



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Dimensionamiento del suministro de agua caliente
sanitaria a un condominio residencial, utilizando energía
solar**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico – Eléctrico

**Enrique Gherzi Cordova
Daniela Maria Marroquin Liu**

**Asesor:
Dr. Ing. Víctor Manuel Lizana Bobadilla**

Piura, marzo de 2021



Resumen

La tesis consiste en el desarrollo de cálculos que reflejan el proceso de selección para la implementación de sistemas térmicos solares a un condominio que consta de un edificio multifamiliar y dos viviendas unifamiliares. Dicho cálculo abarca desde el área de captación necesaria hasta los parámetros de selección de cada elemento del circuito hidráulico. El proyecto promueve las tecnologías relacionadas a la energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria doméstica en el país. Su finalidad es masificar el uso de colectores solares con el propósito de garantizar que se satisfaga la demanda energética y se minimice el consumo eléctrico del hogar.

La metodología utilizada se basa en evaluar, mediante los criterios sugeridos por CENSOLAR, la demanda energética y la disponibilidad del recurso solar con el fin de encontrar el aporte solar que generaría la instalación de colectores y calcular un estimado del ahorro de energía generado en el condominio. Posteriormente, se evalúan los parámetros de selección para los elementos del circuito hidráulico, como lo son bombas, acumuladores, intercambiadores de calor, entre otros.

En el caso del edificio multifamiliar se determinó que utilizar 4 colectores modelo FK 500L es la forma más eficiente de cubrir la demanda energética, llegando a tener un aporte solar de un 78.33%. En el caso de las viviendas unifamiliares, se calcula que usando un colector del mismo modelo se puede alcanzar un aporte solar de un 88.97%. Esto representa un ahorro energético total de un 81.48% en todo el condominio y tiempo de recuperación de la inversión de, aproximadamente, 7 años.

Por motivos prácticos se plantea un sistema solar térmico independiente para cada edificación. De los 7 modelos seleccionados para la evaluación, se determina que el más adecuado para el proyecto es el FK500L. Se concluye que Piura cuenta con todas las condiciones para la incorporación y aprovechamiento de la energía solar térmica cuyo fin es la obtención de agua caliente sanitaria. Para el caso particular desarrollado en esta tesis, se tiene que el área de captación solar es de 9.4 m^2 en el edificio multifamiliar y 2.35 m^2 en cada vivienda unifamiliar; con estos valores se estima un ahorro de un 81.48% y, también, una recuperación de la inversión de 7 años.



Tabla de contenido

Introducción	17
Capítulo 1 Marco teórico.....	19
1.1 El Sol.....	19
1.1.1 Movimiento de traslación de la Tierra	19
1.1.2 Declinación	19
1.1.3 Duración del día	20
1.2 Energía solar	21
1.2.1 Clasificación.....	21
1.3 Energía solar térmica.....	23
1.3.1 Clasificación.....	24
1.3.2 Situación actual	26
1.4 Captadores solares térmicos	28
1.4.1 Tipos de captadores	28
1.4.2 Captador solar de placa plana.....	31
1.5 Sistema solar térmico	35
1.5.1 Elementos.....	36
1.5.2 Clasificación	36
Capítulo 2 Aspectos generales.....	43
2.1 Caso de estudio	43
2.1.1 Ubicación geográfica del proyecto.....	43
2.1.2 Edificio multifamiliar	43
2.1.3 Viviendas unifamiliares	44
2.2 Condiciones climáticas	45
2.2.1 Irradiación global horizontal	45
2.2.2 Zona climática	46

2.2.3	Horas de sol	46
2.2.4	Temperatura.....	47
2.3	Agua caliente sanitaria (ACS).....	48
2.3.1	Normativa.....	48
2.3.2	Criterios para el desarrollo del proyecto	50
2.4	Colector solar.....	52
2.4.1	Colectores solares de placa plana	52
2.4.2	Especificaciones técnicas de colectores solares	53
2.4.3	Inclinación del colector solar.....	53
Capítulo 3 Procedimiento.....		55
3.1	Metodología	55
3.1.1	Demanda energética	55
3.1.2	Disponibilidad energética.....	56
3.1.3	Aporte solar del sistema.....	59
3.2	Cálculos.....	61
3.2.1	Cálculo de demanda energética.....	61
3.2.2	Cálculo de la disponibilidad energética.....	64
3.2.3	Cálculo del aporte solar del sistema	67
Capítulo 4 Circuito hidráulico de agua caliente sanitaria		73
4.1	Descripción del circuito hidráulico	73
4.1.1	Circuito primario	74
4.1.2	Circuito secundario	75
4.1.3	Circuito de consumo	76
4.2	Metodología para la selección de elementos del circuito hidráulico	78
4.2.1	Acumulador	78
4.2.2	Apoyo energético	78
4.2.3	Intercambiador de calor.....	79
4.2.4	Tuberías.....	79
4.2.5	Bombas.....	82
4.2.6	Vaso de expansión.....	86
4.2.7	Controlador	86
4.3	Cálculo y selección de elementos.....	87

4.3.1	Cálculo y selección de elementos en el edificio multifamiliar	88
4.3.2	Cálculo y selección de elementos en la vivienda unifamiliar	94
4.4	Simulación	98
4.4.1	Procedimiento para la simulación.....	98
Capítulo 5	Resultados	103
5.1	Colector solar.....	103
5.2	Circuito hidráulico.....	104
5.2.1	Edificio multifamiliar	104
5.2.2	Vivienda unifamiliar	105
5.2.3	Resumen de selección	105
5.3	Simulación	106
5.3.1	Aporte de energía solar.....	107
5.4	Análisis de factibilidad	109
5.4.1	Costo de la energía.....	109
5.4.2	Ahorro monetario anual.....	110
5.4.3	Inversión total	110
5.4.4	Periodo de recuperación simple de la inversión.....	111
5.4.5	Valor Actual Neto (VAN).....	113
5.4.6	Tasa Interna de Retorno (TIR)	114
5.4.7	Cálculo de VAN y TIR	114
Conclusiones		115
Glosario		119
Referencias bibliográficas		121
Apéndices		125
Anexos		131
Planos		189



Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de colectores solares térmicos	29
Tabla 2. Ubicación, temperatura e irradiación de Piura	43
Tabla 3. Número de habitaciones por departamento	44
Tabla 4. Distribución de áreas para el edificio	44
Tabla 5. Número de habitaciones por casa	45
Tabla 6. Distribución de áreas en las viviendas unifamiliares	45
Tabla 7. Datos de GHI promedio por día en Piura	46
Tabla 8. Criterio de zona climática según valores de irradiación	46
Tabla 9. Horas de sol promedio por mes en Piura	47
Tabla 10. Datos de temperaturas de la provincia de Piura	47
Tabla 11. Consumo de agua caliente en residencias unifamiliares o multifamiliares	48
Tabla 12. Capacidades de almacenamiento y producción	48
Tabla 13. Cálculo de número de personas	49
Tabla 14. Factor de centralización	49
Tabla 15. Contribución solar mínima para sistemas ACS con apoyo energético de gas, propano u otros.	50
Tabla 16. Contribución solar mínima para sistemas ACS con apoyo energético eléctrico.....	50
Tabla 17. Porcentajes de ocupación mensual.	52
Tabla 18. Listado de colectores solares seleccionados.....	52
Tabla 19. Datos técnicos de los colectores solares seleccionados	53
Tabla 20. Criterio para determinar ángulo de inclinación	53
Tabla 21. Factores de corrección k para 5° de latitud y 15° de inclinación	54
Tabla 22. Datos y cálculo de la demanda diaria de agua caliente	61
Tabla 23. Cálculo del consumo mensual de agua caliente para el edificio multifamiliar.....	62

Tabla 24. Cálculo del consumo mensual de agua caliente para la vivienda unifamiliar.	62
Tabla 25. Cálculo de la demanda energética del edificio multifamiliar.....	63
Tabla 26. Cálculo de la demanda energética de la vivienda unifamiliar.	63
Tabla 27. Cálculo de la energía disponible solar diaria.....	65
Tabla 28. Cálculo de la irradiancia.	65
Tabla 29. Cálculo de rendimiento mensual de cada colector solar para viviendas multifamiliar y unifamiliar.....	66
Tabla 30. Cálculo de energía solar neta útil de cada colector solar para viviendas multifamiliar y unifamiliar.....	67
Tabla 31. Cálculo del área de captación solar requerida para el edificio multifamiliar	68
Tabla 32. Cálculo del área de captación solar requerida para la vivienda unifamiliar	68
Tabla 33. Cálculo del número de colectores del edificio multifamiliar	69
Tabla 34. Cálculo del número de colectores de la vivienda unifamiliar	69
Tabla 35. Cálculo de la energía aportada por el sistema en el edificio multifamiliar.....	70
Tabla 36. Cálculo de la energía aportada por el sistema en la vivienda unifamiliar	70
Tabla 37. Cálculo del aporte solar del sistema para el edificio multifamiliar.....	71
Tabla 38. Cálculo del aporte solar del sistema para la vivienda unifamiliar	71
Tabla 39. Capacidad de la terma recomendada	78
Tabla 40. Dimensiones para tuberías de cobre en milímetros.....	80
Tabla 41. Diámetro del aislante para tuberías en mm	81
Tabla 42. Especificaciones del aislante	81
Tabla 43. Coeficiente de pérdidas para accesorios	84
Tabla 44. Longitud de las tuberías para el circuito hidráulico	87
Tabla 45. Relación de accesorios para el circuito hidráulico del edificio multifamiliar.....	87
Tabla 46. Relación de accesorios para el circuito hidráulico de la vivienda unifamiliar	88
Tabla 47. Pérdida de carga en el circuito del edificio multifamiliar	92
Tabla 48. Pérdida de carga en el circuito del edificio multifamiliar	97
Tabla 49. Demanda y disponibilidad energética solar	103
Tabla 50. Aporte solar de la batería de colectores al sistema.....	104
Tabla 51. Selección de elementos del circuito hidráulico.	105
Tabla 52. Resultados obtenidos de la simulación en T*SOL 2018.....	106
Tabla 53. Costo anual de la energía para las residencias	110

Tabla 54. Ahorro anual generado por el sistema solar térmico.	110
Tabla 55. Inversión total del proyecto	111
Tabla 56. Inversión exclusiva para el edificio multifamiliar	112
Tabla 57. Inversión exclusiva para la vivienda unifamiliar.....	113
Tabla 58. Flujo neto y acumulado de la inversión	114
Tabla 59. VAN y TIR del proyecto de inversión	114





Lista de figuras

Figura 1. Movimiento de traslación del Sol.	19
Figura 2. Declinación de la Tierra a lo largo del año	20
Figura 3. Duración del día en el hemisferio norte	20
Figura 4. Energía solar pasiva.....	21
Figura 5. Energía solar activa	22
Figura 6. Colector solar plano.....	22
Figura 7. Energía solar fotovoltaica.	23
Figura 8. Efecto invernadero.....	24
Figura 9. Central termosolar con heliostatos y punto receptor	25
Figura 10. Producción de vapor mediante colectores solares.....	25
Figura 11. Calentamiento de piscinas mediante un sistema solar térmico.....	26
Figura 12. Proyecto de electrificación fotovoltaica en Taquile, Puno	28
Figura 13. Colector de placa plana FK 500	29
Figura 14. Colector de tubos de vacío Vitosol 300-TM.....	30
Figura 15. Colector parabólico compuesto NERO.....	30
Figura 16. Tipos de colectores concentradores con seguimiento	31
Figura 17. Funcionamiento de un colector solar de placa plana	32
Figura 18. Explosionado de un colector solar de placa plana.....	33
Figura 19. Conexión de una batería de colectores en serie.....	35
Figura 20. Conexión de una batería de colectores en paralelo	35
Figura 21. Sistema solar con termosifón	37
Figura 22. Sistema solar con circulación forzada.....	37
Figura 23. Sistema solar con circuito abierto.....	38
Figura 24. Sistema solar con circuito cerrado.....	38
Figura 25. Sistema solar con intercambiador interno	38

Figura 26. Sistema solar con intercambiador externo.....	39
Figura 27. Sistema solar con apoyo energético instantáneo.....	39
Figura 28. Sistema solar con apoyo energético con acumulación.....	40
Figura 29. Sistema solar de configuración completamente centralizada.....	40
Figura 30. Sistema solar con acumulación centralizada y apoyo distribuido	41
Figura 31. Sistema solar con acumulación distribuida	41
Figura 32. Sistema solar con intercambio distribuido	42
Figura 33. Demanda energética del edificio multifamiliar en MJ.....	64
Figura 34. Demanda energética de la vivienda unifamiliar en MJ.....	64
Figura 35. Energía brindada en MJ por los 4 mejores colectores al condominio.....	71
Figura 36. Energía aportada por el sistema vs demanda energética en MJ.....	72
Figura 37. Circuito hidráulico del edificio multifamiliar.....	73
Figura 38. Circuito hidráulico de la vivienda unifamiliar	74
Figura 39. Circuito primario de la vivienda unifamiliar.....	74
Figura 40. Circuito secundario de la vivienda unifamiliar.....	76
Figura 41. Circuito de consumo de la vivienda unifamiliar.....	77
Figura 42. Circuito de consumo del edificio multifamiliar.....	77
Figura 43. Gráfica rendimiento vs caudal	79
Figura 44. Gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre	82
Figura 45. Gráfico de pérdidas de carga localizada	83
Figura 46. Pérdida de cargas para el colector solar	85
Figura 47. Gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre	90
Figura 48. Gráfico de pérdidas de carga localizada	91
Figura 49. Punto de funcionamiento de bomba primaria para edificio multifamiliar	92
Figura 50. Puntos de funcionamiento de bomba secundaria para edificio multifamiliar	93
Figura 51. Gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre	96
Figura 52. Puntos de funcionamiento de bombas primaria (B1) y secundaria (B2) de vivienda unifamiliar	97
Figura 53. Datos meteorológicos de Piura en MeteoSyn.	99
Figura 54. Instalación ACS (2 depósitos) con depósito de combustión directa e IC externo ..	99
Figura 55. Perfiles de consumo diario de lunes a viernes (izquierda), sábado (medio) y domingo (derecha) correspondiente al edificio multifamiliar.	100

Figura 56. Perfiles de consumo diario de lunes a viernes (izquierda), sábado (medio) y domingo (derecha) correspondiente a casa unifamiliar.	100
Figura 57. Perfil de consumo anual para edificio multifamiliar y vivienda unifamiliar.	101
Figura 58. Modelo y grados de eficiencia del colector solar FK500L.....	101
Figura 59. Modelo de acumulador de ACS correspondiente a edificio multifamiliar	102
Figura 60. Modelo de acumulador de ACS correspondiente a vivienda unifamiliar	102
Figura 61. Simulación de fracción de energía solar en el consumo energético en la vivienda unifamiliar	106
Figura 62. Simulación de fracción de energía solar en el consumo energético en el edificio multifamiliar	106
Figura 63. Gráfica comparativa de aporte solar de la vivienda unifamiliar	107
Figura 64. Simulación del aporte solar de la vivienda unifamiliar	108
Figura 65. Gráfica comparativa de aporte solar del edificio multifamiliar	108
Figura 66. Simulación del aporte solar del edificio multifamiliar	109





Introducción

Los sistemas de calentamiento solar pasivo proveen de energía a las instalaciones sanitarias de una pequeña fracción de las edificaciones, principalmente en los países que forman parte del OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*). Sin embargo, en el Perú, incluso siendo un país con abundante recurso solar, no se aprovechan estos sistemas a su máximo potencial; teniendo en cuenta que, después de la refrigeración, el calentamiento de agua es el segundo servicio de uso energético más importante, se propone un sistema adaptable de producción de agua caliente a base de colectores solares. Este proyecto se realiza con el fin de promover el uso de sistemas solares térmicos para la producción de agua caliente sanitaria a nivel doméstico y en instalaciones mayores como gimnasios, clubes, centros deportivos y clínicas; no obstante, en este caso se realizarán los cálculos para un caso de estudio específico, un condominio residencial.

En el capítulo I, se presenta el marco teórico en donde se describen los conceptos básicos sobre temas relacionados a la energía solar térmica y los sistemas solares térmicos usados para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS).

El capítulo II especifica los aspectos generales relacionados a la evaluación del sistema solar térmico. Se expone información relacionada a la ubicación del caso de estudio, así como de sus dimensiones y detalles constructivos. Además, se trata también las condiciones climáticas de la región que intervienen con el estudio, como la temperatura ambiental, la irradiación, las horas de sol y a que zona climática pertenece. Posteriormente se exponen las normativas que se utilizan para seleccionar los requerimientos del proyecto y se detalla también algunos parámetros de los colectores solares que se evaluarán.

En el capítulo III se explica la metodología y el proceso para determinar la demanda energética, la disponibilidad del recurso solar y el porcentaje de contribución solar de los modelos de colectores seleccionados; además, se calcula el área de captación necesaria para el aprovechamiento solar, el número de colectores necesarios y el porcentaje de aporte solar de estos. Después, considerando la información obtenida, se elige el modelo de colector solar más eficiente para el proyecto.

El capítulo IV comprende la explicación del funcionamiento del circuito hidráulico propuesto y también la metodología para el cálculo de los parámetros de sus elementos, como

la potencia de las bombas, la potencia del intercambiador de calor, la capacidad del acumulador, entre otros. Adicionalmente, se simula el circuito hidráulico utilizando el programa T*SOL 2018, con el objetivo de comparar la simulación con los datos obtenidos anteriormente.

En el capítulo V, se expone un resumen de los resultados, así como un análisis comparativo de los resultados del reporte de la simulación con los que se obtuvieron mediante el desarrollo de la metodología explicada. Asimismo, se realiza un análisis de factibilidad para encontrar el tiempo de recuperación simple de la inversión que conlleva la implementación del proyecto.

Por último, se describen las conclusiones en donde se detallan los puntos más relevantes del estudio y el posible impacto que genera en la sociedad.



Capítulo 1

Marco teórico

1.1 El Sol

El Sol es una estrella que se encuentra en el centro del sistema solar y constituye la mayor fuente de energía del planeta debido a la radiación electromagnética que emite. Se encuentra ubicada a 149.6 millones de kilómetros de nuestro planeta, sin embargo, su luz y calor son imprescindibles para cualquier tipo de vida.

1.1.1 Movimiento de traslación de la Tierra

La tierra no solo rota sobre su propio eje, también lo hace alrededor del sol en una órbita elíptica que se completa en un año. Debido a este movimiento de traslación la distancia que existe entre el Sol y la Tierra varía para cada día del año en un rango de 147 y 152 millones de kilómetros (Ballesteros, 2012) como se puede observar en la figura 1.

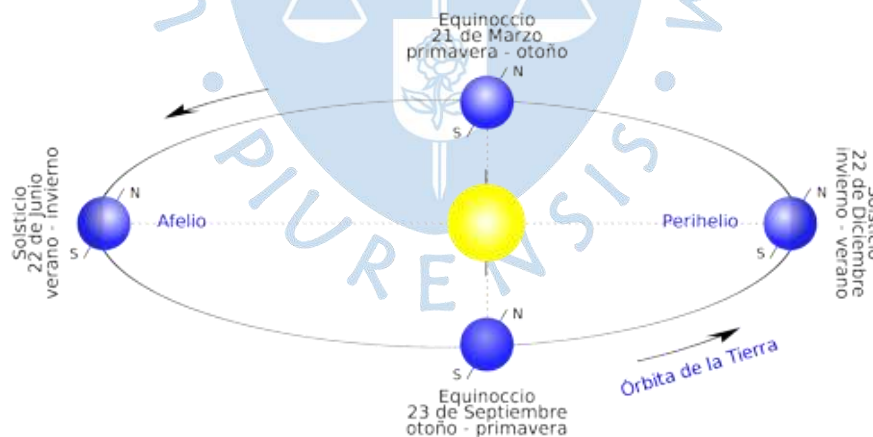


Figura 1. Movimiento de traslación del Sol.

Fuente: ABCCiencia, 2019

1.1.2 Declinación

El eje del planeta Tierra posee una inclinación igual a 23.45° respecto al plano que contiene su órbita alrededor del sol (Perpiñán, 2018). Las estaciones del año son un fenómeno climatológico ocasionado por el ángulo de declinación del planeta y, dependiendo de estas,

los rayos solares tendrán un mayor o menor impacto sobre la superficie terrestre; afectando así la cantidad de energía solar recibida.



Figura 2. Declinación de la Tierra a lo largo del año

Fuente: Franco, 2016

En la figura 2 se puede observar la variación anual de la declinación de la Tierra. A mitad del año, los rayos solares inciden de manera más perpendicular en el norte de la Tierra, lo que significa que es verano para el hemisferio norte e invierno para el hemisferio sur. Por el lado contrario, los rayos solares inciden de una forma más perpendicular en el hemisferio sur durante el inicio del año, lo que hace que sea verano para el hemisferio sur e invierno para el hemisferio norte.

1.1.3 Duración del día

La duración del día o las horas de sol se calculan en función del ángulo de puesta y salida del sol; en la figura 3 se observa cómo varía este factor a lo largo del año para el hemisferio norte del planeta.

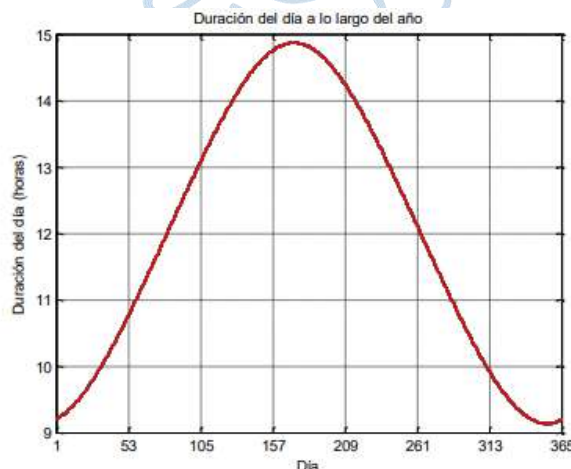


Figura 3. Duración del día en el hemisferio norte

Fuente: Ballesteros, 2012

Se debe considerar que el gráfico de la duración del día para el hemisferio sur es el mismo que el del hemisferio norte pero desfasado 6 meses.

1.2 Energía solar

La energía solar se obtiene a partir del sol debido al aprovechamiento de la radiación electromagnética. El planeta Tierra recibe una potencia de radiación solar equivalente a $1.73 \cdot 10^{14}$ kW, la cual genera $5.46 \cdot 10^{21}$ MJ de energía al año (Michaelides, 2012), esta cantidad es 100 millones de veces mayor que la demanda energética del ser humano. Si bien la energía solar es una fuente de energía gratuita, infinita e inagotable, solo una parte muy pequeña de esta se utiliza para las necesidades humanas.

Uno de los inconvenientes de su uso es que no es almacenable, por lo que para usarla se transforma en otro tipo de energía (calorífica, eléctrica, biomasa, entre otras).

1.2.1 Clasificación

La energía solar se puede clasificar según su uso básico o según su transformación.

1.2.1.1 Según su uso básico. La energía solar se puede clasificar en solar pasiva o activa:

a) Energía solar pasiva

Es una forma de utilización muy simple, hace referencia al aprovechamiento de esta sin la necesidad de que intervenga ningún tipo de equipos, mecanismos o sistemas mecánicos. Un ejemplo de energía solar activa son los sistemas solares térmicos cuyo funcionamiento se basa en el principio de termosifón. (Ver figura 4).

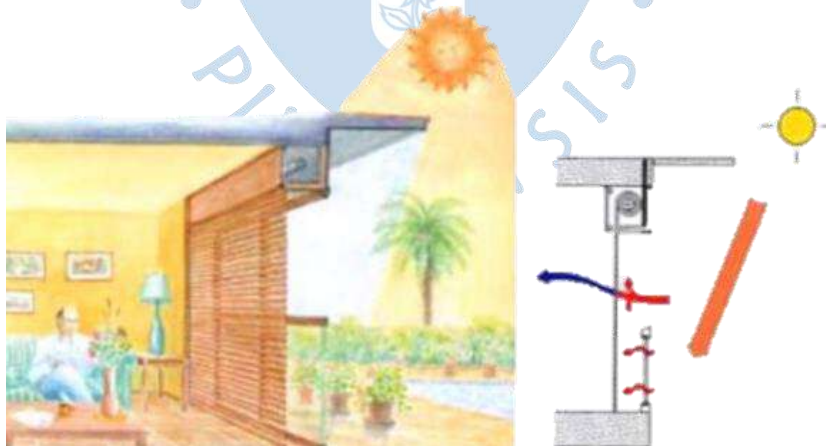


Figura 4. Energía solar pasiva

Fuente: Gonzales, 2016

b) Energía solar activa

Hace referencia al aprovechamiento de la energía solar con el uso adicional de equipos para mejorar el rendimiento o eficiencia de los sistemas. Un ejemplo de esta clase de energía

solar es un sistema de calentamiento de agua sanitaria con circulación forzada (se utilizan bombas llamadas también electro circulador) o un colector parabólico que utiliza un motor giratorio para seguir el recorrido del sol, también es considerada como energía solar activa los SFD (Sistemas Fotovoltaicos Domésticos) debido al uso de paneles fotovoltaicos, reguladores, inversores y bancos de baterías, como el que se observa en la figura 5.



Figura 5. Energía solar activa
Fuente: Gonzales, 2016

1.2.1.2 Según su transformación. La transformación de la energía solar, para su aprovechamiento, se da ya que esta no puede ser almacenada. Puede clasificarse en:

a) Energía solar térmica

La energía solar térmica aprovecha la energía del sol mediante captadores o colectores solares cuya finalidad es calentar un fluido. Se utilizan colectores con una superficie oscura con el objetivo de generar un efecto invernadero y absorber la mayor cantidad de radiación posible. El proyecto se basa en este tipo de energía. Se puede visualizar las partes de un colector solar en la figura 6.

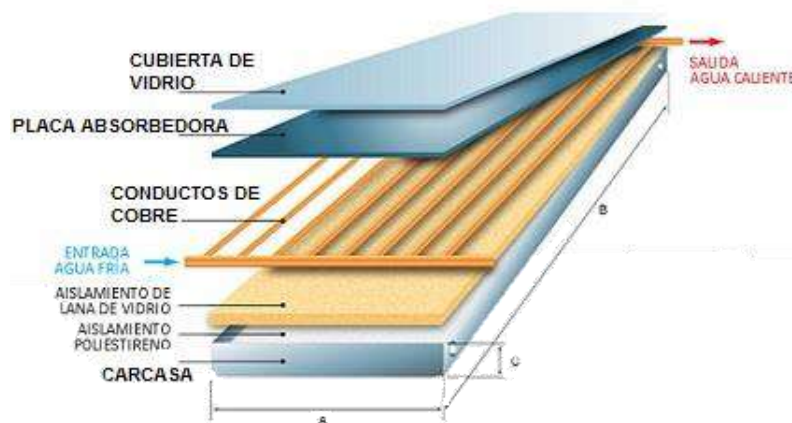


Figura 6. Colector solar plano.
Fuente: Aulafacil, 2020.

b) Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica hace referencia a la transformación de la energía solar a energía eléctrica mediante células solares (materiales semiconductores). Al incidir los fotones sobre estas células se produce un flujo de electrones (ver figura 7).

Las ventajas de la energía fotovoltaica son que implica la posibilidad de disponer energía eléctrica en lugares alejados de la red o puede inyectarse a la misma. Es un tipo de energía amigable con el medio ambiente, renovable y, sobre todo, es abundante. Si bien es cierto que ahora hay células que captan radiación directa y difusa, por lo que se puede obtener energía incluso en días nublados, el uso de esta energía es costoso, sobre todo su almacenamiento.

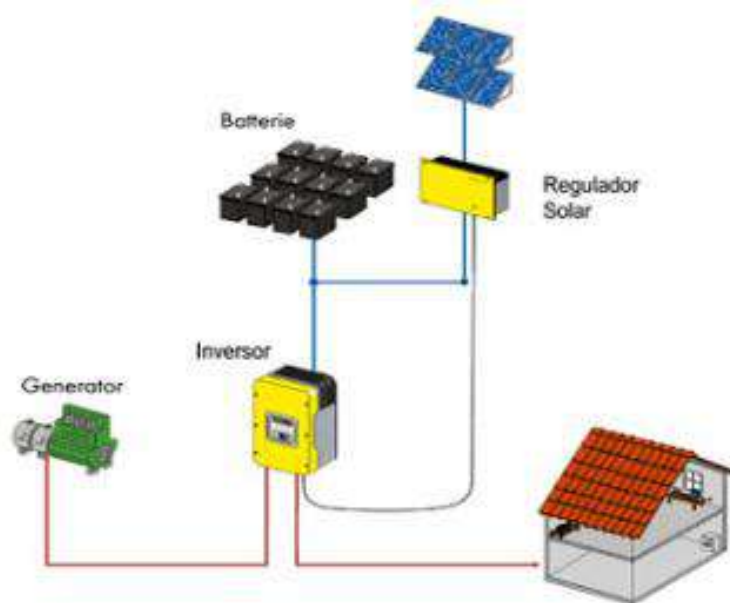


Figura 7. Energía solar fotovoltaica.

Fuente: Solarta, 2010

1.3 Energía solar térmica

Se obtiene energía calorífica del sol mediante el uso de captadores o colectores solares. El fluido a calentar usualmente es agua o aire.

La conversión de la energía solar a calorífica sucede directamente, sin necesidad de la intervención humana durante el proceso. Esto se debe a que cualquier materia sufre un aumento de temperatura al estar expuesta a la radiación solar. Al usar una superficie de color negro para absorber radiación, dicho aumento de temperatura será incluso mayor ya que el color negro absorbe gran parte de la radiación solar.

La efectividad del uso de la energía solar térmica dependerá de qué tan bien se puedan evitar las fugas. Para abordar este problema se sigue el mismo proceso natural que se lleva a cabo en la tierra, el efecto invernadero.

El proceso de efecto invernadero (ver figura 8) empieza cuando los rayos solares atraviesan la atmósfera y calientan la tierra y el mar; cuando estos se calientan lo suficiente empiezan a irradiar la energía absorbida, pero con longitudes de onda más grandes hacia la atmósfera, la cual vuelve a absorber la energía y la irradia nuevamente sobre el planeta. Este fenómeno natural permite que la temperatura del planeta no descienda entre 30 y 40°C (Ballesteros, 2012).

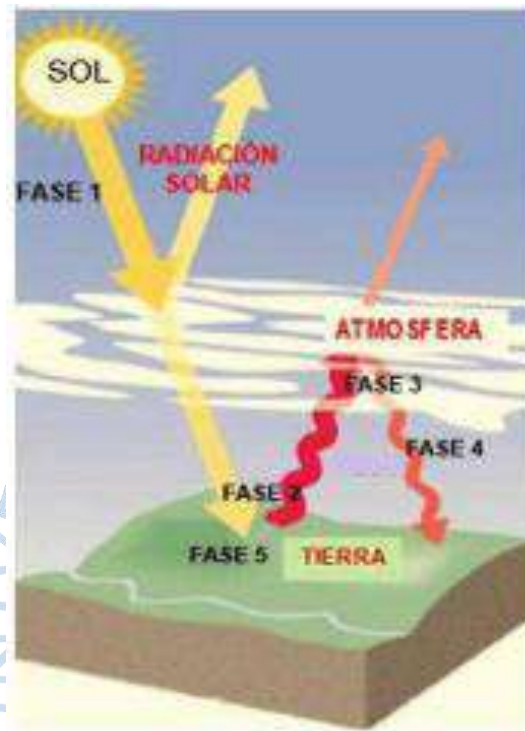


Figura 8. Efecto invernadero
Fuente: Chillán, 2008.

1.3.1 Clasificación

La energía solar térmica, según su conversión a energía calorífica, puede ser de 3 tipos: de alta temperatura, de media temperatura y de baja temperatura. (IDAE, 2006).

1.3.1.1 De alta temperatura. La energía solar térmica de alta temperatura trabaja en rangos mayores a 400°C (Ballesteros, 2012). Las instalaciones de este tipo están compuestas por una superficie de heliostatos que reflejan la radiación solar con el fin de concentrarla hacia un receptor. Dicho receptor transmite el calor a un fluido que circula por un circuito primario, que a su vez la transmitirá al secundario para finalmente generar energía eléctrica, tal como se observa en la figura 9.

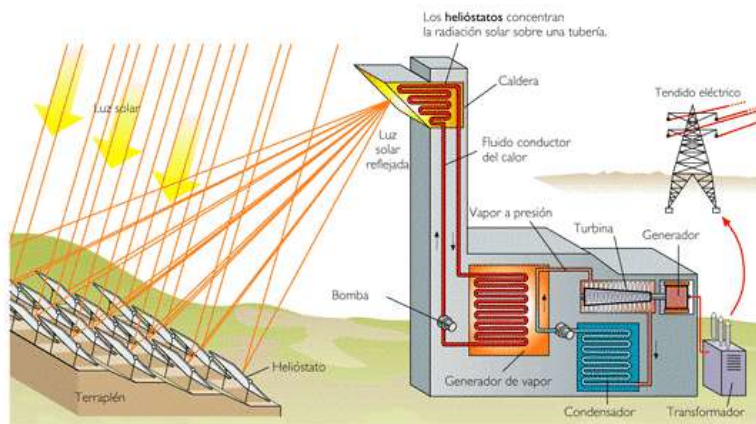


Figura 9. Central termosolar con heliostatos y punto receptor
Fuente: 3Bohíotecnico, 2020.

1.3.1.2 De media temperatura. Según Ballesteros (2012), la energía solar térmica de media temperatura trabaja en un rango de 100 a 200°C y los equipos más utilizados relacionados a esta clase de energía son los colectores solares cilindro-parabólicos y los heliostatos. La principal aplicación que destaca mucho por sobre las otras es la de producción de vapor para procesos industriales (ver figura 10), sin embargo, también se usa para producción de energía a pequeña escala y desalinización de agua salada.

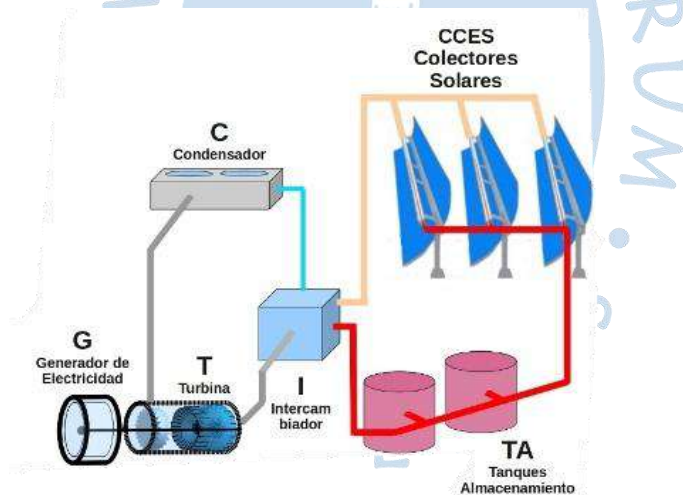


Figura 10. Producción de vapor mediante colectores solares
Fuente: EERE, USA Department of Energy (2018)

1.3.1.3 De baja temperatura. Se aprovecha la energía solar a temperaturas entre un rango de 35 y 95°C (Ballesteros, 2012). La energía solar térmica de baja temperatura es la primera opción para el ámbito doméstico; se instala en las azoteas de los domicilios e incluso de edificios comerciales. Este tipo de tecnología es conocida por su uso en sistemas de producción de agua caliente sanitaria (ACS) a nivel residencial y climatización de piscinas (ver figura 11).

La generación de ACS es la mayor aplicación práctica para la energía solar ya que se requiere llevar el agua a un rango de temperaturas entre 35 y 60°C (IDAE, 2004), lo cual coincide con la temperatura más adecuada para una correcta eficiencia de un colector solar.

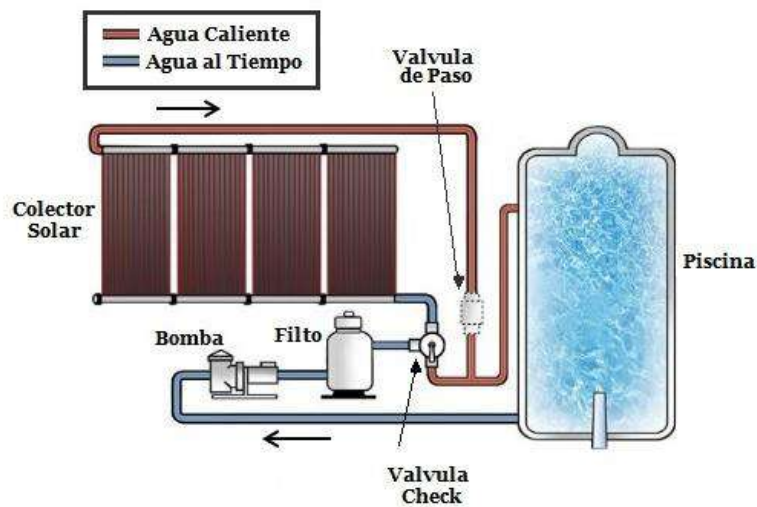


Figura 11. Calentamiento de piscinas mediante un sistema solar térmico

Fuente: EnerAguas Colombia, 2020

1.3.2 Situación actual

La contribución solar térmica sigue siendo muy escasa; sin embargo, sí se ha incrementado considerablemente su uso a lo largo de la última década. El creciente interés de los ciudadanos se debe en parte a la implementación de incentivos por el uso de esta clase de energía, principalmente en países como Japón y China; actualmente la energía solar instalada mundialmente supera con creces a las de otras energías renovables de alto desarrollo como la eólica. En cuanto a la producción de ACS, la mayoría de los mercados importantes tienen acceso a esta tecnología y se tienen instalaciones alrededor de todo el mundo, variando su tamaño dependiendo de la región y condiciones climáticas. La calefacción es la segunda aplicación más importante, sin embargo, su uso se limita a zonas de climas fríos como China, Nueva Zelanda y Europa. Por último, la climatización de piscinas tuvo un auge significativo, pero durante los últimos años ha perdido parte de su mercado (IDAE, 2006).

1.3.2.1 Situación actual en el mundo. Las cifras referentes a energía solar térmica en ciertos continentes y países del mundo son las siguientes:

a) China

Se estima que el 40% de la totalidad de colectores solares instalados se encuentran en China debido a la alta tasa de aceptación que tuvieron durante los años 80 y 90. Gracias a esto más de 10 millones de familias disponen de energía solar térmica para producción de ACS, lo que equivale a un ahorro de 6.3 millones de toneladas de carbón al año o 13 millones de toneladas de CO₂.

La industria solar china se ha expandido rápidamente de un pequeño programa rural en la década de 1990 a ser la más grande del mundo. Es a la vez el mayor generador de energía solar y el mayor instalador de paneles solares. La capacidad instalada de paneles solares en China en 2018 ascendió a más de un tercio del total mundial, con el país representando la mitad de las adiciones solares del mundo ese año. (Roca, 2019)

b) Brasil

Según la asociación internacional de energía, Brasil es el cuarto país con mayor capacidad instalada de energía solar térmica en el ranking mundial y decimosegundo en energía solar térmica per cápita entre 57 países. Esto se debe a que la irradiación solar es alta, similar a la del Perú, el nivel más bajo se encuentra en Santa Catarina, siendo 30% superior a la media en países como Alemania o Francia. Entre 2009 y 2013 la producción de colectores solares superó en 15% el promedio anual y se llegó a tener una capacidad instalada de 9.6 millones de metros cuadrados. (SOPELIA, 2016)

c) Chile

De acuerdo con la versión 2019 del New Energy Finance Climascopes, Chile alcanzó el primer lugar en la región de América Latina y el Caribe, en inversión de energías renovables y en la lucha contra el cambio climático, debido a sus inversiones desde el 2014 en proyectos de energía renovable, incluyendo solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa, biogás, geotérmica y energía de los mares (Ministerio de Energía, 2020).

d) España

España, con un 6%, es uno de los países europeos con mayor mercado para la energía solar térmica, posicionándose mejor que países como Italia e Inglaterra. La evolución de esta clase de tecnología se lleva dando desde los años 80, la demanda hasta 1995 era de aproximadamente 10,000 m² de colectores instalados por año y, según los datos de IDAE, en el 2010 se llegó a tener una demanda de 90,000 m².

