tablas 5.4 y 5.5 se incluyen: silicona, soldadura, aislante de los tubos,...

Por lo que en total el coste es:

TOTAL CIRCUITO PRIMARIO (€)	1722,92
TOTAL CIRCUITO SECUNDARIO (€)	6325,83
TOTAL SISTEMA COMPLETO (€)	8048,75

Tabla 5.6: Desglose de los costes de la planta de pasteurización.

5.3.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES TÉCNICAS



En los costes de explotación se han tenido en cuenta los costes de combustible, puesto que el coste de mantenimiento se ha considerado despreciable frente a los costes de inversión y combustible.

Se ha estimado una vida útil para todos los equipos de 25 años.

INSTALACIÓN CON ENERGÍA SOLAR Y FUENTE AUXILIAR CALDERA DE BIOMASA

El coste total de inversión y de explotación tomando el valor del dinero actual es:

C_solar = I_solar + sum_{N=1}^{25} E_fnteaux * p_biomasa (5.9)

Donde "I_solar" es el coste de inversión inicial de la instalación solar térmica teniendo en cuenta ambos circuitos, primario y secundario, es de 8048,75 € (visto en el apartado anterior) y "p_biomasa" es el precio de la biomasa 3,38 c€/kWh.

INSTALACIÓN CON CALDERA DIESEL

El precio total de la instalación con caldera diesel es:

Table with 4 columns: MATERIALES, UNIDADES, COSTE (€), COSTE UNITARIO (€). Rows include Caldera diesel, Recipiente fuente auxiliar inoxidable, and TOTAL.

Tabla 5.7: Desglose de los costes de la planta de pasteurización con caldera diesel.

El consumo anual de diesel es:

m_diesel = (E_pasttotalaño / (eta_cal * PCI_diesel)) = (3413 kWh/año / (0,9 * 10,2 kWh/l)) = 371,78 l (5.10)

El precio del coste total de inversión y de explotación es:

C_diesel = I_diesel + sum_{N=1}^{25} m_diesel * p_diesel (5.11)

Donde "I_diesel" es el coste de inversión inicial de la instalación con caldera diesel, es de 2300,8 € y "p_diesel" es el precio del diesel 0,83 €/l.

INSTALACIÓN CON ENERGÍA SOLAR Y FUENTE AUXILIAR RESISTENCIA ELÉCTRICA

Los costes en esta instalación en el circuito primario son iguales en el circuito primario y en el secundario se sustituye la caldera de biomasa por la resistencia eléctrica que tiene un coste de 344,72€.

El coste total de la instalación completa en este caso sería:



TOTAL CIRCUITO PRIMARIO (€)	1722,92
TOTAL CIRCUITO SECUNDARIO (€)	4420,55
TOTAL SISTEMA COMPLETO (€)	6143,47

Tabla 5.8: Costes de los circuitos y del sistema completo con resistencia eléctrica.

El precio del coste total de la inversión y explotación es:

$$C_{ele} = I_{resistele} + \sum_{N=1}^{25} E_{fnteaux} \cdot p_{ele} \quad (5.12)$$

Donde “I_{resistele}” es el coste de inversión inicial de la instalación con una resistencia eléctrica como fuente auxiliar, es de 6143,47 € y “p_{ele}” es el precio medio de la electricidad 2,72 c€/kWh.

INSTALACIÓN CON ENERGÍA SOLAR Y FUENTE AUXILIAR CALDERA DIESEL

Los costes en esta instalación del circuito primario son iguales a los de la Tabla 5.4 y en el secundario se sustituye en la Tabla 5.5 la caldera de biomasa por la caldera diesel que tiene el mismo coste que en la Tabla 5.7.

El coste total de la instalación completa en este caso sería:

TOTAL CIRCUITO PRIMARIO (€)	1722,92
TOTAL CIRCUITO SECUNDARIO (€)	6112,20
TOTAL SISTEMA COMPLETO (€)	7835,12

Tabla 5.9: Costes de los circuitos y del sistema completo con caldera diesel.

En este caso, el consumo anual de diesel es:

$$m_{diesel} = \frac{E_{fnteaux}}{\eta_{cal} \cdot PCI_{diesel}} = \frac{654,15 \text{ kWh/año}}{0,9 \cdot 10,2 \text{ kWh/l}} = 71,26 \text{ l} \quad (5.13)$$

La ecuación 5.11 es la misma para este caso, salvo que los valores difieren. “I_{diesel}” es el coste de inversión inicial de la instalación con caldera diesel como fuente auxiliar, es de 7835,12 €

COMPARACIÓN DE COSTES CON LOS DIFERENTES CASOS

En la Figura 5.3 se muestra la comparativa.

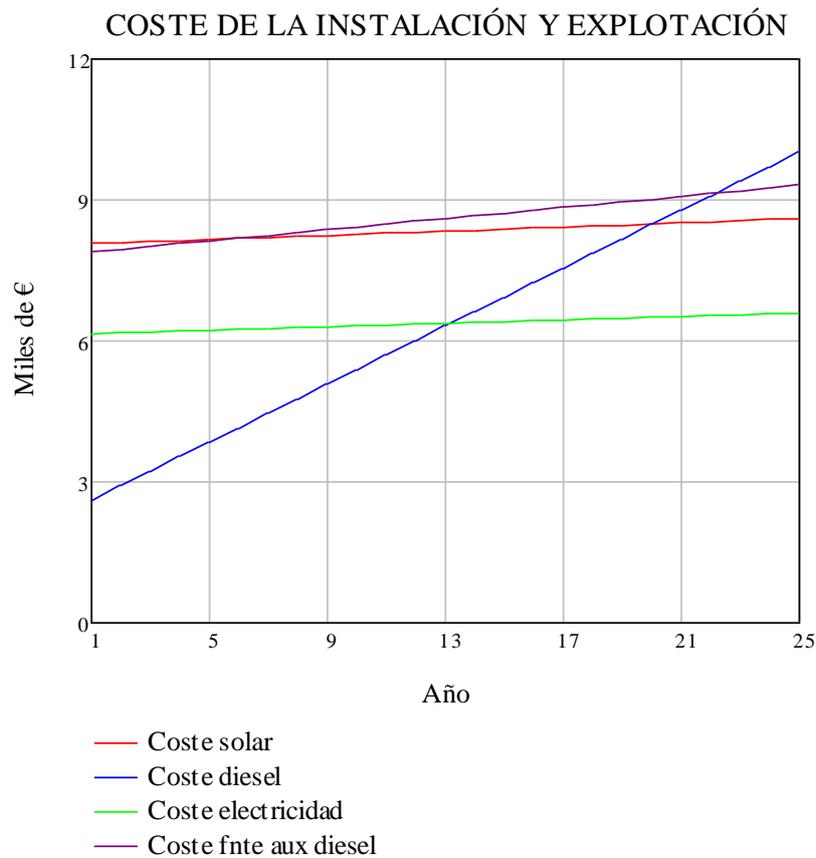


Figura 5.3: Comparativa de distintas plantas de pasteurización.

Como se ve en la gráfica el coste de la instalación solar apenas aumenta durante los 25 años, lo mismo ocurre con la de resistencia eléctrica aunque es mucho menor, aproximadamente 2000 € de diferencia. Realmente esta diferencia se debe al gasto de la caldera de biomasa con la de la resistencia eléctrica y además el precio de la electricidad es un poco menor al de los pellets de madera. El coste de la instalación con solo la caldera de diesel, su inversión inicial es la menor de todas, pero luego supera a todos, en el año 13 a la resistencia eléctrica, en el año 20 a la instalación solar y pasado el año 22 supera a la instalación con caldera diesel como fuente auxiliar. Éste último tiene una inversión inicial menor al de la instalación solar, pero en el año 7 ya le sobrepasa.

La tecnología más barata para suministrar calor es la resistencia eléctrica como fuente auxiliar, no obstante, dependiendo de la localización de la planta, podría no ser factible por carecer de la electricidad necesaria en esos lugares.

Lo que se podría hacer es conseguir abaratar los costes de la caldera buscando una más barata.

En el circuito primario, lo más caro son los colectores, se podría reducir su coste o bien por el material o dimensiones de la caja o bien por el vidrio. Habría que saber porqué se rompieron los primeros vidrios y si fue por vandalismo, entonces utilizar vidrio y no templado pues el clima de Nicaragua no lo requiere.



En el circuito secundario el mayor coste se debe a la caldera de biomasa. Además los precios de acero inoxidable sanitario en Nicaragua son muy caros porque apenas hay competencia en ese sector.

5.3.3. CÁLCULO DEL VAN

Para calcular el VAN (Valor Actual Neto):

VAN = -I_solar + VR * (1+i)^-25 + sum_{N=1}^{25} FC * (1+i)^-N (5.14)

Donde "VR" es el valor residual de la instalación al final del proyecto, que se considerará 300 €, "i" la tasa de interés que será fijada en todos los casos en un 7,73%, "FC" el flujo de caja que corresponde al ahorro anual logrado por medio de la instalación y los ingresos que se percibirían si se vendiese el litro de leche a 0,10 €.

Para calcular el flujo de caja:

FC = A_comb + Ing_leche = (E_aportesolar / eta_cal) * p_diesel_kWh + p_leche * cantidad_leche_dia * n_dias_año (5.15)

Donde "A_comb" es el ahorro de combustible de la planta de pasteurización al año, "Ing_leche" es los ingresos que se perciben por la pasteurización de la leche al año y "p_diesel_kWh" es el precio del combustible 13,38 c€/kWh, "E_aportesolar" es la energía ahorrada por medio del sistema solar en un año 2379 kWh, "p_leche" es el precio de pasteurización del litro de leche que se ha supuesto a 10 c€, "cantidad_leche_dia" es la cantidad de leche que se fabrica al día, 240 l y "n_dias_año" es el número de días que se procesa la leche al año, 365 días.