1.3.2.2 Situación actual en el Perú. El uso de energías renovables en el Perú se remonta, al igual que muchos otros casos, a los años 70, durante la crisis del petróleo. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el MINEM, en el país se tiene una elevada radiación anual solar por lo que se ha trabajado la energía solar térmica en 3 ámbitos principales:

a) Energía solar fotovoltaica

En comparación con otros países, aún hay espacio para desarrollarse en esta clase de tecnologías, sin embargo, se han abordado ciertos proyectos exitosos relacionados a la energía solar fotovoltaica.

El 16% de la población peruana no tiene electricidad en su casa, en zonas rurales esta cifra llega a ser 22%; según la Dirección General de Electrificación Rural, existen cerca de 500,000 hogares ubicados en zonas rurales que quedan inatendidos. Se busca implementar el

Plan de Electrificación Nacional de Electrificación rural, que otorgaría módulos fotovoltaicos a 345,823 familias. (PUCP, 2017). Adicionalmente, se están ejecutando otros proyectos a menor escala, por ejemplo el GEF-MEM, un proyecto que busca la electrificación rural en base a sistemas fotovoltaicos para más de 7500 familias, especialmente en la selva. La licitación se dio en el 2007 por un total de 4500 SFV (Sistemas solares fotovoltaicos).



Figura 12. Proyecto de electrificación fotovoltaica en Taquile, Puno
Fuente: Horn, 2006

b) Termas solares

Es la tecnología más antigua en el Perú relacionada a energía solar térmica, además de también ser la más desarrollada del país. Se estimaba que para el 2007 había entre 30,000 termas solares, mayormente en Arequipa. En la última década se formó una “Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente” o APES, donde se producen mensualmente más de 600 m² de colectores solares para termas. Actualmente hay más de 30 empresas en el sur del Perú dedicadas al uso de la energía solar como fuente energética de calentamiento de agua, dichas empresas también se están expandiendo para abarcar la construcción de secadores solares para la agricultura (PUCP, 2017).

En el caso específico de Piura, en la provincia de Talara se desarrolló el “Proyecto Club Punta Arenas”, en donde producción de ACS domiciliaria se basa en el uso de termas solares.

1.4 Captadores solares térmicos

Los captadores solares son los dispositivos encargados de transformar la radiación solar en energía calorífica, la cual es transmitida a un fluido caloportador para aumentar su temperatura. Además, son el componente esencial en la instalación de un sistema solar térmico.

1.4.1 Tipos de captadores

Dependiendo del movimiento de los colectores solares con respecto a la trayectoria del sol, hay 2 tipos de colectores: los colectores solares estacionarios y los colectores con seguimiento solar. Estos últimos se clasifican, dependiendo del movimiento que tengan, en colectores de movimiento único y colectores con seguimiento de 2 ejes, tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de colectores solares térmicos

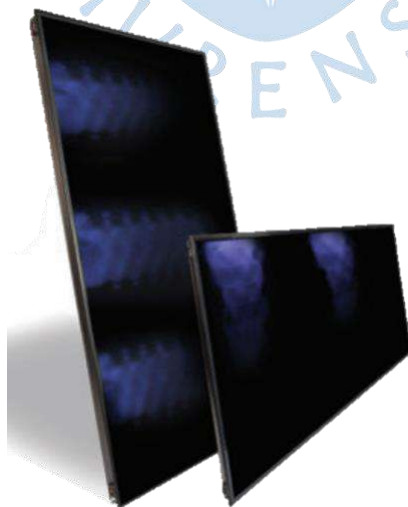
Seguimiento	Tipo	Absorbedor	Razón de concentración	Rango indicativo de temperatura [°C]
Estacionarios	Colector de placa plana (FPC)	Plano	1	30 – 80
	Colector de tubos de vacío (ETC)	Plano	1	50 – 200
	Colector parabólico compuesto (CPC)	Tubular	1 – 5 5 – 15	60 – 240 60 – 300
Seguimiento en un eje	Reflector Linear Fresnel	Tubular	10 – 40	60 – 250
	Cilindro Parabólico (PTC)	Tubular	15 – 45	60 – 300
	Colector Cilíndrico (CTC)	Tubular	10 – 50	60 – 300
Seguimiento en dos ejes	Disco parabólico (PDR)	Punto	100 – 1000	100 – 500
	Campo de heliostatos (HFC)	Punto	100 – 1500	150 – 2000

Fuente: Kalogirou, 2004

1.4.1.1 Colectores estacionarios. Los colectores solares estacionarios se distinguen por su falta de movimiento o rotación, ya que son fijados permanentemente y no siguen la posición del sol. Además, tienen una razón de concentración baja (entre 1 y 5) y un rango bajo de temperatura. En esta categoría se encuentran los siguientes:

a) Colector solar plano

Consiste en una superficie plana que absorbe radiación solar y la transmite a un fluido caloportador que circula dentro de tuberías que pasan a través del colector (ver figura 13).

**Figura 13.** Colector de placa plana FK 500

Fuente: SOLFEX, 2020

b) Colector de tubos de vacío

Consiste en un conjunto de tubos de vidrio sellados al vacío y conectados a un distribuidor. Tal como se observa en la figura 14, cada uno cuenta con uno o varios tubos de calor que contiene una pequeña cantidad de fluido, el cual cumple un ciclo en el que se evapora y condensa mientras le transfiere energía térmica al fluido caloportador. (Kalogirou, 2004)



Figura 14. Colector de tubos de vacío Vitosol 300-TM

Fuente: Viessmann, 2020

c) Colector parabólico compuesto

Consiste en un conjunto de tubos calentados por múltiples reflectores internos dispuestos en una forma parabólica, capaces de captar cualquier radiación dentro del ángulo de aceptación (ver figura 15). Este tipo de colectores tienen la capacidad de reflejar al absorbedor toda la radiación incidente de varios ángulos debido a su forma parabólica. (Kalogirou, 2004)



Figura 15. Colector parabólico compuesto NERO

Fuente: Solarbayer, 2020

1.4.1.2 Colectores concentradores con seguimiento. Los colectores solares concentradores con seguimiento logran alcanzar mayores temperaturas que los colectores estacionarios, debido a que tienen superficies reflectantes cóncavas que interceptan y enfocan la radiación solar a un área de recepción más pequeña. (ver figura 16). Estos suelen seguir la trayectoria del sol y dependiendo de su movimiento se dividen en 2 categorías: de eje único y con seguimiento de 2 ejes. (Lozano, 2019)

Entre los tipos de colectores concentradores con seguimiento en un eje se destacan los mencionados en la tabla 1, es decir, los colectores cilindro parabólicos (PTC), los colectores cilíndricos (CTC) y los colectores Fresnel (LFR). Entre los tipos de colectores concentradores con seguimiento en dos ejes se destacan los colectores con concentrador con forma de disco parabólico (PDR) y los campos de heliostatos (HFC), los cuales son empleados en las centrales termosolares para la producción de energía eléctrica.

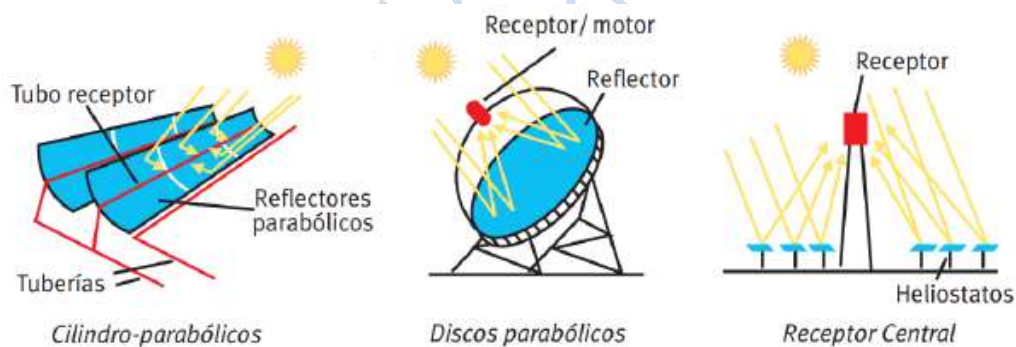


Figura 16. Tipos de colectores concentradores con seguimiento

Fuente: Lozano, 2019

1.4.2 Captador solar de placa plana

Son típicamente usados en el calentamiento pasivo de agua y de edificaciones con el propósito de aprovechar energía renovable en vez de combustibles fósiles o energía eléctrica. Por lo general se ubican en los techos de las viviendas para aprovechar la energía del sol, no obstante, deben estar diseñados para resistir condiciones exteriores (lluvia, nieve, granizo, polvo, entre otros) y las altas y bajas temperaturas a las cuales está expuesto. Se recomienda su uso, debido a que los colectores solares pueden absorber energía tanto directa como difusa del sol, por lo que es posible su funcionamiento durante días nublados, además mediante el uso de acumuladores de calor se puede extender su uso hasta la noche. (Michaelides, 2012)

Se le atribuye a H.B. Saussure como el inventor del captador solar con fluido líquido durante la segunda mitad del siglo XVIII, pero también se reconoce a Herschel y Telier como investigadores de los años 1837 y 1885 respectivamente, que ensayaron en colectores muy semejantes a los actuales (CENSOLAR, 2007).

1.4.2.1 Principio de funcionamiento del colector de placa plana. Su funcionamiento está basado en el efecto invernadero, tal como se muestra en la figura 17. Este se presenta cuando los rayos incidentes del sol de baja longitud de onda ($0.3 - 3 \mu\text{m}$) atraviesan la cubierta transparente y calientan una superficie metálica, que funciona como un absorbedor de calor y que emite radiación de alta longitud de onda ($3 - 30 \mu\text{m}$) los cuales no pueden escapar debido a que la cubierta transparente funciona como un filtro paso bajo, por lo que dicha radiación es aprovechada para calentar al fluido que circula a través del colector. (CENSOLAR, 2007)

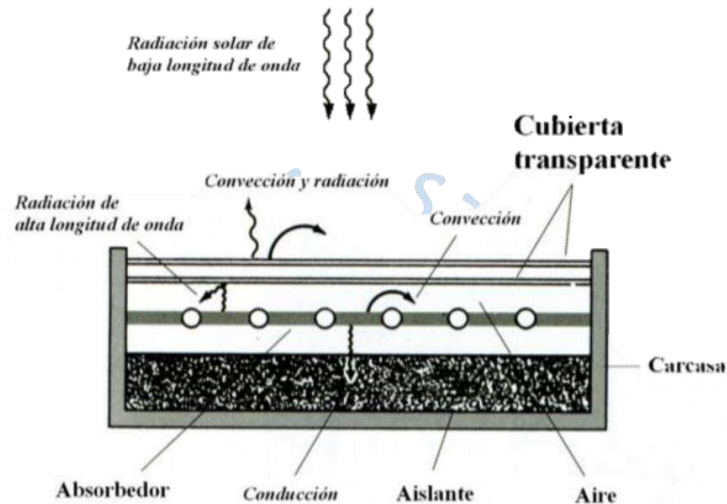


Figura 17. Funcionamiento de un colector solar de placa plana
Fuente: Lozano, 2019

1.4.2.2 Elementos del colector de placa plana. El captador o colector de placa plana está constituido por los siguientes elementos principales (ver figura 18):

a) Cubierta transparente

La cubierta transparente es un elemento plano ubicado en la parte superior del colector solar. Su función es reducir las pérdidas por radiación y convección, y proteger al colector solar frente a agentes externos tales como lluvia, humedad u otro, para evitar su deterioro. Debe ser transparente para permitir mayor aprovechamiento de la radiación solar y debe poder restringir el paso de las altas longitudes de onda. Además, debe tener un coeficiente de dilatación pequeño para evitar riesgo de rotura o deformación y resistencia ante choques, los cuales pueden ser generados por granizo, piedras u otros accidentes. Se suele utilizar vidrio en vez de materiales plásticos, debido a que son más duraderos y cumplen con todas las características antes mencionadas. Para condiciones climáticas con mayor viento y mayor radiación, como en instalaciones en alta montaña, se recomienda el uso de cubiertas de doble vidrio; no obstante, no se suele fabricar debido a que incrementa el costo del colector (CENSOLAR, 2007).

b) Absorbedor

El absorbedor es una superficie metálica plana, cuyo material por lo general es de cobre debido a su buena conductividad térmica, aunque en menor frecuencia también puede ser de aluminio o acero. Su función es recibir la radiación solar, transformarla y transferir el calor acumulado dentro del colector por conducción a las tuberías de cobre, que pueden estar soldadas a él, para que así el calor pueda ser transmitido al fluido caloportador que circula a través de él. Se recomienda que la cara expuesta del absorbedor esté recubierta por un revestimiento, tales como pintura negra o superficies selectivas, para absorber de manera efectiva los rayos solares.

c) Carcasa

La carcasa es el recinto que contiene a los componentes del colector, los protege y les da rigidez. Su material suele ser de aluminio, acero inoxidable o materiales plásticos reforzados con fibra de vidrio, debido a que debe ser resistente ante impactos, corrosión y cambios de temperatura.

d) Aislamiento

El aislamiento se incorpora en los laterales y en la parte inferior del colector solar, suele ser de lana de vidrio o lana mineral. Su función es reducir las pérdidas térmicas por conducción para contener eficientemente el calor dentro del colector. Este debe ser capaz de resistir altas temperaturas, a las que está expuesto en épocas de verano. Se recomienda proteger el aislante de la humedad, debido a que pierde varias de sus propiedades al humedecerse.

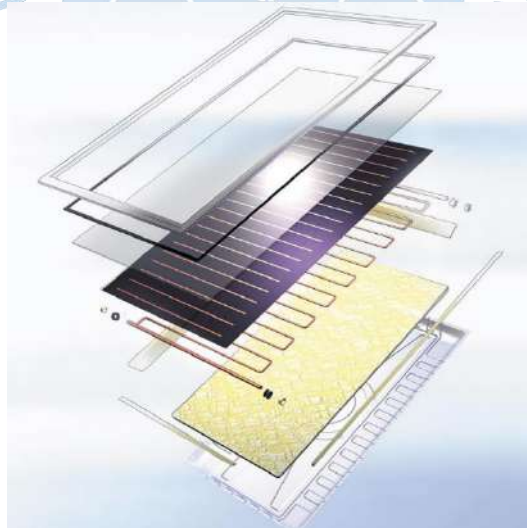


Figura 18. Explosionado de un colector solar de placa plana
Fuente: WOLF, 2020

1.4.2.3 Rendimiento. El rendimiento de los colectores solares depende de la relación entre la energía térmica extraída por el fluido caloportador y la radiación solar que incide sobre los colectores. Entre los varios parámetros que intervienen, se destacan los siguientes: pérdidas por reflexión y orientación de los colectores solares.

Las pérdidas por reflexión afectan directamente a la radiación incidente sobre los colectores solares ya que solo dejan que una parte sea aprovechada y, por lo tanto, no permiten que dicha energía sea transferida al fluido. Con respecto a la orientación, se recomienda que la orientación de los colectores sea hacia el sur en zonas ubicadas en el hemisferio norte, mientras que para el hemisferio sur se recomienda una orientación hacia el norte, para un mayor aprovechamiento de la radiación solar. La orientación también incluye en ángulo del colector con respecto a la horizontal, el cual depende tanto de la inclinación del techo de las viviendas donde será instalado y de la latitud en la que se encuentren ubicados.

Los captadores solares son probados mediante ensayos bajo condiciones estables de radiación solar para determinar su índice de eficacia η y se expresa con la ecuación (1) (CENSOLAR, 2007):

$$\eta = F_R \cdot (\tau\alpha) - U_L \cdot \frac{(T_{in} - T_{amb})}{I} \quad (1)$$

En dicha ecuación, el producto de $F_R \cdot (\tau\alpha)$ es el rendimiento óptico, es decir, es el rendimiento correspondiente al colector si no existiesen pérdidas térmicas. Considerando a $\tau\alpha$ y U_L como constantes, la ecuación se representaría como una recta. No obstante U_L no es necesariamente constante por lo que, para una mayor precisión, el rendimiento de un colector solar se puede calcular y expresar de manera cuadrática con el modelo físico de la ecuación (2) (Martínez, 2010):

$$\eta = \eta_o - k_1 \cdot \frac{(T_{in} - T_{amb})}{G_{REF}} - k_2 \cdot \frac{(T_{in} - T_{amb})^2}{G_{REF}} \quad (2)$$

Se puede observar que, en ambas ecuaciones, el rendimiento depende tanto de la temperatura del fluido caloportador (T_{in}) como de la irradiancia sobre la superficie del colector (I , G_{REF}) siendo los demás parámetros, coeficientes obtenidos mediante ensayos. Mientras mayor sea la temperatura de entrada del fluido, menor es el rendimiento del colector, por lo que se condiciona a los colectores solares de placa plana para funcionar en condiciones en las que la temperatura de trabajo es baja.

1.4.2.4 Conexión de colectores solares. En el caso de instalación en el que se requieren más de un colector solar, estos se pueden conectar del siguiente modo:

a) Conexión en serie

Se mantiene un mismo caudal a través de los colectores, y se obtienen temperaturas más altas, ya que la temperatura de salida de un colector es la temperatura de entrada del siguiente. No obstante, esto disminuye el rendimiento de los colectores (ver figura 19).

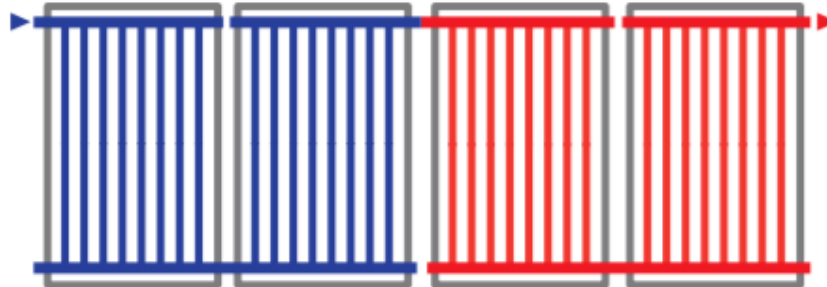


Figura 19. Conexión de una batería de colectores en serie

Fuente: Martínez, 2010

b) Conexión en paralelo

El caudal total de la batería de colectores es distribuido entre cada uno y se obtiene la misma temperatura a la salida de cada colector, sin afectar el rendimiento de cada uno (ver figura 20). Para ello, se debe asegurar que el flujo sea uniforme en todos los colectores y se debe respetar el número máximo de conexiones indicadas según el fabricante.

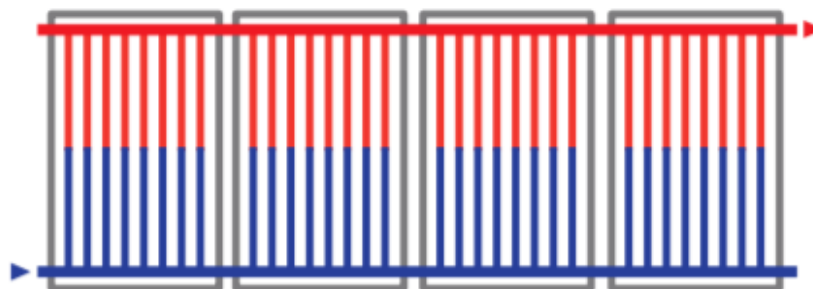


Figura 20. Conexión de una batería de colectores en paralelo

Fuente: Martínez, 2010

1.5 Sistema solar térmico

El sistema solar térmico es el conjunto de componentes requeridos para asegurar el funcionamiento efectivo y eficiente de los colectores solares, componente esencial en el uso de energía solar. El sistema está compuesto acumuladores, intercambiadores, válvulas, bombas, entre otros. Un sistema solar térmico se puede dividir en los siguientes circuitos:

a) Circuito primario

Permite la circulación del fluido caloportador a través de los colectores y la transporta hasta el intercambiador. El fluido puede ser agua o una mezcla entre agua y glicol (anticongelante).

b) Circuito secundario

Permite la circulación del agua calentada en el intercambiador por el circuito primario y la transfiere al depósito de acumulación.

c) Circuito de consumo

Transporta el ACS al sistema de apoyo energético y la distribuye a los puntos de consumo.

1.5.1 Elementos

En los sistemas solares térmicos se pueden diferenciar 6 elementos básicos:

- Sistema de captación: Se encarga de transformar la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura del fluido caloportador.
- Sistema de acumulación: Almacena el agua caliente producida hasta que se necesite su uso.
- Sistema de intercambio: Realiza la transferencia de calor entre el fluido caloportador del circuito primario y el fluido del circuito secundario (agua de consumo).
- Sistema de apoyo (auxiliar o de respaldo): Suministra la energía necesaria que complementa el aporte solar para cubrir el consumo de ACS cuando el recurso solar es inexistente, escaso o insuficiente.
- Red hidráulica: Constituye el conjunto de tuberías, accesorios, bombas, válvulas, entre otros, que interconectan los distintos circuitos y abarcan desde el sistema de captación hasta los puntos de consumo.
- Sistema eléctrico y de control: Se encarga del correcto funcionamiento de la instalación organizando el arranque y parada de bombas, las posibles actuaciones de las válvulas de tres vías (si las hubiera) y cualquier otra actuación electromecánica del sistema.

1.5.2 Clasificación

Se pueden clasificar dependiendo de las variaciones entre los elementos antes mencionados.

a) Según la circulación del fluido primario:

Termosifón: Dentro del colector, se aprovecha el cambio de densidad del fluido cuando se calienta, por lo que naturalmente el fluido caliente se mantiene arriba mientras que el frío baja generando una corriente de convección. Tal como se observa en la figura 21, se sitúa un depósito de agua ubicado a un mayor nivel que el del colector y se aprovecha la energía emitida del fluido para calentar el agua contenida en el depósito.



Figura 21. Sistema solar con termosifón
Fuente: T*SOL 2018

Forzada: El sistema fuerza la circulación del fluido primario mediante el accionamiento de una bomba, dependiendo de la variación de temperatura del circuito, para que este circule a través de los colectores solares, y transfiera su energía al acumulador (ver figura 22). Se utiliza cuando el acumulador se ubica en un depósito aparte y no en la parte superior del colector, debido a las dimensiones del acumulador o por la disposición del espacio.



Figura 22. Sistema solar con circulación forzada
Fuente: T*SOL 2018

b) Según el circuito:

Circuito abierto: El agua de uso sanitario es calentado directamente a través de los colectores y acumulado en un depósito para su consumo cuando sea necesario. Tal como se muestra en la figura 23, no necesita de intercambiadores de calor ni de fluido caloportador. Se recomienda su uso cuando no es necesario aplicar anticongelantes (glicol) y se tiene baja demanda de agua caliente.

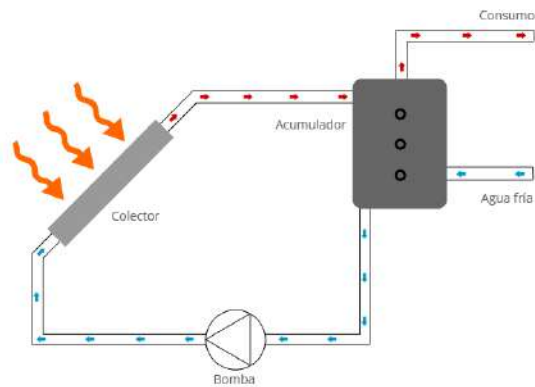


Figura 23. Sistema solar con circuito abierto

Fuente: <http://www.ekidom.com>

Circuito cerrado: El agua de uso sanitario es calentada a través de intercambiadores de calor por el fluido primario precalentado mediante radiación solar (ver figura 24). El fluido de trabajo puede ser una mezcla entre agua y glicol.

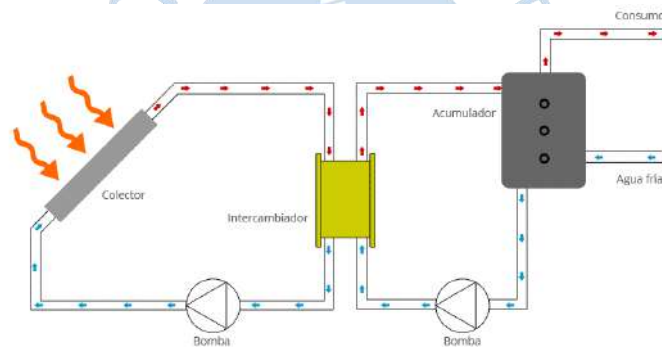


Figura 24. Sistema solar con circuito cerrado

Fuente: Ekidom, 2020

c) Según el tipo de intercambio de calor:

Intercambiador interno: El intercambio de calor se realiza dentro del acumulador, denominados interacumuladores, tal como se observa en la figura 25.

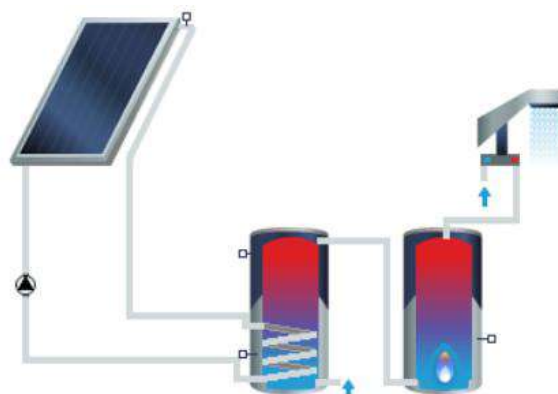


Figura 25. Sistema solar con intercambiador interno

Fuente: T*SOL 2018

Intercambiador externo: El intercambio de calor se realiza en intercambiadores independientes y mediante el uso de bombas, el fluido circula al acumulador, como se muestra en la figura 26.

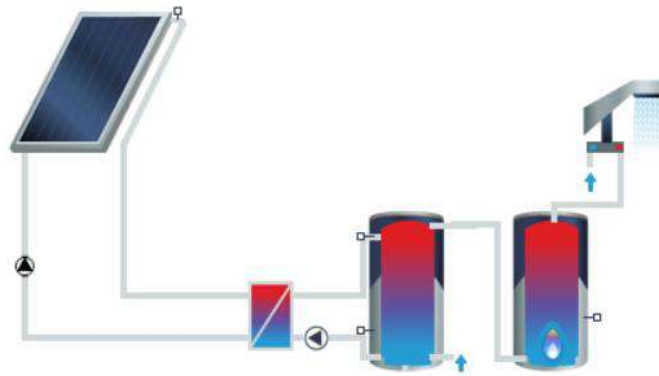


Figura 26. Sistema solar con intercambiador externo

Fuente: T*SOL 2018

d) Según el sistema auxiliar de energía o de apoyo energético:

Instantáneo: El agua precalentada pasa directamente a través de calderas instantáneas cuando el usuario lo requiere, para suministrar la energía necesaria que cubre la demanda de agua. (Ver figura 27).



Figura 27. Sistema solar con apoyo energético instantáneo

Fuente: T*SOL 2018

Con acumulación: Antes de ser utilizada, el agua precalentada se acumula en un depósito secundario donde se suministra, mediante energía convencional (eléctrica o a gas), la energía no brindada por el sistema solar para cubrir la demanda. (Ver figura 28).

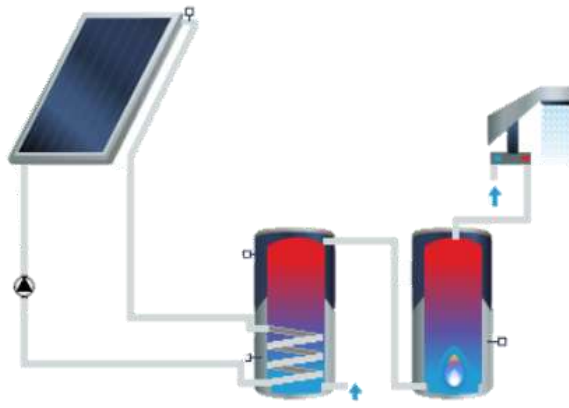


Figura 28. Sistema solar con apoyo energético con acumulación
Fuente: T*SOL 2018

e) En el caso de edificios multifamiliares, según la configuración:

Completamente centralizado: La instalación solar tiene una única alimentación de agua fría para la instalación solar y el agua calentada se distribuye a las viviendas. Tal como se muestra en la figura 29, se determina el consumo de agua de cada vivienda instalando dos acometidas, una para el agua caliente y otra para el agua fría.

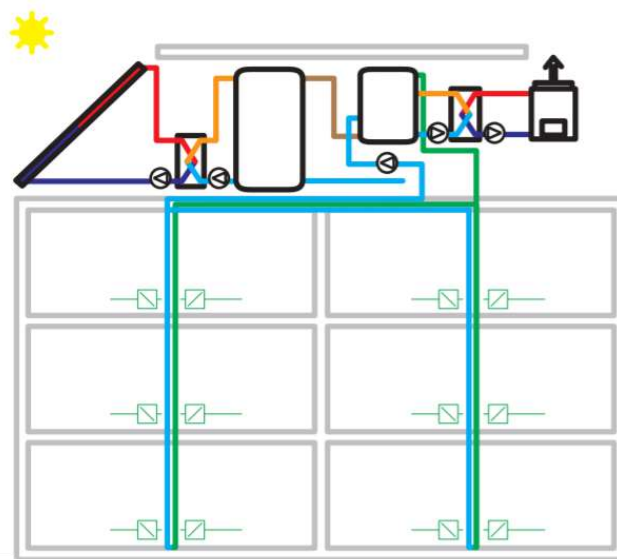


Figura 29. Sistema solar de configuración completamente centralizada
Fuente: Martínez, 2010

Acumulación centralizada y apoyo distribuido: La instalación solar solo precalienta el agua, pero cada vivienda dispone de su propio sistema auxiliar (apoyo energético). Tal como se observa en la figura 30, se dispone de una termo o caldera y dos acometidas por vivienda, una para el agua caliente y otra para el agua fría.

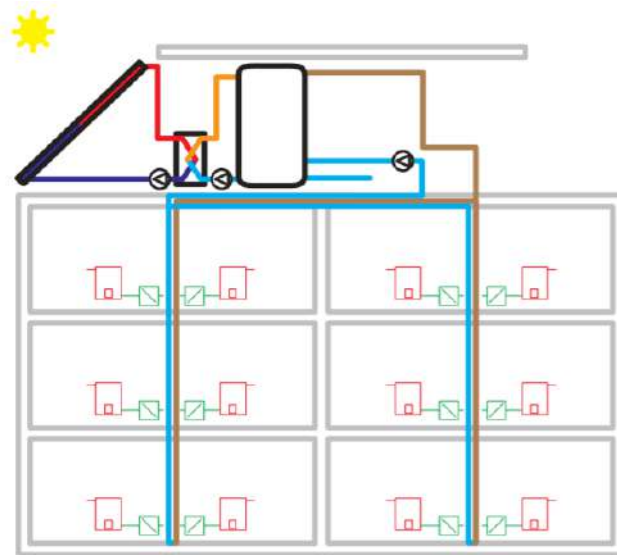


Figura 30. Sistema solar con acumulación centralizada y apoyo distribuido

Fuente: Martínez, 2010

Acumulación distribuida: La instalación solar dispone de interacumuladores dentro de cada vivienda, que son calentados a través de un circuito cerrado con fluido precalentado por energía solar. (Ver figura 31). El consumo de agua se determina a través de una sola acometida por vivienda, ya que el agua fría se calienta individualmente en cada una de ellas.

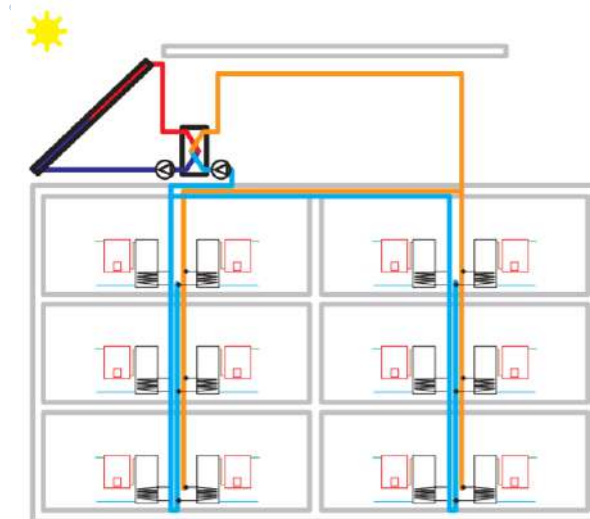


Figura 31. Sistema solar con acumulación distribuida

Fuente: Martínez, 2010

Intercambio distribuido: La instalación solar dispone de intercambiadores de calor en cada vivienda, que son calentados por el circuito cerrado con acumuladores centralizados de agua no potable precalentada. (Ver figura 32). El consumo de agua se determina a través de una sola acometida por vivienda, ya que el agua fría se calienta individualmente.

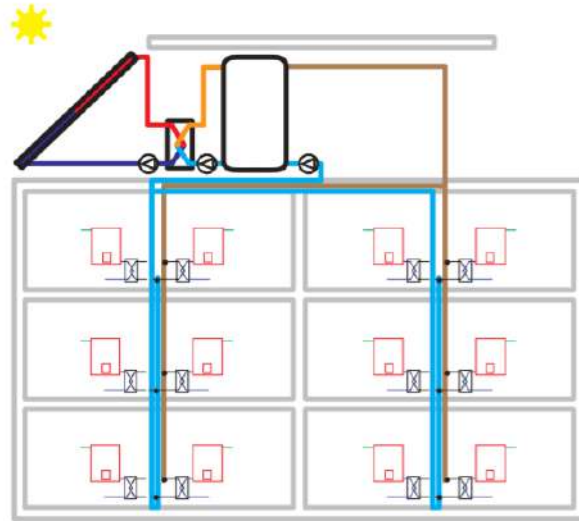


Figura 32. Sistema solar con intercambio distribuido
Fuente: Martínez, 2010



Capítulo 2

Aspectos generales

2.1 Caso de estudio

La residencia multifamiliar a la que se le selecciona el sistema de ACS mediante el uso y aprovechamiento de la energía solar térmica consta de 2 casas y un edificio de 5 departamentos. El condominio está ubicado en la urbanización San Eduardo de Piura. La distribución se podrá observar con detalle en el plano A y plano B, respectivamente.

2.1.1 Ubicación geográfica del proyecto

La ubicación geográfica es un factor importante del proyecto debido a que, a través de esta, se puede definir la latitud y longitud, que a su vez da la posibilidad de tener mayor exactitud en la recopilación de los datos climatológicos de la zona. En la tabla 2 se indican los datos considerados para Piura. En el caso específico de la Urb. San Eduardo se tiene:

Tabla 2. Ubicación, temperatura e irradiación de Piura

Departamento de Piura	
Latitud	5°10'28.1"S
Longitud	80°37'53.5"W
Temperatura (°C)	20-27
Irradiación (kWh/m ²)	4.5 - 6

Fuente: Google Maps y SENAMHI

2.1.2 Edificio multifamiliar

El edificio multifamiliar consta de 5 pisos con un departamento, de 130 m² con la misma distribución arquitectónica, por piso; adicionalmente dispone de un garaje con 5 espacios de estacionamiento para automóviles. En la tabla 3 se detalla el conjunto de habitaciones pertenecientes a cada departamento; asimismo, la tabla 4 proporciona la distribución de áreas para el edificio.

Tabla 3. Número de habitaciones por departamento

Departamentos	
Dormitorios	4
Baños	3
Cocina	1
Lavandería	1
Sala	1
Sala comedor	1
Estacionamiento	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Distribución de áreas para el edificio

Sección		Área ocupada [m ²]	Área techada [m ²]
Departamento 1		150.74	130.35
Departamento 2		131.15	131.15
Departamento 3		131.15	131.15
Departamento 4		131.15	131.15
Departamento 5		131.15	131.15
Azotea		50.31	0
Garaje	Estacionamiento 1	16.05	0
	Estacionamiento 2	14.55	0
	Estacionamiento 3	14.43	0
	Estacionamiento 4	14.04	0
	Estacionamiento 5	14.35	0

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Viviendas unifamiliares

Dentro del condominio hay 2 casas con un área techada de 245 m² cada una y de distribución similar. En la tabla 5 se detalla el conjunto de habitaciones pertenecientes a cada vivienda unifamiliar y en la tabla 6 se puede apreciar la distribución de áreas.

Tabla 5. Número de habitaciones por casa

Viviendas unifamiliares	
Baños	5
Cocina	1
Sala/comedor	1
Sala	1
Lavandería	1
Despensa	1
Balcón	2
Bodega	1
Estacionamiento	2
Dormitorios	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Distribución de áreas en las viviendas unifamiliares

Sección		Área ocupada [m ²]	Área techada [m ²]
Casa 1	Estacionamientos	36	36
	Piso 1	96.5	88.5
	Piso 2	112.2	106.7
	Azotea	112.2	0
Casa 2	Estacionamientos	36	36
	Piso 1	96.5	88.5
	Piso 2	112.2	106.7
	Azotea	112.2	0

Fuente: Elaboración propia

2.2 Condiciones climáticas

Los parámetros climáticos que influyen en el estudio son: la irradiación, las horas promedio de sol y la temperatura media durante dicho periodo de horas. Además, se debe considerar la temperatura ambiente y la temperatura del agua de la red en Piura. Los datos obtenidos pertenecen al año 2019 y fueron registrados a través de la estación meteorológica de la Universidad de Piura y se visualizan en el anexo A.

2.2.1 Irradiación global horizontal

Los datos de radiación solar que llegan a la tierra se miden a través de la irradiación global horizontal (GHI). Específicamente para Piura, se obtienen los valores mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Datos de GHI promedio por día en Piura

Mes	Irradiación Global Horizontal [MJ/m ²]
Enero	19.93
Febrero	17.73
Marzo	21.25
Abril	22.13
Mayo	19.98
Junio	19.26
Julio	19.31
Agosto	20.92
Setiembre	22.38
Octubre	22.67
Noviembre	20.62
Diciembre	21.09

Fuente: Estación meteorológica de la Universidad de Piura

2.2.2 Zona climática

La zona climática determina el porcentaje de aporte de los colectores dependiendo del rango de irradiación solar (H) en promedio de la ubicación del proyecto. De acuerdo con la tabla 8, se determina que Piura corresponde a la zona climática V.

Tabla 8. Criterio de zona climática según valores de irradiación

Zona	Irradiación [MJ/m ²]
I	$H > 13.7$
II	$13.7 \leq H < 15.1$
III	$15.1 \leq H < 16.6$
IV	$16.6 \leq H < 18.0$
V	$H \geq 18.0$

Fuente: (Perales, 2009)

2.2.3 Horas de sol

Las horas de sol es el tiempo en el cual se presenta una irradiancia mayor a 200 W/m² (CENSOLAR, 2007). De acuerdo con la estación de monitoreo de la UDEP, se muestran en la tabla 9 los valores mensuales para las horas de sol.

Tabla 9. Horas de sol promedio por mes en Piura

Mes	Horas de sol [h]
Enero	8.54
Febrero	7.64
Marzo	8.55
Abril	8.97
Mayo	8.64
Junio	8.46
Julio	8.36
Agosto	8.54
Setiembre	8.91
Octubre	8.92
Noviembre	8.68
Diciembre	9.10

Fuente: Estación meteorológica de la Universidad de Piura

2.2.4 Temperatura

En este apartado, se presenta la temperatura ambiente promedio de Piura durante el año 2019. Para la temperatura media durante las horas de sol, se obtuvo un promedio mensual de la temperatura ambiental durante las horas que cumplen la condición de irradiancia solar mayor a 200 W/m², ya que de acuerdo con CENSOLAR (2007) empíricamente este es el valor umbral desde el cual se puede aprovechar la energía por los colectores solares.

Para la temperatura del agua de la red, ya que no se obtiene información exacta, se estima que su valor son 2 °C menor que la temperatura ambiente promedio.

Tabla 10. Datos de temperaturas de la provincia de Piura

Mes	Temperatura ambiente [°C]	Temperatura media en horas de sol [°C]	Temperatura del agua de la red [°C]
Enero	27.23	30.13	25.23
Febrero	27.68	30.39	25.68
Marzo	27.76	30.82	25.76
Abril	26.29	29.54	24.29
Mayo	24.69	27.67	22.69
Junio	22.51	25.60	20.51
Julio	20.70	23.98	18.70
Agosto	20.12	23.64	18.12
Setiembre	20.66	24.20	18.66
Octubre	21.17	24.77	19.17
Noviembre	22.56	25.73	20.56
Diciembre	24.97	28.01	22.97

Fuente: Estación Científica de la Universidad de Piura

2.3 Agua caliente sanitaria (ACS)

Para cumplir la necesidad energética prevista en una instalación de ACS se debe definir el consumo de agua de los usuarios del proyecto; este deberá cumplir la normativa vigente.

2.3.1 Normativa

A continuación, se explican las normativas encontradas sobre el consumo de agua caliente de Perú y España.

2.3.1.1 Normativa peruana (Norma IS.010)

a) Consumos

Los criterios para determinar la demanda de ACS variarán según el tipo de establecimiento, por esa razón se pueden apreciar distintas tablas de consumo dependiendo del tipo de edificación. La norma IS.010 indica el consumo en residencias unifamiliares o multifamiliares, tal como se indica en la tabla 11.

Tabla 11. Consumo de agua caliente en residencias unifamiliares o multifamiliares

Número de dormitorios por vivienda	Dotación diaria en Litros
1	120
2	250
3	390
4	420
5	450
>5	A razón de 80L/d por dormitorio adicional

Fuente: Norma IS.010 - El Peruano

b) Almacenamiento y producción

La norma también comprende las capacidades de almacenamiento y producción de equipos para ACS, se tiene:

Tabla 12. Capacidades de almacenamiento y producción

Tipo de edificación	Capacidad del tanque de almacenamiento en relación a la dotación diaria en Litros	Capacidad horaria del equipo de producción de agua caliente en relación a la dotación diaria en Litros
Residencias	1/5	1/7
Hospedajes	1/7	1/10
Restaurantes	1/5	1/10
Gimnasios	2/5	1/7
Hospitales o similares	2/5	1/6

Fuente: Norma IS.010 - El Peruano

2.3.1.2 Normativa española. La norma española, obtenida del Código Técnico de Edificaciones (CTE) y de la guía técnica de ACS central, ambos del Ministerio de Fomento de España, es muy completa y detalla aspectos acerca de los sistemas ACS no considerados en otras normativas; sin embargo en el presente estudio se mencionan las más relevantes para la implementación del proyecto, es decir, aquellas relacionadas con la temperatura del agua, los consumos y la contribución solar mínima de aquellos sistemas que incluyan energías renovables.

a) Temperatura

El agua se deberá acumular a una temperatura de al menos 60 °C y la instalación deberá permitir que el agua alcance, como máximo, 70 °C; además se debe asegurar como mínimo 50 °C en los puntos más alejados. (IDAE, 2017)

Esta norma obedece a que se necesitan altas temperaturas dentro de los acumuladores de ACS para la prevención de la Legionelosis¹

b) Consumos

En cuanto a la demanda de referencia para ACS, se toma un consumo mínimo de 28 L/día · persona (a 60 °C) para cualquier tipo de edificación cuyo uso sea destinado al residencial privado. En la tabla 13 se muestra otro de los criterios establecidos por la normativa para determinar el número de personas de la vivienda según el número de dormitorios, así como un factor de centralización usado específicamente para viviendas multifamiliares en la tabla 14.

Tabla 13. Cálculo de número de personas

Número de personas según número de dormitorios							
Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	6+
Número de personas	1.5	3	4	5	6	6	7

Fuente: CTE (2016)

Tabla 14. Factor de centralización

Factor de centralización							
N° Viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70

Fuente: CTE (2016)

¹ La legionelosis, enfermedad del legionario o legionela es una enfermedad infecciosa provocada por una bacteria Gram negativa aeróbica, del género Legionella. Las altas temperaturas pueden matar la bacteria.

c) Contribución solar anual mínima

La guía técnica indica que, en caso se usen energías renovables, se debe tener un aporte mínimo porcentual de energía dependiendo de la zona climática en la que se encuentre la instalación. Según el tipo de energía del sistema auxiliar de apoyo energético, se puede utilizar la tabla 15 o tabla 16.

Tabla 15. Contribución solar mínima para sistemas ACS con apoyo energético de gas, propano u otros.

		Zonas Climáticas				
		I	II	III	IV	V
Consumos (L/día)	50-5000	30%	39%	50%	60%	70%
	5,000-6,000	30%	35%	55%	65%	70%
	6,000-7,000	30%	45%	61%	70%	70%
	8,000-9,000	30%	62%	63%	70%	70%
	10,000-12,500	30%	65%	63%	70%	70%
	12,500-15,000	30%	70%	70%	70%	70%
	15,000-17,000	35%	70%	70%	70%	70%
	17,500-20,000	45%	70%	70%	70%	70%
	>20,000	52%	70%	70%	70%	70%

Fuente: C.T.E. (2016)

Tabla 16. Contribución solar mínima para sistemas ACS con apoyo energético eléctrico.

		Zonas Climáticas				
		I	II	III	IV	V
Consumos (L/día)	50-1,000	50%	60%	70%	70%	70%
	1,000-2,000	50%	63%	70%	70%	70%
	2,000-3,000	50%	66%	70%	70%	70%
	3,000-4,000	51%	69%	70%	70%	70%
	4,000-5,000	58%	70%	70%	70%	70%
	5,000-6,000	62%	70%	70%	70%	70%
	>6,000	70%	70%	70%	70%	70%

Fuente: C.T.E. (2016)

2.3.2 Criterios para el desarrollo del proyecto

Según se observa en los apartados 2.3.1.1 y 2.3.1.2, a diferencia de España que cuenta con un marco legal muy sólido, Perú está en proceso de maduración y fortalecimiento en el uso y promoción de las energías renovables; en este sentido, la normativa nacional no hace referencia a la opción de uso de energías renovables ni tampoco especifica un rango de temperatura límite que deba alcanzar el ACS. Por estos motivos se decide seguir la normativa española para el proyecto.

2.3.2.1 Temperatura. En lo que respecta a la temperatura, el agua se mantendrá a 60 °C dentro del acumulador en todo momento, de acuerdo con la radiación disponible en el día.

2.3.2.2 Contribución solar mínima. Hay que tener en cuenta que la tabla 8 y la tabla 16, se desarrollaron tomando como base las características climatológicas de España; sin embargo, si la utilizamos como referencia para el desarrollo de la presente tesis, Piura sería considerada parte de la zona climática V. Por eso, la contribución solar mínima del sistema de colectores solares deberá ser de un 70 % considerando que usa un sistema de apoyo energético eléctrico.

2.3.2.3 Consumo. En cuanto al consumo, se respetarán los 28 L/día · persona mínimos que dicta la normativa española y se realizarán los cálculos según esa cantidad.

2.3.2.4 Temperatura de confort. Con el consumo de ACS, la temperatura de almacenamiento y la temperatura del agua de la red, se podrá calcular el consumo equivalente de agua a temperatura confort (35°C según IDAE 2004) utilizando la ecuación (3).

$$D_{T_c} = D_{60^\circ C} * \frac{60 - T_{red}}{T_c - T_{red}} \quad (3)$$

Donde:

- D_{T_c} : Demanda diaria de agua a temperatura confort [L/día · persona].
- $D_{60^\circ C}$: Demanda diaria de agua a una temperatura de 60°C [L/día · persona].
- T_c : Temperatura confort [°C].
- T_{red} : Temperatura del agua de la red [°C].

Considerando agosto, el mes más frío según los datos de la tabla 10 y la ecuación (3), se tiene:

$$D_i(T_c) = 28 * \frac{60 - 18.12}{35 - 18.12} \approx 70 \frac{L}{día \cdot persona}$$

Un consumo medio de 28 litros por persona por día de agua caliente a 60 °C equivale a 70 litros de agua a temperatura confort en el mes más frío del año.

2.3.2.5 Porcentaje de ocupación. Para que el cálculo de la contribución solar sea más exacto se deben estimar las demandas mensuales tomando en cuenta la ocupación de las instalaciones. Debido a que los inquilinos del condominio en su mayoría suelen realizar viajes familiares de verano a la playa de Colán, el porcentaje de ocupación en los meses de enero y febrero disminuye considerablemente, asimismo sucede en los meses de marzo, julio y diciembre, pero con menor incidencia. Haciendo un estimado según lo comentado por los inquilinos se tiene los porcentajes mostrados en la tabla 17:

Tabla 17. Porcentajes de ocupación mensual.

Mes	Porcentaje de ocupación
Enero	60 %
Febrero	60 %
Marzo	95 %
Abril	100 %
Mayo	100 %
Junio	100 %
Julio	95 %
Agosto	100 %
Setiembre	100 %
Octubre	100 %
Noviembre	100 %
Diciembre	95 %

Fuente: Elaboración propia

2.4 Colector solar

Considerando un requerimiento de ACS a 60 °C, según el apartado 2.3, el colector solar de placa plana es la mejor opción para el proyecto debido al rango de temperaturas en el que trabaja (de 30 a 90 °C). Teniendo en cuenta esto, la elección del modelo de colector a usar se toma según factores económicos (costos) y técnicos (eficiencia).

2.4.1 Colectores solares de placa plana

Para la evaluación, de la gran variedad de colectores de placa plana disponibles, se han considerado 7 modelos debido a que en sus fichas técnicas se encontraron detallados los coeficientes para la curva de rendimiento y, también, se obtuvo el precio del proveedor. En la tabla 18, se muestra un listado de dichos colectores junto con su precio de fábrica.

Tabla 18. Listado de colectores solares seleccionados

Modelo	Precio [US\$]
FK 250P	588.68
FK 250L	574.42
FK 500P	626.76
FK 500L	626.76
TopSon F3-1	751.34
TopSon F3-Q	816.67
TopSon CFK-1	609.78

Fuente: (Solar thermal, s.f.) (Colectores solares térmicos, s.f.)

2.4.2 Especificaciones técnicas de colectores solares

En la tabla 19 se muestran las características de los modelos del apartado anterior, las cuales se pueden encontrar en el anexo B.

Tabla 19. Datos técnicos de los colectores solares seleccionados

Modelo	Área de apertura [m ²]	Rendimiento óptico [%]	Coeficiente de pérdidas k1 [W/m ² K]	Coeficiente de pérdidas k2 [W/m ² K ²]
FK 250P	1.88	80.2	3.806	0.012
FK 250L	1.88	80.2	3.806	0.012
FK 500P	2.35	81.2	3.762	0.01
FK 500L	2.35	81.1	3.295	0.017
TopSon F3-1	2	80.4	3.235	0.0117
TopSon F3-Q	2	81.9	3.312	0.0181
TopSon CFK-1	2	71.2	3.5	0.0084

Fuente: (SOLFEX, 2015) (Colectores solares térmicos, s.f.)

El área de apertura de los colectores seleccionados redondea los 2 m² y tienen valores cercanos de rendimiento óptico a excepción del colector TopSon CFK-1.

2.4.3 Inclinação del colector solar

Los colectores solares deben estar posicionados con un ángulo de inclinación para asegurar un mejor aprovechamiento de la radiación solar.

2.4.3.1 Ángulo de inclinación. De acuerdo con Perales (2009), la tabla 20 se indican los criterios para determinar el mejor ángulo de inclinación para el colector solar.

Tabla 20. Criterio para determinar ángulo de inclinación

Periodo de utilización	Ángulo de inclinación
Anual con consumo constante	Latitud del lugar
Consumo preferente en invierno	Latitud del lugar + 10°
Consumo preferente en verano	Latitud del lugar – 10°

Fuente: (Perales, 2009)

Considerando que Piura tiene una latitud de 5°10' y que se requiere de un consumo mayor de ACS en invierno, es necesario que el ángulo de inclinación sea de 15° aproximadamente.

2.4.3.2 Factor de corrección k. Debido a que los valores de la tabla 7 están dados según la irradiación global a una superficie horizontal, se debe considerar un factor de corrección que depende de la latitud y del ángulo de inclinación. Para ello se toman los factores de corrección k del anexo C. No obstante, se debe considerar que dichos valores corresponden al hemisferio norte; para el hemisferio sur se debe considerar un desfase de 6 meses, debido a la declinación de la Tierra a lo largo del año.

A continuación, se muestran los factores de corrección k para la latitud más próxima a la de Piura y correspondientes al ángulo de inclinación determinado en el apartado anterior, siguiendo el desfase de 6 meses.

Tabla 21. Factores de corrección k para 5° de latitud y 15° de inclinación

Latitud 5° / Inclinación de 15°	
Mes	Factor de corrección k
Enero	0.9
Febrero	0.94
Marzo	0.99
Abril	1.04
Mayo	1.07
Junio	1.07
Julio	1.06
Agosto	1.03
Setiembre	0.99
Octubre	0.94
Noviembre	0.9
Diciembre	0.89

Fuente: (Certificación energética, s.f.)

Capítulo 3

Procedimiento

3.1 Metodología

A continuación, se detalla el procedimiento a realizar con el fin de obtener el número correspondiente de colectores solares para satisfacer la necesidad de ACS de acuerdo con las condiciones detalladas en el capítulo anterior. Esta metodología obedece a un procedimiento óptimo entre el requerimiento y la disponibilidad del recurso.

3.1.1 Demanda energética

Si se desea tener un sistema de calentamiento de agua, primero se debe analizar cuánta energía es necesaria para calentar una determinada cantidad de agua desde la temperatura del agua de la red hasta la temperatura deseada de 60 °C. Para la demanda energética se consideran los factores mostrados posteriormente.

3.1.1.1 Demanda diaria de agua caliente. La demanda diaria de agua caliente total se obtiene considerando la demanda diaria de agua caliente por persona (ver apartado 2.3.2.3); el número de personas presentes por vivienda (ver tabla 13); el número de viviendas con acceso al sistema de agua caliente y el factor de centralización, obtenido de la tabla 14. Este se establece con la ecuación (4).

$$D_{total} = D_{60^{\circ}C} \cdot N_{personas} \cdot N_{viviendas} \cdot f_{cent} \quad (4)$$

Donde:

- D_{total} : Demanda diaria de agua caliente total [L/día].
- $D_{60^{\circ}C}$: Demanda diaria de agua caliente por persona [L/día · persona].
- $N_{personas}$: Número de personas de la vivienda.
- $N_{viviendas}$: Número de viviendas.
- f_{cent} : Factor de centralización (ver tabla 14).

3.1.1.2 Consumo mensual de agua caliente. El consumo mensual de agua caliente es la cantidad de agua caliente utilizada por mes. Esta depende de la demanda diaria de agua caliente, el número de días por mes, el porcentaje de ocupación mensual de agua en la vivienda (ver tabla 17) y la densidad del agua. Su valor se obtiene con la ecuación (5).

$$m_{agua} = \rho_{agua} \cdot D_{total} \cdot N_{días} \cdot \%_{ocupación} \quad (5)$$

Donde:

- m_{agua} : Masa de agua mensual a calentar [t].
- ρ_{agua} : Densidad del agua [kg/L].
- $N_{días}$: Número de días por mes.
- $\%_{ocupación}$: Porcentaje de ocupación de la vivienda.

3.1.1.3 Demanda energética. Con los factores hallados anteriormente se calcula la demanda energética usando la ecuación (6).

$$Q_d = m_{agua} \cdot c_{e,agua} \cdot (T_{cal} - T_{red}) \quad (6)$$

Donde:

- Q_d : Demanda energética mensual [MJ].
- $c_{e,agua}$: Calor específico del agua [J/g · °C].
- T_{cal} : Temperatura deseada para el ACS [°C].
- T_{red} : Temperatura de la red de agua mensual [°C].

Es posible apreciar que cada mes tiene una demanda energética distinta, ya que la temperatura de la red de agua cambia mensualmente, tal como se observa en la tabla 10, y el porcentaje de ocupación varía según el comportamiento de los usuarios (ver tabla 17).

Para hallar la demanda energética anual, se realiza la sumatoria de la demanda energética de todos los meses, como se expresa en la ecuación (7).

$$Q_{d,a} = \sum_{i=1}^{12} Q_{d,i} \quad (7)$$

Donde:

- $Q_{d,a}$: Demanda energética anual [MJ].

3.1.2 Disponibilidad energética

La disponibilidad energética es la energía del sol recibida por los colectores solares para su aprovechamiento. Esta se calcula dependiendo de la radiación solar que incide en la zona de interés y del rendimiento del colector solar.

3.1.2.1 Energía solar disponible. La energía solar disponible es la energía que incide sobre los captadores. Para su cálculo, es necesario determinar los valores de irradiación global horizontal en la zona de interés (ver apartado 2.2.1) y el uso de factores para determinar con mayor exactitud su valor.

Esta energía se obtiene a través de la ecuación (8):

$$E = 0.94 \cdot H \cdot k \cdot f_{\text{corrección}} \quad (8)$$

Donde:

- E : Energía solar disponible diaria [MJ/m^2].
- H : Irradiación global horizontal promedio por día [MJ/m^2].
- k : Factor de corrección k para superficies inclinadas (ver tabla 21).
- $f_{\text{corrección}}$: Factor de corrección.

De acuerdo con CENSOLAR (2007), se debe considerar el efecto de la energía que no es aprovechada, ya que al no superar el umbral de 200 W/m^2 , no se logra calentar el fluido caloportador a pesar de recibir radiación solar. Se estima que esta pérdida de energía equivale al 6 %, motivo por el cual se utiliza un factor de 0.94 en la ecuación (8).

Además, se deben tener en cuenta los siguientes criterios para $f_{\text{corrección}}$: si la zona se ubica en zonas montañosas o tiene valores muy bajos de polución, se considera un factor de corrección de 1.05; en el caso de tener altos valores de polución, se considera de 0.95; también se puede estimar un factor de corrección correspondiente a obstáculos que generen sombra durante el invierno o a otros factores tales como microclimas, neblinas frecuentes, reflexiones que puedan incrementar la irradiación, entre otros (CENSOLAR, 2007).

3.1.2.2 Rendimiento del colector solar. El rendimiento del colector solar depende de las condiciones climáticas mensuales, por lo que es necesario considerar su valor mensual para así obtener un cálculo más preciso al momento de hallar la energía solar neta útil.

a) Irradiancia

La irradiancia es el cociente de la energía disponible solar (E) entre el número de horas promedio de sol (ver tabla 9), el cual fue obtenida a través de la estación de monitoreo de la UDEP tomando en cuenta el promedio de las horas cuya radiación fue mayor a 200 W/m^2 , de acuerdo con lo expresado por CENSOLAR (2007). Este valor se utiliza para hallar el rendimiento del colector solar y se obtiene mediante la ecuación (9).

$$I = \frac{E \cdot 10^6}{h_{\text{sol}} \cdot 3600} \quad (9)$$

Donde:

- I : Irradiancia [W/m^2].
- h_{sol} : Horas promedio de sol mensuales.

b) Rendimiento mensual

El rendimiento mensual del colector solar se obtiene considerando la irradiancia y los factores que se pueden encontrar en las fichas técnicas del colector solar. Su cálculo se puede obtener mediante distintas ecuaciones, tanto cuadráticas como lineales; no obstante, el rendimiento de los colectores solares seleccionados en el apartado 2.4.1 viene determinado por la ecuación (10), similar a la ecuación (2).

$$\eta_m = 0.94 \cdot \eta_o - k_1 \left(\frac{T_{cal} - T_{amb}}{I} \right) - k_2 \left(\frac{(T_{cal} - T_{amb})^2}{I} \right) \quad (10)$$

Donde:

- η_m : Rendimiento mensual del colector solar.
- η_o : Rendimiento óptico o factor de ganancia según ficha técnica.
- k_1 : Coeficiente de pérdidas [W/m²K].
- k_2 : Coeficiente de pérdidas [W/m²K²].
- T_{amb} : Temperatura ambiente promedio mensual [°C].

Los coeficientes η_o , k_1 y k_2 se pueden obtener de las fichas técnicas de cada colector, también se muestran en la tabla 19. El factor de corrección de 0.94 toma en cuenta que los rayos del sol no caen de forma perpendicular al colector solar y también considera factores como suciedad y envejecimiento del colector solar que pueden afectar el rendimiento óptico del colector solar (CENSOLAR, 2007).

3.1.2.3 Energía solar neta útil. La energía solar neta útil es la energía aprovechada por los colectores solares para calentar el agua de la red. Esta se obtiene multiplicando el rendimiento mensual del colector (η_m) con la energía solar disponible (E) y el número de días, considerando los factores de pérdidas, los cuales se estiman entre un 15 y 20% (CENSOLAR, 2007). Esta energía puede ser calculada con la ecuación (11).

$$E_{neta} = f_p \cdot \eta_m \cdot E \cdot N_{días} \quad (11)$$

Donde:

- E_{neta} : Energía solar neta útil mensual [MJ/m²].
- f_p : Factor de pérdidas.

El factor f_p considera aquellas pérdidas de calor dadas en los elementos de la instalación, incluyendo las del acumulador de agua y el intercambiador de calor. Se recomienda estimar este factor a un 15 %; sin embargo, para los casos en los que el consumo de ACS no sea uniforme o se dé principalmente en la mañana se estima un factor de un 20 % de pérdidas, mientras que para los casos en el que el consumo es principalmente en la noche o el acumulador se encuentra en un ambiente con calefacción se estima usar un 10 % de pérdidas (CENSOLAR; 2007). Para este estudio, se considera que dichas pérdidas corresponden a un 15% de la energía, y por lo tanto se utiliza un factor de 0.85.

Cada mes se obtienen distintos valores de energía solar neta útil (E_{neta}), ya que los datos climatológicos varían mensualmente (ver apartado 2.2). Para calcular la energía solar neta útil anual, se realiza la sumatoria de la energía solar neta útil de todos los meses, como se expresa en la ecuación (12).

$$E_{neta,a} = \sum_{i=1}^{12} E_{neta,i} \quad (12)$$

Donde:

- $E_{neta,a}$: Energía solar neta útil anual [MJ/m²].

3.1.3 Aporte solar del sistema

El aporte solar del sistema indica qué porcentaje de la demanda energética está siendo cubierta por el sistema de colectores; para determinarlo se necesitará encontrar previamente el área de captación solar requerida, el número de colectores a utilizar y la energía solar neta útil.

3.1.3.1 Área de captación solar requerida. El área de captación solar requerida es el área necesaria de colectores para satisfacer la demanda energética. Para calcularla se necesita tanto la demanda energética como la energía solar neta útil anual; además se deberá tener en cuenta que la contribución solar mínima con la que se debe diseñar es de 70 % (ver apartado 2.3.2). El procedimiento para el cálculo se define por medio de la ecuación (13).

$$A_{solar} = \frac{0.7 \cdot Q_{d,a}}{E_{neta,a}} \quad (13)$$

Donde:

- A_{solar} : Área de captación solar requerida [m²].

3.1.3.2 Número de colectores. El número de colectores es la cantidad de colectores solares necesarios para alcanzar el área de captación solar requerida. Para hallarlo se debe recurrir a la ecuación (14); donde se divide el área de captación solar obtenida anteriormente y el área de apertura (o área útil) de cada colector, dato que se puede obtener de la tabla 19.

$$N_c \geq \frac{A_{solar}}{A_c} \quad (14)$$

Donde:

- N_c : Número de colectores solares.
- A_c : Área de apertura o área útil del colector solar [m²].

El número de colectores solares siempre debe aproximarse al entero superior más próximo para satisfacer la demanda energética. No obstante, esto genera que el área de captación total del sistema no siempre coincida con el área de captación requerida; para ello se utiliza la ecuación (15).

$$A_{capt,t} = N_c \cdot A_c \quad (15)$$

Donde:

- $A_{capt,t}$: Área de captación total del sistema [m^2].

3.1.3.3 Energía aportada por el sistema. La energía aportada por el sistema es la cantidad de energía total que el sistema de colectores brindaría. Para hallarlo se debe recurrir a la ecuación (16).

$$E_{col} = E_{neta} \cdot A_{capt,t} \quad (16)$$

Donde:

- E_{col} : Energía mensual aportada por el sistema [MJ].

Para hallar la energía anual aportada por el sistema, se utiliza la energía solar neta útil anual en lugar de la mensual, como se expresa en la ecuación (17).

$$E_{col,a} = E_{neta,a} \cdot A_{capt,t} \quad (17)$$

Donde:

- $E_{col,a}$: Energía anual aportada por el sistema [MJ].

3.1.3.4 Aporte solar. El porcentaje de aporte solar es la relación entre la energía total aportada por el sistema, y la demanda energética requerida de todo el año; para su cálculo se tiene que considerar el criterio descrito en la ecuación (18)

$$E'_{col} = \begin{cases} E_{col}, & E_{col} < Q_d \\ Q_d, & E_{col} \geq Q_d \end{cases} \quad (18)$$

Donde:

- E'_{col} : Energía mensual aportada por el sistema modificada [MJ].

Dicho criterio se toma en cuenta debido a que, al considerar el exceso de energía solar disponible sobre la energía demandada en los meses de verano, podría darse la impresión de que se está aportando dicho exceso energético en aquellos meses donde no se satisface la demanda al 100 %, y por lo tanto ocasionando que el cálculo de porcentaje de aporte solar no sea tan fiel a la realidad.

Debido a este motivo, para hallar el aporte solar mensual de manera más precisa, se tiene que seguir el proceso descrito en la ecuación (19).

$$\%_{solar} = \frac{E'_{col}}{Q_d} * 100 \quad (19)$$

Donde:

- $\%_{solar}$: Porcentaje de aporte solar.

En caso de que se quiera hallar el aporte solar del sistema anual, antes, se debe hallar la energía anual aportada por el sistema modificada mediante la ecuación (20); para así, finalmente aplicar la ecuación (21).

$$E'_{col,a} = \sum_{i=1}^{12} E'_{col,i} \quad (20)$$

Donde:

- $E'_{col,a}$: Energía anual aportada por el sistema modificada [MJ].

$$\%_{solar,a} = \frac{E'_{col,a}}{Q_{d,a}} \cdot 100 \quad (21)$$

Donde:

- $\%_{solar,a}$: Porcentaje de aporte solar anual.

3.2 Cálculos

A continuación, se detallan los cálculos realizados de acuerdo con el procedimiento mencionado en el apartado anterior. Se consideran los 7 modelos de colectores, tanto para el edificio multifamiliar (compuesto por 5 departamentos), como para las viviendas unifamiliares (compuestas por 2 casas). No obstante, solo se han desarrollado los cálculos para una de las viviendas unifamiliares debido a que ambas casas, al tener la misma distribución, comparten el mismo resultado.

Este apartado permite comparar los modelos de colectores elegidos a partir del aporte solar de cada uno con el fin de poder seleccionar el más eficiente.

3.2.1 Cálculo de demanda energética

Tal como se mencionó en el apartado 3.1.1, se debe calcular la demanda energética de las viviendas considerando el consumo indicado por la normativa española de 28 litros diarios por persona. Una vez calculada la demanda diaria de agua caliente, mostrados en la tabla 22 mediante la ecuación (4), se calcula la demanda energética de las viviendas.

Tabla 22. Datos y cálculo de la demanda diaria de agua caliente

Datos	Edificio multifamiliar	Vivienda unifamiliar
$D_{60^{\circ}C}$	28 L/día • persona	28 L/día • persona
$N_{personas}$	5	5
$N_{viviendas}$	5	1
f_{cent}	0.95	1
D_{total}	665 L/día	140 L/día

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.1 Cálculo del consumo mensual de agua caliente. El consumo mensual de agua caliente se determinó utilizando la ecuación (5), en la cual se multiplica la densidad del agua, cuyo valor es de 1 kg/L; la demanda diaria de agua caliente, hallada anteriormente; el número de días por mes y el porcentaje de ocupación mensual mostrado en la tabla 17. A continuación, se muestra el cálculo realizado en la tabla 23 y tabla 24 para el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar respectivamente.

Tabla 23. Cálculo del consumo mensual de agua caliente para el edificio multifamiliar.

Mes	D_{total} [L/día]	%ocupación [%]	m_{agua} [t]
Enero	665	60	12.37
Febrero	665	60	11.17
Marzo	665	95	19.58
Abril	665	100	19.95
Mayo	665	100	20.62
Junio	665	100	19.95
Julio	665	95	19.58
Agosto	665	100	20.62
Septiembre	665	100	19.95
Octubre	665	100	20.62
Noviembre	665	100	19.95
Diciembre	665	95	19.58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Cálculo del consumo mensual de agua caliente para la vivienda unifamiliar.

Mes	D_{total} [L/día]	%ocupación [%]	m_{agua} [t]
Enero	140	60	2.60
Febrero	140	60	2.35
Marzo	140	95	4.12
Abril	140	100	4.20
Mayo	140	100	4.34
Junio	140	100	4.20
Julio	140	95	4.12
Agosto	140	100	4.34
Septiembre	140	100	4.20
Octubre	140	100	4.34
Noviembre	140	100	4.20
Diciembre	140	95	4.12

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Cálculo de la demanda energética. Para el cálculo de la demanda energética mensual se siguió la ecuación (6), multiplicando el consumo mensual de agua caliente; el calor específico del agua, cuyo valor es de $4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$; y la variación entre la temperatura deseada y de la red. La demanda energética anual se halló mediante la ecuación (7).

A continuación, se muestran los valores obtenidos para el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar en la tabla 25 y tabla 26, respectivamente.

Tabla 25. Cálculo de la demanda energética del edificio multifamiliar.

Mes	m_{agua} [t]	$T_{\text{cal}} - T_{\text{red}}$ [°C]	Q_d [MJ]
Enero	12.37	34.77	1,799.43
Febrero	11.17	34.32	1,604.46
Marzo	19.58	34.24	2,805.57
Abril	19.95	35.71	2,980.44
Mayo	20.62	37.31	3,218.34
Junio	19.95	39.49	3,296.66
Julio	19.58	41.30	3384.39
Agosto	20.62	41.88	3,612.68
Septiembre	19.95	41.34	3,450.78
Octubre	20.62	40.83	3,521.74
Noviembre	19.95	39.44	3,291.90
Diciembre	19.58	37.03	3,034.35
Total			36,000.73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Cálculo de la demanda energética de la vivienda unifamiliar.

Mes	m_{agua} [t]	$T_{\text{cal}} - T_{\text{red}}$ [°C]	Q_d [MJ]
Enero	2.60	34.77	378.83
Febrero	2.35	34.32	337.78
Marzo	4.12	34.24	590.65
Abril	4.20	35.71	627.46
Mayo	4.34	37.31	677.55
Junio	4.20	39.49	694.03
Julio	4.12	41.30	712.50
Agosto	4.34	41.88	760.56
Septiembre	4.20	41.34	726.48
Octubre	4.34	40.83	741.42
Noviembre	4.20	39.44	693.03
Diciembre	4.12	37.03	638.81
Total			7,579.10

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 y la figura 34 se observan los valores obtenidos mensualmente de las demandas energéticas respectivas para el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar.

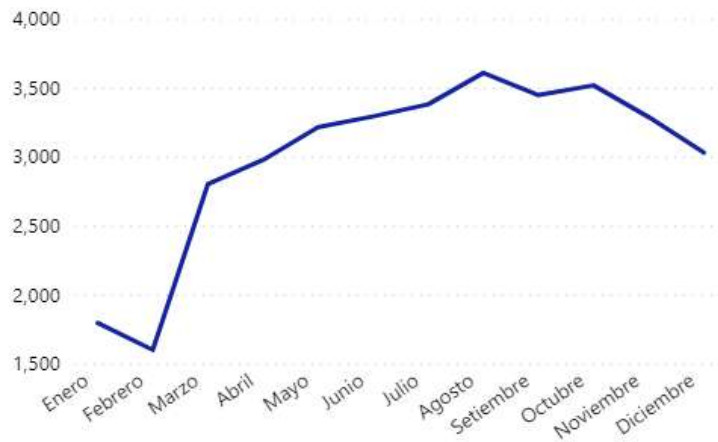


Figura 33. Demanda energética del edificio multifamiliar en MJ.

Fuente: Elaboración propia

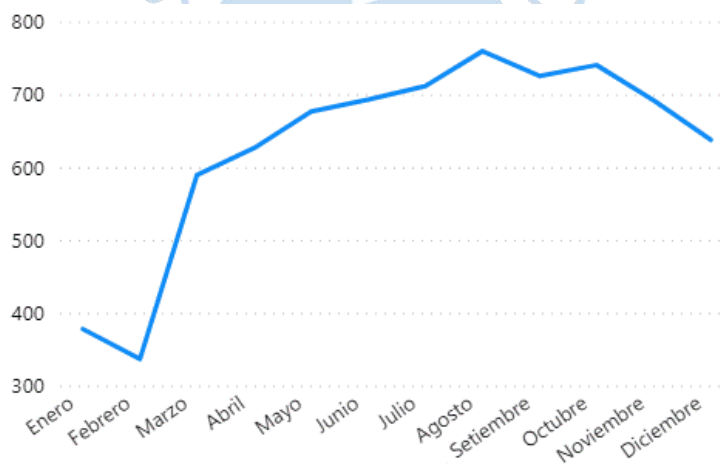


Figura 34. Demanda energética de la vivienda unifamiliar en MJ.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Cálculo de la disponibilidad energética

A continuación, se exponen los cálculos realizados para determinar la disponibilidad energética del sistema, la cual consiste en la energía que es aprovechada por los captadores solares.

3.2.2.1 Cálculo de la energía solar disponible. La ecuación (8) permite determinar la energía solar diaria disponible teniendo en cuenta los valores de irradiación global horizontal promedio por día de la tabla 7, el factor de corrección k para superficies inclinadas de la tabla 21 y el factor de corrección igual a 0.95 (ver apartado 3.1.2.1), tal como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Cálculo de la energía disponible solar diaria.

Mes	H [MJ/m ²]	k [adimensional]	E [MJ/m ²]
Enero	19.93	0.9	16.02
Febrero	17.73	0.94	14.89
Marzo	21.25	0.99	18.79
Abril	22.13	1.04	20.55
Mayo	19.98	1.07	19.09
Junio	19.26	1.07	18.41
Julio	19.31	1.06	18.28
Agosto	20.92	1.03	19.24
Septiembre	22.38	0.99	19.79
Octubre	22.67	0.94	19.03
Noviembre	20.62	0.9	16.57
Diciembre	21.09	0.89	16.76

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Cálculo de la irradiancia. La ecuación (9) calcula la irradiancia considerando las horas de sol promedio mostradas en la tabla 9. En la tabla 28 se muestran los valores obtenidos tanto para el edificio multifamiliar como la vivienda unifamiliar.

Tabla 28. Cálculo de la irradiancia.

Mes	E [MJ/m ²]	h_{sol} [horas]	I [W/m ²]
Enero	16.02	8.54	521.18
Febrero	14.89	7.64	541.02
Marzo	18.79	8.55	610.58
Abril	20.55	8.97	636.29
Mayo	19.09	8.64	613.90
Junio	18.41	8.46	604.72
Julio	18.28	8.36	607.30
Agosto	19.24	8.54	626.05
Septiembre	19.79	8.91	616.83
Octubre	19.03	8.92	592.33
Noviembre	16.57	8.68	530.05
Diciembre	16.76	9.10	511.55

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3 Cálculo de rendimiento mensual del colector solar. Para el cálculo del rendimiento mensual de cada colector solar es necesario tomar en cuenta los coeficientes mostrados en la tabla 19, la irradiancia y la ecuación (10). De esa manera se obtienen los valores de la tabla 29, que se muestran posteriormente.

Estos valores dependen únicamente de los colectores solares, por lo que se tienen los mismos resultados para viviendas multifamiliares y unifamiliares.

Tabla 29. Cálculo de rendimiento mensual de cada colector solar para viviendas multifamiliar y unifamiliar.

η_m [%]	FK 250P	FK 250L	FK 500P	FK 500L	TopSon F3-1	TopSon F3-Q	TopSon CFK-1
Mes							
Enero	51.52	51.52	53.05	54.44	55.03	54.91	45.43
Febrero	52.61	52.61	54.12	55.45	55.97	55.93	46.41
Marzo	55.52	55.52	56.95	58.11	58.48	58.63	49.03
Abril	55.42	55.42	56.86	57.98	58.39	58.49	48.95
Mayo	53.30	53.30	54.82	55.99	56.55	56.47	47.07
Junio	51.39	51.39	52.97	54.16	54.88	54.60	45.37
Julio	50.25	50.25	51.88	53.06	53.89	53.48	44.38
Agosto	50.75	50.75	52.37	53.51	54.32	53.93	44.83
Septiembre	50.81	50.81	52.42	53.58	54.37	54.00	44.87
Octubre	50.24	50.24	51.86	53.08	53.89	53.50	44.35
Noviembre	48.12	48.12	49.79	51.17	52.07	51.56	42.44
Diciembre	49.18	49.18	50.80	52.23	53.00	52.65	43.36

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4 Cálculo de energía solar neta útil. La energía solar neta útil de cada mes es determinada a través de la ecuación (11). Para el cálculo de la energía solar neta útil anual solo es necesario sumar los valores mensuales, tal como se muestra en la ecuación (12). Ambos valores para cada colector solar se pueden observar en la tabla 30.

Tabla 30. Cálculo de energía solar neta útil de cada colector solar para viviendas multifamiliar y unifamiliar.

E_{neta} [MJ/m ²]	FK 250P	FK 250L	FK 500P	FK 500L	TopSon F3-1	TopSon F3-Q	TopSon CFK-1
Mes							
Enero	217.46	217.46	223.94	229.78	232.29	231.75	191.76
Febrero	186.40	186.40	191.73	196.43	198.31	198.14	164.43
Marzo	274.91	274.91	281.99	287.74	289.56	290.30	242.75
Abril	290.45	290.45	298.01	303.88	305.99	306.56	256.54
Mayo	268.20	268.20	275.80	281.71	284.53	284.10	236.82
Junio	241.21	241.21	248.63	254.23	257.61	256.30	212.98
Julio	242.03	242.03	249.88	255.56	259.56	257.56	213.73
Agosto	257.31	257.31	265.52	271.30	275.40	273.43	227.28
Septiembre	256.36	256.36	264.49	270.36	274.35	272.50	226.41
Octubre	251.93	251.93	260.06	266.16	270.22	268.27	222.42
Noviembre	203.33	203.33	210.38	216.19	220.01	217.87	179.32
Diciembre	217.24	217.24	224.37	230.67	234.11	232.55	191.51
Total	2,906.84	2,906.84	2,994.80	3,064.01	3,101.92	3,089.33	2,565.94

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Cálculo del aporte solar del sistema

A continuación, se exponen los cálculos realizados para determinar el aporte solar del sistema, el cual consiste en la fracción aportada por energía solar con respecto a la demanda energética requerida del sistema.

3.2.3.1 Cálculo del área de captación solar requerida. Para hallar el área de captación solar requerida se debe dividir el 70% de la demanda energética sobre la energía solar neta útil anual, como se aprecia en la ecuación (13).

A continuación en la tabla 31 y tabla 32, se muestra el resultado del cálculo del área de captación solar requerida en el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar, respectivamente.

Tabla 31. Cálculo del área de captación solar requerida para el edificio multifamiliar

Modelo de colector	$Q_{d,a}$ [MJ]	$E_{neta,a}$ [MJ/m ²]	A_{solar} [m ²]
FK250P	36,000.73	2,906.84	8.67
FK250L	36,000.73	2,906.84	8.67
FK500P	36,000.73	2,994.80	8.41
FK500L	36,000.73	3,064.01	8.22
TopSon F3-1	36,000.73	3,101.92	8.12
TopSon F3-Q	36,000.73	3,089.33	8.16
TopSon CFK-1	36,000.73	2,565.94	9.82

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Cálculo del área de captación solar requerida para la vivienda unifamiliar

Modelo de colector	$Q_{d,a}$ [MJ]	$E_{neta,a}$ [MJ/m ²]	A_{solar} [m ²]
FK250P	7,579.10	2,906.84	1.83
FK250L	7,579.10	2,906.84	1.83
FK500P	7,579.10	2,994.80	1.77
FK500L	7,579.10	3,064.01	1.73
TopSon F3-1	7,579.10	3,101.92	1.71
TopSon F3-Q	7,579.10	3,089.33	1.72
TopSon CFK-1	7,579.10	2,565.94	2.07

Fuente: Elaboración propia

La demanda energética anual se mantiene constante debido a que esta no depende del modelo de colector.

3.2.3.2 Cálculo del número de colectores. Para hallar el número de colectores requeridos se debe dividir el área de captación solar requerida, sobre el área útil de cada colector, como se aprecia en la ecuación (14); los datos de cada colector se obtienen de la tabla 19; además, el resultado de la operación debe ser aproximado al entero superior más próximo para que la demanda energética pueda ser cubierta. Adicionalmente, resolviendo la ecuación (15) se calcula el área de captación total del sistema.