VAN ANUAL

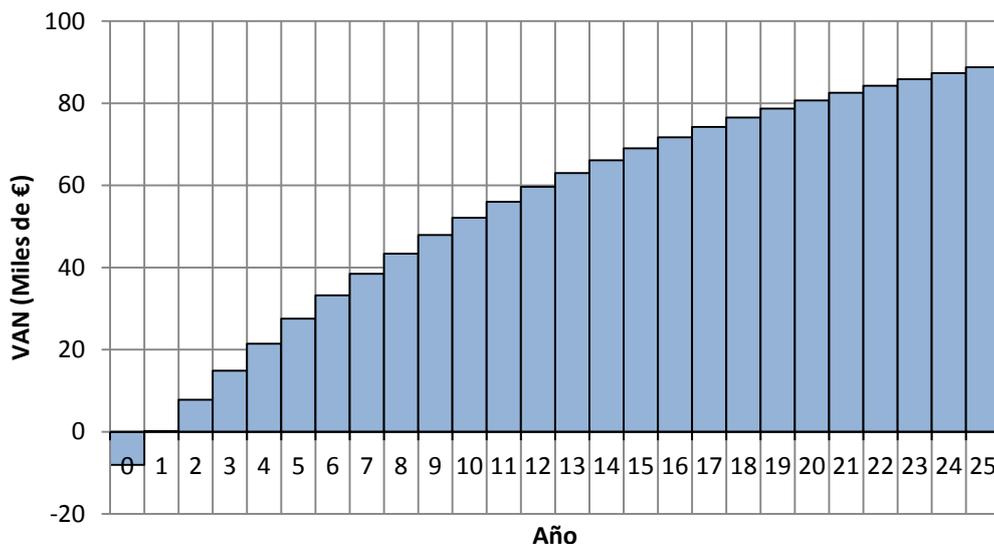


Figura 5.4: VAN anual de la instalación solar.



Antes del año 1 es negativo debido a que no se absorbe la amortización anual de la inversión inicial de la instalación solar. Luego es ya siempre positivo.

A continuación, se calcula el precio que ha de tener el litro de leche para obtener un VAN nulo [36].

$$p_{leche} = \frac{I_{solar} - VR \cdot \frac{1}{(1+i)^{25}} - \sum_{N=1}^{25} \left(A_{comb} \cdot \frac{1}{(1+i)^N} \right)}{\sum_{N=1}^{25} \left(cantidad_{leche\ dia} \cdot n^{\circ}días_{año} \cdot \frac{1}{(1+i)^N} \right)} = 3,68 \cdot 10^{-3} \text{€} \quad (5.16)$$

Para conseguir amortizar la inversión inicial habría que cobrar el litro de leche pasteurizada a 7,25 milésimas de €, en moneda nicaragüense serían 12,1 céntimos de córdobas nicaragüenses. Por lo que será rentable antes de los 25 años, y, probablemente, el precio por pasteurización será mayor que el manejado aquí.

CAPÍTULO 6:

CONCLUSIONES



6.1. INTRODUCCIÓN

Como colofón de todo lo ya expuesto, se presentan ahora las conclusiones que cabe deducir de los trabajos (con algunas de sus dificultades y fatigas) y análisis realizados, el nivel de cumplimiento de los objetivos, mejoras potenciales y futuras líneas de investigación.

6.2. CONCLUSIONES/RESULTADOS OBTENIDOS

Pretender ejecutar un proyecto anterior incompleto sin tener contacto con el responsable del mismo dará lugar a una serie de problemas.

A la hora de fabricar o montar algo hay muchas variables que afectan al proceso y obviar alguna de ellas puede implicar un coste económico o de tiempo, por ejemplo, incompatibilidad de las dimensiones de los colectores con su estructura; complicaciones al ejecutar el montaje, por ejemplo, introducir la parrilla de cobre en la caja.

Llevar a la práctica lo aprendido teóricamente hace que surjan dudas que de otra manera no se plantearían y lo que ayuda a adquirir nuevos conocimientos.

La práctica ayuda a comprender que a veces un diseño es muy bonito pero a la hora de su realización puede ser inviable y que es mejor un diseño más sencillo que cumpla con el objetivo y facilite la construcción.

En todo proyecto se necesita una buena gestión del tiempo, ayuda a evitar gastos de más y pérdidas de tiempo para llevar a cabo los objetivos planteados. Saber diferenciar entre prioritario y urgente.

Gestionar bien los recursos y buscar maneras diferentes de construir algo si no tienes los medios para hacerlo de la manera más sencilla, pero más caro.

Por no haber una buena planificación, compra de material innecesario.

Para calcular el rendimiento de los colectores se ha partido de las siguientes condiciones normalizadas:

- ◆ Colocar los colectores con orientación Sur (hemisferio Norte) e inclinados a las horas centrales del día (entre las 11 y las 13 horas solares).
- ◆ En días claros en los cuales la radiación solar supere los 600 W/m^2 .
- ◆ En días con el viento en calma, de modo que el resultado obtenido tenga en cuenta únicamente las pérdidas de calor en el colector por convección natural.
- ◆ Tomar medidas simétricas a partir de las 12 horas solares para minimizar el efecto de la inercia térmica en los componentes [1].

Como se puede ver en el capítulo 3, no se cumple que los puntos donde la radiación solar supera los 600 W/m^2 coincidan con días con el viento en calma. De todas maneras, son datos



que previamente no se conocen, aunque se consultaban las páginas de internet de meteorología para ver si predecían tiempo despejado y qué velocidad del viento.

Las temperaturas que se tomaron en el interior del tanque permitieron comprobar que se superaban los 80°C a partir de las 11h y 30 min en el tercio superior y a las 12h y 30min en la mitad. Por lo que se puede pasteurizar leche a 73°C. Con la instalación de reflectores se pueden aumentar estas temperaturas y seguramente conseguirlas antes de las 11h y 30 min. Experimentalmente se demuestra que Nicaragua tiene un clima y unas condiciones idóneas para el uso de la energía solar.

En la simulación de Mathcad, se observa que el aporte de energía de la fuente auxiliar es de un 19,17% y el de la instalación solar un 80,83%.

En el marco económico y energético donde se desarrolla este proyecto de fin de carrera, la pasteurización de la leche es un proceso costoso que hoy en día no es habitual encontrar en los productos lácteos en Nicaragua, lo cual provoca enfermedades y problemas evidentes en la salud. Gracias a la utilización de paneles solares térmicos se pretende efectuar la pasteurización de un volumen de 240l diarios y que este proceso no suponga un gasto en combustibles fósiles ni de electricidad. Para ello, es necesario concienciar a la población de la necesidad del uso de los procesos de pasteurización así como el mantenimiento de sistemas asepticos en todo el desarrollo, manipulación y transporte de productos alimenticios.

Con la combinación de las tecnologías solares térmicas y los procesos de prevención de enfermedades de la pasteurización, se pretende mejorar la calidad de vida de la población local y disminuir la importación de productos lácteos pasteurizados con una producción local no dependiente de importaciones de combustibles fósiles, por lo que las zonas rurales podrán obtener productos lácteos pasteurizados de manera autónoma e independiente.

Esta planta de pasteurización no produce un impacto ambiental. Su potencial de efecto invernadero indirecto es nulo por la instalación solar y la caldera de biomasa como fuente auxiliar.

Se necesita más tiempo de amortización con respecto a la resistencia eléctrica, aunque un estudio más pormenorizado (cambiando la caldera de biomasa por otra más barata) podría concluir que la instalación solar con caldera de biomasa es más rentable.

La instalación solar ya es rentable en el año 1. Si se vendiera el litro a 0,25 córdobas nicaragüenses saldría rentable en el año 12, y si fuera a 0,50 córdobas nicaragüenses ocurriría en el 6.

6.3. CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

En el capítulo 1 se fijaron los objetivos que se perseguían con la realización del presente proyecto de modo que es hora de analizar la consecución de los mismos.

El primer objetivo era la construcción de una pasteurizadora. Solamente se realizó el montaje del circuito primario, no se consiguió hacer la planta de pasteurización completa. Se debió en



parte a que el tiempo que se estuvo allí no fue suficiente y también debido a problemas técnicos.

Las actividades que se realizaron a lo largo de la estancia en Nicaragua fueron:

- ◆ **Supervisar que se quitaba el óxido de las estructuras de soporte de los colectores y de los reflectores.** Eliminación completa del óxido.
- ◆ **Pintar las estructuras para que no haya corrosión.** Se dio una capa de diluyente y luego varias de pintura anticorrosiva negra.
- ◆ **Estudio y análisis del proyecto teórico y del diseño de los componentes de la instalación.** Comprensión cabal y conclusión de la viabilidad de la instalación y pensar en las anomalías que podían surgir y la manera de afrontarlas.
- ◆ **Construir los colectores solares.** Se construyeron 3 y hubo que desmontarlos y volver a montar.
- ◆ **Poner a la tapa del tanque acumulador una capa de aislante.** Reducir las pérdidas de calor del agua que se encuentra en el tanque acumulador.
- ◆ **Unir tanque acumulador con el colector.** Que parte del circuito primario esté construido y asegurarse que no hay fallos en lo que ya está hecho (fugas de agua en las uniones, funcionamiento correcto del colector,..).
- ◆ **Introducir, en las tuberías de unión del tanque acumulador con el colector, aparatos de medida (manómetros, temperatura) y fontanería (válvula).** Para poder tomar medidas en un futuro, conocer el rendimiento del colector y verificar que el agua alcanza la temperatura deseada para poder pasteurizar la leche.
- ◆ **Poner aislante en las tuberías de unión del tanque acumulador con el colector.** Que el agua no se enfríe y así reducir las pérdidas de calor.
- ◆ **Estudiar cómo hay que tomar los datos.** Para tomar correctamente los datos y que la curva de rendimiento del colector sea fiable.
- ◆ **Toma de datos (diarios, en horas de insolación,...).** Condiciones atmosféricas ideales para poder tomar los datos y con ello obtener la curva de rendimiento del colector.
- ◆ **Volver a ampliar la estructura y pintarla.** Los colectores eran más altos y más anchos que los anteriores, por tanto, había que retocar y pintar la estructura.
- ◆ **Inventario.** Inventariar los materiales del laboratorio LIDER y ordenarlos para saber de qué materiales se dispone y dónde se encuentran.
- ◆ **Montar el circuito primario junto con los aparatos de medida que faltaban y el aislante térmico en las tuberías.** Comprobar que no hay fallos, ni errores, ni problemas en su funcionamiento.



- ◆ **Toma de datos de la temperatura del agua dentro del tanque acumulador.**
Comprobar que el agua dentro del tanque llega a superar los 80°C para que se pueda pasteurizar la leche.
- ◆ **Pedir presupuesto a las tiendas del material que falta para la instalación completa.**
Dar prioridad a los materiales más caros o más difíciles de conseguir.
- ◆ **Comprar todo el material posible para la instalación.** Tener todo el material posible.

El segundo objetivo, análisis de las circunstancias que inciden en el diseño de la pasteurizadora, queda cubierto en el capítulo 2.

El siguiente objetivo, demostración de su utilidad, ha quedado patente en el capítulo 1.

El sucesivo fue toma de datos donde se corrobora que se hizo en el capítulo 3.

La elaboración del programa informático se recoge en el capítulo 4.

El diseño de la pasteurizadora y sus componentes esenciales, bien en los esquemas de Visio o en los renders del capítulo 2 o en los planos en el Anexo A.