A continuación en la tabla 33 y tabla 34 se muestra el resultado del cálculo del número de colectores para el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar respectivamente; además del área de captación total correspondiente.

Tabla 33. Cálculo del número de colectores del edificio multifamiliar

Modelo de colector	A_{solar} [m ²]	A_c [m ²]	N_c	$A_{capt,t}$ [m ²]
FK250P	8.67	1.88	5.00	9.4
FK250L	8.67	1.88	5.00	9.4
FK500P	8.41	2.35	4.00	9.4
FK500L	8.22	2.35	4.00	9.4
TopSon F3-1	8.12	2.00	5.00	10.00
TopSon F3-Q	8.16	2.00	5.00	10.00
TopSon CFK-1	9.82	2.00	5.00	10.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Cálculo del número de colectores de la vivienda unifamiliar

Modelo de colector	A_{solar} [m ²]	A_c [m ²]	N_c	$A_{capt,t}$ [m ²]
FK250P	1.83	1.88	1.00	1.88
FK250L	1.83	1.88	1.00	1.88
FK500P	1.77	2.35	1.00	2.35
FK500L	1.73	2.35	1.00	2.35
TopSon F3-1	1.71	2.00	1.00	1.68
TopSon F3-Q	1.72	2.00	1.00	1.68
TopSon CFK-1	2.07	2.00	2.00	4

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.3 Cálculo de la energía aportada por el sistema. La energía aportada por el sistema resulta del producto de la energía solar neta útil anual y el área de captación total del sistema; como se aprecia en la ecuación (16).

A continuación en la tabla 35 y tabla 36 se muestra el resultado del cálculo de la energía aportada por el sistema para el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar, respectivamente.

Tabla 35. Cálculo de la energía aportada por el sistema en el edificio multifamiliar

Modelo de colector	$E_{neta,a}$ [MJ/m ²]	$A_{capt,t}$ [m ²]	$E_{col,a}$ [MJ]
FK250P	2,906.84	9.4	27,324.32
FK250L	2,906.84	9.4	27,324.32
FK500P	2,994.80	9.4	28,151.11
FK500L	3,064.01	9.4	28,801.69
TopSon F3-1	3,101.92	10.00	31,019.20
TopSon F3-Q	3,089.33	10.00	30,893.30
TopSon CFK-1	2,565.94	10.00	25,659.37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Cálculo de la energía aportada por el sistema en la vivienda unifamiliar

Modelo de colector	$E_{neta,a}$ [MJ/m ²]	$A_{capt,t}$ [m ²]	$E_{col,a}$ [MJ]
FK250P	2,906.84	1.88	5,464.86
FK250L	2,906.84	1.88	5,464.86
FK500P	2,994.80	2.35	7,037.78
FK500L	3,064.01	2.35	7,200.42
TopSon F3-1	3,101.92	1.68	6,203.85
TopSon F3-Q	3,089.33	1.68	6,178.65
TopSon CFK-1	2,565.94	4	10,263.76

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.4 Cálculo del aporte solar. Para hallar la energía aportada por el sistema, se debe dividir la energía anual aportada por el sistema modificada sobre la demanda energética anual como se muestra en la ecuación (21), y también, tomando en cuenta el criterio de la ecuación (18). (Ver apartado 3.1.3.4)

A continuación en la tabla 37 y tabla 38 se muestra el resultado del cálculo de la energía aportada por el sistema para el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar, respectivamente.

Tabla 37. Cálculo del aporte solar del sistema para el edificio multifamiliar

Modelo de colector	$E'_{col,a}$ [MJ]	$Q_{d,a}$ [MJ]	% $_{solar,a}$ [%]
FK250P	26,931.90	36,000.73	74.81
FK250L	26,931.90	36,000.73	74.81
FK500P	27,647.69	36,000.73	76.80
FK500L	28,199.14	36,000.73	78.33
TopSon F3-1	29,947.67	36,000.73	83.19
TopSon F3-Q	29,815.72	36,000.73	82.82
TopSon CFK-1	25,501.40	36,000.73	70.84

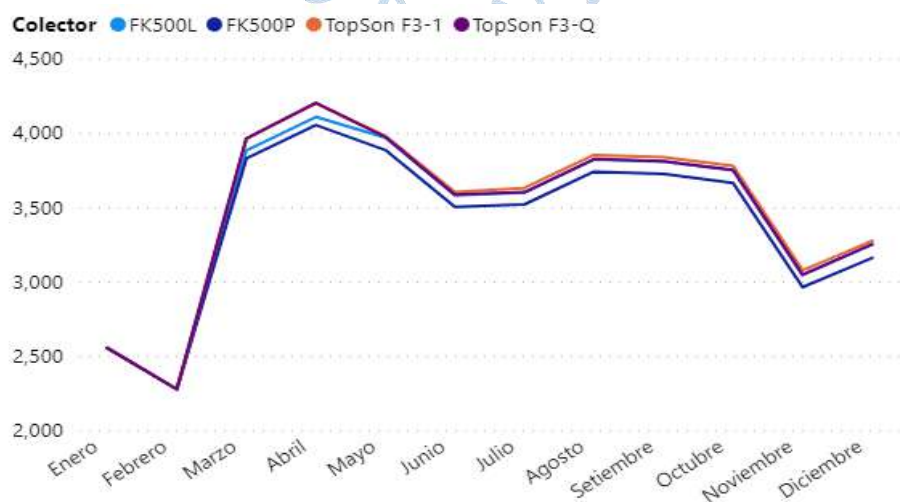
Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Cálculo del aporte solar del sistema para la vivienda unifamiliar

Modelo de colector	$E'_{col,a}$ [MJ]	$Q_{d,a}$ [MJ]	% $_{solar,a}$ [%]
FK250P	5,422.21	7,579.10	71.54
FK250L	5,422.21	7,579.10	71.54
FK500P	6,632.67	7,579.10	87.51
FK500L	6,743.21	7,579.10	88.97
TopSon F3-1	6,059.27	7,579.10	79.95
TopSon F3-Q	6,035.49	7,579.10	79.63
TopSon CFK-1	7,579.10	7,579.10	100.00

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35 se muestra la comparación mensual entre los colectores solares con mayor aporte solar para el condominio.

**Figura 35.** Energía brindada en MJ por los 4 mejores colectores al condominio.

Fuente: Elaboración propia

Dicha información afirma que, en el edificio multifamiliar, el mayor aporte solar es producido por los modelos TopSon F3-1 y TopSon F3-Q, sin embargo, utilizan 5 colectores (ver tabla 33); esto significa que cada colector tiene una contribución solar individual de un 16.64% y 16.56%, respectivamente. Por otro lado, el modelo FK500L, es más eficiente ya que utiliza 4 colectores solares para cumplir las condiciones establecidas; cada colector con un aporte solar individual de un 19.58% de la demanda energética.

En el caso de las viviendas unifamiliares sucede algo similar, el modelo TopSon CFK-1 otorga un aporte solar del 100% usando 2 colectores mientras que el modelo FK500L genera una contribución solar de 88.97% utilizando solo 1.

Se selecciona también el modelo FK500L debido a que tienen una mejor eficiencia y, al necesitarse menos colectores, comprenden una inversión menor; asimismo, estandarizar una sola marca es beneficioso en el supuesto de que se necesiten repuestos.

En la figura 36 se observa la comparación mensual entre la energía aportada por el colector FK500L y la demanda energética del sistema, es decir del condominio. En dicha figura, se resalta el aporte del colector FK500L y lo que deberá ser aportado por el sistema de apoyo energético.

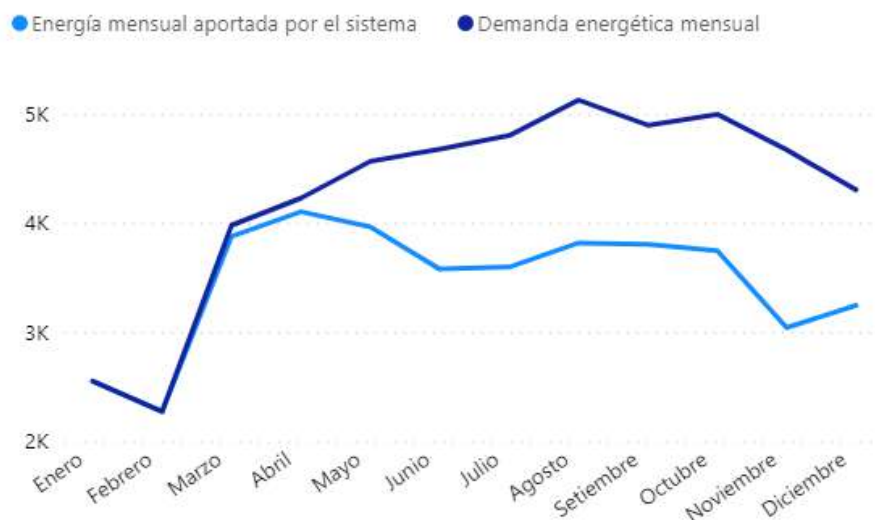


Figura 36. Energía aportada por el sistema vs demanda energética en MJ.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4

Circuito hidráulico de agua caliente sanitaria

4.1 Descripción del circuito hidráulico

La red o circuito hidráulico representa el conjunto de tuberías, equipos y accesorios correspondientes, que hacen posible el calentamiento de agua sanitaria y su disponibilidad a los usuarios. Para el desarrollo del sistema de ACS, se hicieron las siguientes representaciones gráficas del circuito hidráulico del edificio multifamiliar y de las viviendas unifamiliares, las cuales se muestran respectivamente en las figura 37 y figura 38.

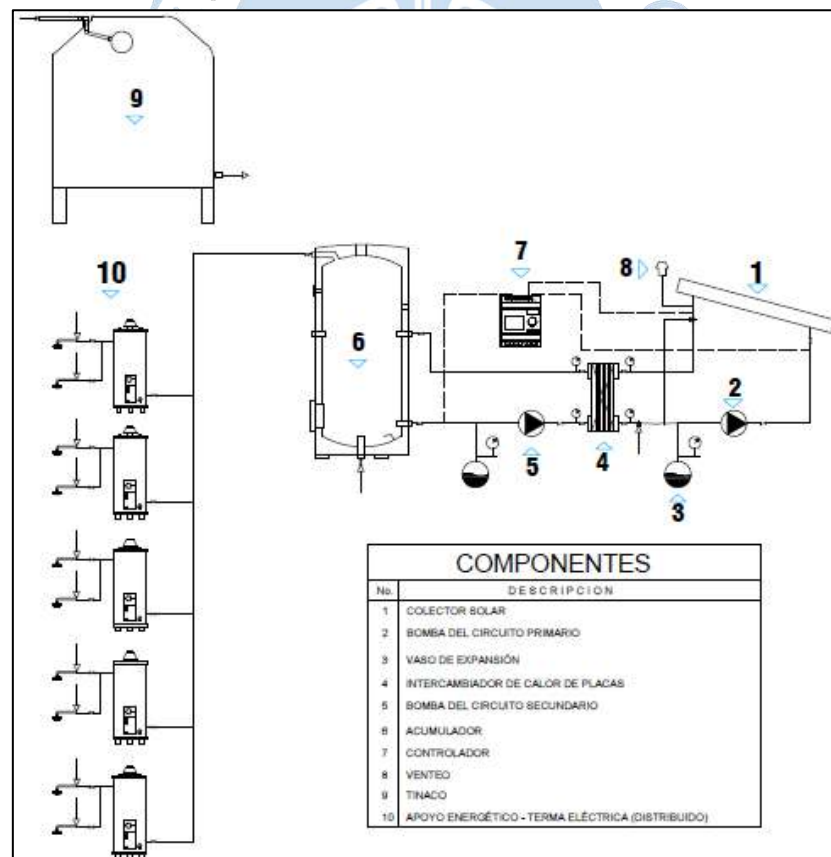


Figura 37. Circuito hidráulico del edificio multifamiliar

Fuente: Elaboración propia

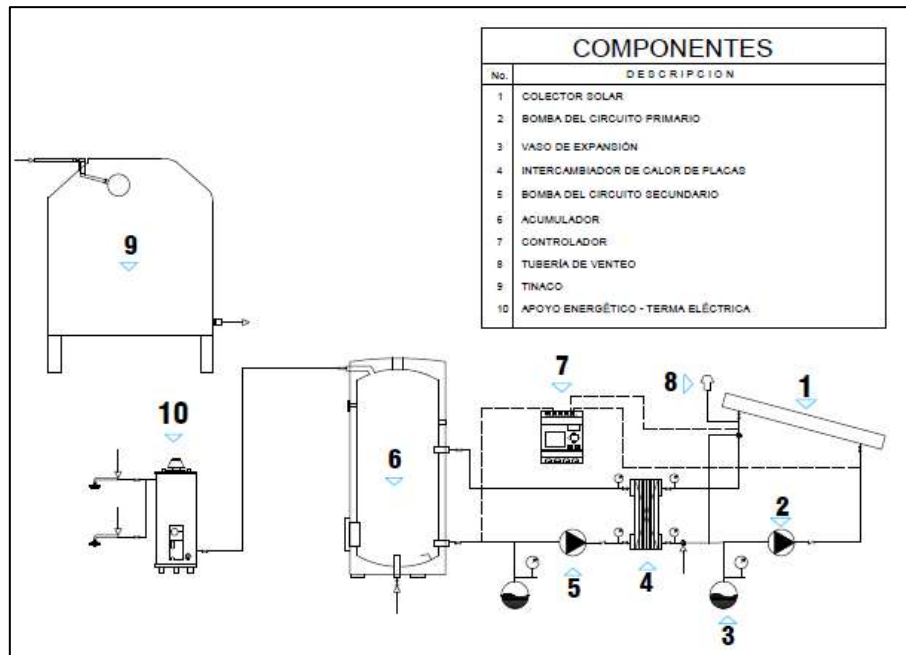


Figura 38. Circuito hidráulico de la vivienda unifamiliar

Fuente: Elaboración propia

La totalidad del circuito hidráulico se puede dividir en 3 partes: circuito primario, circuito secundario y circuito de consumo.

4.1.1 Circuito primario

El circuito primario abarca desde los colectores solares hasta el intercambiador de calor, tal como se muestra en la figura 39. Su funcionamiento empieza cuando el fluido caloportador es impulsado por la bomba hacia los colectores solares para obtener energía solar térmica. Posteriormente, llega al intercambiador de calor para transmitir dicha energía al agua sanitaria de la residencia.

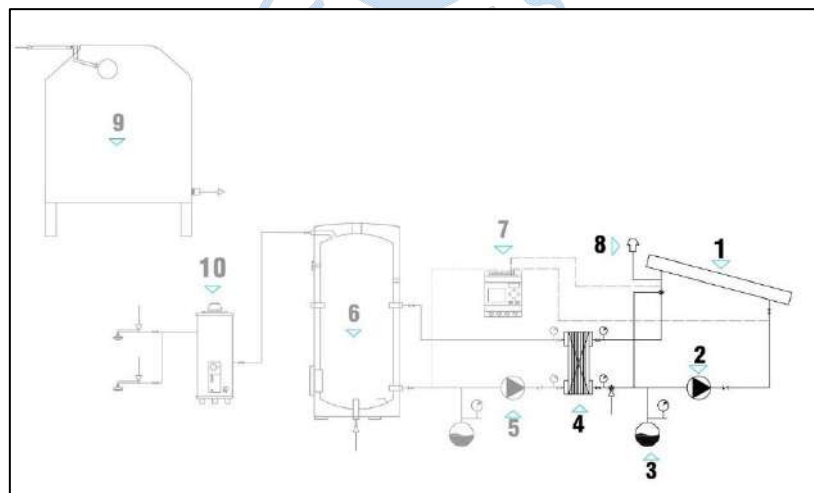


Figura 39. Circuito primario de la vivienda unifamiliar

Fuente: Elaboración propia

El fluido caloportador depende de las especificaciones de los fabricantes del colector solar, por lo general es un compuesto de agua con agentes protectores del colector y anticongelantes para proteger al sistema contra heladas (Perales, 2009). Para este estudio no se considera el uso de anticongelantes debido a las características climáticas de Piura, por lo que el fluido caloportador será puramente agua potable.

Se añade la tubería de venteo o purga cuya finalidad es proporcionar un escape para el aire dentro de las tuberías durante el llenado del circuito primario. Se agrega, también, la tubería de regulación del caudal del fluido caloportador hacia el intercambiador de calor, con el objetivo de que, cuando se aporta más del 100 % de energía, el fluido regrese a los colectores y no pase a través del intercambiador de calor.

4.1.1.1 Elementos. El circuito primario está constituido por los siguientes elementos:

- Los colectores solares, pertenecen al sistema de captación de energía y su función es calentar el fluido caloportador.
- Bomba primaria, para impulsar el fluido a través del circuito.
- Vaso de expansión primario, es un elemento formado por dos cámaras separadas por un elastómero; una está en contacto con el agua y la otra contiene un gas inerte presurizado. La función del vaso de expansión es absorber las variaciones de volumen del fluido generadas al calentarse el agua para mantener la presión constante.
- Intercambiador de calor, pertenece al sistema de intercambio energético y su objetivo es transmitir el calor del fluido caloportador al agua de uso doméstico.

4.1.1.2 Sistema de regulación de temperatura. Como se mencionó anteriormente se dispone en el circuito hidráulico un sistema de protección ante un exceso de calor, el cual consiste en agregar una tubería de regulación que regresa parte del flujo caloportador a la entrada de los colectores solares con el fin de disminuir la tasa de calor transmitido en el intercambiador de calor. Se fundamenta este sistema ya que, por norma, se debe evitar que la temperatura del ACS en el circuito hidráulico supere los 65 °C.

4.1.2 Circuito secundario

El circuito secundario abarca desde el intercambiador de calor hasta el acumulador de ACS, tal como se muestra en la figura 40. Su funcionamiento empieza con el llenado del acumulador, a través de la cisterna de agua. Posteriormente, la bomba secundaria recircula el agua del acumulador al intercambiador de calor, de donde recibe la energía térmica. Tanto la bomba secundaria como la primaria comienzan a funcionar cuando se detecta una variación de temperatura, entre la salida del acumulador y la salida del colector, mayor o igual a 7 °C y se detienen cuando la diferencia es menor a 3 °C. El funcionamiento de las bombas, o cualquier otro actuador del sistema, es regido por un controlador.

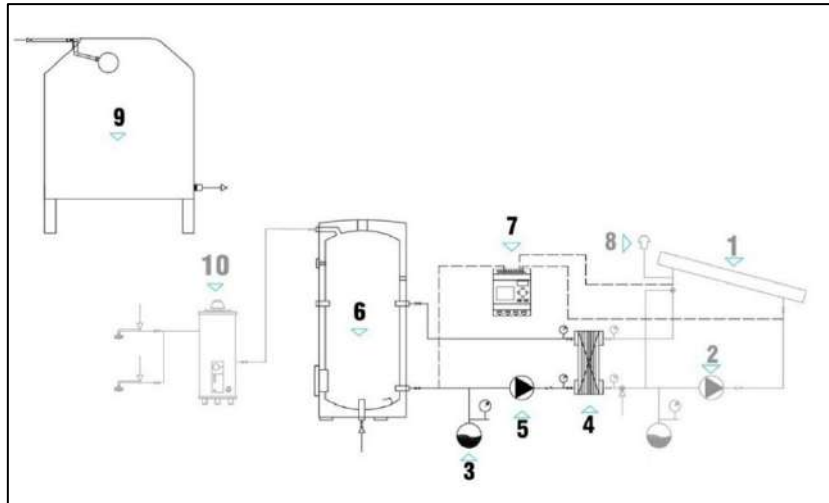


Figura 40. Circuito secundario de la vivienda unifamiliar

Fuente: Elaboración propia

El intercambiador conecta a los circuitos primario y secundario, no obstante, los fluidos de ambos circuitos no se mezclan, debido a que el fluido caloportador no debe ser utilizado para el uso doméstico.

4.1.2.1 Elementos. El circuito secundario está constituido por los siguientes elementos:

- El acumulador de ACS, el cual mantiene el agua caliente de consumo doméstico.
- La cisterna de agua (tinaco), el cual provee de agua al circuito hidráulico.
- Bomba secundaria y vaso de expansión secundario, los cuales tienen la misma función que la bomba y vaso de expansión primarios.

4.1.3 Circuito de consumo

El circuito de consumo abarca desde el acumulador de ACS hasta los puntos de consumo de agua. Su funcionamiento consiste en que el agua del acumulador es transportada al sistema de apoyo energético, en este caso, a las termas eléctricas; y a partir de estas el agua caliente llegue a los usuarios mediante los puntos de consumo de agua, es decir baños, lavadoras, entre otros.

En el caso del circuito de consumo correspondiente a las casas y al edificio, se utilizan los mismos elementos tal como se muestra en la figura 41 y la figura 42. No obstante, se tiene configuraciones distintas; la del edificio multifamiliar es una configuración con acumulación centralizada y apoyo distribuido. Dicha disposición de elementos se debe a que el consumo de agua caliente en el edificio multifamiliar es irregular por lo que depende de cada familia y, por lo tanto, requiere de un sistema independiente para cada una; así, se asegura de que el gasto del consumo energético del sistema de apoyo sea individual, ya que cada departamento tiene su propia acometida para agua caliente. A su vez, que el agua calentada mediante energía solar esté a disposición de todos. El acumulador conecta los circuitos secundario y de consumo.

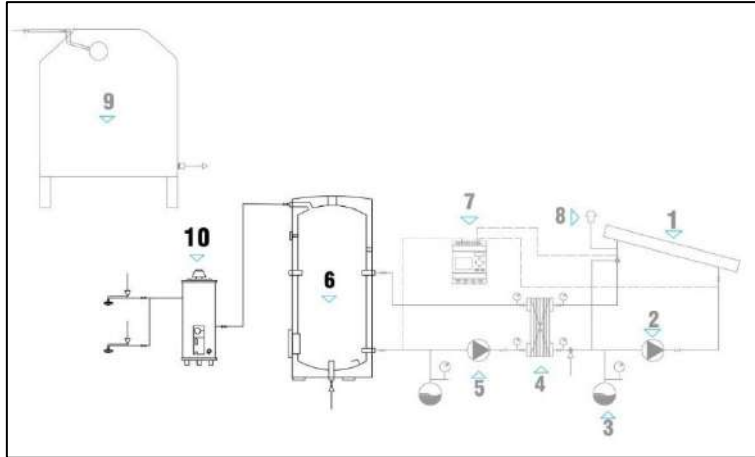


Figura 41. Circuito de consumo de la vivienda unifamiliar
Fuente: Elaboración propia

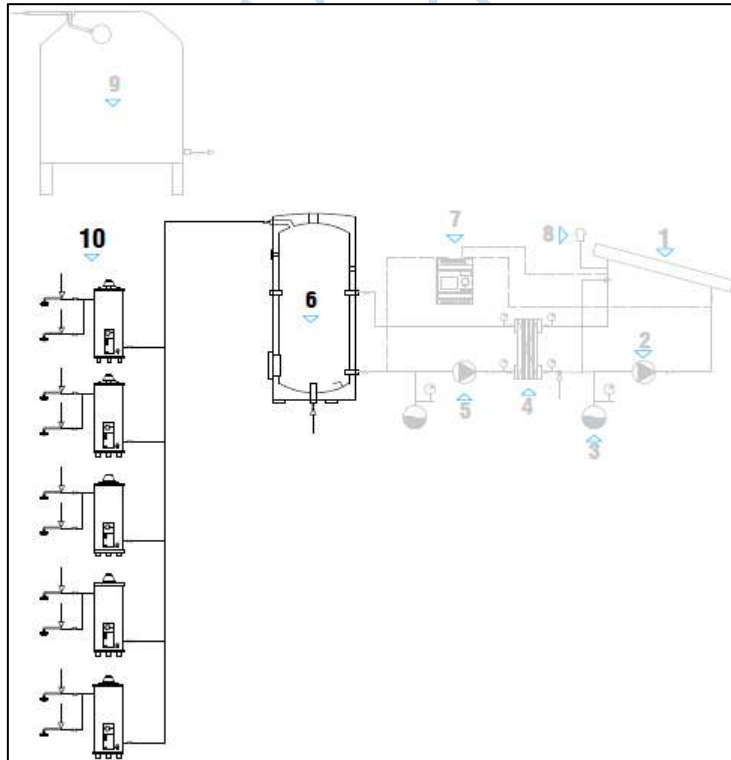


Figura 42. Circuito de consumo del edificio multifamiliar
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.1 Elementos. El circuito secundario está constituido por los siguientes elementos:

- La terma, perteneciente al sistema de apoyo energético y cuya función es cubrir la diferencia energética entre la demanda energética de la residencia y la energía proporcionada por el sistema solar de calentamiento de agua.
- Punto de consumo de agua caliente, para el suministro de ACS a los usuarios.

4.2 Metodología para la selección de elementos del circuito hidráulico

En este apartado se mostrará la metodología para seleccionar los elementos más adecuados del circuito hidráulico para el funcionamiento del sistema según sus características técnicas. Entre dichos elementos se encuentran las tuberías, bombas, intercambiadores de calor, acumuladores y sistemas de apoyo energético.

4.2.1 Acumulador

El acumulador se seleccionará teniendo en cuenta su capacidad de almacenamiento, esto se debe a que la relación entre el volumen de acumulación y el área de captación solar total afecta directamente al rendimiento. Cuando dicha relación es inferior a un valor de entre 40 – 50 L/m², el rendimiento disminuye considerablemente; y cuando es mayor a 120 L/m² el aumento del rendimiento es casi insignificante. (Martínez, 2010)

Tomando en consideración lo mencionado, la capacidad del acumulador se debe escoger según la ecuación (22); siempre teniendo en cuenta que un mayor rendimiento se prioriza para zonas donde la temperatura ambiental es baja.

$$50 \leq \frac{V_{accum}}{A_{capt,t}} \leq 120 \quad (22)$$

Donde:

- V_{accum} : Volumen del acumulador [L].

4.2.2 Apoyo energético

Como se indicó, el apoyo energético seleccionado será una terma eléctrica, la cual es seleccionada según su capacidad de almacenamiento. Esta se rige dependiendo del número de habitantes de la vivienda sin considerar el sistema solar, tal como se muestra en la tabla 39, debido a que, según el CTE, se debe dimensionar el apoyo energético según la demanda total del sistema. Además, se debe considerar que las termas eléctricas poseen termostatos con el objetivo de limitar la energía suministrada, por lo que aún se contribuye con el ahorro energético.

Tabla 39. Capacidad de la terma recomendada

Número de personas	Capacidad de la terma [L]
2	50
4	80
6	110

Fuente: Promart - Perú

4.2.3 Intercambiador de calor

Para seleccionar un intercambiador de calor funcional, se debe comprobar que su efectividad sea mayor que un 70%. Además, para un correcto funcionamiento del sistema solar, se recomienda que la potencia del intercambiador sea mayor a la calculada por medio de la ecuación (23).

$$P_{IC} \geq 0.525 \cdot A_{capt,t} \quad (23)$$

Donde:

- P_{IC} : Potencia del Intercambiador de calor [kW].

4.2.4 Tuberías

Según Martínez (2010), para seleccionar correctamente la tubería, se necesita cumplir dos requisitos fundamentales; el primero, que el diámetro de la tubería sea mayor que el diámetro mínimo estimado; y el segundo, que la velocidad del fluido sea inferior a 2 m/s. Previamente al proceso de selección de tuberías, se debe definir el caudal deseado; factor muy importante ya que un valor inadecuado de caudal, muy alto o bajo, incide en el rendimiento de la instalación. Para que el rendimiento sea óptimo, el caudal del circuito primario debe estar en un rango entre 30 – 50 L/h.m², tal como se muestra en la figura 43. En el circuito secundario el caudal tiene el mismo valor. Dicho caudal debe encontrarse entre un 90 – 100% del caudal del circuito primario.

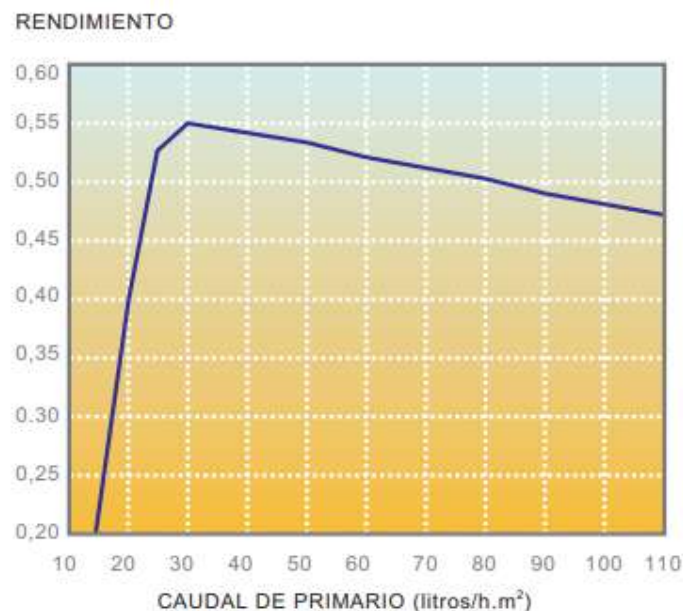


Figura 43. Gráfica rendimiento vs caudal

Fuente: (Martínez, 2010)

Tomando en consideración que para el colector seleccionado se recomienda un flujo de 30 L/h.m², a través de la ecuación (24), se tiene:

$$C = A_{capt,t} \cdot \frac{30}{1000} \quad (24)$$

Donde:

- C : Caudal [m^3/h].

4.2.4.1 Diámetro mínimo estimado. Para hallar correctamente la sección de tubería a utilizar en el circuito hidráulico, se debe calcular el diámetro mínimo estimado mediante la ecuación (25) mostrada a continuación. (CENSOLAR TOMO III, 2007).

$$D = j \cdot C^{0.35} \quad (25)$$

Donde:

- j : 2.2 para tuberías metálicas y 2.4 para tuberías de otro material
- D : Diámetro mínimo estimado [cm].

4.2.4.2 Sección de la tubería. Teniendo en cuenta que las tuberías para ACS usualmente se usa cobre; la tabla 40 permite estimar el diámetro mínimo de tubería.

Tabla 40. Dimensiones para tuberías de cobre en milímetros

Espesor de tubería en mm	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
Diámetro nominal en mm	Diámetro interior en mm											
6		4.8		4.4		4						
8		6.8		6.4		6						
10		8.8	8.6	8.4		8						
12		10.8	10.6	10.4		10						
14				12.4		12						
15			13.6	13.4		13						
16						14						
18				16.4		16						
22					20.2	20	19.8	19.6	19			
28					26.2	26		25.6	25			
35						33		32.6	32			
40						38						
42						40		39.6	39			
54						52		51.6	51	50		

Fuente: Norma UNE-EN 1057. Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre sin soldadura, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción

La sección de tubería se calcula con la ecuación (26):

$$S_t = \pi \cdot \frac{D_i^2}{4} \quad (26)$$

Donde:

- D_i : Diámetro interior de la tubería seleccionado [m].
- S_t : Sección interior de la tubería [m²].

4.2.4.3 Verificación de tubería. Según Martínez (2010), se debe comprobar que la velocidad del fluido en los circuitos primario y secundario no supere los 2 m/s; esta velocidad se obtiene dividiendo el caudal por la sección de la tubería, tal como se muestra en la ecuación (27).

$$Vel = \frac{C}{3600 \cdot S_t} \quad (27)$$

Donde:

- Vel : Velocidad del fluido [m/s].

4.2.4.4 Aislamiento de tubería. El aislamiento que se utiliza para las tuberías interiores se seleccionará según el criterio de la tabla 41; para tuberías exteriores el espesor debe ser, como mínimo, el valor indicado en dicha tabla aumentado en 10 milímetros.

Tabla 41. Diámetro del aislante para tuberías en mm

Diámetro de la tubería [mm]	Temperatura del fluido [°C]			
	40 - 65	66 - 100	101 - 150	> 150
$D \leq 35$	20	20	30	40
$35 < D \leq 60$	20	30	40	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40	50
$90 < D \leq 140$	30	40	50	50
$140 < D$	30	40	50	60

Fuente: CENSOLAR Tomo III (2007)

El aislamiento elegido es de lana de vidrio, tanto para las tuberías interiores como exteriores, y sus características son mostradas en la tabla 42.

Tabla 42. Especificaciones del aislante

Circuito	Disposición	Diámetro interno en mm	Longitud en m	Espesor en mm
Edificio multifamiliar - Circuito Primario	Interior	19.05	16.319	25
Edificio multifamiliar - Circuito Secundario	Exterior	19.05	11.183	25
Vivienda unifamiliar - Circuito primario	Interior	19.05	11.198	25
Vivienda unifamiliar -Circuito primario	Exterior	19.05	8.123	25

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Bombas

Las bombas se seleccionan de acuerdo con su altura manométrica y el caudal del circuito. Para hallar la altura manométrica se deben considerar las pérdidas que se producen en la tubería, en los accesorios y también en algunos elementos del circuito como el intercambiador de calor y la batería de colectores.

4.2.5.1 Pérdida de carga por rozamiento. Se puede obtener las pérdidas de carga unitaria por rozamiento en la tubería de cobre, mediante la gráfica mostrada en la figura 44. Para el uso de esta se necesitan los valores calculados de caudal, diámetro interior de la tubería y velocidad del fluido; adicionalmente se necesitará la longitud de las tuberías del circuito (Ver tabla 44).

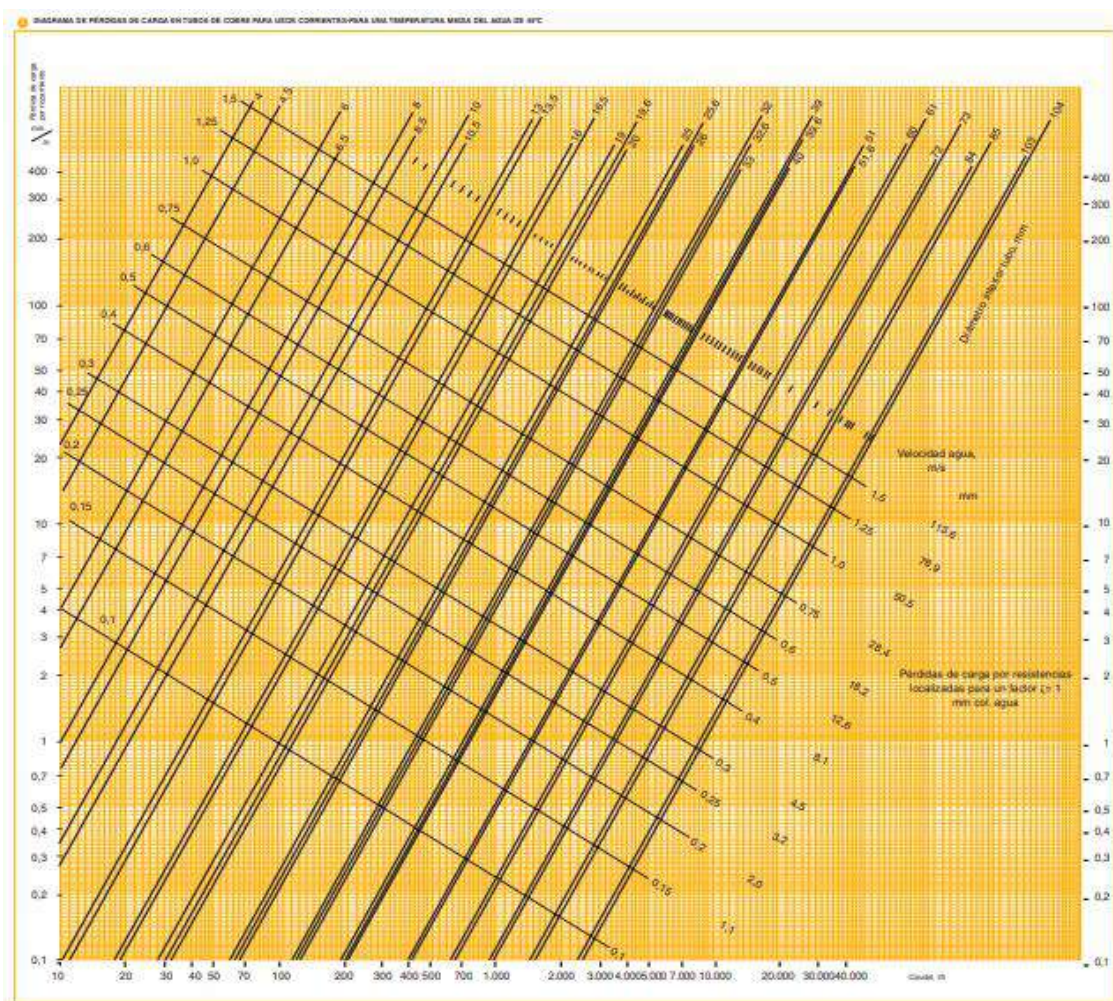


Figura 44. Gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre

Fuente: Centro Español de Información del Cobre (CEDIC)

La pérdida de carga por rozamiento se determina mediante el desarrollo de la ecuación (28).

$$\Delta H_{\text{roz}} = L \cdot \Delta H'_{\text{roz}} \quad (28)$$

Donde:

- ΔH_{roz} : Pérdida de carga en la tubería por rozamiento [mm.c.a].
- $\Delta H'_{roz}$: Pérdida de carga por rozamiento por metro de tubería [mm.c.a/m].
- L : Longitud de la tubería del circuito [m].

4.2.5.2 Pérdida de carga por accesorios. Se puede obtener las pérdidas de carga generada por los accesorios utilizando el gráfico mostrado en la figura 45, considerando los coeficientes de pérdida de carga mostrados en la tabla 43.

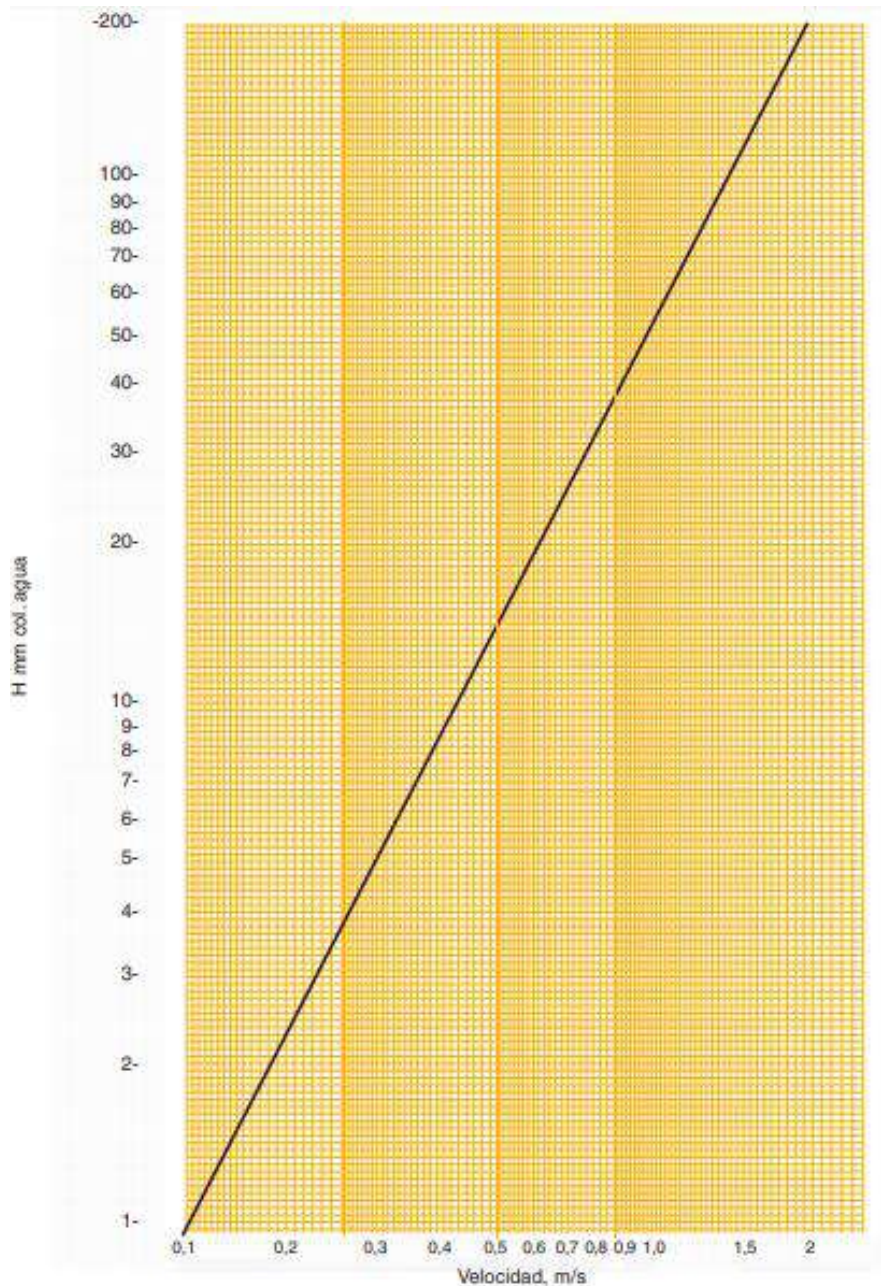


Figura 45. Gráfico de pérdidas de carga localizada
Fuente: Centro Español de Información del Cobre (CEDIC)

Tabla 43. Coeficiente de pérdidas para accesorios

Accesorios o singularidades		K_a
Cambios de dirección a 90° de radio medio		0.4
Codos		1.2
Contracciones bruscas		0.6
Derivación en T		1.4
Ensanchamientos bruscos		1
Entradas de depósitos		1.6
Salidas de depósitos		1.2
Uniones lisas		0.05
Uniones diversas		0.7
Válvulas de compuerta	Abiertas	0.5
	Medio Abiertas	5
	3/4 Abiertas	25
Válvulas de asiento	Abiertas	6
	Medio Abiertas	36
	3/4 Cerradas	112
Válvulas de mariposa	Abiertas	0.5
	Medio Abiertas	25
	3/4 Cerradas	250
Válvulas antiretorno		0.5
Válvulas de seguridad		2.5

Fuente: CENSOLAR TOMO III (2007)

El primer paso para hallar las pérdidas de carga por accesorios es definir cuántos accesorios de cada tipo hay presentes en el circuito hidráulico; para así, hallar la sumatoria de todos los coeficientes totales de pérdidas a través de la ecuación (29).

$$K_{a,t} = \sum_{i=0}^{i=n} K_{a_i} \quad (29)$$

Donde:

- K_a : Coeficiente de pérdidas por accesorio.
- $K_{a,t}$: Sumatoria de coeficientes de pérdidas totales.

Una vez terminado esto, se procede a obtener el coeficiente de pérdidas localizadas mediante la velocidad del fluido y posteriormente hallar la pérdida total de carga por accesorios a través de la ecuación (30).

$$\Delta H_a = K_a \cdot \Delta H'_a \quad (30)$$

Donde:

- ΔH_a : Pérdida de carga en la tubería por accesorios [mm.c.a].

- $\Delta H'_a$: Coeficiente de pérdida de carga localizada [mm.c.a].

4.2.5.3 Otras pérdidas de carga. Los componentes del circuito hidráulico pueden generar pérdidas de carga, principalmente el intercambiador de calor y los colectores solares, dichas pérdidas suelen ser brindadas por los respectivos fabricantes. Sin embargo, para el colector solar seleccionado, este no es el caso, por lo que se deberán obtener a través del gráfico de la figura 46.

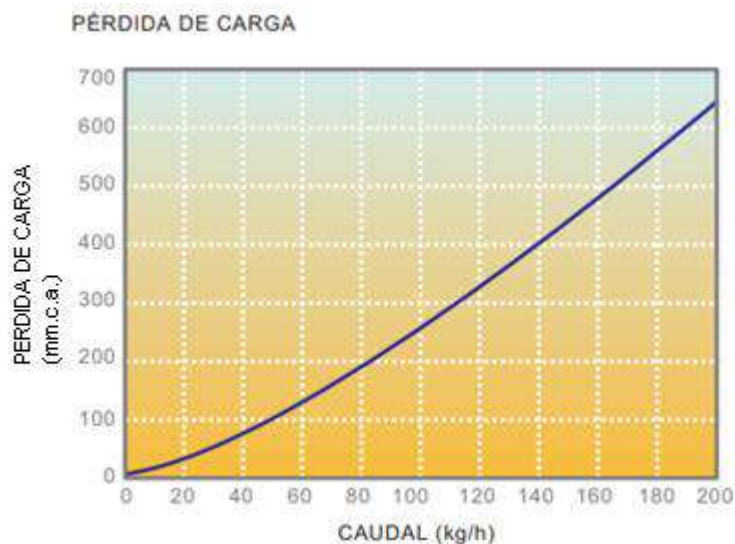


Figura 46. Pérdida de cargas para el colector solar

Fuente: Martínez, 2010

4.2.5.4 Selección de la bomba. Para seleccionar la bomba se utilizan los parámetros de caudal del circuito y la altura manométrica de la bomba.

La altura manométrica de la bomba del circuito primario viene definida por la sumatoria de las pérdidas de carga por rozamiento, por accesorios, por elementos del circuito primario y su respectiva altura geométrica; el procedimiento se describe en la ecuación (31):

$$\Delta H_{m,1} = \Delta H_{roz} + \Delta H_a + \Delta H_{col} + \Delta H_{ic} + \Delta H_{g,1} \quad (31)$$

Donde:

- $\Delta H_{m,1}$: Altura manométrica de la bomba del circuito primario [m.c.a.]
- ΔH_{col} : Pérdida de carga en el colector solar [m.c.a.]
- ΔH_{ic} : Pérdida de carga en el intercambiador de calor [m.c.a.]
- $\Delta H_{g,1}$: Altura geométrica del circuito primario [m.c.a.]. (Extraída de anexo D)

La altura manométrica de la bomba del circuito secundario viene definida por la sumatoria de las pérdidas de carga por rozamiento, por accesorios, por elementos del circuito secundario y por su respectiva altura geométrica; el procedimiento para el cálculo se describe en la ecuación (32):

$$\Delta H_{m,2} = \Delta H_{roz} + \Delta H_a + \Delta H_{ic} + \Delta H_{g,2} \quad (32)$$

Donde:

- $\Delta H_{m,2}$: Altura manométrica de la bomba del circuito secundario [m.c.a.].
- $\Delta H_{g,2}$: Altura geométrica del circuito secundario [m.c.a]

4.2.6 Vaso de expansión

El vaso de expansión se selecciona de acuerdo con su capacidad, la cual varía dependiendo del volumen del fluido que pasa por cada circuito. Para calcular la capacidad del vaso de expansión del circuito primario se necesita el volumen total del fluido en el circuito primario, el cual se estima como la sumatoria del volumen de la tubería, el intercambiador de calor y la batería de colectores como se muestra en la ecuación (33).

$$V_{t,1} = V_{col} \cdot N_c + 1000 \cdot S_t \cdot L + V_{ic} \quad (33)$$

Donde:

- $V_{t,1}$: Volumen total del circuito primario [L].
- V_{col} : Volumen de fluido en cada colector [L].
- V_{ic} : Volumen de fluido en el intercambiador de calor [L]

Adicionalmente, se necesita la altura entre la cota del vaso de expansión y el punto más alto de la batería de colectores para calcular la capacidad recomendada del vaso de expansión primario a través de la ecuación (34).

$$V_{ve,1} = (V_{t,1}) \cdot (0.2 + 0.1 \cdot H_{g,1}) \quad (34)$$

Donde:

- $V_{ve,1}$ Volumen del vaso de expansión del circuito primario [L].

La capacidad del vaso de expansión secundario será igual a un 10% del volumen total del fluido en el circuito secundario y en el circuito de consumo. El procedimiento se describe en la ecuación (35). El valor del volumen interior de las tuberías es poco significativo.

$$V_{ve,2} = 0.1 \cdot (V_{acum} + V_{termas}) \quad (35)$$

Donde:

- $V_{ve,2}$ Volumen del vaso de expansión del circuito secundario [L].
- V_{termas} : Capacidad del conjunto de termas de la residencia [L].

4.2.7 Controlador

El controlador se seleccionará tal que cumpla dos requisitos fundamentales:

- Deben poseer un *display* en donde se pueda observar la temperatura de cada sensor.

- Debe contar con protección contra cortes de electricidad, en caso contrario se deberá instalar una desconexión con fusibles.

Según CENSOLAR (2007), la ley de control asociada al controlador deberá ser tal que las bombas del circuito primario y secundario no podrán estar en marcha, con una diferencia de temperatura entre la salida del colector y la salida del acumulador, menor a 2° C; y que las bombas no puedan estar paradas si es que la diferencia de temperatura es mayor a 7° C. Otro factor por considerar es que la temperatura del agua no puede superar los 65° C; por lo que las bombas se deberán apagar si es que la temperatura a la salida del colector llega a dicho valor.

4.3 Cálculo y selección de elementos

Para realizar la selección de cada elemento se requieren datos relacionados al trazado de tuberías, por ejemplo, la longitud de las tuberías en el circuito primario, secundario, la cantidad de cada tipo de accesorios usados, entre otros. Se realizó un P&ID para obtener dicha información, a partir del mismo; el cual se puede observar en el anexo D. Se tiene:

Tabla 44. Longitud de las tuberías para el circuito hidráulico

	Edificio Multifamiliar	Vivienda Unifamiliar
Circuito	Longitud de tuberías [m]	Longitud de tuberías [m]
Primario	16.319	11.198
Secundario	11.183	8.123

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Relación de accesorios para el circuito hidráulico del edificio multifamiliar

Edificio Multifamiliar		
Accesorios	Circuito Primario	Circuito Secundario
Codo 90°	19	13
Codo 45°	0	0
Derivación en T	2	1
Válvula de corte	4	4
Válvula de seguridad	1	1
Válvula de retención	1	1
Ensanchamientos bruscos	1	1
Contracciones bruscas	1	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Relación de accesorios para el circuito hidráulico de la vivienda unifamiliar

Vivienda Unifamiliar		
Accesorios	Circuito Primario	Circuito Secundario
Codo 90°	17	12
Codo 45°	0	0
Derivación en T	2	1
Válvula de corte	4	4
Válvula de seguridad	1	1
Válvula de retención	1	1
Ensanchamientos bruscos	1	1
Contracciones bruscas	1	1

Fuente: Elaboración propia

4.3.1 Cálculo y selección de elementos en el edificio multifamiliar

A continuación, se describen los cálculos realizados para la selección de los elementos necesarios del circuito hidráulico en el edificio multifamiliar.

4.3.1.1 Acumulador. Teniendo en cuenta que el área de captación total en el edificio multifamiliar es de 9.4 m², según la ecuación (22), la capacidad del acumulador debería encontrarse en el rango de 470 – 1128 L. En este caso específico se opta por un acumulador de ACS vertical marca IDROGAS, modelo CV 750 SR, serie especial sin serpentín con capacidad de 795 L. (Ver anexo E)

4.3.1.2 Apoyo energético. En el edificio multifamiliar se cuenta con un sistema de apoyo energético distribuido, por lo que cada familia tiene su propia terma eléctrica independiente. La tabla 22 indica que hay 5 personas por departamento, lo que significa que empleará una terma de 110 L según lo expuesto en la tabla 39. Considerando todo esto, se selecciona una terma eléctrica marca SOLÉ de 110 L, modelo Wifi. (Ver anexo F)

4.3.1.3 Intercambiador de calor. Para el caso del sistema solar del edificio multifamiliar, considerando el área de captación total de 9.4 m² y desarrollando la ecuación (23), se tiene lo siguiente:

$$P_{IC} = 0.525 \cdot 9.4 = 4.935 \text{ kW}$$

Según el cálculo, el intercambiador de calor deberá tener una potencia de, al menos, 4.935 kW. Se selecciona un intercambiador de calor marca IDROGAS, modelo IDS14-20H con potencia de 7kW. (Ver anexo G)

4.3.1.4 Tuberías. Se considera un flujo de 30 L/h.m² debido a que es la recomendación del fabricante del colector. Usando la ecuación (24), se calcula el caudal:

$$C = 9.4 \cdot \frac{30}{1000} = 0.282 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los circuitos primario y secundario tendrán un caudal de 0.282 m³/h o un equivalente de 0.08 L/s. Dicho dato posibilita el uso de la ecuación (25), la cual se desarrolla para hallar el diámetro mínimo estimado que debe tener la tubería:

$$D = 2.2 \cdot 0.282^{0.35} = 1.412 \text{ cm} = 14.12 \text{ mm}$$

Teniendo en consideración que el diámetro de la tubería debe ser mayor a 14.12 mm, se selecciona, utilizando la tabla 40, una tubería de cobre de ¾" (19 mm de diámetro interior y 22 mm de diámetro nominal), para hallar la sección se utiliza la ecuación (26):

$$S_t = \pi \cdot \frac{0.019^2}{4} = 0.000284 \text{ m}^2$$

Finalmente, para comprobar que el funcionamiento será óptimo, se halla la velocidad del flujo dentro de la tubería utilizando la ecuación (27).

$$Vel = \frac{0.282}{3600 \cdot 0.000284} = 0.276 \text{ m/s}$$

Al ser la velocidad menor a 2 m/s, se comprueba que la selección de tubería es correcta. Las especificaciones técnicas de la tubería de cobre seleccionada se pueden observar en el anexo H. Según la tabla 41, el espesor del aislamiento en las tuberías interiores y exteriores debe ser de 20 y 30 mm respectivamente.

4.3.1.5 Bombas del circuito primario y secundario. Para seleccionar la bomba ideal para los circuitos primario y secundario se debe primero calcular todas las pérdidas de carga.

a) Pérdidas de carga por rozamiento en las tuberías.

Para hallar las pérdidas por rozamiento en las tuberías del circuito, se recurre al gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre; donde los datos de entrada serán el caudal y el diámetro interior de la tubería, ambos obtenidos en el apartado 4.3.1.4.

Debido a que el caudal y la tubería tienen los mismos valores para el circuito primario y secundario, las pérdidas por metro de tubería también son iguales; sin embargo, al ser diferente la longitud de la tubería, las pérdidas de carga por rozamiento totales varían para cada caso.

- Caudal: 282 L/h
- Diámetro interior: 19 mm

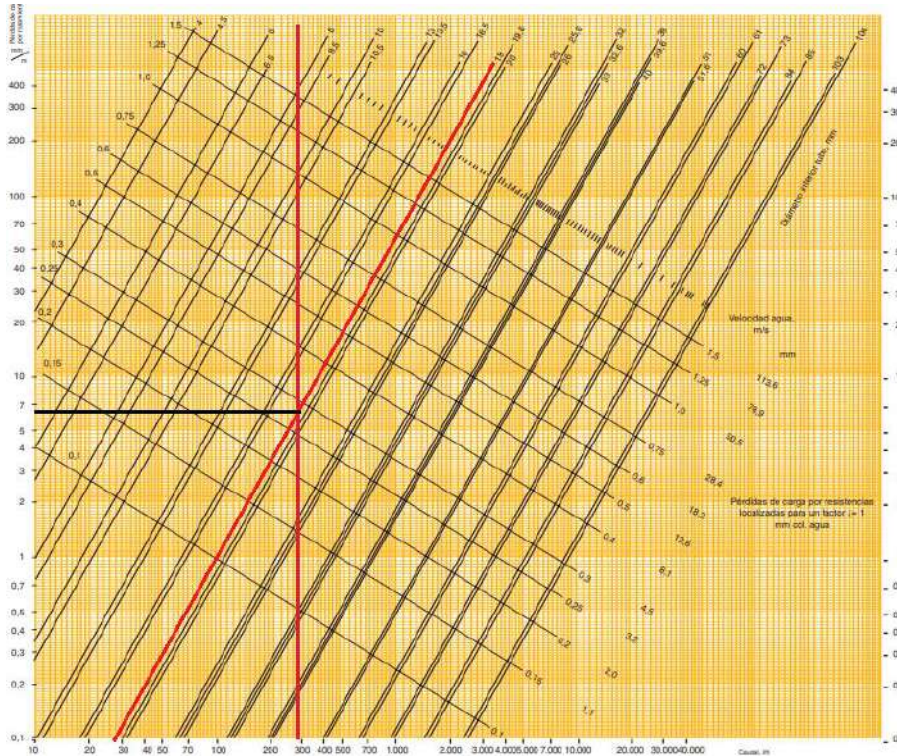


Figura 47. Gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre
Fuente: Centro Español de Información del Cobre (CEDIC)

De la figura 47 se obtiene el valor de las pérdidas de carga por metro de tubería de cobre, el cual es de 6.45 mm.c.a.

Para hallar las pérdidas totales se debe multiplicar dicho factor por la longitud de las tuberías del circuito primario y secundario (ver tabla 44), procedimiento que se describe en la ecuación (28).

$$\Delta H_{roz,1} = 16.319 \cdot 6.45 = 105.258 \text{ mm. c. a.} \approx 0.105 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta H_{roz,2} = 11.183 \cdot 6.45 = 72.130 \text{ mm. c. a.} \approx 0.072 \text{ m. c. a.}$$

Estos valores pueden ser comparados con los obtenidos en el apéndice A, mediante el método de Darcy-Weisbach.

b) Pérdida de carga por accesorios

Para calcular la pérdida de carga por accesorios se utiliza la ecuación (29), la tabla 43 y la tabla 45 para obtener la sumatoria de coeficiente de pérdidas de cada accesorio en el circuito primario y secundario; como se muestra a continuación:

$$K_{at,1} = 19 \cdot 1.2 + 2 \cdot 1.4 + 4 \cdot 0.5 + 1 \cdot 2.5 + 1 \cdot 0.5 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0.6 = 32.2$$

$$K_{at,2} = 13 \cdot 1.2 + 1 \cdot 1.4 + 4 \cdot 0.5 + 1 \cdot 2.5 + 1 \cdot 0.5 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0.6 = 23.6$$

Para determinar la pérdida de carga localizada se considera el valor de la velocidad calculado en el apartado 4.3.1.4. Al ser el mismo valor de velocidad del fluido, tanto para el

circuito primario como para el secundario, se tendrá el mismo valor de pérdida de carga localizada para ambos casos.

- Velocidad del fluido: 0.276 m/s

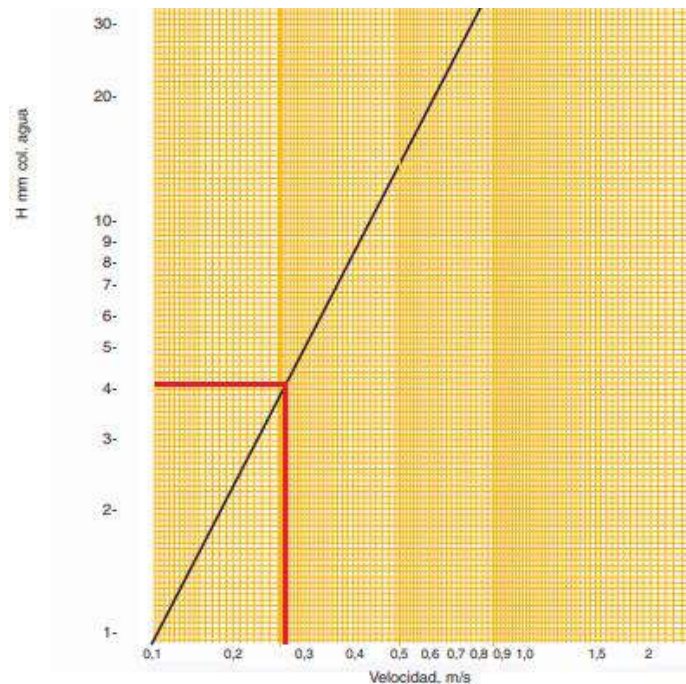


Figura 48. Gráfico de pérdidas de carga localizada
Fuente: Centro Español de Información del Cobre (CEDIC)

Como se observa en la figura 48, las pérdidas de carga localizada son de 4 mm.c.a. Para hallar las pérdidas de carga totales por accesorios se debe desarrollar la ecuación (30).

$$\Delta H_{a,1} = 32.2 \cdot 4 = 128.8 \text{ mm. c. a.} \approx 0.129 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta H_{a,2} = 23.6 \cdot 4 = 94.4 \text{ mm. c. a.} = 0.09 \text{ m. c. a.}$$

c) Otras pérdidas de carga

Debido a que el fabricante no expresa las pérdidas de carga para el colector FK 500L, estas se hallan extrapolando el gráfico de la figura 46 para un caudal de 282 L/h. Realizando el cálculo las pérdidas de carga resultan en 915 mm.c.a. por colector, al disponer de 4 colectores en serie las pérdidas totales en la batería de colectores ascienden a 3.66 m.c.a.

En cuanto al intercambiador de calor, para el modelo IDS14-20H seleccionado, el fabricante indica que las pérdidas de carga máximas pueden llegar hasta 3 m.c.a.

De los apartados anteriores se tiene:

Tabla 47. Pérdida de carga en el circuito del edificio multifamiliar

	Circuito primario [m.c.a.]	Circuito secundario [m.c.a.]
Por rozamiento en tuberías	0.105	0.072
Por accesorios	0.129	0.09
En la batería de colectores	3.66	0
En el intercambiador de calor	3	3
Altura geométrica	1.7	0.4

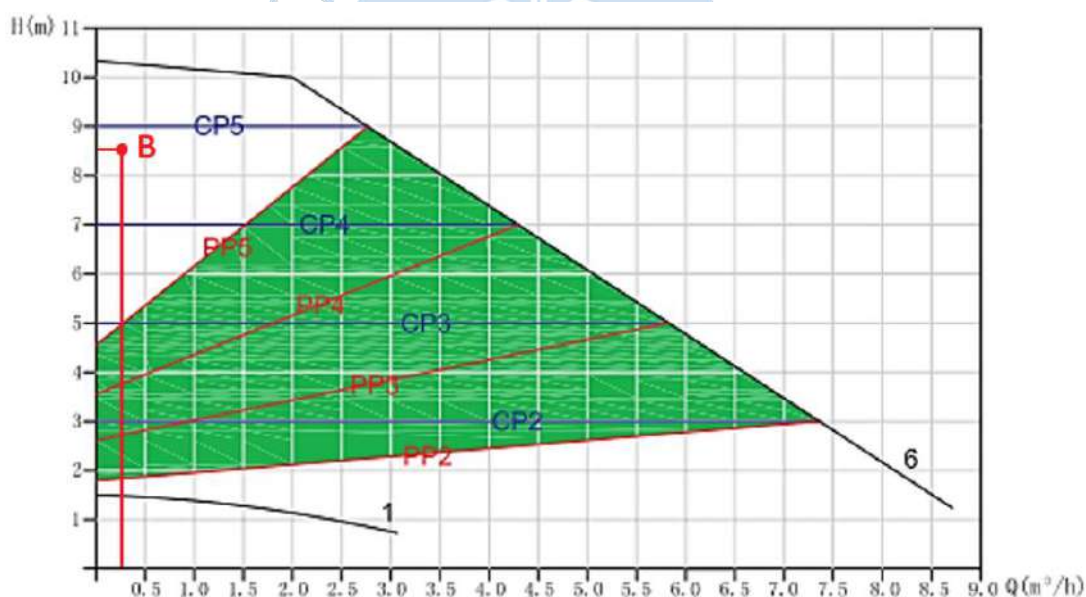
Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos expuestos en la tabla 47, usando la ecuación (31) y la ecuación (32) se tiene:

$$\Delta H_{m,1} = 0.105 + 0.129 + 3.66 + 3 + 1.7 = 8.594 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta H_{m,2} = 0.072 + 0.09 + 3 + 0.4 = 3.562 \text{ m. c. a.}$$

Considerando un caudal de $0.282 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura manométrica de 8.589 m.c.a. , se selecciona para el circuito primario una bomba de rotor húmedo marca GREENPRO modelo RS32/10EA-180 de 0.25 HP, cuyos puntos de funcionamiento se muestran en la (ver anexo I).

**Figura 49.** Punto de funcionamiento de bomba primaria para edificio multifamiliar

Fuente: Catálogo GreenPro, 2020

Considerando un caudal de $0.282 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura manométrica de 3.562 m.c.a. , se selecciona para el circuito secundario una bomba de rotor húmedo marca GREENPRO modelo RS15/6EAB de 0.06 HP, cuyos puntos de funcionamiento se muestran en la (ver anexo J).

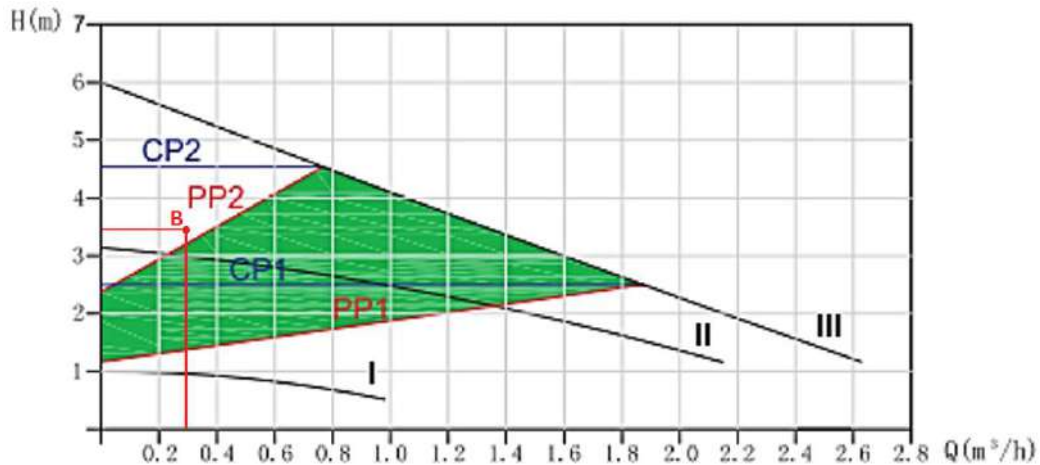


Figura 50. Puntos de funcionamiento de bomba secundaria para edificio multifamiliar
Fuente: Catálogo GreenPro, 2020

4.3.1.6 Vaso de expansión del circuito primario y secundario. Los vasos de expansión del circuito primario y secundario se seleccionarán de acuerdo con su capacidad en litros.

El circuito primario consta de 4 colectores de capacidad de 1.4 L (ver anexo B), una tubería de 16.319 m de longitud con sección de 2.83 cm², además de un intercambiador de calor de 1.5 L de capacidad; considerando esto, se obtiene el volumen total del circuito primario a través de la ecuación (33) como se muestra a continuación:

$$V_{t,1} = 1.4 \cdot 4 + 0.283 \cdot 16.319 + 1.5 = 11.718 \text{ L}$$

Con un volumen total del circuito primario igual a 11.717 L, la capacidad recomendada del vaso de expansión primario se calcula siguiendo el proceso descrito por la ecuación (34).

$$V_{ve,1} = 11.718 \cdot (0.2 + 0.1 \cdot 1.7) = 4.336 \text{ L}$$

Para el circuito primario, por donde circulan 11.718 litros de fluido, se necesitará un vaso de expansión de capacidad mayor a 4.336 L. Se opta por seleccionar uno de marca IBAIONDO, modelo 5-AMR con capacidad de 5 L. (Ver anexo K).

En el caso del circuito secundario, la capacidad recomendada del vaso de expansión secundario se calcula siguiendo el proceso descrito mediante la ecuación (35).

$$V_{ve,2} = 0.1(795 + 5 \cdot 110) = 134.5 \text{ L}$$

Para el circuito secundario, se necesitará un vaso de expansión de capacidad mayor a 134.5 L. Se opta por seleccionar uno de marca IBAIONDO, modelo AMR serie 150-B90 con capacidad de 150 L. (Ver anexo L).

4.3.1.7 Controlador. El controlador seleccionado es uno marca Stiebel Eltron, modelo SOM7-PLUS, dicho controlador cumple con todos los requisitos necesarios para asegurar un funcionamiento correcto de la instalación, tal como se menciona en el apartado 4.2.7. (Ver anexo M)

4.3.2 Cálculo y selección de elementos en la vivienda unifamiliar

A continuación, se describen los cálculos realizados para la selección de los elementos necesarios del circuito hidráulico en la vivienda unifamiliar.

4.3.2.1 Acumulador. Teniendo en cuenta que el área de captación total en la vivienda unifamiliar es de 2.35 m², según la ecuación (22), la capacidad del acumulador debería encontrarse en el rango de 117 – 282 L. En este caso específico se opta por un acumulador de ACS vertical marca IDROGAS, modelo CV 200 SR, serie especial sin serpentín con capacidad de 200 L. (Ver anexo N)

4.3.2.2 Apoyo energético. En la vivienda unifamiliar se cuenta con un sistema de apoyo energético único. La tabla 22 indica que hay 5 personas por vivienda, por lo que se empleará una terma de 110 L según lo expuesto en la tabla 39. Considerando todo esto, se selecciona la misma terma eléctrica que se usa en los departamentos, una marca SOLÉ de 110 L, modelo Wifi. (Ver anexo F)

4.3.2.3 Intercambiador de calor. Para el caso del sistema solar de la vivienda unifamiliar, considerando el área de captación total de 2.35 m² y desarrollando la ecuación (23), se tiene lo siguiente:

$$P_{IC} = 0.525 \cdot 2.35 = 1.234 \text{ kW}$$

El cálculo afirma que el intercambiador de calor deberá tener una potencia de, por lo menos, 1.234 kW. Tomando esto en consideración, se selecciona un intercambiador de calor marca IDROGAS, modelo IDS14-20H. (Ver anexo G)

Si bien el intercambiador de calor es de 7kW y excede por mucho a la potencia requerida, esto no tiene consecuencias negativas en el funcionamiento y deja la posibilidad abierta de realizar una expansión del sistema al colocar más colectores en caso de que se necesite más demanda de ACS.

4.3.2.4 Tuberías. Se toma como premisa un flujo de 30 L/h.m² debido a que es la recomendación del fabricante del colector. Usando la ecuación (24), se calcula el caudal:

$$C = 2.35 \cdot \frac{30}{1000} = 0.071 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los circuitos primario y secundario tendrán un caudal de 0.071 m³/h o un equivalente de 0.02 L/s. Dicho dato posibilita el uso de la ecuación (25), la cual se desarrolla para hallar el diámetro mínimo estimado que debe tener la tubería:

$$D = 2.2 \cdot 0.071^{0.35} = 0.872 \text{ cm} = 8.7 \text{ mm}$$

Teniendo en consideración que el diámetro de la tubería debe ser mayor a 8.7 mm, se selecciona, utilizando la tabla 40, una tubería de cobre de $\frac{3}{4}$ " (19 mm de diámetro interior y 22 mm de diámetro nominal). Se selecciona una tubería igual a la del circuito solar del edificio multifamiliar por razones prácticas; por consecuencia, la sección es la misma que la calculada en el apartado 4.3.1.4.

$$S_t = 0.000284 \text{ m}^2$$

Al ser la misma tubería que en el edificio multifamiliar sometida a menos caudal, no es necesario comprobar que la velocidad sea menor a 2 m/s; sin embargo, esta se calcula igualmente porque se utilizará en el apartado 4.3.2.5. Se halla la velocidad del flujo dentro de la tubería utilizando la ecuación (27).

$$Vel = \frac{0.071}{3600 \cdot 0.000284} = 0.07 \text{ m/s}$$

Las especificaciones técnicas de la tubería de cobre seleccionada se pueden observar en el anexo H. Según la tabla 41, el espesor del aislamiento en las tuberías interiores y exteriores debe ser de 20 y 30 mm respectivamente.

4.3.2.5 Bombas del circuito primario y secundario. Para seleccionar la bomba ideal para los circuitos primario y secundario se debe primero calcular todas las pérdidas de carga.

a) Pérdidas de carga por rozamiento en las tuberías.

Para hallar las pérdidas por rozamiento en las tuberías del circuito, se recurre al gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre; donde los datos de entrada serán el caudal y el diámetro interior de la tubería, ambos obtenidos en el apartado 4.3.2.4.

Debido a que el caudal y la tubería es la misma para el circuito primario y secundario, las pérdidas por metro de tubería también serán iguales. No obstante, la longitud de la tubería no es la misma, por lo que las pérdidas de carga por rozamiento totales sí variarán para cada caso.

- Caudal: 71 L/h
- Diámetro interior: 19 mm

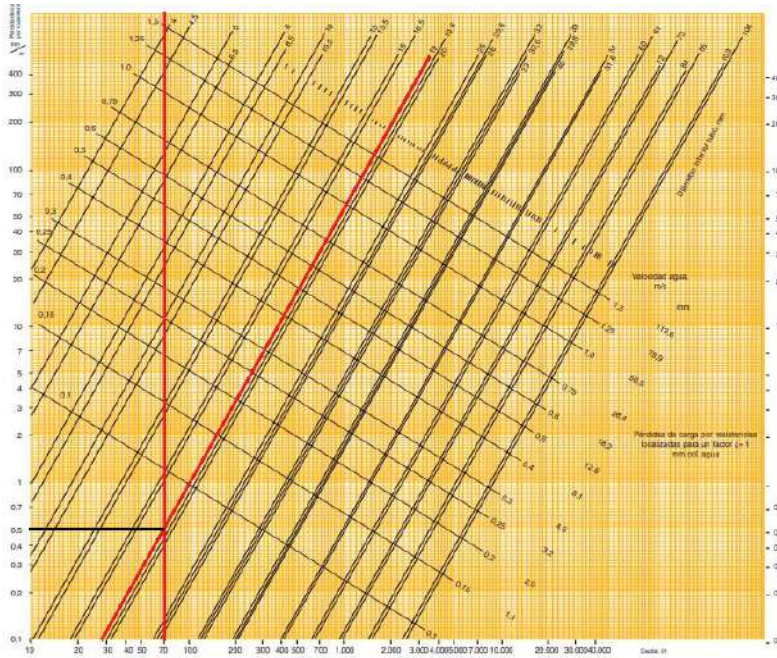


Figura 51. Gráfico de pérdidas de carga por metro de tubería de cobre

Fuente: Centro Español de Información del Cobre (CEDIC)

De la figura 51 se obtiene el valor de las pérdidas de carga por metro de tubería de cobre, el cual es de 0.5 mm.c.a.

Para hallar las pérdidas totales se debe multiplicar dicho factor por la longitud de las tuberías del circuito primario y secundario (ver tabla 44), tal como se indica en la ecuación (28).

$$\Delta H_{\text{roz},1} = 11.198 \cdot 0.5 = 5.599 \text{ mm. c. a.} \approx 0.006 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta H_{\text{roz},2} = 8.123 \cdot 0.5 = 4.062 \text{ mm. c. a.} \approx 0.004 \text{ m. c. a.}$$

Estos valores pueden ser comparados con los obtenidos en el apéndice A, mediante el método de Darcy-Weisbach.

b) Pérdida de carga por accesorios

Al recurrir al encontrar la pérdida de carga localizada, se aprecia que para una velocidad de fluido de 0.07 m/s, como la que se presenta en el circuito primario y secundario, las pérdidas de carga por accesorios son insignificantes, tal como se muestra en la figura 45; debido a este motivo no se considerarán.

- Velocidad del fluido: 0.07 m/s

c) Otras pérdidas de carga

Debido a que el fabricante no expresa las pérdidas de carga para el colector FK 500L, se hallan del gráfico de la figura 46 para un caudal de 70.5 L/h. Las pérdidas de carga son de 165 mm.c.a.

En cuanto al intercambiador de calor, para el modelo IDS14-20H seleccionado, el fabricante indica que las pérdidas de carga máximas pueden llegar hasta 3 m.c.a.

De los apartados anteriores se tiene que:

Tabla 48. Pérdida de carga en el circuito del edificio multifamiliar

	Circuito Primario [m.c.a.]	Circuito Secundario [m.c.a.]
Por rozamiento en tuberías	0.006	0.004
Por accesorios	0	0
En la batería de colectores	0.165	0
En el intercambiador de calor	3	3
Altura geométrica	1.8	0.4

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos expuestos en la tabla 48, usando la ecuación (31) y la ecuación (32) se tiene:

$$\Delta H_{m,1} = 0.006 + 0.165 + 3 + 1.8 = 4.971 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta H_{m,2} = 0.004 + 3 + 0.4 = 3.404 \text{ m. c. a.}$$

Considerando un caudal de $0.071 \text{ m}^3/\text{h}$ y una altura manométrica de 4.971 m.c.a. para la bomba primaria y 3.404 m.c.a. para la secundaria, se selecciona para ambos circuitos una bomba de rotor húmedo marca GREENPRO modelo RS15/6EABde 0.06 HP, cuyos puntos de funcionamiento se muestran en la figura 52. (Ver anexo J)

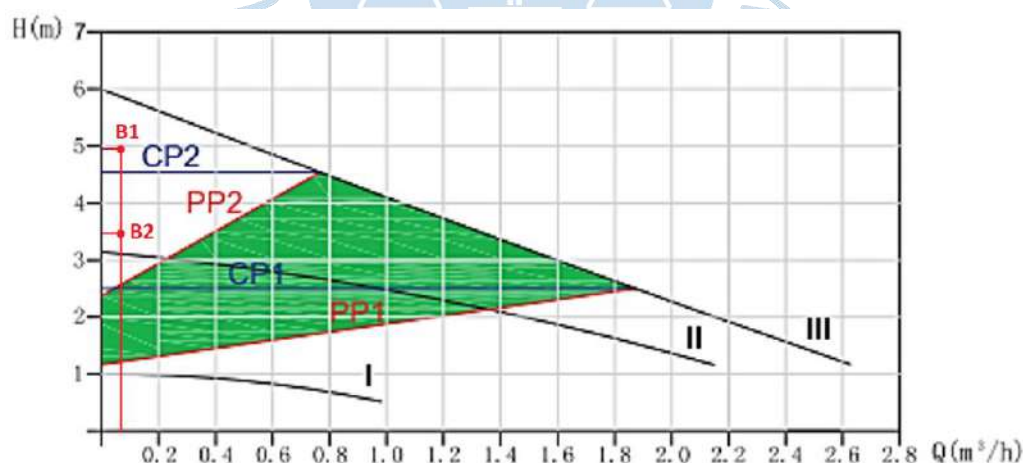


Figura 52. Puntos de funcionamiento de bombas primaria (B1) y secundaria (B2) de vivienda unifamiliar

Fuente: Catálogo GreenPro, 2020

4.3.2.6 Vaso de expansión del circuito primario y secundario. Los vasos de expansión del circuito primario y secundario se seleccionarán de acuerdo con su capacidad en litros.

El circuito primario consta de un solo colector de capacidad de 1.4 L (ver anexo B), una tubería de 11.198 m de longitud con sección de 0.000283 m^2 , además de un intercambiador

de calor de 1.5 L de capacidad; por lo que se obtiene el volumen total del circuito primario a través de la ecuación (33) como se muestra a continuación:

$$V_{t,1} = 1.4 + 0.283 \cdot 11.198 + 1.5 = 6.069 \text{ L}$$

Con un volumen total del circuito primario igual a 6.069 L, la capacidad recomendada del vaso de expansión primario se calcula siguiendo el proceso descrito por la ecuación (34).

$$V_{ve,1} = 6.069 \cdot (0.2 + 0.1 \cdot 1.8) = 2.306 \text{ L}$$

Para el circuito primario, por donde circulan 6.069 litros de fluido, se necesitará un vaso de expansión de capacidad mayor a 2.306 L. Se opta por seleccionar uno de marca IBAIONDO, modelo 5-AMR con capacidad de 5L. (Ver anexo K).

En el caso del circuito secundario, la capacidad recomendada del vaso de expansión secundario se calcula siguiendo el proceso descrito mediante la ecuación (35).

$$V_{ve,2} = 0.1(200 + 110) = 31 \text{ L}$$

Para el circuito secundario, se necesitará un vaso de expansión de capacidad mayor a 31 L. Se opta por seleccionar uno de marca IBAIONDO, modelo AMR serie 35-P con capacidad de 35 L. (Ver anexo O).

4.3.2.7 Controlador. Al igual que para el edificio multifamiliar, se selecciona un controlador Stiebel Eltron, modelo SOM7-PLUS. (Ver anexo M)

4.4 Simulación

Para la simulación del sistema solar térmico se utilizó el programa T*SOL 2018 de Valentin Software, el cual permite ingresar un conjunto de parámetros para emitir un reporte detallado a lo largo del año con datos de temperatura y energía cada 6 minutos.