El último era la evaluación del impacto económico y medio ambiental, se encuentra en el capítulo 5.

Destacar que el primer objetivo era muy complicado, pero que el resto se han cumplido en la memoria de este proyecto.

6.4. DIFICULTADES, INCIDENCIAS E IMPREVISTOS

En febrero del 2009 hubo cuatro personas que empezaron este proyecto: Joan Ignasi Rossell (profesor de la Universitat de Lleida, voluntario en Nicaragua y diseñador de este proyecto), Martha Orozco (profesora de la UNA, Universidad Nacional Agraria), Carlos Zelaya (marido de Martha Orozco e interesado en las energías renovables y que ideó este proyecto) y Jaime Muñoz (colaborador que trabaja en la ONG Asofenix y está interesado en el desarrollo rural a través de las energías renovables).

Se llegaron a construir los colectores solares y el circuito primario, pero hubo fugas y se suspendió. Más tarde, se rompieron los vidrios de los colectores, los aislantes de los colectores se mojaron por lo que resultaron inservibles. Hubo que desmontar todo y empezar de cero. Quedó todo parado hasta que llegó Beatriz Maroto Izquierdo (alumna de la Universidad Carlos III de Madrid).

En octubre del 2009 se contrató a Yader Barrera, persona responsable de las Energías Renovables en la UNA. Pero su dedicación no era plena.

Se retocó la estructura que soporta los colectores.

Cuando me incorporé al proyecto se estaba quitando el óxido a la estructura y se pintó. Cuando se terminó su construcción se observó que se había reducido el área de captación.



El problema es que cada uno de los participantes pensaba de una manera y no se habían coordinado.

En diciembre, por fin, se pudo decir cómo iba a ser la instalación y a partir de ese momento, Beatriz y yo nos organizamos para ver cuándo podíamos necesitar a alguien y cuándo podíamos hacer las cosas sin depender de nadie.

Hubo que desmontar y ampliar los colectores para que el área de captación fuera lo mayor posible y que el vidrio se apoyara en la caja.

Se conectó un colector con el tanque acumulador y se tomaron datos. Para llenar el tanque acumulador de agua hubo problemas, pues allí hay muchos días que no hay agua, pero al final, se consiguió llenar recurriendo a mangueras de 175 metros.

Había actividades en las que se necesitaban fuerza muscular por lo que quedaba fuera de nuestras posibilidades realizarlas. Eso supuso una gran contrariedad y mucha pérdida de tiempo.

Luego, cuando se fue a instalar el circuito primario y se vio que la estructura quedaba pequeña, hubo que volver a ampliarla y a pintarla.

Se instaló, por fin, el circuito primario y se tomaron datos para ver a qué temperatura llegaba el agua del interior del tanque acumulador.

Se pidió presupuesto del material que faltaba para comprarlo y 5 días antes de volver a España se decidió cambiar los componentes de la instalación.

Además, hubo huelgas, cortes de agua y electricidad, problemas de burocracia que hicieron que el trabajo fuera más lento.

Conclusión, los cinco meses y medio no fueron suficientes para construir la pasteurizadora.

6.5. MEJORAS PROPUESTAS

Los datos de partida usados en este estudio son horarios y los de irradiación solar son la media de los últimos cinco años. Conseguir los valores unitarios de un año, analizar los resultados obtenidos y si no se consigue pasteurizar la leche en el tanque, entonces se haría un estudio para ver cuál es la mejor hora para pasteurizar y si es viable cambiar la hora de ordeño y la de elaboración de quesos.

Una vez decidida la hora de ordeño, intentar conseguir los datos o bien cada minuto o cada cinco o diez minutos de la hora en que se pasteuriza, para que el estudio sea pormenorizado y conocer cuánta energía se consigue por la instalación solar y cuánta por la fuente auxiliar.

Estudiar si está bien las 8h de funcionamiento del circuito primario o es mejor ampliarlo o reducirlo.

Integrar la botella de Mariotte en el depósito de leche sin pasteurizar.



6.6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Analizar si es necesario ampliar el campo de colectores o con 3 y los reflectores es suficiente. Toma de datos con los reflectores puestos. Analizar la relación del rendimiento de los colectores en función de la posición de los reflectores. Concluir cuál es el ángulo óptimo de los reflectores para todas las horas en que se encuentre en funcionamiento el circuito primario.

Realizar un estudio con el circuito de limpieza e integrar la conexión del grifo al circuito primario.

Buscar alternativas a la bomba del circuito secundario o estudiar si es factible añadir al diseño paneles fotovoltaicos o energía eólica para la cantidad de electricidad que se requiere o si es mejor colectores híbridos. Si es necesario cuál es la cantidad mínima para ello.

Si se pueden reducir las pérdidas energéticas o la duración del proceso de pasteurización.

Conseguir abaratar los costes.

Ver si este proyecto se puede llevar a las zonas rurales y si se necesita que sea a través de cooperativas o empresas o individualmente.

**PRESUPUESTO
DEL
PROYECTO**



PRESUPUESTO DEL PROYECTO

1.- Autora:

Daniela Vicaro Tomaselli

2.- Departamento:

Ingeniería Térmica y de Fluidos

3.- Descripción del Proyecto:

- Título **Pasteurización de leche en Managua con energía solar térmica**
- Duración (meses) **4**
Tasa de costes indirectos: **20%**
IVA **21%**

4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):

19.888,00 Euros

5.- Desglose presupuestario (costes directos)

PERSONAL

Apellidos y nombre	N.I.F.	Categoría	Dedicación (hombres mes) ^{a)}	Coste hombre mes	Coste (Euro)	Firma de conformidad
		Ingeniero Senior	1	4.289,54	4.289,54	
		Ingeniera	3	2.694,39	8.083,17	
		Serv. Profesionales	1	1.623,25	1.623,25	
Hombres mes 5				Total	13.995,96	

^{a)} 1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación de 12 hombres mes (1575 horas)
Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid de 8,8 hombres mes (1.155 horas)

EQUIPOS

Descripción	Coste (Euro)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable ^{d)}
Portátil	900,00	100	4	48	75,00
Ratón	12,00	100	4	24	2,00
Impresora y escáner	140,00	100	4	36	15,56
Total					92,56

^{d)} Fórmula de cálculo de la Amortización:

$$\frac{A}{B} \times C \times D$$

A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado
B = periodo de depreciación (60 meses)
C = coste del equipo (sin IVA)
D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)

SOFTWARE

Descripción	Tipo	Coste imputable
Mathcad		700,00
AutoCAD y 3Ds Max		1.100,00
Cinema 4D		285,00
Adobe photoshop		80,00
Paquete Office + Visio		80,00
Total		2.245,00

OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO^{e)}

Descripción	Comentario	Costes imputable
Gastos de oficina		240,00
Total		240,00

^{e)} Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo: fungible, viajes y dietas, otros,...

6.- Resumen de costes

Presupuesto Costes Totales	Presupuesto Costes Totales
Personal	13.996
Amortización	93
Software	2.245
Costes de funcionamiento	240
Costes indirectos	3.315
Tributos	3.480
Total	19.888

BIBLIOGRAFÍA



1. LIBROS

- [18] Calventus, Y., Carreras, R. y Casals, M. "Tecnología energética y medio ambiente-I". Edicions UPC. Año 2006.
- [19] "Cálculo y Diseño de Instalaciones de Calor y Frío Solar". Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE) - UPC y Dept. de Medi Ambient i Ciències del Sòl (UDL). <http://www.scribd.com/doc/31625978/Tema-2-2>
- [27] Duffie, J. A. y Beckman, W. A. "Solar Engineering of Thermal Processes". Ed. John Wiley & Sons, INC. Año 2006.
- [32] Incropera, F. P. y De Witt, D. P. "Fundamentos de Transferencia de Calor". Ed. Prentice Hall. Año 1999.

2. ARTÍCULOS – REVISTAS Y CONFERENCIAS

- [2] "Lleida y Nicaragua aúnan fuerzas y crean una pasteurizadora que funciona con energía solar". El Mundo. Barcelona. 28 Agosto 2008.
<http://www.elmundo.es/elmundo/2008/08/28/barcelona/1219918460.html>
- [4] Rossell Urrutia, J. I. y Chemisana Villegas, D. "Pasteurización solar". ERA SOLAR, no. 153, pp. 76-80. Noviembre/Diciembre 2009.
- [35] Cambio de la matriz energética de Nicaragua: hacia un desarrollo sostenible. Conferencia internacional RIO 12.
http://rio12.com/download/proceedings/Minister_Emilio_Rappaccioli_Change_of_Energy_Matrix.pdf

3. PÁGINAS O DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS EN LA RED

- [5] Real Academia de la Lengua Española. Diccionario de la Lengua Española.
http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=estructura
- [6] Florez Hernández, G. "Estructuras".
<http://proyectotecno01.wikispaces.com/Estructuras>
- [8] Facultad Química. Universidad Rovira i Virgili.
<http://www.quimica.urv.es/~w3siiiq/DALUMNES/99/siiq51/Colp.html>
- [13] CEUTA (Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas). "Autoconstrucción de cocinas y calentadores solares de agua". <http://www.ceuta.org.uy/marcos/documentos.html>
- [14] Real Academia de la Lengua Española. Diccionario de la Lengua Española.
<http://lema.rae.es/drae/?val=reflector>
- [15] Definición de Estratificación.
<http://es-mexi.finanzalarm.com/details/Estratificaci%C3%B3n.html>



- [16] Acumulador estratificador. <http://es.rotex-heating.com/productos/instalacion-solar/acumulador-estratificado-solar.html>
- [17] Confederación Empresarial de la Provincia de Alicante. "Guía empresarial de gestión ambiental". http://www.coepa.es/GuiasMA/GEGA1_Energia%20Solar.pdf
- [20] Intercambiador de calor.
http://www.telecable.es/personales/albatros1/calor/transferencia_de_calor_07_intercambiadores.htm
- [21] Definición bomba hidráulica.
<http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/tipos-de-bombas.pdf>
- [22] Instituto Geológico y Minero de España.
http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/guia_didactica/pdf_carteles/carteles/CARTEL%204-4-4.pdf
- [23] Elion, S.A. Empresa proveedora de sistemas.
<http://www.elion.es/descargar/catalogos/index.html>
- [24] Profísica. "Frasco de Mariotte". <http://www.profisica.cl/fisica-en-lo-cotidiano/fisica-bien-condimentada/259-el-frasco-de-mariotte.html>
- [25] La Gran Época. <http://www.lagranepoca.com/26960-sol-tiene-efectos-regionales-clima-tierra>
- [26] Universidad de Jaén. Posición del Sol.
http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_07.htm
- [28] Solarigrafía. <http://www.reginavalkenborgh.com/page3.htm>
- [29] Departamento de Energía de EEUU:
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm
- [30] Datos de temperatura atmosférica y velocidad del viento en Managua:
<http://espanol.wunderground.com/history/airport/MNMG/2010/1/1/DailyHistory.html>
- [33] Símbolos y funciones del diagrama de flujo:
<http://alpsbo.files.wordpress.com/2009/03/df.jpg>
- [34] Ficha técnica del colector:
http://www.solarenergy.ch/index.php?id=111&L=8&no_cache=1