A continuación, se mencionará el procedimiento para ajustar las características del simulador al caso de estudio específico. El reporte de resultados para el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar se puede apreciar en el anexo P y en el anexo Q respectivamente; el análisis correspondiente de estos se expondrá en el capítulo 5.

4.4.1 Procedimiento para la simulación

El software requiere de los siguientes parámetros para obtener una simulación confiable: las condiciones meteorológicas de la zona; la demanda de ACS; su perfil de consumo y un sistema preconfigurado del circuito conformado por la batería de colectores, el acumulador y el apoyo energético.

El resto de las consideraciones, tales como material de tuberías, bombas y otros componentes, se consideran estándares por lo que no es posible definirlos.

4.4.1.1 Condiciones climáticas. Mediante el programa MeteoSyn, asociado a T*SOL 2018, se ofrece una base de datos climáticos de aproximadamente 8,000 estaciones meteorológicas alrededor del mundo, al cual se tiene acceso seleccionando las coordenadas de la región de interés. A través de este se descargan los datos climáticos de Piura desde 1991 hasta el 2010. (Ver figura 53).

Datos climáticos: Piura	
Ubicación:	Piura
Latitud:	-5.2 °
Longitud:	80.6 °
Suma anual de la radiación global:	2,123.7 kWh/m ²
Parte de radiación difusa:	46.2 %
Temperatura media al exterior:	23.7 °C
Temperatura más baja al exterior:	15.0 °C

Figura 53. Datos meteorológicos de Piura en MeteoSyn.

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2 Selección del sistema preconfigurado. El software dispone, aproximadamente, de 200 sistemas preconfigurados que se asemejan al tipo de circuito que se planea simular; este sistema no puede ser modificado por lo que se debe elegir el más cercano a la instalación real. En el caso del edificio multifamiliar y las viviendas unifamiliares, se eligió el sistema mostrado en la figura 54.

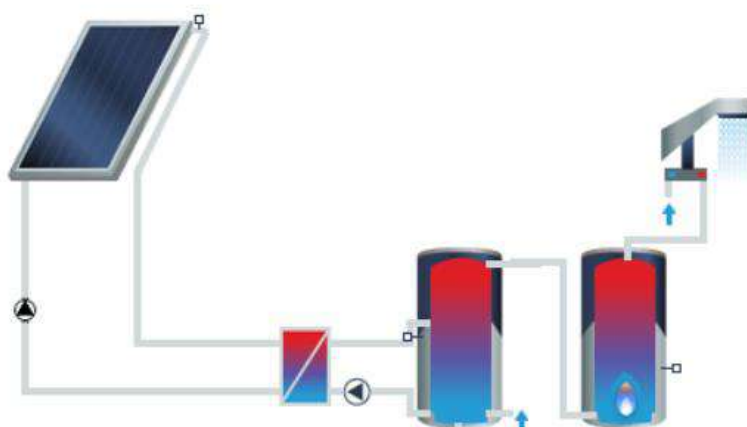


Figura 54. Instalación ACS (2 depósitos) con depósito de combustión directa e IC externo

Fuente: Elaboración propia

Dentro del sistema preconfigurado se pueden variar ciertos parámetros, tales como el modelo de cada componente, su cantidad y otras características.

4.4.1.3 Demanda ACS. Para cada caso del sistema, se ingresan los parámetros de demanda de ACS que corresponden, los cuales fueron definidos en el capítulo 2.

a) Consumo de ACS

Tal como se menciona en el capítulo 2, se selecciona el consumo medio diario de todo el sistema del edificio y de cada casa, los cuales corresponden a 665 litros y 140 litros respectivamente. Posteriormente, se define la temperatura deseada del ACS, es decir, 60 °C y la temperatura de agua fría, la cual se obtiene a través de los datos climáticos descargados de MeteoSyn.

b) Porcentaje de ocupación

El porcentaje de ocupación se determina a través de los perfiles de carga o de consumo. Para ello, se toman como referencia los perfiles ya preconfigurados del programa mostrados en la figura 55 y la figura 56, los cuales cambian dependiendo de la vivienda (multifamiliar o unifamiliar).

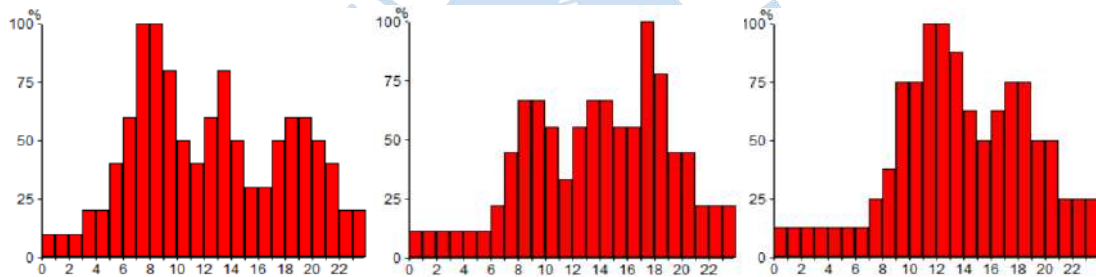


Figura 55. Perfiles de consumo diario de lunes a viernes (izquierda), sábado (medio) y domingo (derecha) correspondiente al edificio multifamiliar.

Fuente: Elaboración propia

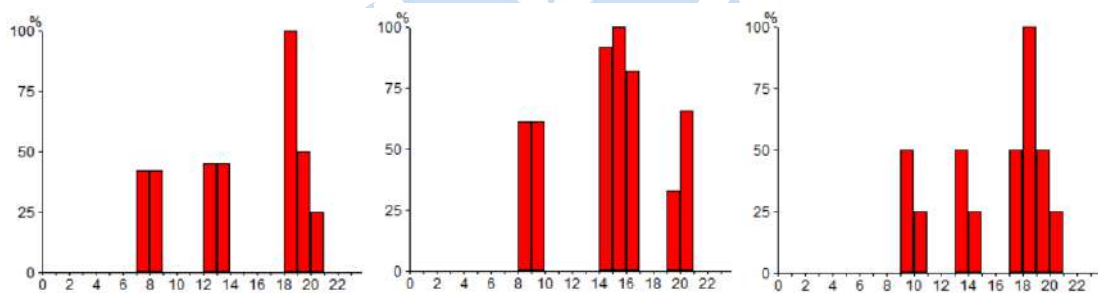


Figura 56. Perfiles de consumo diario de lunes a viernes (izquierda), sábado (medio) y domingo (derecha) correspondiente a casa unifamiliar.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo establecido en el capítulo 2, se modificó el perfil anual de ambas viviendas, tal como se observa en la figura 57.

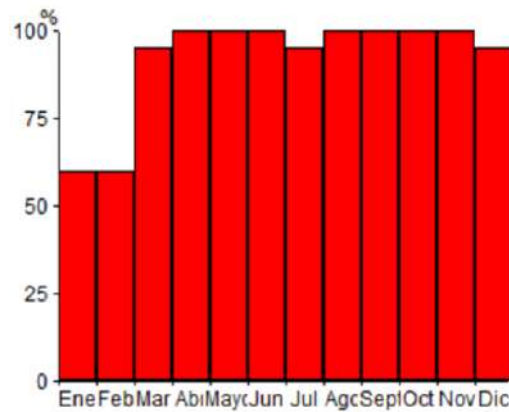


Figura 57. Perfil de consumo anual para edificio multifamiliar y vivienda unifamiliar.

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.4 Colector solar. Para el circuito del colector solar se definen los siguientes parámetros: el fluido caloportador; el modelo de colector solar (colector plano FK500L); la cantidad de colectores solares; el objetivo de cobertura, el cual corresponde a un objetivo medio de un 80 %; y la sombra, la cual no es considerada en esta simulación.

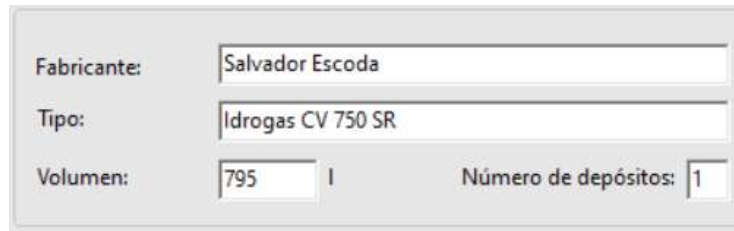
El programa consta de una librería con 2,650 colectores de placa plana y se tiene la opción de agregar un nuevo colector solar; sin embargo, dentro del repertorio de colectores se puede obtener el modelo y características del colector de placa plana elegido, los cuales corresponden al rendimiento óptico del sistema (factor de conversión) y los coeficientes de pérdidas k_1 y k_2 (o también llamados coeficientes de transmisión de calor), tal como se observa en la figura 58, los cuales coinciden con los valores de la tabla 19.

Fabricante:	Solfex ltd.
Tipo:	FK500L
Nombre:	Colector plano
Grado de eficiencia	
☐ Característica con 2 secciones	
Factor de conversión:	81.1 %
Coeficiente de transmisión de calor	
simple:	3.295 W/(m²K)
cuadrado:	0.017 W/(m²K²)
☐ Coef. de transmisión de calor referidos a temp. de entrada del colector	

Figura 58. Modelo y grados de eficiencia del colector solar FK500L

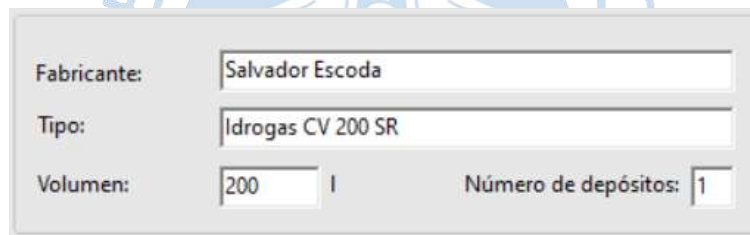
Fuente: Elaboración propia

4.4.1.5 Acumulador. Dentro del repertorio de acumuladores de ACS no se encontraron los modelos seleccionados en el apartado 4.3, por lo que se creó un archivo para cada modelo según las especificaciones técnicas correspondiente. Los modelos elegidos, y de los cuales se tomaron las dimensiones en el circuito hidráulico, son IDROGAS CV 750 CR y IDROGAS CV 200 CR, mostrados en la figura 59 y la figura 60, respectivamente. Estos corresponden a un acumulador de 795 litros para el edificio multifamiliar y de 200 litros para la vivienda unifamiliar.



Fabricante:	Salvador Escoda		
Tipo:	Idrogas CV 750 SR		
Volumen:	795	l	Número de depósitos: 1

Figura 59. Modelo de acumulador de ACS correspondiente a edificio multifamiliar
Fuente: Elaboración propia



Fabricante:	Salvador Escoda		
Tipo:	Idrogas CV 200 SR		
Volumen:	200	l	Número de depósitos: 1

Figura 60. Modelo de acumulador de ACS correspondiente a vivienda unifamiliar
Fuente: Elaboración propia

4.4.1.6 Apoyo energético. El circuito desarrollado para el proyecto considera un apoyo energético de tipo eléctrico. No obstante, el repertorio de calefacción adicional del software no incluye dicha opción, por lo que para la simulación se elige un apoyo energético con caldera a gas, ya que esta es una de las opciones más comunes en el proceso convencional de calentamiento de agua. Su modelo se considera estándar y se elige un depósito de 110 litros, correspondiente a la terma elegida anteriormente. En el caso del edificio multifamiliar se seleccionan 5 depósitos para la correspondiente demanda de ACS.

Capítulo 5

Resultados

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos, que comprenden la demanda energética necesaria; la disponibilidad de energía solar; la selección del colector solar y los elementos del circuito hidráulico; un análisis de los resultados de la simulación en T*SOL 2018 y, por último, un análisis de factibilidad donde muestra el periodo de recuperación simple del proyecto.

5.1 Colector solar

En el capítulo 3 se calcula la demanda energética necesaria para las residencias, adicionalmente, también, se calcula la energía solar disponible. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 49.

Tabla 49. Demanda y disponibilidad energética solar

	Edificio multifamiliar		Vivienda unifamiliar	
	Demanda [MJ]	Disponibilidad [MJ]	Demanda [MJ]	Disponibilidad [MJ]
Enero	1799.43	2159.97	378.83	539.99
Febrero	1604.46	1846.47	337.78	461.62
Marzo	2805.57	2704.74	590.65	676.19
Abril	2980.44	2856.51	627.46	714.13
Mayo	3218.34	2648.06	677.55	662.01
Junio	3296.66	2389.78	694.03	597.44
Julio	3384.39	2402.27	712.50	600.57
Agosto	3612.68	2550.19	760.56	637.55
Setiembre	3450.78	2541.35	726.48	635.34
Octubre	3521.74	2501.91	741.42	625.48
Noviembre	3291.90	2032.14	693.03	508.04
Diciembre	3034.35	2168.32	638.81	542.08
Anual	36,000.73	28801.69	7579.10	7200.42

Fuente: Elaboración propia

El aporte de cada modelo de colector solar y la selección del más apropiado; se aprecia según la tabla 50.

Tabla 50. Aporte solar de la batería de colectores al sistema.

	Edificio multifamiliar			Vivienda unifamiliar		
	Número de colectores	Área total de captación [m ²]	Aporte solar [%]	Número de colectores	Área total de captación [m ²]	Aporte solar [%]
FK250P	5	9.4	74.81	1	1.88	71.54
FK250L	5	9.4	74.81	1	1.88	71.54
FK500P	4	9.4	76.80	1	2.35	87.51
FK500L	4	9.4	78.33	1	2.35	88.97
TopSon F3-1	5	10	83.19	1	1.68	79.95
TopSon F3-Q	5	10	82.82	1	1.68	79.63
TopSon CFK-1	5	10	70.84	2	4	100

Fuente: Elaboración propia

Con una cantidad de 4 colectores y un área total de 9.4 m², en el apartado 3.2.3.4, se escoge el colector FK500L ya que dicho modelo posee la mejor eficiencia energética por colector.

5.2 Circuito hidráulico

Para el circuito hidráulico se realizan cálculos que ayudan a tener una idea de qué características deben tener los elementos para que el funcionamiento del sistema sea óptimo.

5.2.1 Edificio multifamiliar

En el circuito primario el flujo caloportador será calentado en el colector solar modelo FK500L, y será impulsado por una bomba de 0.25 HP marca GREENPRO (RS32/10EA-180). La tubería a utilizar será una de cobre de ¾" (Nacobre M-19) y para absorber las variaciones de volumen se utiliza un vaso de expansión marca IBAIONDO de 5 L (5 AMR).

En el circuito secundario el ACS se almacenará en un acumulador de 795 L marca IDROGAS (CV 750 SR) y será impulsada por una bomba de 0.06 HP marca GREENPRO (RS15/6EAB) a través del intercambiador de calor, también marca IDROGAS (IDS14-20H). La tubería del circuito será de cobre de ¾" y para absorber las variaciones de volumen se utiliza un vaso de expansión marca IBAIONDO de 150 L (150 AMR B-90).

Para el circuito de consumo se seleccionan 5 termas eléctricas de 110 L marca SOLE modelo Wifi y, por último, un controlador Stiebel Eltron modelo SOM7-PLUS controla el encendido y apagado de las bombas.

La selección de las marcas para cada elemento del circuito se realizó tomando como referencia el cálculo de sus requerimientos; sin embargo, si bien se ha particularizado una marca, se puede seleccionar una similar.

5.2.2 Vivienda unifamiliar

En la vivienda unifamiliar, para el circuito primario se utilizan los mismos elementos que para el edificio multifamiliar, con excepción de la bomba primaria. Al no requerir una elevada altura manométrica, se selecciona una marca GREENPRO de 0.06 HP modelo RS15/6EAB.

En el circuito secundario el ACS se almacenará en un acumulador de 200 L marca IDROGAS (CV 200 SR) y será impulsada con una bomba igual o similar a la del circuito primario, es decir, una marca GREENPRO modelo RS15/6EAB. El fluido circula por tuberías de cobre de $\frac{3}{4}$ " y se utiliza un vaso de expansión de 35 L marca IBAIONDO (35 AMR-P)

En el circuito de consumo, a diferencia del edificio multifamiliar, solo se utiliza una terma eléctrica de la misma marca, es decir, SOLE de 110 L modelo Wifi.

El controlador utilizado en la vivienda unifamiliar es uno igual al que se utiliza en el edificio multifamiliar. Al igual que en el edificio multifamiliar, cabe la posibilidad de que se seleccionen marcas similares a las seleccionadas.

5.2.3 Resumen de selección

En la tabla 51, se puede apreciar las selecciones de los elementos del sistema hidráulico:

Tabla 51. Selección de elementos del circuito hidráulico.

	Edificio Multifamiliar			Vivienda Unifamiliar		
	Marca	Modelo	Specs.	Marca	Modelo	Specs.
Colector solar	Solfex	FK 500 L	ANEXO B	Solfex	FK 500 L	ANEXO B
Acumulador	IDROGAS	CV 750 SR	ANEXO E	IDROGAS	CV 200 SR	ANEXO N
Terma eléctrica	SOLE	Wifi	ANEXO F	Sole	Wifi	ANEXO F
Intercambiador de calor	Salvador Escoda	IDS14-20H	ANEXO G	Salvador Escoda	IDS14-20H	ANEXO G
Tubería	Nacobre	Rígida – M	ANEXO H	Nacobre	Rígida – M	ANEXO H
Bomba del circuito primario	GREENPRO	RS32/10EA-180	ANEXO I	GREENPRO	RS15/6EAB	ANEXO J
Bomba del circuito secundario	GREENPRO	RS15/6EAB	ANEXO J	GREENPRO	RS15/6EAB	ANEXO J
Vaso de expansión (circuito primario)	IBAIONDO	5-AMR	ANEXO K	IBAIONDO	5-AMR	ANEXO K
Vaso de expansión (circuito secundario)	IBAIONDO	150-AMR-B90	ANEXO L	IBAIONDO	35-AMR-P	ANEXO O
Controlador	Stiebel Eltron	SOM7-PLUS	ANEXO M	Stiebel Eltron	SOM7-PLUS	ANEXO M

Fuente: Elaboración propia

5.3 Simulación

Mediante el software T*SOL 2018, se simula el circuito hidráulico con el objetivo de analizar otros factores o comprobar la viabilidad del proyecto. En los reportes elaborados por el programa, mostrados en el anexo P y el anexo Q, se observan los resultados de la tabla 52.

Tabla 52. Resultados obtenidos de la simulación en T*SOL 2018

	Edificio Multifamiliar	Vivienda Unifamiliar
Energía suministrada por el sistema solar	34,427 MJ	6,812 MJ
Consumo energético total	46,153 MJ	9,330 MJ
Demanda energética para ACS	36,785 MJ	7,744 MJ
Fracción solar ACS	74.6 %	73.0 %
Emisión de CO2 evitada	2,488.09 kg	492.31 kg

Fuente: Software T*SOL 2018

A continuación, se muestran las gráficas de fracción solar con valores tomados semanalmente y correspondientes a la vivienda unifamiliar y al edificio multifamiliar respectivamente según la simulación realizada (ver figura 61 y figura 62).

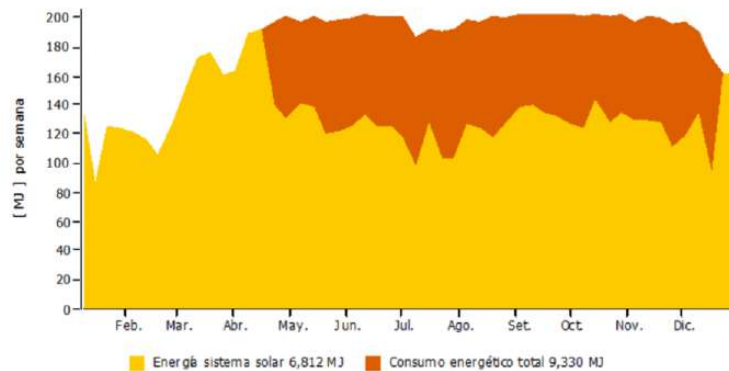


Figura 61. Simulación de fracción de energía solar en el consumo energético en la vivienda unifamiliar
Fuente: Software T*SOL 2018

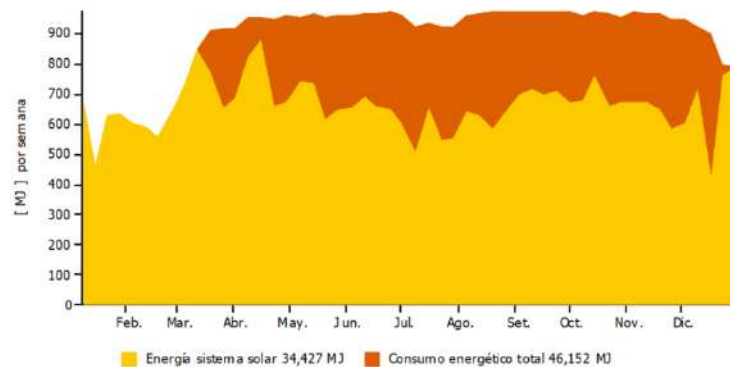


Figura 62. Simulación de fracción de energía solar en el consumo energético en el edificio multifamiliar
Fuente: Software T*SOL 2018

En el anexo P y el anexo Q, también se observa que los valores de pérdidas en el circuito de red solar son iguales a cero, esto se debe a que el programa T*SOL 2018 considera las bombas y tuberías de manera ideal, es decir que no experimentan pérdidas caloríficas. No obstante, la propuesta de esta tesis sí las contempla, por lo que en la metodología se incluyó un factor de pérdidas que corresponde a un 15%, que incluye el efecto del acumulador, intercambiador de calor y otros elementos.

5.3.1 Aporte de energía solar

Según el manual del software, la fracción solar indica el porcentaje de energía solar del consumo energético total, el cual es la sumatoria de la energía solar con la energía de calefacción auxiliar. No obstante, en los cálculos realizados en el capítulo 3, el aporte solar se define como la relación entre la energía aportada por la batería de colectores y la demanda energética del sistema (parámetro no considerado en la figura 61 ni en la figura 62). Por ello, con el objetivo de comparar los resultados de la simulación se elaboraron gráficas que comparan la demanda energética de cada sistema con su respectivo valor de energía solar aportada por los colectores.

5.3.1.1 Aporte solar en vivienda unifamiliar. De acuerdo con la ecuación (21), el aporte solar de la simulación corresponde a un 84.81 %, mientras que en la tabla 50 se ha calculado el aporte de un 88.97 %. A continuación, se muestran las gráficas de los cálculos realizados en el capítulo 3 y de la información obtenida a través de la simulación en T*SOL 2018, que corresponden a la figura 63 y figura 64, respectivamente.

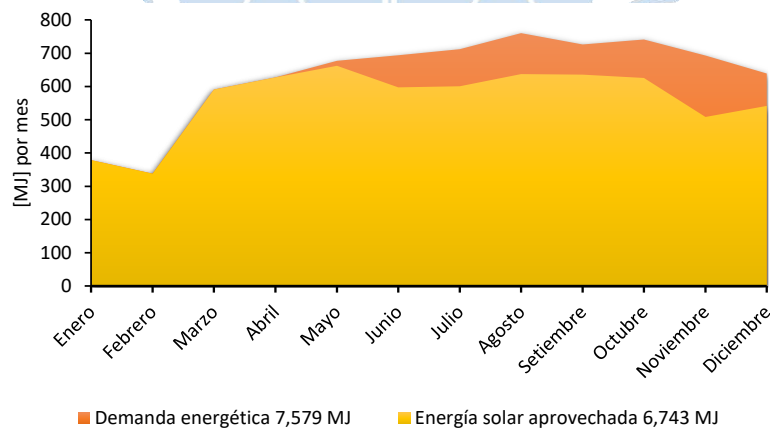


Figura 63. Gráfica comparativa de aporte solar de la vivienda unifamiliar

Fuente: Elaboración propia

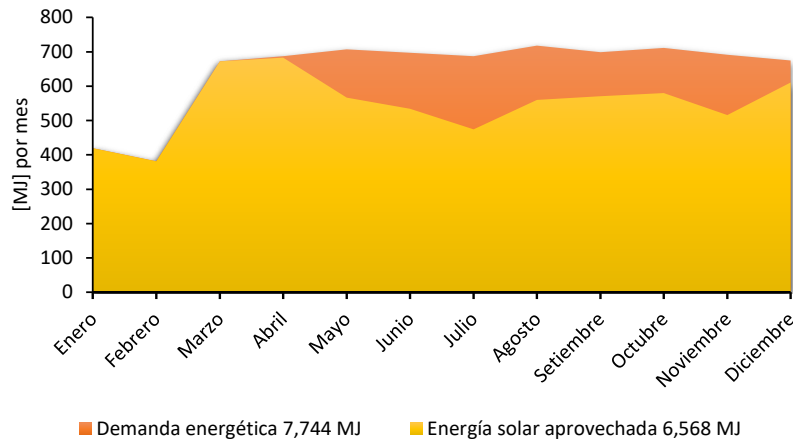


Figura 64. Simulación del aporte solar de la vivienda unifamiliar
Fuente: Software T*SOL 2018

Se observa en ambos gráficos que la demanda de los meses de enero a abril es cubierta al 100 %. Sin embargo, se aprecian diferencias en el resto de los meses; esto se debe a que en la figura 63 se consideran los datos climáticos del año de 2019, mientras que la simulación considera información desde 1991 hasta el año 2010. Sin embargo, en ambos se cumple la contribución solar mínima, ya que se aporta más de un 70 %, tal como se indica en el apartado 2.3.2.2; y, adicionalmente, se puede argumentar que los cálculos realizados son corroborados por la simulación al arrojar gráficas muy similares.

5.3.1.2 Aporte solar en edificio multifamiliar. De acuerdo con la ecuación (21), el aporte solar de la simulación corresponde a un 89.99 %, mientras que en la tabla 50 se ha calculado el aporte de un 78.33 %. A continuación, se muestran las gráficas de los cálculos realizados en el capítulo 3 y de la información obtenida a través de la simulación en T*SOL 2018, que corresponden a la figura 65 y figura 66, respectivamente.

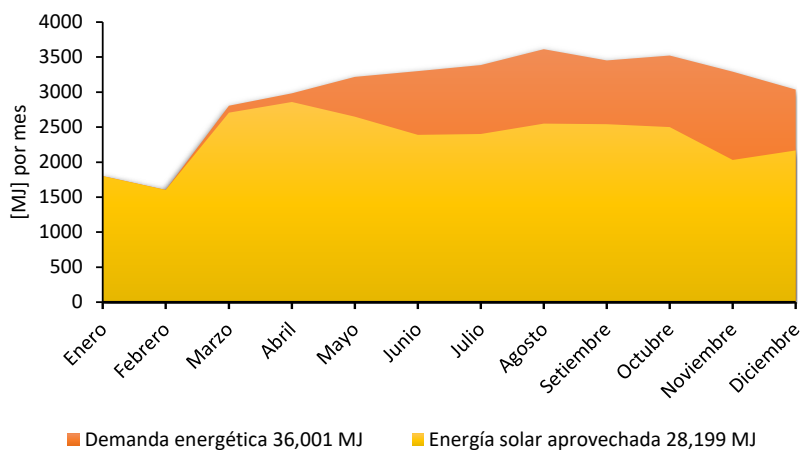


Figura 65. Gráfica comparativa de aporte solar del edificio multifamiliar
Fuente: Elaboración propia

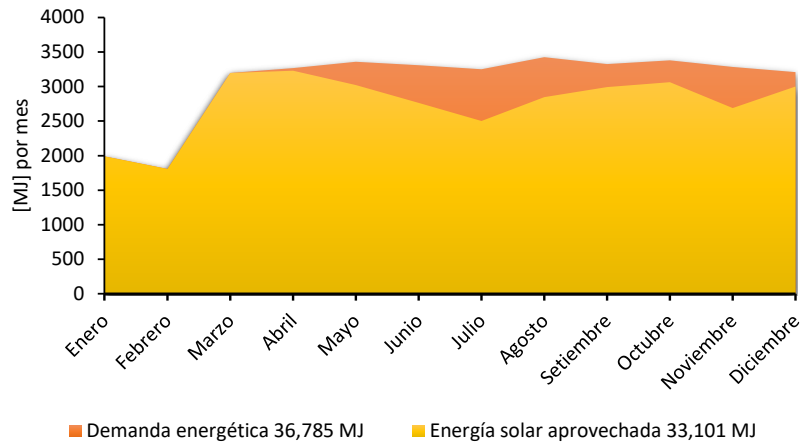


Figura 66. Simulación del aporte solar del edificio multifamiliar
Fuente: Software T*SOL 2018

En el caso del edificio multifamiliar, según la simulación, se observa que la demanda es cubierta al 100 % en los meses de enero a marzo, y ligeramente en abril. Además, en el resto del año se observa una mayor contribución solar en la simulación comparada con la calculada a través de la metodología propuesta en la tesis. No obstante, al igual que en el caso de la vivienda unifamiliar, se cumple con la contribución solar mínima de un 70 % y también se aprecian dos gráficos de aporte de energía similares.

5.4 Análisis de factibilidad

Todo proyecto debe estar acompañado por algún tipo de análisis de factibilidad, de esta manera se pueden comparar los costos y los beneficios involucrados con el fin de observar si dicho proyecto es una buena alternativa o no.

5.4.1 Costo de la energía

En el capítulo 3 se calculó la demanda energética necesaria para calentar el agua sanitaria del edificio multifamiliar y de la vivienda unifamiliar según las condiciones establecidas por las normas dictadas según el CTE. Si no se instalase el sistema de captación solar, dicha energía tendría que ser proporcionada, en su totalidad, por la terma eléctrica. El gasto económico que involucra realizar esto es calculable; según Osinergmin, en el Perú el costo de un kWh consumido por una terma eléctrica es de 0.67 soles. Entonces considerando la información de la tabla 49 se tiene:

Tabla 53. Costo anual de la energía para las residencias

Residencia	Demanda energética [MJ]	Demanda energética [kWh]	Tarifa [S/. /kWh]	Gasto anual [S/.]
Edificio Multifamiliar	36,000.73	10,000.21	0.67	6,700.14
Vivienda Unifamiliar 1	7,579.10	2,105.31	0.67	1,410.55
Vivienda Unifamiliar 2	7,579.10	2,105.31	0.67	1,410.55
Condominio (Total)	51,158.93	14,210.83	0.67	9,521.25

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Ahorro monetario anual

Al instalar el sistema solar en las casas y en el edificio del condominio, cierto porcentaje de la demanda es cubierta por la energía solar. En el capítulo 3 se calculó el aporte solar anual de cada modelo de colector (ver tabla 50); al tener la fracción de la demanda energética que es cubierta por el sistema solar y el costo anual de la misma, podemos obtener el ahorro monetario anual. Para el colector FK 500 L seleccionado se tiene:

Tabla 54. Ahorro anual generado por el sistema solar térmico.

Residencia	Gasto anual [S/.]	Aporte solar [%]	Ahorro anual [S/.]
Edificio Multifamiliar	6,700.14	78.33%	5,248.22
Vivienda Unifamiliar 1	1,410.55	88.97%	1,254.97
Vivienda Unifamiliar 2	1,410.55	88.97%	1,254.97
Condominio (Total)	9,521.24	81.48%	7,758.15

Fuente: Elaboración propia

Se tiene que la instalación de sistemas solares independientes para cada casa y el edificio multifamiliar genera un ahorro de 7,758.15 soles anuales, lo que se traduce en un ahorro de un 81.48% del consumo total del condominio.

5.4.3 Inversión total

Para la compra de los materiales y equipos para desarrollar el proyecto se necesita una inversión, como se puede ver en la tabla 55, se tiene que la inversión total estimada es de 53,812.65 nuevos soles; este monto considera un 15% del total destinado a instalación.

Tabla 55. Inversión total del proyecto

Elemento	Cant.	Precio (S/.)	Tratamiento arancelario	Flete Transporte	Precio total (S/.)
Colector Solfex FK500L	6	10899.975	19.00%	20.00%	15,565.166
Acumulador CV 750 SR	1	6708.2	25.75%	20.00%	10,122.6755
Acumulador CV 200 SR	2	6466.766	25.75%	20.00%	9,758.3485
Intercambiador de calor IDS14-20H	3	1109.8365	19.00%	20.00%	1,584.8505
Bomba GREENPRO RS32/10EA-180	1	209.5675	19.00%	20.00%	299.2595
Vaso de Exp. Primario IBAIONDO 5-AMR	3	211.038	19.00%	20.00%	301.359
Bomba GREENPRO RS15/6EAB	5	598.7825	19.00%	20.00%	855.0575
Vaso de Exp. Secundario IBAIONDO 150-AMR-B90	1	844.3645	19.00%	20.00%	1,205.7505
Vaso de Exp. Secundario IBAIONDO 35-AMR-P	2	433.636	19.00%	20.00%	619.2335
Tubería Nacobre M19 - 3/4"	66.142	2058.802	0.00%	20.00%	2,470.559
Controlador Stiebel Eltron SOM7-PLUS	3	2058.7935	19.75%	20.00%	2,958.4845
Instalación					8,071.896
Fuente: Elaboración propia					53,812.65

5.4.4 Periodo de recuperación simple de la inversión

Este factor ayuda a observar de manera más clara en cuánto tiempo el monto de inversión será recuperado y se empezará a generar ahorro puro. Para hallar el PRS se debe seguir la ecuación (36) según los datos de la tabla 54 y tabla 55.

$$PRS = \frac{I_t}{(C_e + C_{ren} + C_{gei}) - C_{mto}} \quad (36)$$

Donde:

- PRS : Periodo de recuperación simple de la inversión.
- I_t : Inversión total del proyecto [S/].
- C_e : Ahorro monetario anual [S/].
- C_{ren} : Ingresos anuales por uso de energías renovables [S/].
- C_{gei} : Ingresos anuales por reducción de gases de invernadero [S/].
- C_{mto} : Costo anual del mantenimiento [S/].

Según Ballesteros (2012), el gasto anual por mantenimiento del banco de colectores es, aproximadamente, un 0.5% de la inversión total; para este proyecto se considera un gasto

estimado anual de 50 soles por colector para el mantenimiento. Además, se debe tener en cuenta que no se generan ingresos por reducción de gases de invernadero ni se gozan incentivos por el uso de energías renovables ya que en el Perú no existen estas regulaciones. Considerando esto, se tiene:

$$PRS = \frac{53,812.65}{(7,758.15 + 0 + 0) - 6 * 50} = 7.21 \approx 7$$

Al calcular el PRS se tiene que, para las condiciones dadas, la inversión total sería recuperada en un estimado de 7 años.

5.4.4.1 PRS de la inversión en el edificio multifamiliar. Se analiza el PRS de la inversión que se realizaría para instalar el sistema solar térmico exclusivamente en el edificio multifamiliar. De la tabla 56 se obtiene el precio de los elementos utilizados y su cantidad para obtener la inversión total del sistema solar térmico en el edificio.

Tabla 56. Inversión exclusiva para el edificio multifamiliar

Edificio Multifamiliar		
Elemento	Cantidad	Precio total (S/.)
Colector Solfex FK500L	4	12,207.97
Acumulador CV 750 SR	1	11,909.03
Intercambiador de calor IDS14-20H	1	621.51
Bomba GREENPRO RS32/10EA-180	1	352.07
Vaso de Exp. Primario IBAIONDO 5-AMR	1	118.18
Bomba GREENPRO RS15/6EAB	1	201.19
Vaso de Exp. Secundario IBAIONDO 150-AMR-B90	1	1,418.53
Tubería Nacobre M19 - 3/4"	27.5	1,208.46
Controlador Stiebel Eltron SOM7-Plus	1	1160.19069
		29,197.14

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 54 se obtiene el ahorro anual en el edificio multifamiliar; calculando el PRS se tiene:

$$PRS = \frac{29,197.14}{(5,248.22 + 0 + 0) - 200} = 5.78 \approx 6$$

Si se analiza exclusivamente instalar un sistema solar térmico para el edificio multifamiliar, se recuperaría la inversión en aproximadamente 6 años.

5.4.4.2 PRS de la inversión en la vivienda unifamiliar. Se analiza el PRS de la inversión que se realizaría para instalar el sistema solar térmico exclusivamente en la vivienda unifamiliar. De la tabla 57 se obtiene el precio de los elementos utilizados y su cantidad para obtener la inversión total del sistema solar térmico en la vivienda.

Tabla 57. Inversión exclusiva para la vivienda unifamiliar

Vivienda Unifamiliar		
Elemento	Cantidad	Precio total (S/.)
Colector Solfex FK500L	1	3,051.99
Acumulador CV 200 SR	1	5,740.21
Intercambiador de calor IDS14-20H	1	621.51
Vaso de Exp. Primario IBAIONDO 5-AMR	1	118.18
Bomba GREENPRO RS15/6EAB	2	402.38
Vaso de Exp. Secundario IBAIONDO 35-AMR-P	1	364.25
Tubería Nacobre M19 - 3/4"	19.321	849.04
Controlador Stiebel Eltron SOM7-Plus	1	1,160.19
Fuente: Elaboración propia		12,307.76

De la tabla 54 se obtiene el ahorro anual en el edificio multifamiliar; calculando el PRS se tiene:

$$PRS = \frac{12,307.76}{(1,254.97 + 0 + 0) - 50} = 10.21 \approx 10$$

Si se analiza exclusivamente instalar un sistema solar térmico para una vivienda unifamiliar, se recuperaría la inversión en aproximadamente 10 años.

5.4.5 Valor Actual Neto (VAN)

Es una medida de los excedentes o pérdidas en los flujos de efectivo, todo llevado al valor real ya que el dinero no tiene el mismo valor con el paso del tiempo. Básicamente se descuenta al momento actual todos los flujos de efectivos futuros del proyecto y se le resta la inversión inicial; este procedimiento se describe en la ecuación (37).

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (37)$$

Donde:

- VPN : Valor actual neto [S/].
- I : Inversión total del proyecto [S/].
- Q_n : Flujo neto en cada periodo [S/].
- r : Tipo de interés de la inversión.
- n : Periodo de tiempo en años.

5.4.6 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que hace que el VAN de una inversión sea igual a cero. El criterio del TIR evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en la moneda actual; este procedimiento se describe en la ecuación (38).

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (38)$$

5.4.7 Cálculo de VAN y TIR

En la tabla 58 se observa el flujo de ingresos y egresos de la inversión para el proyecto con un horizonte de 10 años; con esta información se puede calcular el VAN y el TIR utilizando las ecuaciones (37) y (38).

Tabla 58. Flujo neto y acumulado de la inversión

Año	Inversión	Flujo ingresos	Flujo egresos	Flujo neto	Flujo acumulado
0	53,812.65	-	-	-	-53,812.65
1	-	7,758.15	300	7,458.15	-46,354.50
2	-	7,758.15	300	7,458.15	-38,896.35
3	-	7,758.15	300	7,458.15	-31,438.20
4	-	7,758.15	300	7,458.15	-23,980.05
5	-	7,758.15	300	7,458.15	-16,521.90
6	-	7,758.15	300	7,458.15	-9,063.75
7	-	7,758.15	300	7,458.15	-1,605.60
8	-	7,758.15	300	7,458.15	5,852.55
9	-	7,758.15	300	7,458.15	13,310.70
10	-	7,758.15	300	7,458.15	20,768.85

Fuente: Elaboración Propia

Tras realizar el cálculo el resultado obtenido es de un VAN positivo y una TIR de **6%** como se observa en la tabla 59; esto significa que el proyecto es viable ya que el actual de los flujos es mayor que el desembolso inicial.

Tabla 59. VAN y TIR del proyecto de inversión

VAN	TIR
S/10,626.33	6.40%

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

La distribución arquitectónica del condominio dificulta la instalación de tuberías interconectadas para cada edificación por lo que se opta por evaluar un sistema solar térmico independiente por edificación en vez de un sistema centralizado para todo el condominio. Un sistema centralizado sería recomendable debido a que se requieren menos componentes para el circuito hidráulico, lo que permite minimizar el costo de la inversión; sin embargo, en el ciclo de proyecto, se debe incluir o incorporar desde la ingeniería básica y de detalle el diseño del sistema para facilitar su implementación.

Para ambas residencias, con el modelo de colector seleccionado, se cumple con el requisito de generar una contribución solar mínima del 70%, tal y como establece la normativa española (ver apartado 2.3.2.2.). Específicamente en el caso de las casas, se pudo optar por el modelo de colector FK250L para tener un aporte solar más cercano al que se planteó inicialmente, sin embargo, se seleccionó el modelo FK 500L debido a que por una diferencia de 50 dólares se obtiene cerca de 17.5% más de contribución solar.