4. PROYECTOS FIN DE CARRERA

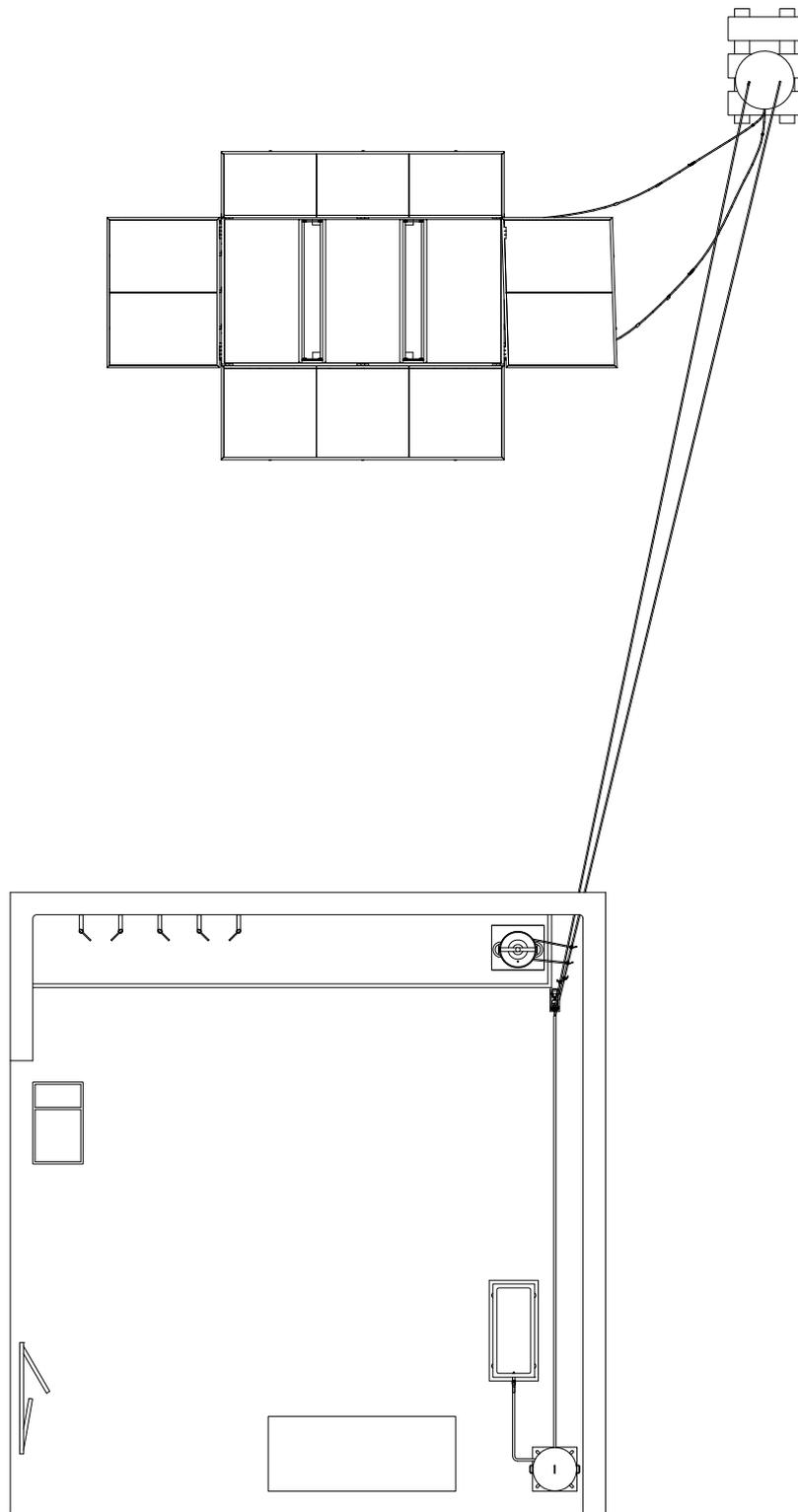
- [3] Soria Verdugo, A. “Análisis de la instalación solar térmica y fotovoltaica de un edificio unifamiliar”. Proyecto fin de carrera. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2006.
- [9] Salgado de la Rosa, P. I. “Diseño y cálculo de una instalación solar de ACS, calefacción y refrigeración para un edificio de viviendas en Madrid”. Proyecto fin de carrera. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [1] Maroto Izquierdo, B. “Pasteurización de leche con energía solar térmica”. Proyecto fin de carrera. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2010.

5. APUNTES

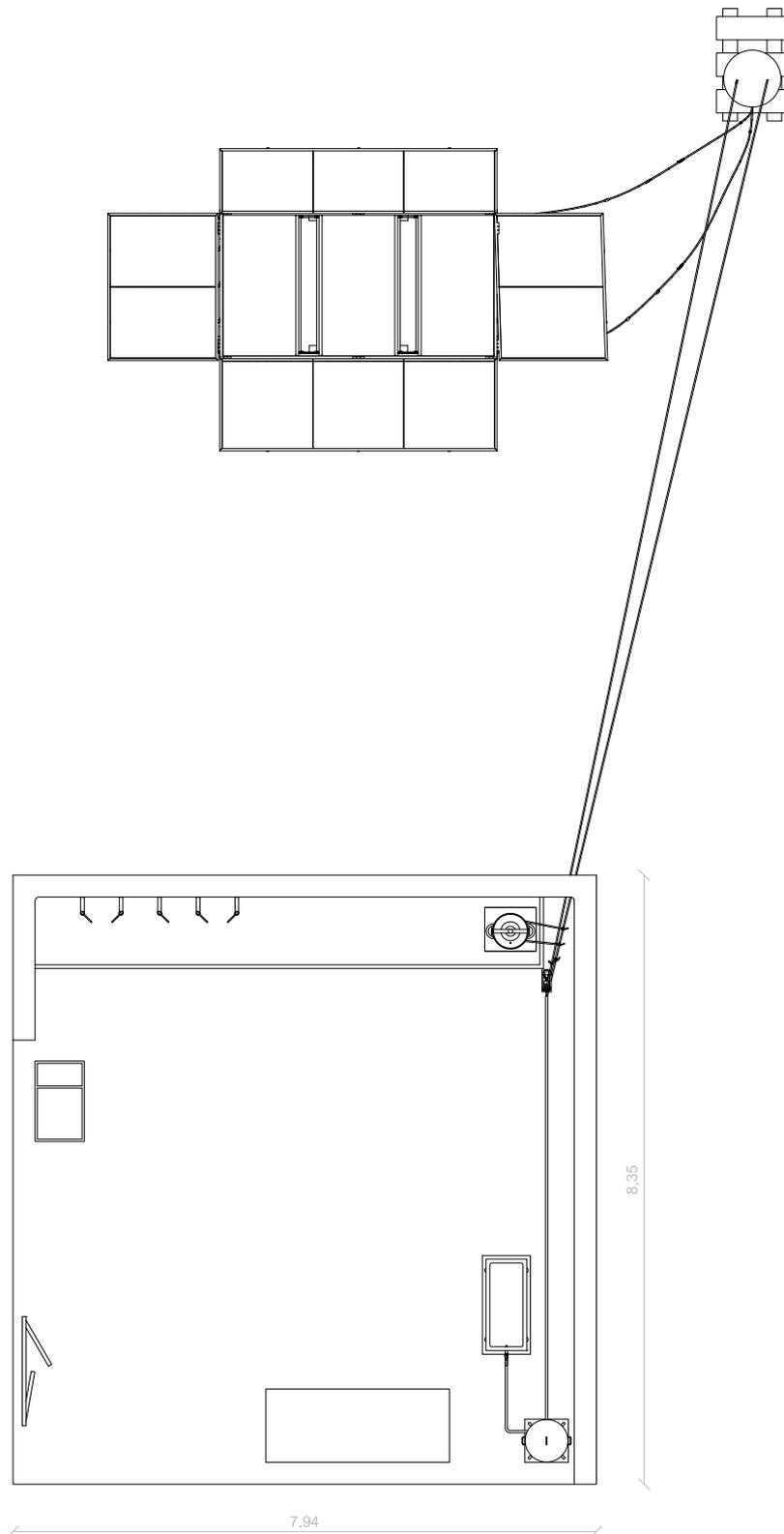
- [7] Navarro Ugena, C. y Pérez Castellanos, J. L. “Ingeniería Estructural”. Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2008.
- [10] Izquierdo Millán, M. y Venegas Bernal, M. C. “Energías Renovables”. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2005.
- [11] Komp, R. “The Maine Solar Primer”. The Maine Solar Energy Association. Año 2010.
- [12] “Colector Solar”. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Universidad del País Vasco. <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/Colectorsolar.htm>
- [31] Camacho Delgado, L. Resumen del libro electrónico “Curso de Aprendizaje de MathCad y Ejemplos”. Departamento de Química Física. Universidad de Córdoba. Año 2001-2002.
- [36] Sánchez Fuentes, V. E. y Rivera Riquelme, F. A., “Proyectos”. Área de Ingeniería de Organización. Departamento de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2009.

ANEXO A:

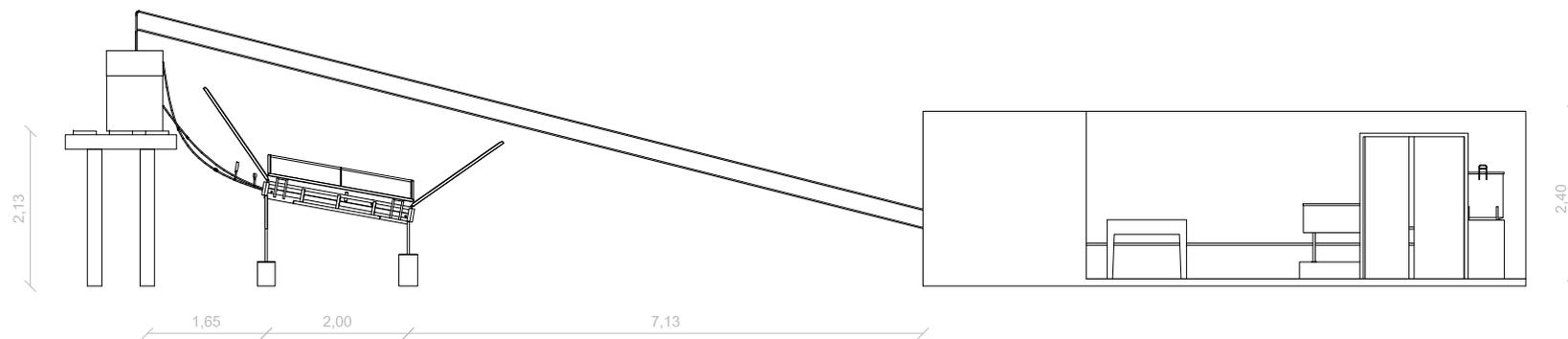
PLANOS



PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN	ESCALA: 1/100	Nº PLANO: 1
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO		FECHA: 27/06/2013
ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI		



PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN CON COTAS	Nº PLANO: 2	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/100	FECHA: 27/06/2013
		ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI



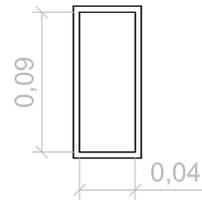
PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: ALZADO DEL SISTEMA CON COTAS	Nº PLANO: 3	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO		ESCALA: 1/100 FECHA: 27/06/2013 ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI

1,01

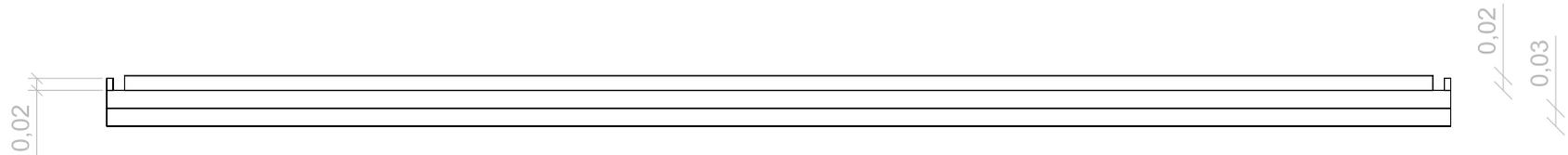
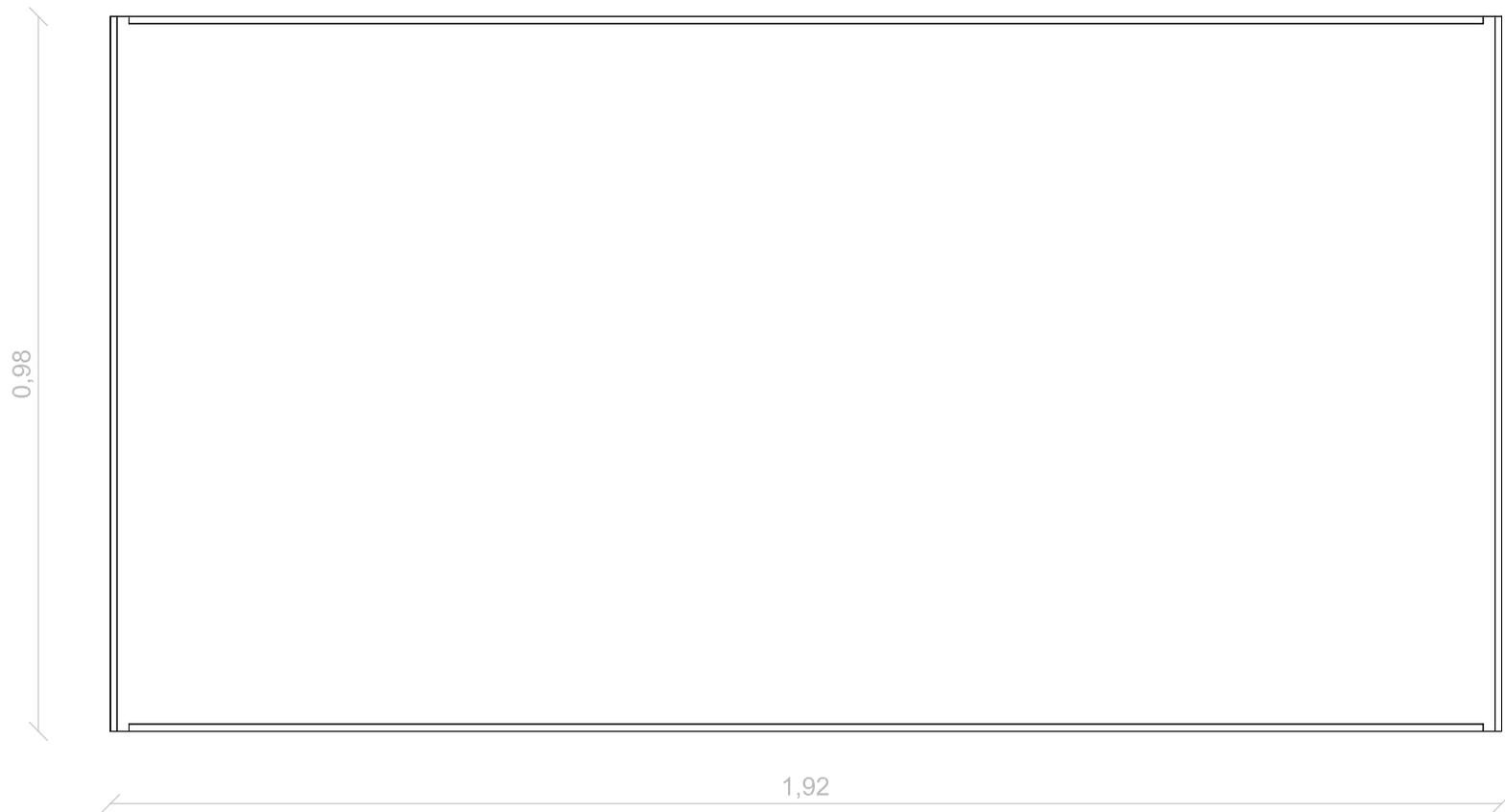
2,00

0,004

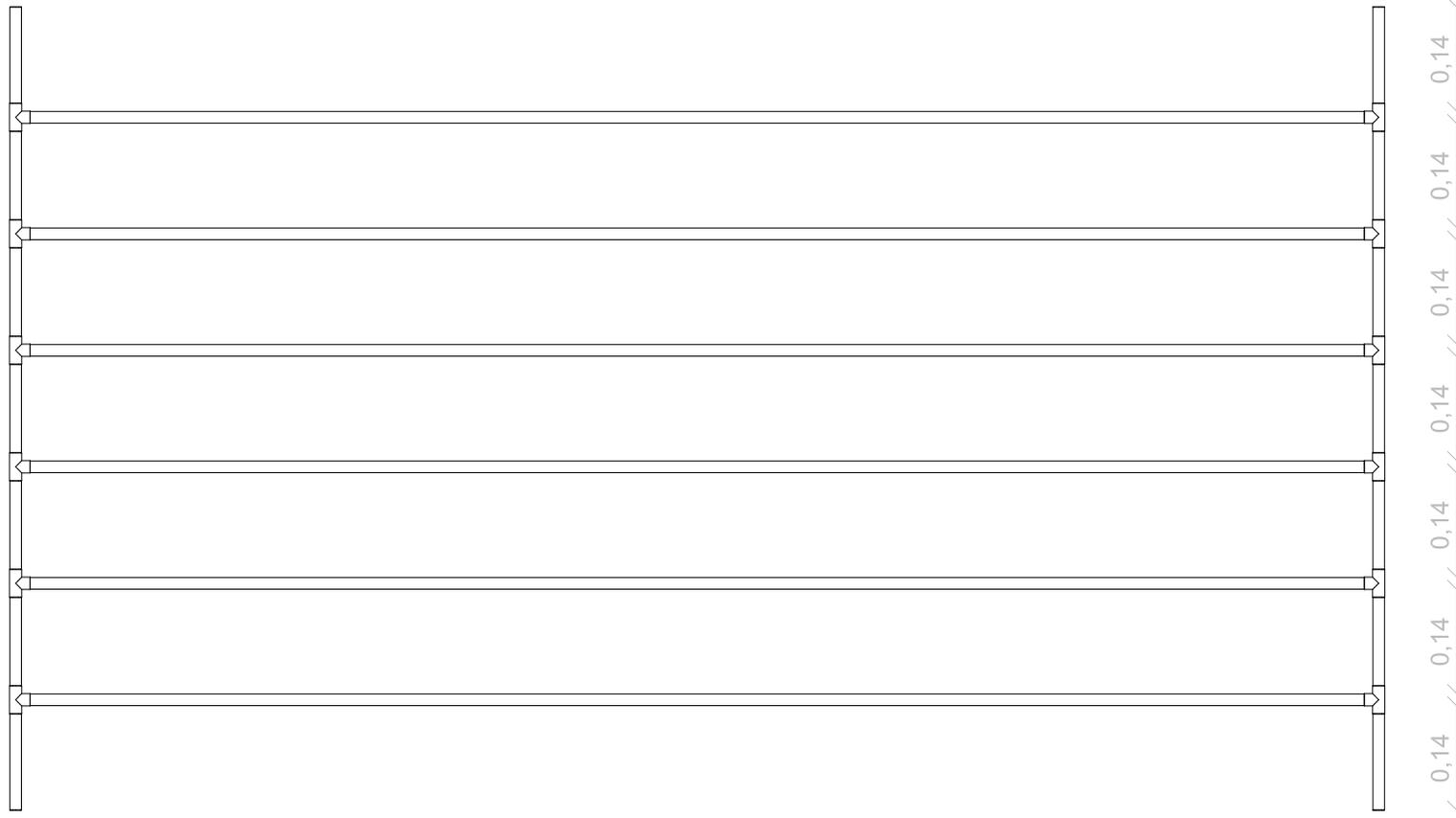
PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: COMPONENTE DEL COLECTOR, PLANCHA DE ZINC	Nº PLANO: 4	FECHA: 27/06/2013
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO		ESCALA: 1/10 ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI



PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: COMPONENTE DEL COLECTOR, CAJA	Nº PLANO: 5	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10	FECHA: 27/06/2013
		ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI



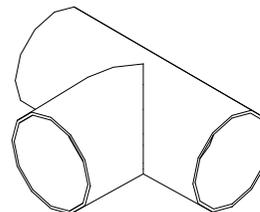
PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: COMPONENTE DEL COLECTOR, AISLANTE	Nº PLANO: 6	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO		ESCALA: 1/10 ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI
		FECHA: 27/06/2013



d5/8"