Se ha dedicado un área de 47.5 m² para la instalación de todos los equipos y tuberías del sistema solar térmico en la azotea del edificio multifamiliar, desde el punto de vista arquitectónico esto no presenta ningún problema teniendo en cuenta que hay un área disponible de 130 m². Análogamente, para la vivienda unifamiliar se ha dedicado un área de 11 m² para tuberías y equipos cuando el área disponible es de 112 m².

Para la selección del colector solar del edificio; los modelos TopSon F3-1 y TopSon F3-Q brindan la mayor cantidad de energía y tienen el mayor aporte solar con un 83.19% y un 82.82%, respectivamente (ver tabla 37); sin embargo, para alcanzar dicho valor, utilizan 5 colectores; esto significa que cada colector modelo TopSon F3-1 tiene un aporte solar individual de un 16.64% de la demanda (5,989.85 MJ) y cada colector TopSon F3-Q tiene un aporte solar individual de un 16.56% de la demanda (5,963.14 MJ). Por otro lado, de seleccionar el modelo FK500L, solo se requieren 4 colectores para alcanzar una contribución solar de 78.33%, esto equivale a un aporte solar individual por colector de un 19.58% de la demanda (7,049.79 MJ). Considerando que el modelo FK500L es más eficiente y su uso involucra una menor inversión, así como un aporte solar considerable, se selecciona dicho modelo tras realizar el análisis siguiendo las consideraciones de CENSOLAR.

Para la selección del colector solar en las viviendas unifamiliares, el modelo TopSon CFK-1 produce un 100% de aporte solar (ver tabla 38), sin embargo esto se debe a que, para alcanzar un 70% de contribución solar mínima, se necesitan 2 colectores, a diferencia de los otros modelos que solo necesitan 1. Tomando esto en consideración se opta por la selección del modelo FK500L, que produce un aporte solar de un 88.97%; esta selección implica un menor costo de inversión, una contribución solar considerable y la estandarización de una sola marca y modelo para los colectores solares del condominio.

En los meses de noviembre a abril el sistema se cubre al 100% con energía solar y el resto del año se requerirá de un sistema auxiliar de energía, por lo que el sistema propuesto presenta un ahorro de un 81.33 % de la energía total requerida. Además, debido a que la selección de los componentes del sistema hidráulico se realiza en base a valores comerciales, el sistema final estaría sobredimensionado; esto representa una ventaja en el caso que se requiera incrementar la demanda de ACS.

Al comparar los cálculos realizados, con los datos expuestos en el reporte de la simulación mediante el programa T*SOL 2018, se observa que los índices de contribución solar del sistema solar térmico son similares en el caso de la vivienda unifamiliar; en donde se calculó un aporte solar de un 88.97%, mientras que en la simulación se obtuvo un 84.81%. Entre dichos valores hay un margen aceptable de un 4.5%, por lo que se concluye que los resultados son correctos.

Para el caso del edificio multifamiliar, el índice de aporte solar calculado no coincide con el obtenido en la simulación, estos representan un 78.33% y un 89.99% respectivamente. Uno de los factores que justifican la diferencia en los valores es que dentro de los parámetros del sistema preconfigurado utilizado en T*SOL 2018 no se tiene la opción de un sistema de acumulación centralizada con acumulación distribuida, específicamente, no se puede simular un solo acumulador que alimente a 5 termas eléctricas de apoyo energético.

Para la masificación de la implementación de sistemas de ACS, basados en energía solar, se recomienda desarrollar, consolidar y fortalecer un marco normativo peruano que se ajuste a la realidad de las ciudades del país, esto implica una zonificación basada en la disponibilidad del recurso solar y, también, en lo referente al requerimiento del ACS. Este tipo de normativa permitirá optimizar el diseño de los sistemas y la selección de sus componentes.

Desde el punto de vista económico y, considerando que, según OSINERGMIN, la tarifa estimada para el uso de una terma eléctrica en una residencia domiciliaria es de 0.67 S/. /kWh, el ahorro monetario anual generado por el ahorro energético, asciende a S/ 7,758.15. Se generaría, en la instalación de sistemas solares independientes para cada casa y el edificio, un ahorro total de energía de 41,684.3 MJ, lo que significa un 81.48% de la demanda energética del edificio para obtención de ACS.

En caso de llevar a cabo la instalación de sistemas solares térmicos en el condominio, el periodo de recuperación simple de la inversión sería de 7 años, dicho tiempo es aceptable, pero podría no ser tan llamativo para la masificación de estos sistemas. De acuerdo con la información de SolarWeb (2020), portal de energía solar y directorio de empresas dedicadas a las energías renovables, no hay un estudio concreto acerca del tiempo de repago para sistemas solares ya que este depende directamente de la zona geográfica y del tamaño de la instalación, sin embargo, estiman que el tiempo medio ronda los 5 años.

Una de las alternativas para disminuir los costos de inversión y funcionamiento, y así hacer atractivos el uso de estos sistemas basados en recursos renovables, es la incorporación de políticas gubernamentales para la promoción, uso y sensibilización; en el caso de equipamiento se pueden implementar medidas en la disminución de los tratamientos arancelarios e impositivos; así como subsidios e incentivos por el uso y aprovechamiento de energías renovables; también, la implementación de normativas referidas a bonos económicos por la reducción de emisión de gases de efecto invernadero podrían beneficiar el desarrollo de este tipo de proyectos. En países que tienen políticas que incentivan el uso de energías renovables, se puede llegar a cubrir un 30 % o 45 % de la inversión del proyecto siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones. Si se implementase una política similar en el Perú cubriendo un 30 %, el costo de la inversión sería reducido a S/ 37,668.87 y el tiempo de recuperación de la inversión sería de 5 años, es decir, 2 años menos de lo calculado inicialmente.

Se recomienda realizar este tipo de instalaciones en edificaciones cuya demanda sea alta, ya que el ahorro económico generado se vuelve más relevante en comparación a la inversión total. Esto se demuestra al separar cada sistema térmico solar como una inversión independiente; el tiempo de recuperación de la inversión en el edificio multifamiliar es de 6 años mientras que en las viviendas unifamiliares es de 10 años. Esto se debe a que, al tener menor demanda en las viviendas, el ahorro monetario anual es menor. En este sentido se puede afirmar que los sistemas de suministro de ACS con energía solar tienen un amplio potencial de aplicación en Piura; además, de su aprovechamiento en el sector residencial, puede ser aplicado, por ejemplo, en el sector comercial.



Glosario

Símbolo	Descripción	Unidades
D_T	Demanda de A.C.S. a una temperatura T	[L/persona·día]
T_c	Temperatura confort	[°C]
T_{red}	Temperatura del agua de la red	[°C]
D_{total}	Demanda diaria de agua caliente total a 60°C	[L/día]
$N_{personas}$	Número de personas de la vivienda	
$N_{viviendas}$	Número de viviendas	
f_{cent}	Factor de centralización	
m_{agua}	Masa de agua mensual a calentar	[t]
ρ_{agua}	Densidad del agua	[kg/L]
$N_{días}$	Número de días por mes	
%ocupación	Porcentaje de ocupación de la vivienda	
Q_d	Demanda energética mensual	[MJ]
$Q_{d,a}$	Demanda energética anual	[MJ]
$c_{e,agua}$	Calor específico del agua	[J/g·°C]
T_{cal}	Temperatura deseada para el A.C.S.	[°C]
E	Energía solar disponible	[MJ/m²]
k	Factor de corrección k para superficies inclinadas	
$f_{corrección}$	Factor de corrección	
H	Irradiación global horizontal	[MJ/m²]
I	Intensidad solar útil	[W/m²]
h_{sol}	Horas promedio de sol mensuales	
η_m	Rendimiento mensual del colector solar.	
η_o	Rendimiento óptico o factor de ganancia según ficha técnica.	
k_1	Coeficiente de pérdidas 1	[W/m²K]
k_2	Coeficiente de pérdidas 2	[W/m²K²]
T_{amb}	Temperatura ambiente promedio mensual	[°C]
E_{neta}	Energía solar neta útil mensual	[MJ/m²]
$E_{neta,a}$	Energía solar neta útil anual	[MJ/m²]
f_p	Factor de pérdidas	
A_{solar}	Área de captación solar	[m²]
N_c	Número de colectores solares	

A_c	Área de apertura o área útil del colector solar	[m ²]
$A_{capt,t}$	Área de captación solar total del sistema	[m ²]
E_{col}	Energía total mensual aportada por el sistema	[MJ]
$E_{col,a}$	Energía total anual aportada por el sistema	[MJ]
% _{solar}	Porcentaje de aporte solar mensual	
E'_{col}	Energía mensual aportada por el sistema modificada	[MJ]
$E'_{col,a}$	Energía anual aportada por el sistema modificada	[MJ]
% _{solar,a}	Porcentaje de aporte solar anual	
V_{acum}	Volumen del acumulador	[L]
P_{IC}	Potencia del intercambiador de calor	[kW]
C	Caudal	[m ³ /h]
j	Coefficiente para el diámetro mínimo estimado	
D	Diámetro mínimo estimado	[cm]
D_i	Diámetro interior de la tubería seleccionado	[m]
S_t	Sección interior de la tubería	[m ²]
Vel	Velocidad del fluido	[m/s]
ΔH_{roz}	Pérdida de carga en la tubería por rozamiento	[mm.c.a]
$\Delta H'_{roz}$	Pérdida de carga en la tubería por rozamiento por metro de tubería	[mm.c.a/m]
L	Longitud de la tubería del circuito	[m]
K_a	Coefficiente de pérdidas por accesorio	
$K_{a,t}$	Sumatoria de coeficientes de pérdidas totales	
ΔH_a	Pérdida de carga en la tubería por accesorios	[mm.c.a]
$\Delta H'_a$	Coefficiente de pérdida de carga localizada	[mm.c.a]
$\Delta H_{m,1}$	Altura manométrica de la bomba del circuito primario	[m.c.a]
ΔH_{col}	Pérdida de carga en el colector solar	[m.c.a]
ΔH_{ic}	Pérdida de carga en el intercambiador de calor	[m.c.a]
$\Delta H_{g,1}$	Altura geométrica del circuito primario	[m.c.a]
$\Delta H_{m,2}$	Altura manométrica de la bomba del circuito secundario	[m.c.a]
$\Delta H_{g,2}$	Altura geométrica del circuito secundario	[m.c.a]
$V_{t,1}$	Volumen total del circuito primario	[L]
V_{col}	Volumen de fluido en cada colector	[L]
V_{ic}	Volumen de fluido en el intercambiador de calor	[L]
$V_{ve,1}$	Volumen del vaso de expansión del circuito primario	[L]
$V_{ve,2}$	Volumen del vaso de expansión del circuito secundario	[L]
V_{termas}	Capacidad del conjunto de termas de la residencia	[L]
PRS	Periodo de recuperación simple de la inversión	
I_t	Inversión total del proyecto	[S/.]
C_e	Ahorro monetario anual	[S/.]
C_{ren}	Ingresos anuales por uso de energías renovables	[S/.]
C_{gei}	Ingresos anuales por reducción de gases de invernadero	[S/.]
C_{mto}	Costo anual de mantenimiento	[S/.]

Referencias bibliográficas

3Bohíotecnico. (2020). Centrales Termosolares. Recuperado a partir de: <https://sites.google.com/site/bohiotecnologia/secador-de-manos/centrales-termosolares>

ABCCiencia. (21 Junio de 2019). Cuál es la diferencia entre solsticio y equinoccio. Recuperado a partir de: https://www.abc.es/ciencia/abci-solsticio-verano-2019-cual-diferencia-entre-solsticio-y-equinoccio-201906211646_noticia.html

Aulafacil. (2020). Colectores solares, generalidades. Recuperado a partir de <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica/colectores-solares-generalidades-l36746>

Ballesteros, M. (2012). Análisis de métodos de dimensionado de instalaciones solares para ACS. Proyecto de Fin de Carrera (Ingeniería Industrial). Madrid-España: Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Energía Térmica y de Fluidos. 2012.

Beltrán. (2016). Análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red en Arequipa. S.P.E.S.

CENSOLAR TOMO III. (2007). Instalaciones de energía solar: Sistemas de aprovechamiento térmico I. Sevilla: PROGENSA.

CENSOLAR TOMO IV. (2007). Instalaciones de energía solar: Sistemas de aprovechamiento térmico II. Sevilla: PROGENSA.

Certificación energética. Factor de corrección k para superficies inclinadas. Recuperado a partir de: https://certificacionenergetica.info/ist/pdf/Tabla_9_Factor_de_correccion_k_para_superficies_inclinadas.pdf

Chillán. (2008). Emergencias climáticas en la agricultura. Recuperado a partir de: <https://docplayer.es/45498357-Emergencias-climaticas-en-la-agricultura-recomendaciones-para-la-region-del-bio-bio.html>

Colectores solares térmicos. Ambgreenpower.com. Recuperado 27 May 2020, a partir de http://www.ambgreenpower.com/colectores_solares_termicos.aspx?info=000058&comparar=ESTCOL0001&NombrePagina=colectores_solares_termicos

Ekidom. (2 de julio de 2020). Tipos de instalaciones solares térmicas. Recuperado a partir de <http://www.ekidom.com/tipos-de-instalaciones-solares-termicas>

Franco, A. (2016). La ecuación del tiempo. Recuperado a partir de: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/celeste/tiempo/tiempo.html>

Gonzales, E. (2016). Energía Solar. Recuperado a partir de: <https://www.slideshare.net/EdilioGonzalez/energia-solar-62730716>

GreenPro (2020). Catálogo de productos. Obtenido a partir de: <http://www.greenpro.cn/product.asp?listid=21486293>

Horn, M. (2006). El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Perú Económico, 10.

IBAIONDO (2019). Catálogo de productos. Obtenido a partir de: <https://achedosol.com/descargas/ibaiondo/catalogo-tarifa-ibaiondo-2019.pdf>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2004). Guía práctica de la energía consumo eficiente y responsable. España.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2006). Manuales de Energías Renovables, Energía solar térmica. España.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2017). Guía técnica del agua caliente sanitaria central. España. Recuperado a partir de: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf

Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. Progress in energy and combustion science, 30(3), 231-295.

Lozano, M. A. (2019). Colectores Solares Térmicos. Universidad de Zaragoza. España.

Martínez, J. C., Yáñez, C., Escobar, R., Encina, S., & Jiménez, P. (2010). Sistemas Solares térmicos II, Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria. Chile. Recuperado a partir de: https://issuu.com/mbritoa/docs/versi_n_definitiva_final

Michaelides, E. E. S. (2012). Alternative energy sources. Springer Science & Business Media.

Ministerio de Energía de Chile (2020). ¿Qué son las energías renovables? Recuperado a partir de: <https://energia.gob.cl/educacion/que-son-las-energia-renovables>.

Ministerio de Fomento de España (2017). Código Técnico de la Edificación – CTE. Recuperado a partir de: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DccHE.pdf>

Moran, Michael (2004) Fundamentos de termodinámica técnica 2da edición. Iowa: Reverté S.A.

Mott L., Robert (2006) Mecánica de fluidos 6ta edición. Ohio: Pearson Prentice Hall.

Perales, T. (2009). Cómo montar tu propia instalación de energía solar para obtener agua caliente sanitaria, climatizar la vivienda y otras aplicaciones. Sevilla: Creaciones Copyright.

Pontificia Universidad Católica del Perú (2017). El desarrollo de la energía solar en el Perú. Recuperado a partir de: <https://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>

Roca, José A. (2019). El nuevo milagro chino: la energía solar consigue la paridad de red en todo el país. Recuperado 15 Agosto 2019, a partir de: <https://elperiodicodelaenergia.com>

Rodríguez, R. (20 Mayo de 2020). Condiciones climáticas y ambientales del año 2019 de la provincia de Piura.

Salvador Escoda S.A. (2020). Tarifa E. Renovables 2020. Recuperado a partir de: <https://www.salvadorescoda.com/tarifas/G-AguaCalienteSanitaria-2020.pdf>

Solar thermal. zerohomebills.com. Recuperado 27 Mayo 2020, a partir de <https://zerohomebills.com/product-category/solar-thermal/>

Solarta. (2010). Esquema de electrificación de fincas. Recuperado a partir de: <http://www.solarta.com/es/instalaciones-energia-solar/solar-fotovoltaica/esquemas-sistemas-solar-fotovoltaica.php>

Solarweb.net. Preguntas frecuentes energía solar térmica. Recuperado 27 Julio 2020, a partir de www.solarweb.net/termica/preguntas-frecuentes-energia-solar-termica.php

SOLFEX. (2015). Solar Thermal Product Guide (pp. 34-37). Reino Unido. Recuperado a partir de http://www.solfex.co.uk/uploads/downloads/Solar_Thermal_Brochure_small.pdf

SOPELIA. (2016). Solar Térmica Brasil. Recuperado a partir de <http://www.energia-solar.lat/solar-termica-brasil/>

Stiebel Eltron (2020). Products & Solutions – SOM 7 Eplus Obtenido a partir de: https://www.stiebel-eltron.com/en/home/products-solutions/renewables/solar/solar_control_units/som_7_e_plus_solarcontrolunit/som_7_e_plus.html

T*SOL 2018®, Pro Versión 5.5 Simulación para planificar sistemas de energía solar térmica. Manual de Instrucciones. Recuperado a partir de: <https://www.valentin-software.com/wp-content/uploads/legacy-downloads/handbuecher/es/manual-tsolpro-esp.pdf>



Apéndices



Apéndice A. Comprobación del cálculo de pérdida de carga por rozamiento en las tuberías.

En el presente apéndice se utilizará un método alternativo para comprobar que las pérdidas de carga por rozamiento en las tuberías son similares a las calculadas utilizando el método descrito en el Capítulo 4. Se opta por utilizar el número de Reynolds junto con la ecuación de Haaland para hallar el factor de fricción correspondiente a nuestros casos de estudio: el edificio multifamiliar y la vivienda unifamiliar.

1. Edificio multifamiliar

Se desea calcular la pérdida de carga por rozamiento en una tubería de cobre de $\frac{3}{4}$ " del circuito primario y secundario de un sistema solar térmico para calentamiento de agua. La longitud del circuito primario y secundario es de 16.319 metros y 11.183 metros respectivamente. (Ver tabla 44). Además, el agua fluye con un caudal de 0.282 m³/h. (Ver apartado 4.3.1.4)

Hipótesis: "1. El flujo es estacionario. 2. El flujo es incompresible. 3. Se considera una tubería libre de accesorios (ya que las pérdidas para éstos fueron calculadas de manera separada. 4. Se considera agua a 25°C debido a que a esa temperatura las pérdidas de carga son mayores que a 60°C"

Solución:

a) Se halla el número de Reynolds

El número de Reynolds permite determinar si el flujo es laminar o turbulento, además es necesario para calcular el factor de fricción de Darcy.

Se utiliza la siguiente ecuación para determinar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{4\rho * Q}{\pi * \nu * D}$$

Donde:

- ρ : Densidad del fluido [Kg/m³]
- Q : Caudal del fluido [m³/s]
- ν : Viscosidad del fluido [Pa·s]
- D : Diámetro de la tubería [m]
- Re : Número de Reynolds

La viscosidad se puede obtener de la siguiente tabla:

Temperatura [C°]	Densidad [kg/m3]	Viscosidad [Pa.s]
20	992.2	1004*10 ⁻⁶
40	988.1	653*10 ⁻⁶
60	983.2	467*10 ⁻⁶
80	977.8	354*10 ⁻⁶

Fuente: Moran, 2004

Resolviendo se obtiene:

$$Re = \frac{4\rho * Q}{\pi * v * D} = \frac{4(983.13) * 7.8 * 10^{-5}}{\pi * 0.000467 * 0.01905} = 10974.98$$

Como el número de Reynolds es mayor que 4,000 se considera un flujo turbulento.

b) Cálculo del factor de fricción de Darcy

Al ser flujo turbulento, para hallar el factor de fricción se utilizará la ecuación de Haaland mostrada a continuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon}{3.7} \right)^{1.11} \right]$$

Donde:

- f : Factor de fricción
- ϵ : Rugosidad de la tubería [m]

La rugosidad se puede obtener de la siguiente tabla:

Material	Rugosidad [m]
Plástico (PE, PVC)	0.0015
Poliéster reforzado	0.01
Tubos estirados de acero	0.0024
Tubos de cobre o latón	0.0015
Fundición revestida	0.0024
Fundición Centrifugada	0.003
Hormigón	0.3 – 3

Fuente: Mott, 2006

Resolviendo:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{10974.98} + \left(\frac{1.5 * 10^{-6}}{3.7} \right)^{1.11} \right] = 5.755$$

$$\sqrt{f} = 5.755^{-1}$$

$$f = 0.03$$

c) Cálculo de pérdidas

Una vez definido el factor de fricción se calculan las pérdidas utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta h = f * \frac{8L}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2$$

Donde:

- L : Longitud [m]
- g : Gravedad [m/s²]

Para el circuito primario, resolviendo:

$$\Delta h_1 = 0.03 * \frac{8 * 16.319}{\pi^2 * 9.81 * 0.01905^5} * (7.8 * 10^{-5})^2 = 0.098 \text{ m}$$

Para el circuito secundario, resolviendo:

$$\Delta h_2 = 0.03 * \frac{8 * 11.183}{\pi^2 * 9.81 * 0.01905^5} * (7.8 * 10^{-5})^2 = 0.067 \text{ m}$$

2. Vivienda unifamiliar

Se desea calcular la pérdida de carga por rozamiento en una tubería de cobre de ¾" del circuito primario y secundario de un sistema solar térmico para calentamiento de agua. La longitud del circuito primario y secundario es de 11.198 metros y 8.123 metros respectivamente. (Ver tabla 44). Además, el agua fluye con un caudal de 0.071 m³/h (Ver apartado 4.3.1.4.)

Hipótesis: "1. El flujo es estacionario. 2. El flujo es incompresible. 3. Se considera una tubería libre de accesorios (ya que las pérdidas para éstos fueron calculadas de manera separada. 4. Se considera agua a 25°C debido a que a esa temperatura las pérdidas de carga son mayores que a 60°C"

Solución:

a) Se halla el número de Reynolds

Resolviendo se obtiene:

$$R_e = \frac{4\rho * Q}{\pi * v * D} = \frac{4(983.13) * 1.97 * 10^{-5}}{\pi * 0.000467 * 0.01905} = 2771.89$$

Como el número de Reynolds está entre 2,000 y 4,000 se considera un flujo en transición laminar turbulento.

b) Cálculo del factor de fricción de Darcy

Al ser flujo en transición, al igual que si fuese uno turbulento, se utilizará la ecuación de Haaland para obtener el factor de fricción.

Resolviendo:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{2771.89} + \left(\frac{1.5 * \frac{10^{-6}}{0.01905}}{3.7} \right)^{1.11} \right] = 4.685$$

$$\sqrt{f} = 4.685^{-1}$$

$$f = 0.0456$$

c) Cálculo de pérdidas

Para el circuito primario, resolviendo:

$$\Delta h_1 = 0.0456 * \frac{8 * 11.198}{\pi^2 * 9.81 * 0.01905^5} * (1.97 * 10^{-5})^2 = 0.0065m$$

Para el circuito secundario, resolviendo:

$$\Delta h_2 = 0.0456 * \frac{8 * 8.123}{\pi^2 * 9.81 * 0.01905^5} * (1.97 * 10^{-5})^2 = 0.0047m$$

3. Resultados

Al calcular las pérdidas de carga se obtiene lo siguiente:

PÉRDIDA DE CARGA				
Método usado	Edificio Multifamiliar		Vivienda Unifamiliar	
	Primario	Secundario	Primario	Secundario
Darcy	98 mm	67 mm	6.5 mm	4.7 mm
Método aproximado	105 mm	72 mm	6 mm	4 mm

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los resultados de pérdidas de carga por rozamiento utilizando ambos métodos son muy similares, la bomba escogida puede compensar dichas pérdidas.



Anexos



Anexo A. Datos climatológicos de la estación meteorológica UDEP

R: Radiación

HS: Horas de sol

T en HS: Temperatura media en horas de sol

TA: Temperatura ambiente

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
Enero	19.93	8.54	30.13	27.23
1/01/2019	22.25	9.83	29.31	26.11
2/01/2019	24.54	9.33	29.20	26.03
3/01/2019	23.61	9.50	29.53	26.36
4/01/2019	25.18	9.50	30.78	27.49
5/01/2019	21.21	9.50	29.24	26.35
6/01/2019	14.90	6.67	29.47	26.78
7/01/2019	17.35	8.17	29.77	26.67
8/01/2019	20.44	8.83	31.24	27.61
9/01/2019	18.38	9.00	30.32	27.24
10/01/2019	15.78	8.83	29.75	27.05
11/01/2019	16.78	8.83	30.12	27.57
12/01/2019	23.40	10.00	30.44	27.75
13/01/2019	23.86	9.67	30.52	27.08
14/01/2019	10.24	6.17	27.02	25.47
15/01/2019	11.42	5.33	27.97	26.50
16/01/2019	22.47	8.67	30.59	27.17
17/01/2019	22.65	8.83	29.53	26.91
18/01/2019	16.77	8.17	29.60	26.76
19/01/2019	24.69	9.17	30.98	27.52
20/01/2019	16.91	7.33	28.22	26.51
21/01/2019	23.13	9.50	30.97	27.88
22/01/2019	15.47	7.83	30.47	27.46
23/01/2019	25.09	9.50	31.95	28.42
24/01/2019	22.58	8.00	30.64	27.05
25/01/2019	25.40	9.83	30.83	27.65
26/01/2019	23.20	9.17	31.04	28.24
27/01/2019	24.48	9.50	31.92	28.25
28/01/2019	10.98	5.50	30.35	28.09
29/01/2019	18.22	8.83	30.46	28.05
30/01/2019	23.84	9.33	32.06	28.72

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
31/01/2019	12.65	6.33	29.74	27.36
Febrero	17.73	7.64	30.39	27.68
1/02/2019	20.11	7.83	30.99	27.41
2/02/2019	13.75	7.83	29.97	27.49
3/02/2019	11.65	5.67	29.46	27.41
4/02/2019	15.29	7.00	30.26	27.77
5/02/2019	21.72	9.00	31.39	28.23
6/02/2019	15.24	7.33	31.15	28.32
7/02/2019	12.90	8.00	29.94	27.29
8/02/2019	14.90	5.50	28.66	26.25
9/02/2019	12.63	6.67	28.26	25.91
10/02/2019	14.89	6.83	29.24	27.42
11/02/2019	16.54	6.83	29.84	27.70
12/02/2019	14.89	8.00	29.13	27.65
13/02/2019	21.59	9.83	31.93	28.80
14/02/2019	12.72	6.50	29.87	27.06
15/02/2019	17.06	7.33	30.33	26.75
16/02/2019	25.52	9.33	31.36	28.35
17/02/2019	20.38	7.83	31.69	28.77
18/02/2019	13.32	6.00	28.97	26.91
19/02/2019	14.83	7.17	29.50	26.27
20/02/2019	19.56	8.33	30.27	27.58
21/02/2019	23.60	9.67	31.57	28.38
22/02/2019	25.26	9.33	32.08	28.78
23/02/2019	17.41	8.00	30.22	27.86
24/02/2019	17.64	7.50	29.62	27.20
25/02/2019	19.62	7.67	31.10	27.98
26/02/2019	24.90	8.67	32.28	28.89
27/02/2019	20.95	7.33	31.61	28.52
28/02/2019	17.66	7.00	30.22	27.95
Marzo	21.25	8.55	30.82	27.76

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
1/03/2019	20.74	8.17	32.16	28.49
2/03/2019	20.93	9.17	31.01	27.46
3/03/2019	22.64	9.33	31.26	28.16
4/03/2019	21.08	8.67	31.25	28.42
5/03/2019	19.18	6.67	32.14	28.53
6/03/2019	18.72	7.17	31.99	28.23
7/03/2019	16.84	7.83	30.83	27.62
8/03/2019	23.03	8.83	31.99	28.35
9/03/2019	23.94	8.33	31.63	28.78
10/03/2019	20.40	8.33	31.33	28.33
11/03/2019	25.20	9.83	32.38	29.06
12/03/2019	24.94	9.17	31.99	28.75
13/03/2019	24.11	8.67	32.08	28.68
14/03/2019	19.72	7.67	30.71	27.40
15/03/2019	21.72	9.17	31.16	28.57
16/03/2019	16.94	8.00	31.15	28.04
17/03/2019	20.41	7.33	30.22	28.01
18/03/2019	22.33	9.33	30.49	27.64
19/03/2019	25.17	9.50	31.29	28.03
20/03/2019	16.80	8.83	28.86	26.75
21/03/2019	25.40	9.50	30.00	26.73
22/03/2019	22.25	8.67	31.32	27.94
23/03/2019	21.30	8.17	29.73	27.02
24/03/2019	23.53	9.50	30.01	27.14
25/03/2019	24.23	10.00	30.49	27.09
26/03/2019	22.01	8.33	29.98	26.90
27/03/2019	16.75	8.17	28.75	26.57
28/03/2019	20.13	8.50	29.94	27.18
29/03/2019	15.37	6.50	29.48	26.76
30/03/2019	17.71	7.83	29.43	27.16
31/03/2019	25.35	9.83	30.30	26.80
Abril	22.13	8.97	29.54	26.29
1/04/2019	17.90	8.00	28.18	25.72
2/04/2019	15.53	6.67	29.05	25.93
3/04/2019	17.39	8.33	30.67	27.36
4/04/2019	24.02	8.67	30.35	26.55
5/04/2019	25.20	9.83	30.73	26.91
6/04/2019	21.52	8.33	30.91	26.86
7/04/2019	23.54	9.33	30.44	26.65

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
8/04/2019	21.70	9.33	29.96	26.78
9/04/2019	24.62	10.00	30.00	26.49
10/04/2019	23.90	9.17	29.12	25.70
11/04/2019	24.55	9.67	29.01	25.62
12/04/2019	24.08	9.17	29.00	25.64
13/04/2019	24.48	9.67	28.96	25.71
14/04/2019	23.89	9.67	28.91	26.14
15/04/2019	24.26	9.67	30.16	26.67
16/04/2019	22.44	9.00	29.34	25.77
17/04/2019	19.90	9.17	28.89	26.16
18/04/2019	23.12	8.67	30.15	26.61
19/04/2019	17.07	7.83	28.80	26.09
20/04/2019	23.53	9.00	29.84	26.38
21/04/2019	22.15	9.17	29.93	26.79
22/04/2019	19.98	8.83	29.83	26.79
23/04/2019	21.44	7.83	30.38	27.54
24/04/2019	18.55	7.67	29.63	26.88
25/04/2019	22.54	9.17	29.41	26.25
26/04/2019	23.62	9.67	28.80	25.68
27/04/2019	23.21	9.67	28.14	25.15
28/04/2019	22.77	8.83	29.08	25.86
29/04/2019	23.41	9.50	29.50	26.18
30/04/2019	23.58	9.67	29.13	25.94
Mayo	19.98	8.64	27.67	24.69
1/05/2019	23.35	9.50	28.40	25.21
2/05/2019	23.11	9.50	28.37	25.23
3/05/2019	21.72	8.50	29.11	25.82
4/05/2019	20.25	9.33	29.27	26.09
5/05/2019	20.94	8.50	28.74	25.69
6/05/2019	19.73	7.67	28.96	25.20
7/05/2019	14.20	6.67	27.70	25.43
8/05/2019	22.72	9.33	28.31	25.34
9/05/2019	20.97	8.50	27.70	24.77
10/05/2019	19.59	7.83	29.06	25.25
11/05/2019	22.72	9.50	28.09	24.80
12/05/2019	19.58	7.83	27.74	25.33
13/05/2019	15.70	7.83	28.46	25.60
14/05/2019	18.41	8.33	28.54	25.33
15/05/2019	21.24	9.00	28.18	25.37

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
16/05/2019	22.65	9.50	27.76	24.92
17/05/2019	22.02	8.83	28.28	24.92
18/05/2019	21.04	8.83	27.27	24.04
19/05/2019	23.00	9.50	27.67	24.48
20/05/2019	22.35	9.50	27.28	24.14
21/05/2019	22.10	9.50	26.70	23.67
22/05/2019	16.02	6.83	26.44	23.98
23/05/2019	22.11	9.67	26.36	23.79
24/05/2019	21.14	9.17	26.67	23.99
25/05/2019	20.97	8.83	27.58	24.47
26/05/2019	20.43	8.83	27.92	24.58
27/05/2019	20.18	8.67	26.94	23.57
28/05/2019	20.27	8.50	26.78	23.82
29/05/2019	9.61	6.83	24.99	23.08
30/05/2019	13.38	8.50	25.86	23.35
31/05/2019	17.96	8.50	26.74	24.05
Junio	19.26	8.46	25.60	22.51
1/06/2019	21.73	9.17	27.15	24.30
2/06/2019	18.92	8.50	25.94	22.70
3/06/2019	21.32	8.83	25.24	22.83
4/06/2019	21.85	9.33	26.21	23.22
5/06/2019	20.36	8.33	26.32	22.85
6/06/2019	20.02	8.83	27.50	23.73
7/06/2019	20.07	8.50	26.66	23.26
8/06/2019	17.73	8.50	26.74	23.55
9/06/2019	21.26	9.00	26.74	23.31
10/06/2019	20.99	8.83	26.50	23.75
11/06/2019	18.53	8.17	26.56	23.29
12/06/2019	20.42	8.50	25.92	22.78
13/06/2019	21.51	9.33	25.11	22.28
14/06/2019	20.86	9.33	25.44	22.56
15/06/2019	21.06	9.00	26.10	23.01
16/06/2019	18.26	8.83	25.45	22.29
17/06/2019	17.44	7.50	24.82	21.74
18/06/2019	18.80	8.00	25.10	21.90
19/06/2019	16.64	7.83	24.36	21.54
20/06/2019	11.80	6.67	24.90	22.07
21/06/2019	19.84	8.83	24.27	21.60
22/06/2019	19.22	8.50	24.43	21.22

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
23/06/2019	19.85	8.17	25.87	22.25
24/06/2019	20.86	9.00	25.99	22.32
25/06/2019	18.63	7.00	24.70	21.82
26/06/2019	19.68	8.67	24.88	21.77
27/06/2019	20.75	9.00	25.50	21.84
28/06/2019	21.70	9.50	25.43	22.04
29/06/2019	11.90	6.33	23.91	21.75
30/06/2019	15.94	7.67	24.18	21.62
Julio	19.31	8.36	23.98	20.70
1/07/2019	20.97	8.67	24.95	21.69
2/07/2019	15.80	8.17	24.74	21.42
3/07/2019	16.86	7.00	24.35	20.73
4/07/2019	15.26	7.67	23.30	20.40
5/07/2019	21.39	9.50	24.93	22.03
6/07/2019	18.87	8.83	24.65	21.91
7/07/2019	17.28	8.17	25.60	22.14
8/07/2019	16.63	6.50	24.67	21.36
9/07/2019	16.87	7.17	24.23	20.61
10/07/2019	21.70	9.17	23.79	20.90
11/07/2019	22.38	9.83	24.32	21.23
12/07/2019	17.25	7.33	24.01	20.78
13/07/2019	18.69	9.17	24.41	21.29
14/07/2019	13.67	7.00	23.35	20.81
15/07/2019	22.44	9.67	24.27	21.45
16/07/2019	21.80	9.00	25.08	21.70
17/07/2019	16.47	7.83	23.92	20.50
18/07/2019	16.42	7.00	23.44	20.10
19/07/2019	19.80	8.17	23.89	20.03
20/07/2019	22.46	9.50	24.21	20.81
21/07/2019	21.28	8.67	25.13	21.26
22/07/2019	22.17	9.33	24.97	21.64
23/07/2019	22.38	8.83	25.13	21.56
24/07/2019	20.69	9.33	25.09	21.50
25/07/2019	18.95	7.83	22.49	19.58
26/07/2019	21.45	8.83	22.26	19.20
27/07/2019	19.62	8.00	23.15	19.60
28/07/2019	18.68	7.83	21.98	18.89
29/07/2019	16.91	7.33	21.53	18.46
30/07/2019	19.81	8.00	22.56	18.69

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
31/07/2019	23.66	9.83	23.12	19.33
Agosto	20.92	8.54	23.64	20.12
1/08/2019	20.29	7.33	22.83	19.79
2/08/2019	19.00	8.33	23.77	20.15
3/08/2019	23.43	9.67	22.78	20.03
4/08/2019	15.80	7.83	24.04	20.51
5/08/2019	18.23	7.83	23.27	19.53
6/08/2019	18.68	7.50	23.10	19.45
7/08/2019	19.07	8.17	22.46	19.19
8/08/2019	17.43	7.83	22.23	19.06
9/08/2019	19.70	7.83	22.60	18.96
10/08/2019	19.85	7.67	22.74	18.92
11/08/2019	20.04	8.50	22.58	19.20
12/08/2019	21.44	8.83	22.62	19.44
13/08/2019	22.93	9.17	23.64	20.18
14/08/2019	11.94	7.67	21.52	19.62
15/08/2019	22.75	9.17	24.64	21.18
16/08/2019	18.65	7.33	23.91	19.86
17/08/2019	23.17	9.33	24.35	20.58
18/08/2019	17.43	7.33	22.59	19.24
19/08/2019	23.39	9.17	24.29	20.41
20/08/2019	24.10	9.83	24.81	20.86
21/08/2019	24.18	9.67	25.59	21.33
22/08/2019	20.83	8.33	23.86	20.41
23/08/2019	21.42	8.33	24.64	20.42
24/08/2019	19.11	7.50	23.58	20.03
25/08/2019	23.48	8.83	23.74	20.14
26/08/2019	23.91	9.33	23.80	20.18
27/08/2019	23.82	9.33	24.08	20.53
28/08/2019	24.22	9.67	23.80	20.90
29/08/2019	24.45	9.67	25.35	21.10
30/08/2019	22.17	8.50	24.77	21.03
31/08/2019	23.61	9.17	24.88	21.33
Setiembre	22.38	8.91	24.20	20.66
1/09/2019	20.06	8.50	22.93	20.13
2/09/2019	20.88	8.00	24.61	20.54
3/09/2019	24.81	9.67	25.03	21.18
4/09/2019	21.47	7.83	24.47	20.79
5/09/2019	23.96	9.17	25.24	21.34

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
6/09/2019	24.34	9.50	24.84	21.18
7/09/2019	22.74	8.83	24.42	20.99
8/09/2019	18.60	7.83	23.03	19.76
9/09/2019	19.11	8.00	22.68	19.64
10/09/2019	22.47	9.00	23.15	19.88
11/09/2019	24.31	9.33	23.72	20.17
12/09/2019	22.97	9.00	23.84	20.39
13/09/2019	23.83	9.17	24.43	20.67
14/09/2019	21.93	8.33	24.11	20.26
15/09/2019	23.93	9.33	24.07	20.72
16/09/2019	21.62	9.00	24.37	20.61
17/09/2019	24.30	9.67	24.71	21.10
18/09/2019	22.10	8.50	23.23	20.22
19/09/2019	25.03	9.33	24.52	21.14
20/09/2019	14.22	6.83	21.60	19.29
21/09/2019	23.56	9.17	24.82	20.92
22/09/2019	25.01	9.50	24.55	21.10
23/09/2019	14.00	8.17	22.71	20.18
24/09/2019	17.99	8.83	24.05	20.65
25/09/2019	23.34	8.83	24.45	20.34
26/09/2019	25.33	9.50	24.97	20.91
27/09/2019	25.04	9.83	26.28	21.68
28/09/2019	25.33	9.83	25.26	21.60
29/09/2019	25.61	10.00	25.63	21.72
30/09/2019	23.61	8.83	24.34	20.69
Octubre	22.67	8.92	24.77	21.17
1/10/2019	16.65	8.33	22.91	20.10
2/10/2019	21.02	8.17	24.44	20.50
3/10/2019	20.01	8.67	24.07	21.12
4/10/2019	18.31	7.67	23.19	19.75
5/10/2019	23.35	8.67	24.11	20.38
6/10/2019	24.76	9.50	24.84	20.92
7/10/2019	19.59	8.33	23.21	19.93
8/10/2019	16.27	7.50	23.18	20.26
9/10/2019	25.10	9.50	24.99	20.92
10/10/2019	22.58	8.83	24.25	20.60
11/10/2019	25.24	9.67	23.34	20.20
12/10/2019	25.67	9.83	23.84	20.48
13/10/2019	21.30	7.67	24.86	20.57