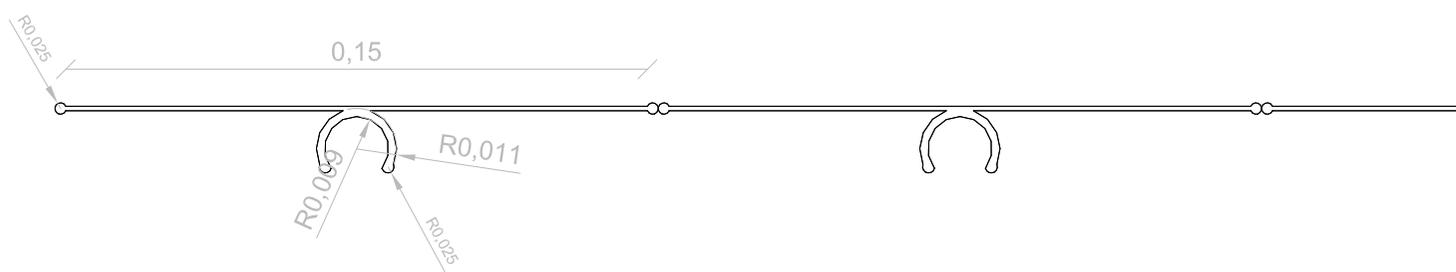
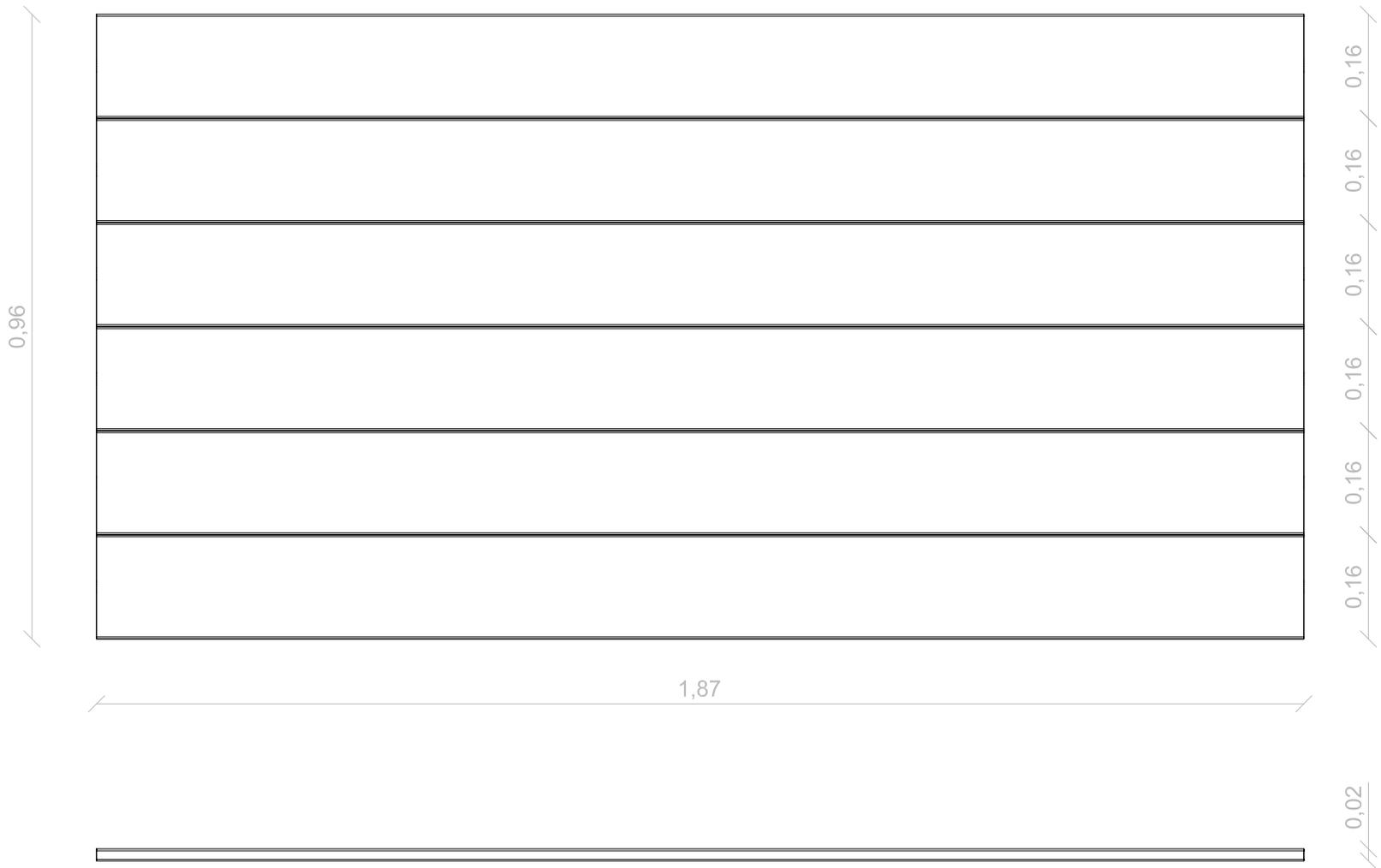


1,87



PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: COMPONENTE DEL COLECTOR, TUBOS Y T DE COBRE	Nº PLANO: 7	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10 ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI	FECHA: 27/06/2013

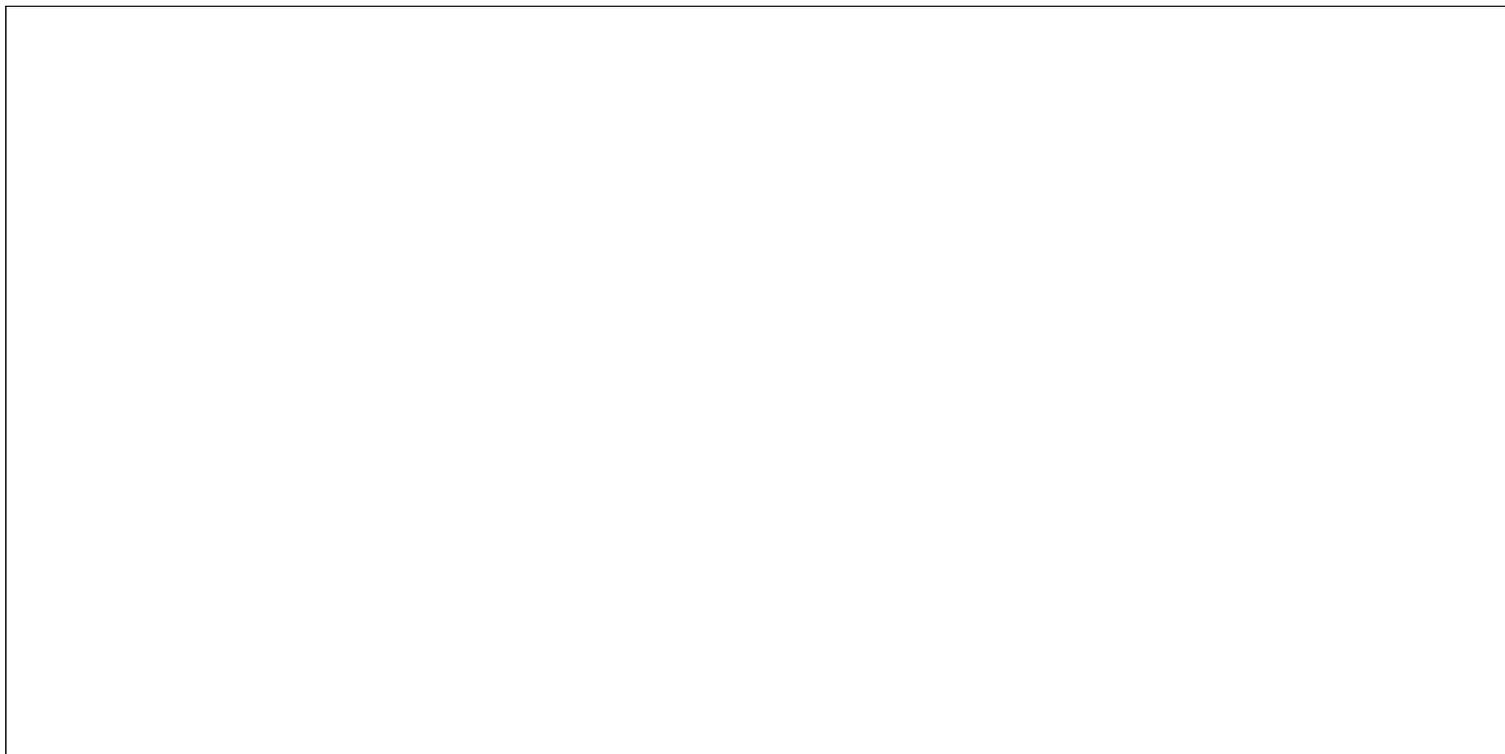




PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: COMPONENTE DEL COLECTOR, PLACAS DE ALUMINIO	Nº PLANO: 8	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10 ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI	FECHA: 27/06/2013



0,99



2,01

0,004

PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: COMPONENTE DEL COLECTOR, VIDRIO	Nº PLANO: 9	FECHA: 27/06/2013
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO		ESCALA: 1/10 ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI

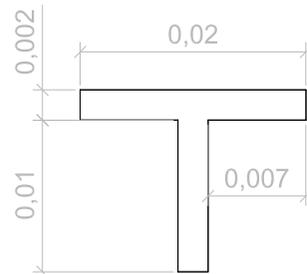
0,98



T

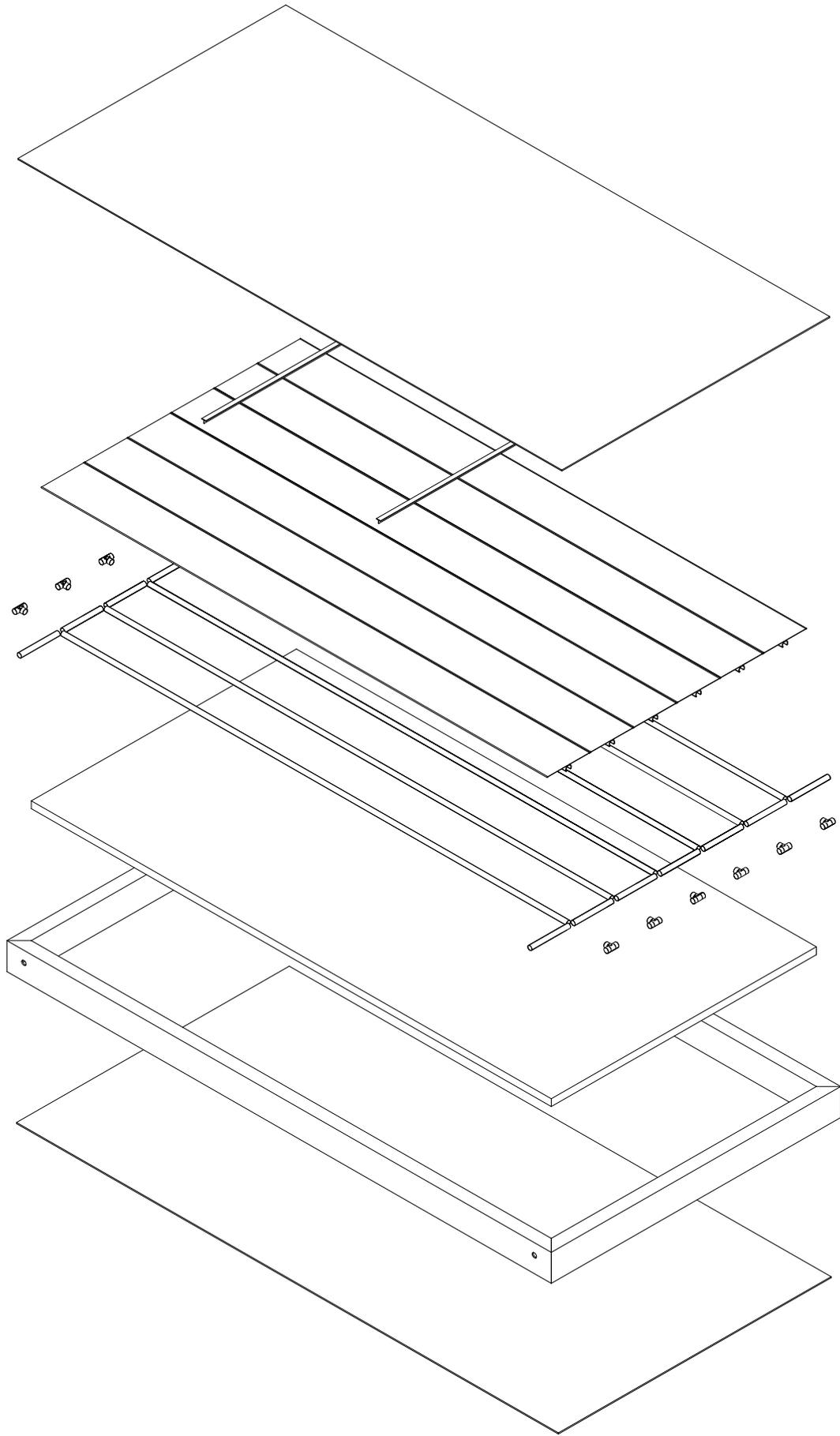


T

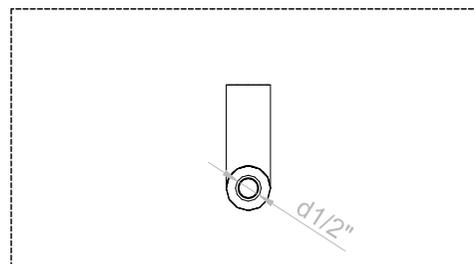
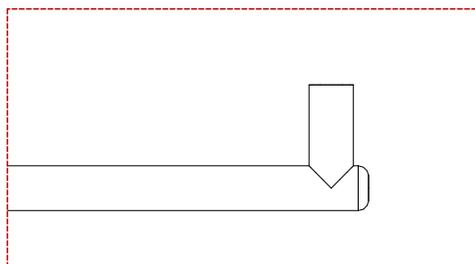
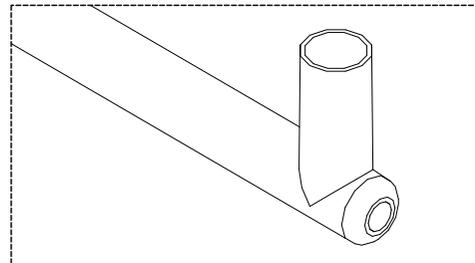
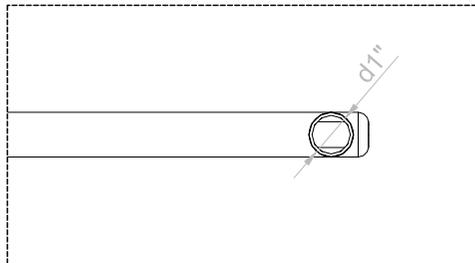


PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: COMPONENTE DEL COLECTOR, T DE ALUMINIO	Nº PLANO: 10	FECHA: 27/06/2013
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10	ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI

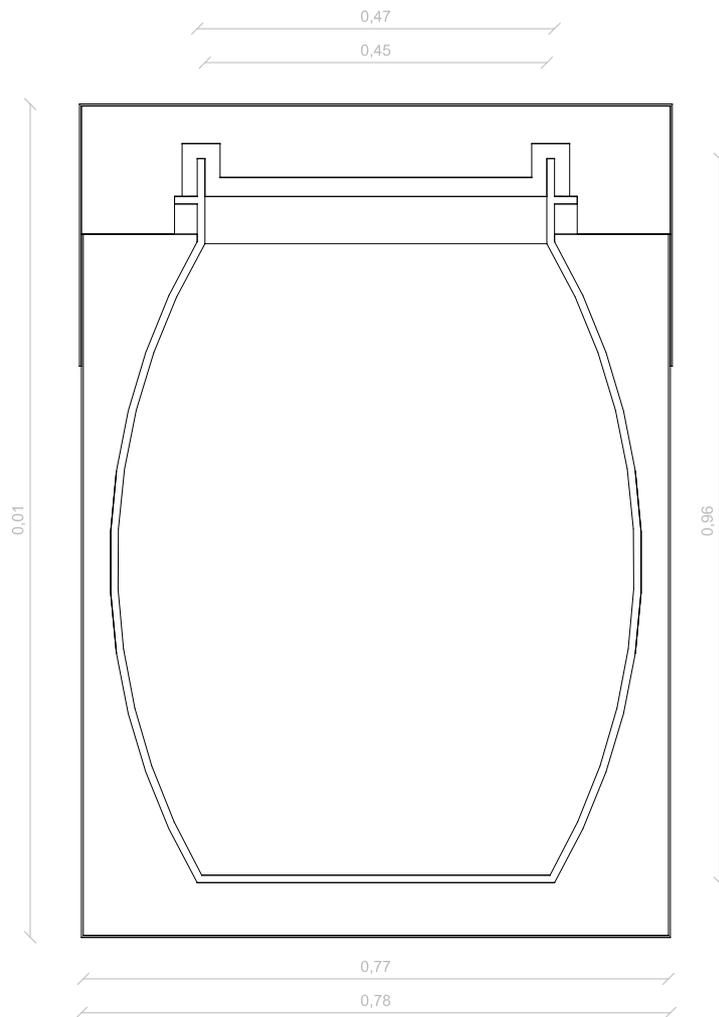




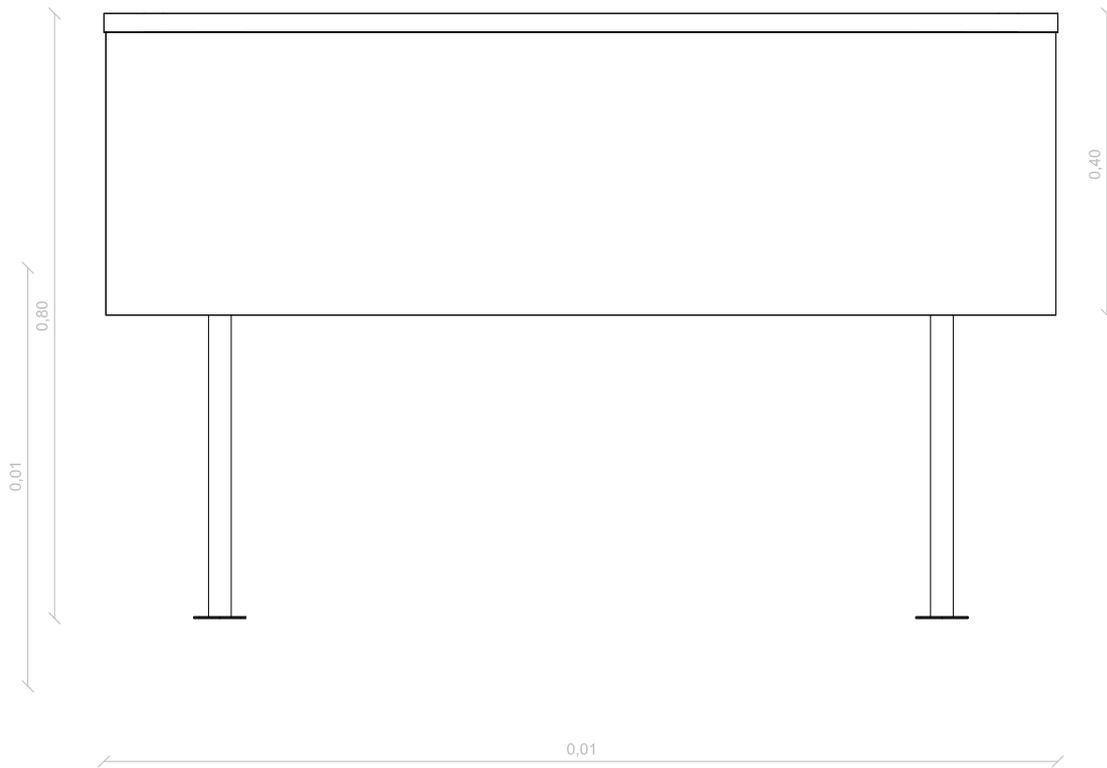
PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: EXPLOSIONADO DEL COLECTOR	Nº PLANO: 11	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10	FECHA: 27/06/2013
		ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI



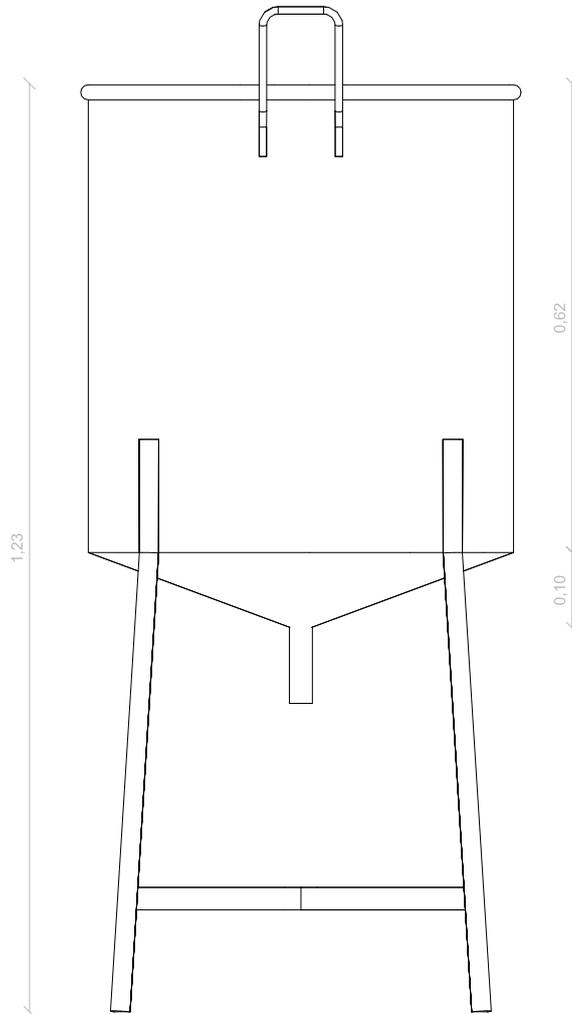
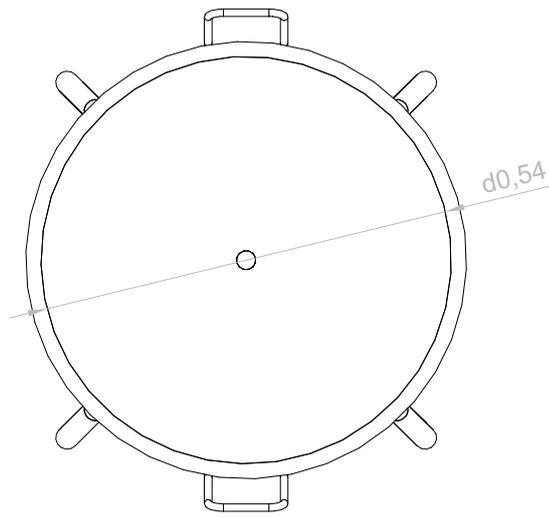
PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO	Nº PLANO: 12	FECHA: 27/06/2013
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO		ESCALA: 1/25 ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI



PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: TANQUE EXTERIOR CON COTAS	Nº PLANO: 13	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10	FECHA: 27/06/2013
		ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI



PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: TANQUE DE LECHE PASTEURIZADA CON COTAS	Nº PLANO: 14	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10	FECHA: 27/06/2013
		ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI



PROYECTO: PASTEURIZACIÓN DE LECHE EN MANAGUA CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA		
EMPLAZAMIENTO: FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL (FACA) EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA (UNA) EN MANAGUA, NICARAGUA		
PLANO: TANQUE DE LECHE SIN PASTEURIZAR CON COTAS	Nº PLANO: 15	
TUTOR: ANTONIO SORIA VERDUGO	ESCALA: 1/10	FECHA: 27/06/2013
		ALUMNA: DANIELA VICARIO TOMASELLI

ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL COLECTOR

Solar Collector Factsheet Solartech SUMMER CX



Modelo	SUMMER CX
Tipo	Colector plano
Fabricante	Solartech Sales & Service Sdn. Bhd.
Dirección	5, Jalan Teknologi 3/5, Kota Damansara MY-47810 Petaling Jaya, Selangor
Teléfono	+603 6157 4888
Telefax	+603 6156 8988
Email	info@solartech.com.my
Internet	www.solartech.com.my
Fecha de ensayo	08.2012

- Ensayo de rendimiento EN12975:2006
- Ensayo de durabilidad EN12975:2006



Dimensiones

Longitud total	1.938 m
Anchura total	1.020 m
Superficie bruta	1.977 m ²
Área de apertura	1.866 m ²
Área de absorbedor	1.775 m ²
Peso vacío	38 kg

Datos técnicos

Caudal mínimo	30 l/h
Caudal nominal	120 l/h
Caudal máximo	600 l/h
Contenido de fluido	2.3 l
Presión máxima de operación	8.5 bar
Temperatura de estancamiento	123 °C

Montaje del captador

- En tejado con inclinación
- Integrado en tejado con inclinación
- Sobre tejado plano con estructura
- A la fachada

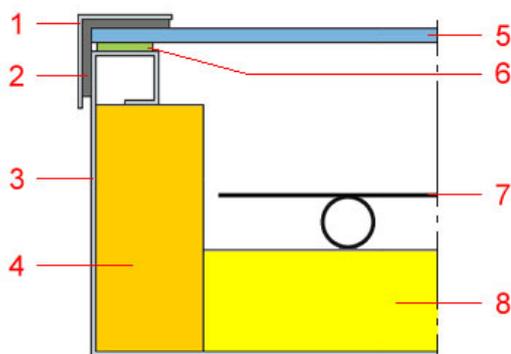
Informaciones adicionales

- Módulos disponibles en diversos tamaños
- Cubierta intercambiable

Conexiones hidráulicas

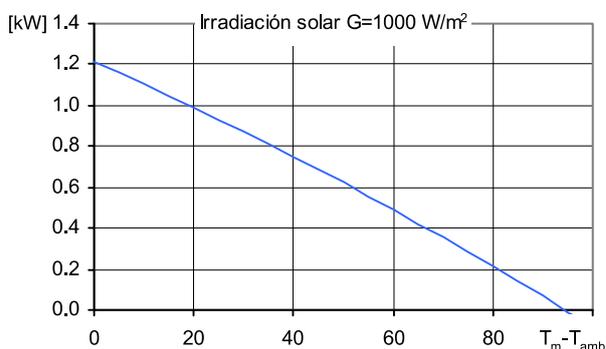
Serto 22

Construcción

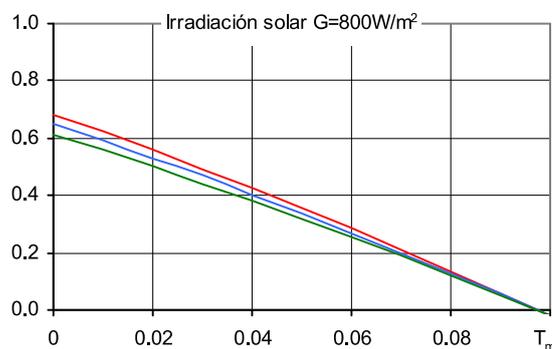


- 1 Perfil del soporte del vidrio
- 2 Cinta sellante
- 3 Caja
- 4 Aislamiento térmico lateral
- 5 Cubierta
- 6 Cinta sellante
- 7 Absorbedor
- 8 Aislamiento térmico

Rendimiento máximo W_{peak}



Eficiencia relativa η

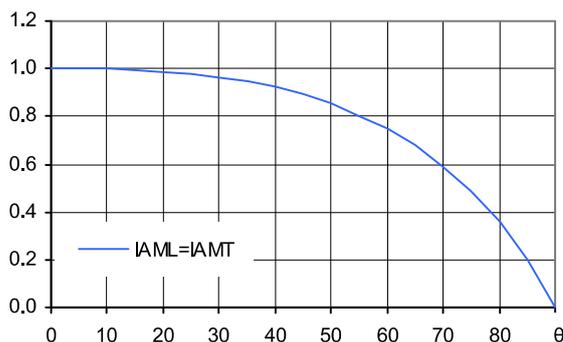


Rendimiento máximo W_{peak}	1212 W
Capacidad térmica*	8.0 kJ/K
Caudal usado para los ensayos	140 l/h
Fluido de transferencia de calor	Agua-Glicol 33.3%

Área referencia	Total	Apertura	Absorbedor
η_0	0.613	0.650	0.683
a_1 [WK ⁻¹ m ⁻²]	5.45	5.77	6.07
a_2 [WK ⁻² m ⁻²]	0.0109	0.0115	0.0121

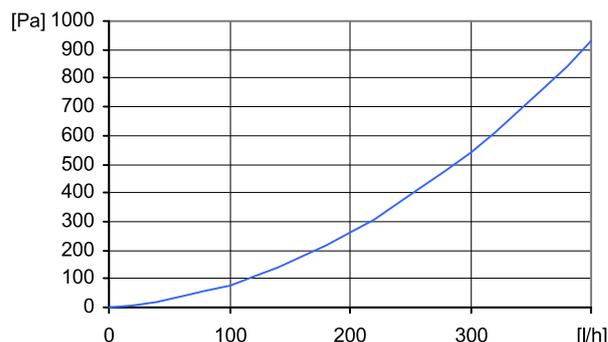
*) Capacidad térmica específica C del captador sin líquido, determinado según 6.1.6.2 del EN12975-2:2006

Modificador del ángulo IAM



K1, transversal IAM a 50°	0.85
K2, longitudinal IAM a 50°	0.85

Caída de presión Δp



Caída de presión para caudal nominal:
 $\Delta p = 107$ Pa (T=20°C)

SPF Simulación de sistemas con Polysun

Breve descripción del sistema

Clima: Suiza central, orientación del captador: Sur, agua fría 10°C, agua caliente sanitaria 50°

Agua caliente sanitaria: $F_{ss}^* = 60\%$

Depósito 450 litros, Inclinación del captador 45°, Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas), Necesidad energética del sistema de referencia 4200 kWh/año

Pre calentamiento del ACS: $F_{ss}^* = 25\%$

2 depósitos: 1500 litros & 2500 litros, Inclinación del captador 30°, Agua caliente sanitaria 10'000 l/día (200 personas), Pérdida diaria de calor (circulación & depósito) 60 kWh, Necesidad energética del sistema de referencia 191'700 kWh/año

Calefacción de espacio: $F_{ss}^* = 25\%$

Almacenamiento combinado 1200 litros, Inclinación del captador 45°, Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas), Edificio 200 m², Construcción intermedia fuerte, bien aislada, Necesidades potencia de calentamiento 5.8 kW (temperatura exterior -8°C), Necesidades energéticas de calentamiento 12140 kWh/año, Necesidades energética del sistema referencia 16340 kWh/año

Superficie requerida**
Número de captadores

10.14 m²
5.4 captadores 250 kWh/m²

140.2 m²
75.1 captadores 461 kWh/m²

49.3 m²
26.4 captadores 106 kWh/m²

*) Fractional solar savings: Fracción de la energía final que, gracias al sistema solar, puede ser ahorrada comparada con un sistema de referencia.
**) La necesidad en superficie y el rendimiento solar son definidos en relación a la superficie de abertura.