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
14/10/2019	25.93	10.00	25.64	21.89
15/10/2019	24.30	8.67	26.20	21.73
16/10/2019	24.56	9.17	25.70	21.94
17/10/2019	23.86	9.50	25.33	21.93
18/10/2019	21.49	8.33	24.34	21.17
19/10/2019	23.05	9.17	26.05	21.87
20/10/2019	23.90	9.00	24.50	21.14
21/10/2019	24.26	9.83	25.25	21.74
22/10/2019	24.42	9.83	24.41	21.31
23/10/2019	20.75	8.33	24.84	21.11
24/10/2019	23.22	8.50	26.14	21.76
25/10/2019	26.39	9.67	25.67	21.82
26/10/2019	23.41	9.17	25.19	21.78
27/10/2019	25.67	10.00	25.19	21.62
28/10/2019	19.15	8.33	24.13	21.14
29/10/2019	23.27	9.00	24.64	21.50
30/10/2019	25.03	9.67	25.92	22.18
31/10/2019	20.33	8.17	27.61	22.87
Noviembre	20.62	8.68	25.73	22.56
1/11/2019	26.02	10.00	26.61	22.84
2/11/2019	22.18	8.50	26.36	22.38
3/11/2019	22.90	9.17	25.57	22.37
4/11/2019	22.10	8.33	26.19	22.27
5/11/2019	24.29	9.00	26.86	22.87
6/11/2019	24.51	9.83	25.74	22.26
7/11/2019	25.36	9.50	25.87	22.13
8/11/2019	25.44	10.00	25.70	22.23
9/11/2019	23.63	9.17	26.25	22.65
10/11/2019	21.47	9.00	26.28	22.79
11/11/2019	23.28	9.50	26.25	22.84
12/11/2019	18.06	8.00	25.26	22.03
13/11/2019	21.54	8.33	25.90	22.34
14/11/2019	23.92	9.00	26.12	22.61
15/11/2019	20.71	8.33	25.49	21.95
16/11/2019	19.21	7.83	25.09	21.86
17/11/2019	17.13	7.00	25.16	21.62
18/11/2019	18.60	8.00	24.01	21.42
19/11/2019	16.71	8.67	24.17	21.60
20/11/2019	23.60	10.00	25.86	22.65

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T en HS [°C]	TA [°C]
21/11/2019	20.61	9.00	25.52	22.86
22/11/2019	19.79	8.50	26.19	23.08
23/11/2019	12.98	7.00	23.76	21.52
24/11/2019	18.01	8.50	24.42	22.39
25/11/2019	9.22	5.83	23.75	21.97
26/11/2019	19.04	8.00	26.11	23.33
27/11/2019	20.73	9.17	26.93	24.00
28/11/2019	24.53	9.50	27.91	24.38
29/11/2019	20.19	10.00	27.14	24.26
30/11/2019	12.75	7.83	25.47	23.36
Diciembre	21.09	9.10	28.01	24.97
1/12/2019	19.24	8.83	27.29	24.46
2/12/2019	23.57	9.00	28.57	24.96
3/12/2019	22.72	9.83	27.59	24.53
4/12/2019	22.39	10.17	27.49	24.89
5/12/2019	23.44	9.67	28.92	25.62
6/12/2019	21.80	8.83	28.61	25.02
7/12/2019	21.94	9.00	27.86	24.42
8/12/2019	16.68	7.33	27.13	24.57
9/12/2019	16.37	8.83	26.86	24.20
10/12/2019	16.36	8.83	26.35	23.49
11/12/2019	19.20	9.33	26.91	24.19
12/12/2019	17.40	8.83	26.75	24.31
13/12/2019	23.83	9.67	28.95	25.42
14/12/2019	20.50	8.83	27.21	24.11
15/12/2019	21.91	9.83	27.73	24.30
16/12/2019	23.80	9.83	27.42	24.26
17/12/2019	22.38	8.67	26.86	24.30
18/12/2019	20.50	10.00	27.95	24.96
19/12/2019	18.81	8.50	28.13	24.87
20/12/2019	20.67	8.50	28.47	25.12
21/12/2019	22.45	9.50	29.08	25.51
22/12/2019	23.07	9.00	29.14	25.70
23/12/2019	24.24	10.00	29.01	25.94
24/12/2019	23.63	9.33	28.94	25.73
25/12/2019	24.18	9.83	27.75	24.98
26/12/2019	24.15	10.00	28.63	25.53
27/12/2019	22.73	9.00	28.83	25.75
28/12/2019	16.94	8.17	28.23	25.71

Fecha	R [MJ/m ²]	HS [h]	T _{en} HS [°C]	TA [°C]
29/12/2019	18.33	7.67	27.59	25.24
30/12/2019	18.21	8.67	28.47	26.05
31/12/2019	22.39	8.67	29.54	25.90

Fuente: Rodríguez, R, 2020



Anexo B. Características técnicas de los colectores solares

FK 250 Series			
Technical Data		FK 250 P	FK 250 L
Collector type		Frame collector	
Overall area	m ²	2.02	
Absorber area	m ²	1.86	
Aperture area	m ²	1.88	
H x W x D	mm	1728 x 1168 x 83	1168 x 1728 x 83
Weight	kg	29	
Absorber capacity	l	1.2	
Conversion factor	η_0	0.802 η 80%	
a ¹		3.806	
a ²		0.012	
Collector Field Piping / Max single row		10pcs	8pcs
Housing		Black Anodised Aluminium Frame	
Back plate		Al-sheet	
Absorber sheet		Meander, Al, highly selectively coated	
Absorption	%	0.95	
Emission	%	0.05	
Ø manifold	mm	18	
Ø risers	mm	8	
Connections		4 x push fit connector	
Glass		3.2 mm tempered solar safety float glass	
Transmittance of glass	%	91	
Insulation		50 mm mineral wool plate	
Max. stagnation temperature		203°C under test conditions	
Max operating pressure		10 bar	
Heat transfer medium		Tyfocor® LS	
Approved installation angle		Min. 15, ° max.75° / Façade 90°	
Recommended Flow Rate		30 l/m2h - up to max collector area 25m²	
Solar Keymark No.		011-752014F	

FK 500 Series			
Technical Data		FK 500 P	FK 500 L
Collector type		Frame collector	
Overall area	m ²	2.51	
Absorber area	m ²	2.34	
Aperture area	m ²	2.35	
H x W x D	mm	2148 x 1175 x 83	1168 x 2148 x 83
Weight	kg	36	
Absorber capacity	l	1.4	
Conversion factor	η_0	0.812 η 81.2%	0.811 η 81.1%
a ¹		3.762	3.295
a ²		0.010	0.017
Collector Field Piping / Max single row		10pcs	8pcs
Housing		Black Anodised Aluminium Frame	
Back plate		Al-sheet	
Absorber sheet		Meander, Al, highly selectively coated	
Absorption	%	0.95	
Emission	%	0.05	
Ø manifold	mm	18	
Ø risers	mm	8	
Connections		4 x push fit connector	
Glass		3.2 mm tempered solar safety float glass	
Transmittance of glass	%	91	
Insulation		50 mm mineral wool plate	
Max. stagnation temperature		203°C under test conditions	
Max operating pressure		10 bar	
Heat transfer medium		Tyfocor® LS	
Approved installation angle		Min. 15, ° max.75° / Façade 90°	
Recommended Flow Rate		30 l/m2h - up to max collector area 25m²	
Solar Keymark No.		011-752014F	

N/Ref.: 7700965	
Denominación: TopSon F3-1	Tipo: Captador solar plano de alto rendimiento.
Descripción: -Certificado SOLAR KEYMARK -Homologado según EN12975-2 Absorbedor de AL/CU. -Para montaje en vertical -Resistente al ambiente, a altas temperaturas, incluso vacío. -Carcasa de aluminio, forma de bañera autoportante. -Resistente en ambientes máximos. -Vidrio de 3,2 mm de espesor con mayor coeficiente de transmisión. -Aislamiento inferior de 60mm. -Aislamiento lateral d15 mm.	Datos técnicos: -Angulo de inclinación: 15°-90° -Absorción de energía: 80,4% -Coeficiente de transmisión de calor k1: 3,235 W/(m²k²) -Coeficiente de transmisión de calor K2: 0,0117 W/(m²k²) -Superficie del captador: 2,3 m2 -Superficie útil: 2,0 m2 -Capacidad: 1,7 ltr. -Temperatura de parada máxima(en seco): 194°C -Eficacia visual(factor de conversión) K50: 94% -Capacidad térmica efectiva C*: 5,85 kJ/(m²K) -Presión de régimen admisible: 10 bar -Caudal admisible: 45-90 ltr./h -Peso en vacío: 40 kg

N/Ref.: 7700505	
Denominación: TopSon F3-Q	Tipo: Captador solar plano de alto rendimiento
Descripción: -Homologado según EN12975-2 -Para montaje en horizontal -Resistente al ambiente, a altas temperaturas, incluso vacío -Carcasa de aluminio, forma de bañera autoportante. -Resistente en ambientes máximos. -Vidrio de 3,2 mm de espesor con mayor coeficiente de transmisión. -Aislamiento inferior de 60mm. -Aislamiento lateral de 15 mm.	Datos técnicos: -Angulo de inclinación: 15°-90° -Absorción de energía: 81,9% -Coeficiente de transmisión de calor k1: 3,312 W/(m²k²) -Coeficiente de transmisión de calor K2: 0,0181 W/(m²k²) -Superficie del captador: 2,3 m2 -Superficie útil: 2,0 m2 -Capacidad: 1,9 ltr. -Temperatura de parada máxima(en seco): 198°C -Eficacia visual(factor de conversión) K50: 93% -Capacidad térmica efectiva C*: 6,3 kJ/(m²K) -Presión de régimen admisible: 10 bar -Caudal admisible: 30-90 ltr./h -Peso en vacío: 41 kg

N/Ref.: 7700847	
Denominación: TopSon CPK-1	Tipo: Captador solar plano de alto rendimiento
Descripción: -Certificado SOLAR KEYMARK -Homologado según EN12975-2 -Para montaje en vertical -Resistente al ambiente, a altas temperaturas, incluso vacío -Carcasa de aluminio, forma de bañera autoportante. -Resistente en ambientes máximos. -Vidrio de 3 mm de espesor con mayor coeficiente de transmisión. -Aislamiento inferior de 60mm.	Datos técnicos: -Angulo de inclinación: 15°-90° -Absorción de energía: 71,2% -Coeficiente de transmisión de calor k1: 3,5 W/(m²k²) -Coeficiente de transmisión de calor K2: 0,0084 W/(m²k²) -Superficie del captador: 2,3 m2 -Superficie útil: 2,0 m2 -Capacidad: 1,1 ltr. -Temperatura de parada máxima(en seco): 196°C -Eficacia visual(factor de conversión) K50: 95,2% -Capacidad térmica efectiva C*: 4,723 kJ/(m²K) -Presión de régimen admisible: 10 bar -Caudal admisible: 45-90 ltr./h -Peso en vacío: 36 kg

Fuente: SOLFEX, 2015 y Colectores solares térmicos, s.f.

Anexo C. Tabla de factor de corrección k para superficies inclinadas

Latitud = 3°

Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	.98	.97	.94	.97	.98	1	1.02	1.03	1.03
10	1.04	1.02	.99	.96	.94	.93	.93	.96	.99	1.03	1.05	1.05
15	1.05	1.02	.98	.93	.89	.88	.89	.93	.98	1.03	1.06	1.06
20	1.05	1.02	.96	.9	.85	.83	.84	.89	.96	1.02	1.06	1.07
25	1.05	1	.94	.86	.79	.77	.79	.85	.93	1.01	1.06	1.07
30	1.04	.98	.9	.81	.74	.7	.73	.8	.9	.99	1.05	1.07
35	1.02	.96	.87	.76	.67	.63	.66	.75	.86	.97	1.04	1.05
40	1	.93	.82	.7	.6	.56	.59	.69	.82	.94	1.02	1.04
45	.97	.89	.77	.64	.53	.49	.52	.63	.76	.9	.99	1.01
50	.94	.85	.72	.58	.46	.41	.44	.56	.71	.85	.95	.98
55	.9	.8	.66	.51	.38	.32	.37	.49	.65	.81	.91	.94
60	.85	.75	.6	.44	.3	.24	.28	.41	.58	.75	.87	.9
65	.8	.69	.54	.36	.22	.16	.2	.34	.52	.69	.81	.85
70	.75	.63	.47	.29	.14	.12	.12	.26	.44	.63	.76	.79
75	.69	.57	.4	.21	.12	.11	.1	.18	.37	.56	.69	.73
80	.62	.5	.33	.13	.11	.1	.1	.1	.29	.49	.63	.67
85	.56	.43	.25	.12	.11	.1	.09	.09	.22	.41	.56	.6
90	.49	.36	.18	.11	.1	.09	.08	.08	.14	.34	.49	.53

Latitud = 5°

Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.02	1	.99	.97	.97	.97	.99	1	1.02	1.03	1.03
10	1.04	1.02	1	.97	.94	.93	.94	.97	1	1.03	1.05	1.05
15	1.06	1.03	.99	.94	.9	.89	.9	.94	.99	1.04	1.07	1.07
20	1.06	1.02	.97	.91	.86	.84	.85	.9	.97	1.03	1.07	1.08
25	1.06	1.01	.95	.87	.81	.78	.8	.86	.95	1.02	1.08	1.08
30	1.05	1	.92	.83	.75	.72	.74	.82	.91	1.01	1.07	1.08
35	1.04	.97	.88	.78	.69	.65	.68	.77	.88	.98	1.06	1.07
40	1.02	.94	.84	.72	.62	.58	.61	.71	.83	.96	1.04	1.05
45	.99	.91	.79	.66	.55	.51	.54	.65	.78	.92	1.01	1.03
50	.96	.87	.74	.6	.48	.43	.47	.58	.73	.88	.98	1
55	.92	.82	.68	.53	.4	.35	.39	.51	.67	.83	.94	.96
60	.87	.77	.62	.46	.33	.27	.31	.44	.61	.78	.89	.92
65	.82	.72	.56	.39	.25	.18	.23	.36	.54	.72	.84	.87
70	.77	.66	.49	.31	.16	.12	.15	.28	.47	.66	.79	.82
75	.71	.59	.42	.23	.12	.11	.1	.21	.4	.59	.72	.76
80	.65	.53	.35	.16	.11	.1	.1	.13	.32	.52	.66	.7
85	.58	.46	.28	.12	.1	.09	.09	.09	.24	.44	.59	.63
90	.51	.39	.2	.11	.1	.09	.08	.08	.16	.37	.52	.56

Latitud = 7°

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.03	1.02	1	.99	.98	.97	.99	.99	1.01	1.02	1.03	1.03
10	1.05	1.03	1	.97	.95	.94	.97	.97	1	1.04	1.06	1.06
15	1.06	1.03	.99	.95	.91	.89	.95	.95	.99	1.04	1.07	1.08
20	1.07	1.03	.98	.92	.87	.85	.91	.91	.98	1.04	1.08	1.09
25	1.07	1.02	.96	.88	.82	.79	.88	.88	.96	1.04	1.09	1.1
30	1.06	1.01	.93	.84	.77	.73	.83	.83	.93	1.02	1.08	1.1
35	1.05	.99	.9	.79	.71	.67	.78	.78	.89	1	1.07	1.09
40	1.03	.96	.86	.74	.64	.6	.73	.73	.85	.97	1.06	1.07
45	1.01	.93	.81	.68	.57	.53	.67	.67	.81	.94	1.03	1.05
50	.98	.89	.76	.62	.5	.45	.6	.6	.75	.9	1	1.02
55	.94	.84	.71	.55	.43	.38	.54	.54	.7	.85	.96	.99
60	.9	.79	.65	.48	.35	.3	.46	.46	.63	.8	.92	.95
65	.85	.74	.58	.41	.27	.21	.39	.39	.57	.75	.87	.9
70	.8	.68	.52	.34	.19	.13	.31	.31	.5	.68	.81	.85
75	.74	.62	.45	.26	.12	.11	.23	.23	.42	.62	.75	.79
80	.68	.55	.38	.18	.11	.1	.15	.15	.35	.55	.69	.73
85	.61	.48	.3	.12	.1	.09	.09	.09	.27	.47	.62	.66
90	.54	.41	.23	.11	.09	.09	.08	.08	.19	.4	.55	.59

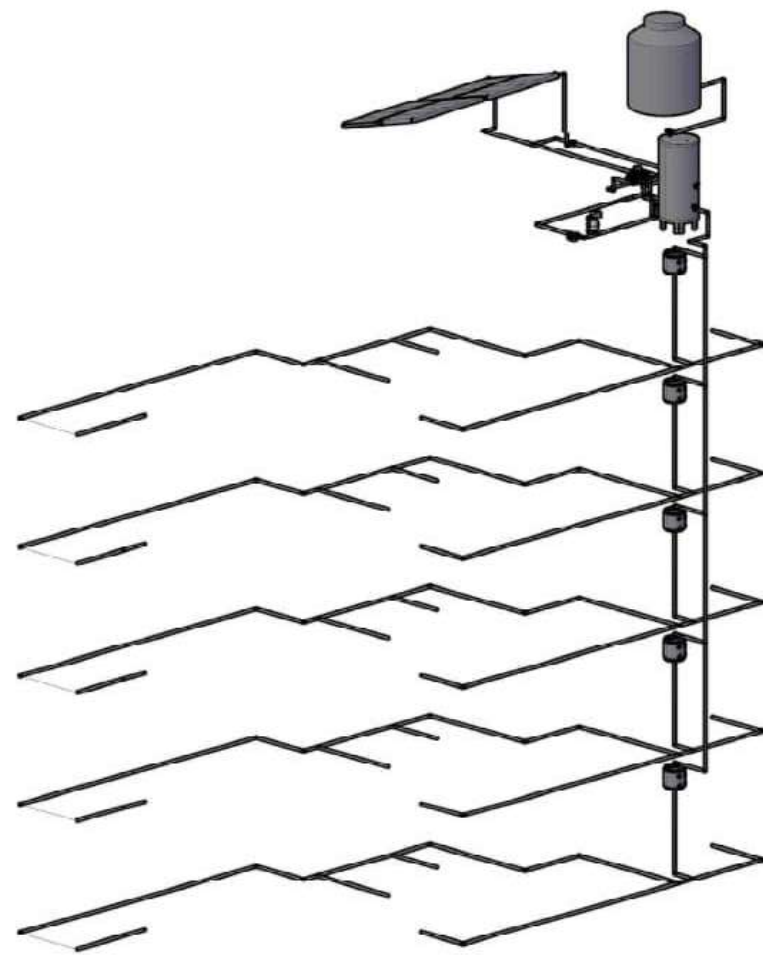
Fuente: Certificación energética, s.f.



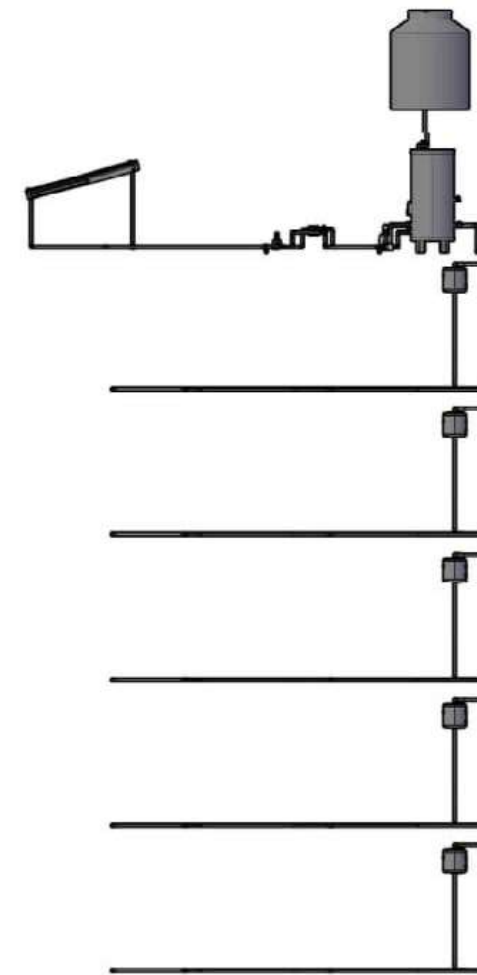
Anexo D. P&ID del sistema solar térmico

Fuente: Elaboración propia

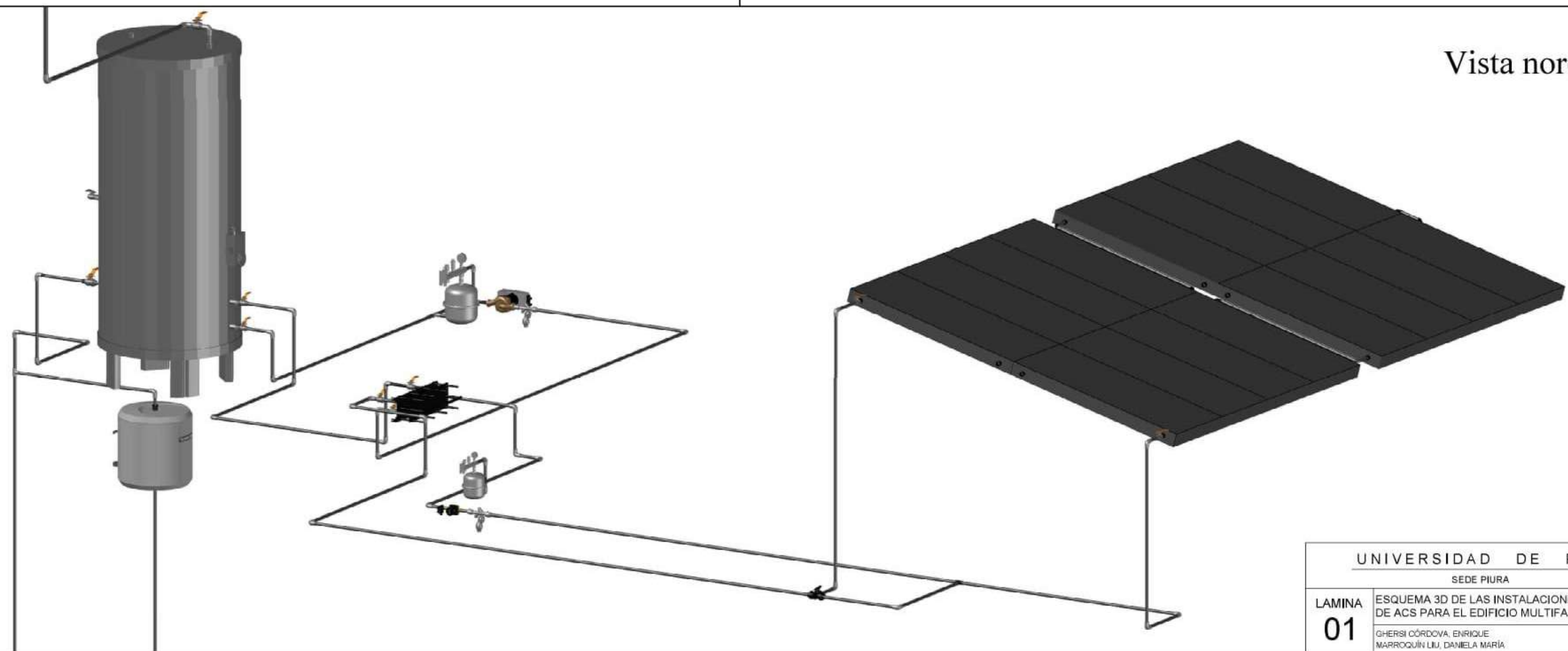




Vista sudeste

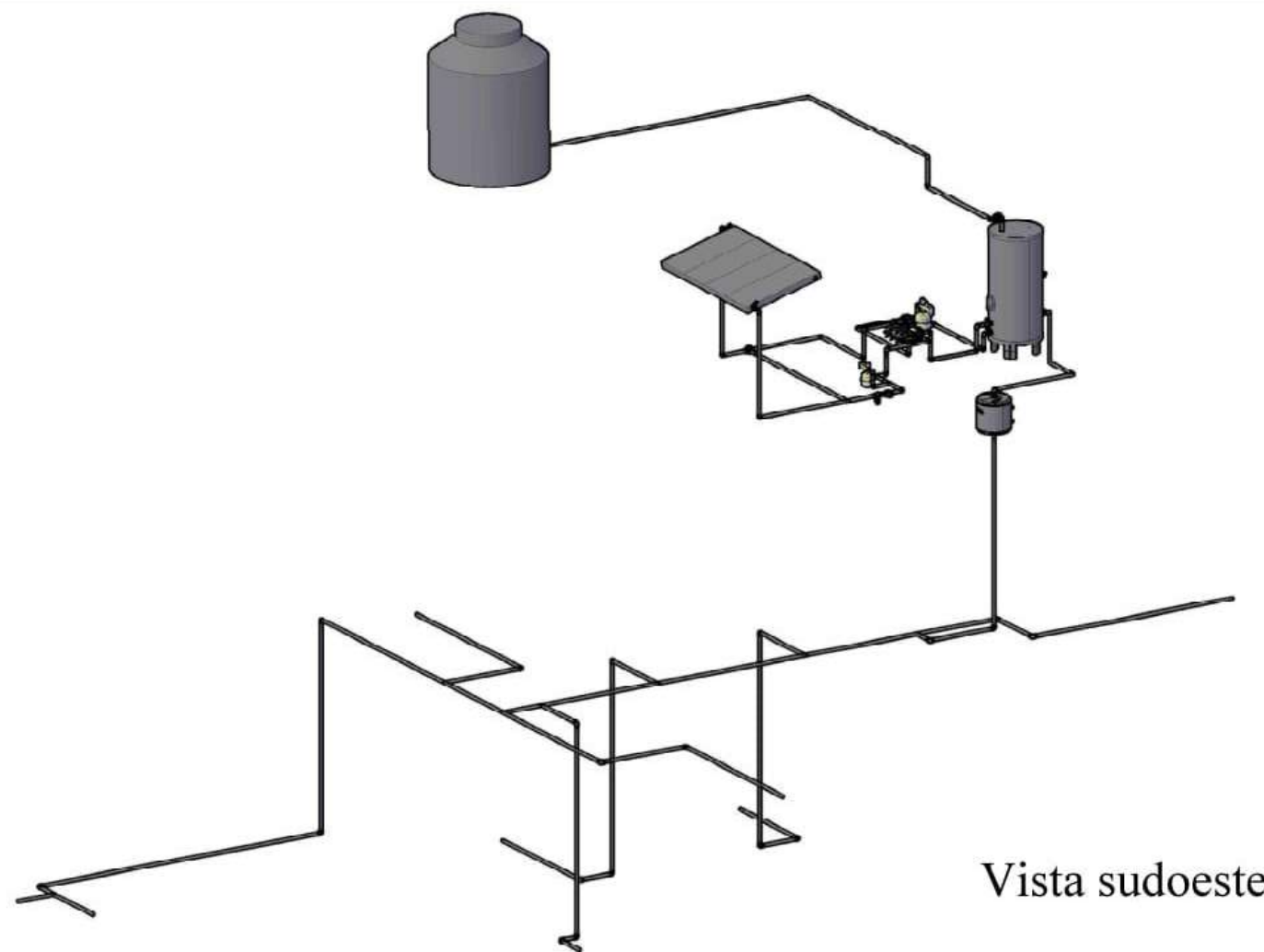


Vista este

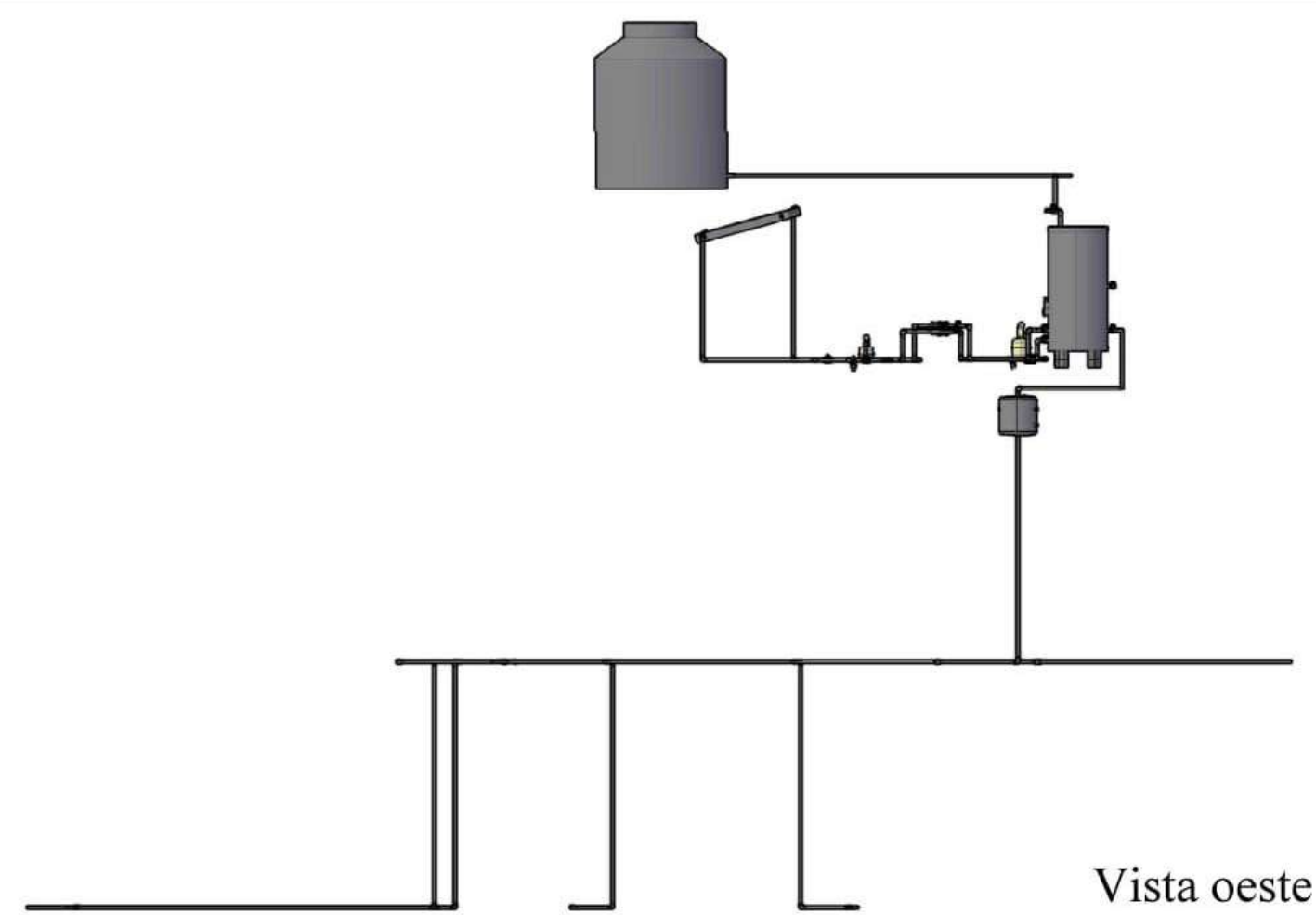


Vista noroeste

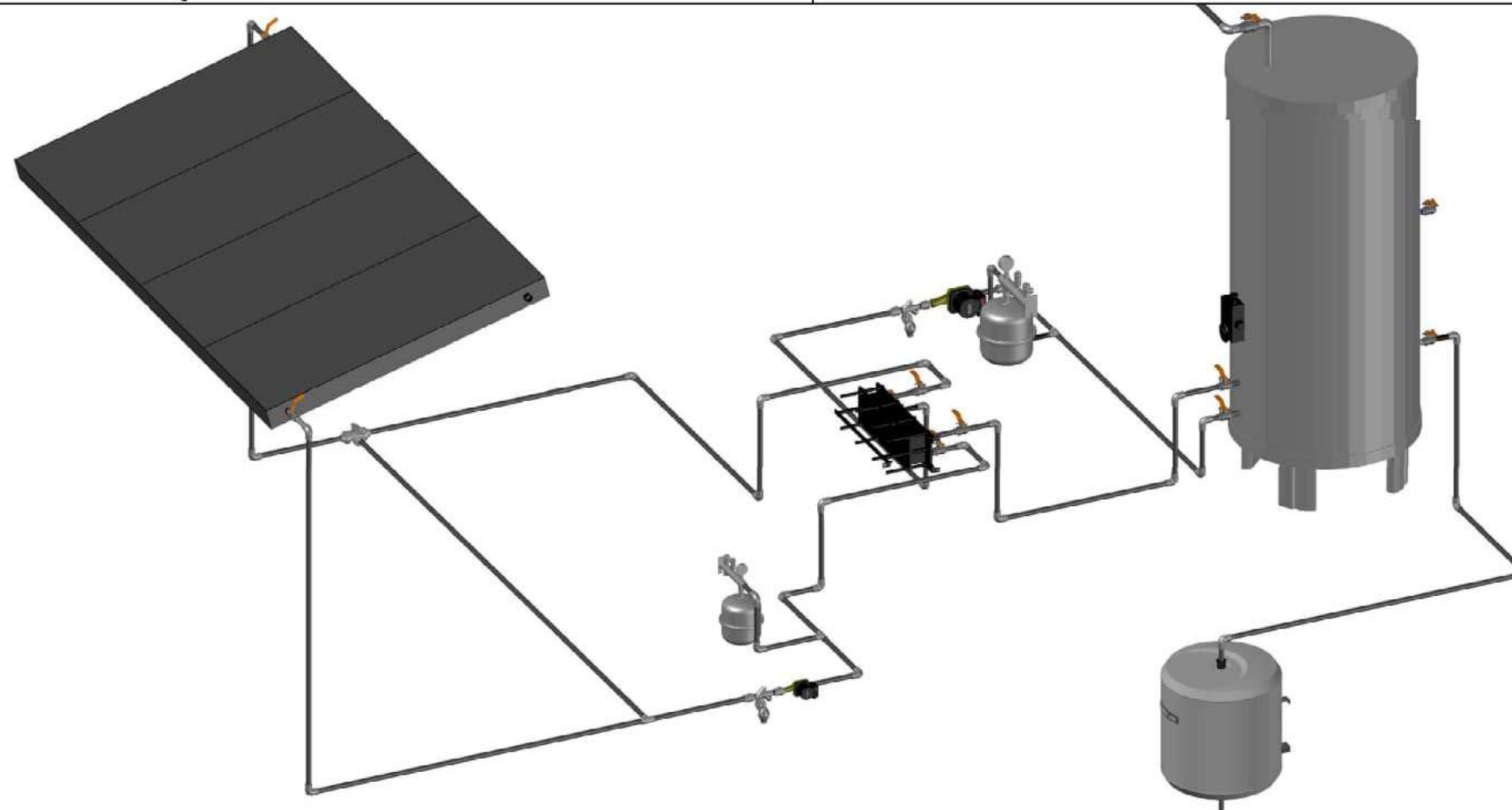
UNIVERSIDAD DE PIURA		
SEDE PIURA		
LAMINA	ESQUEMA 3D DE LAS INSTALACIONES SANITARIAS DE ACS PARA EL EDIFICIO MULTIFAMILIAR	
01	GHERSI CORDOVA, ENRIQUE MARROQUIN LIU, DANIELA MARIA	FECHA: 17 JULIO



Vista sudoeste



Vista oeste



Vista noroeste

UNIVERSIDAD DE PIURA		
SEDE PIURA		
LAMINA	ESQUEMA 3D DE LAS INSTALACIONES SANITARIAS DE ACS PARA LA VIVIENDA UNIFAMILIAR	
02	GHERSI CORDOVA, ENRIQUE MARROQUIN LIU, DANIELA MARIA	FECHA: 17 JULIO

Anexo E. Especificaciones técnicas del acumulador IDROGAS - CV 750 SR

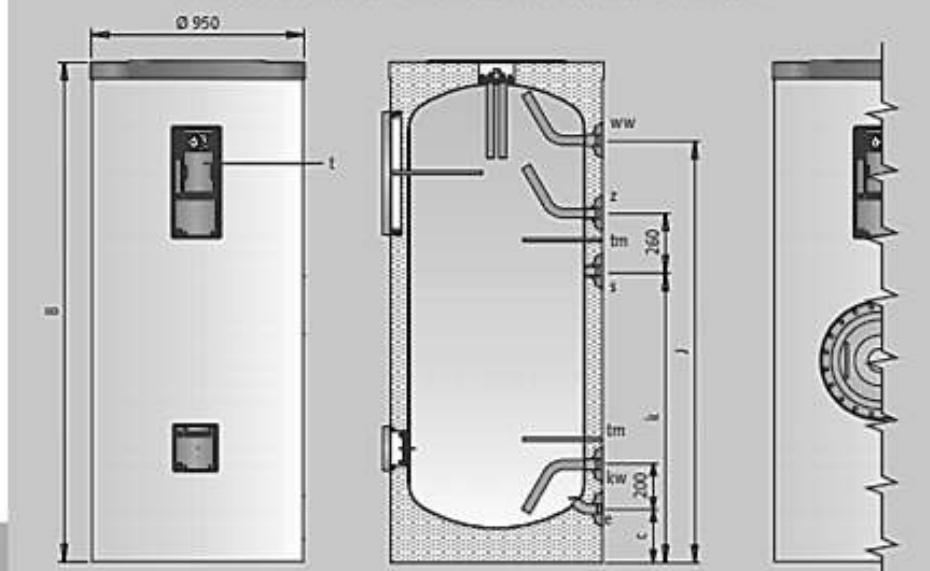
Depósitos sin serpentines

para acumulación o producción de A.C.S por medio de intercambiador de placas

IDROGAS

CV-SR/RB⁽¹⁾

Todos con boca de inspección superior y lateral.
Con opción de resistencia en boca lateral y en conexión lateral.



Modelo	CV 750 SR
Capacidad de A.C.S.	795

⁽¹⁾ Con boca de hombre
DN 400 sin resistencia, Modelo "RB"

Características Técnicas / Conexiones / Dimensiones		CV-750-SR	CV-800RB	CV-1000-SR	CV-1000-RB
Temperatura máxima depósito de A.C.S.	°C	90	90	90	90
Peso en vacío (aprox.)	Kg.	130	130	155	155
kw (c): Entrada agua fría Resistencia	°GAS	1-1/2M	1-1/2H	1-1/2M	1-1/2H
sl: Conexión lateral	°GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
tm: Válvula sensorio					
C:	mm.	100	100	200	200
K:	mm.	1030	1030	1315	1315

Código	Artículo	€
CC 01 752	CV 750 SR	1.995,00

Fuente: Salvador Escoda S.A., 2020

Anexo F. Especificaciones técnicas de la terma eléctrica SOLE WIFI

TERMA SOLE WIFI 110 L

sole

TERMA SOLE WIFI 110 L

CARACTERÍSTICAS

Nombre	Terma Sole Wifi
Marca	Sole
Código SAP	3121SOLTEMS110V
Código EAN	775651408706
Capacidad	110 L
Modelo	vertical / pared
Entrada de los puntos de agua	por abajo
# aprox. de personas (baños consecutivos)	5-6
Tanque	Aporcelanado
Espesor de tanque	2 mm
Prueba hidrostática del tanque	180 PSI
Tuberías internas	Acero inoxidable
Aislamiento	Poliuretano ecológico
Color	Charcoal Oscuro
Origen	Perú

Dimensiones (cm)

Diámetro	42
Altura total (incl. tuberías)	107
Peso con agua y accesorios (kg)	136.67
Peso vacía con accesorios (kg)	32.37

Sistema eléctrico

Termostato europeo tipo lanza	Doble seguridad
Rele térmico	Contra sobrevoltaje
Protector contra recalentamiento	82.5°C
Rango de operación	Hasta 75°C
Calibración de fábrica	65°C
Resistencia europea	Aislada eléctricamente

Conexión eléctrica

Tensión (V)	220
Frecuencia (Hz)	60
Cable vulcanizado #	3x16
Llave termomagnética (A)	16

Consumo eléctrico

Resistencia (W)	2000
# de Resistencias	1
Resistencia total (W)	2000

Garantía

Tanque	12 años
Resistencia y termostato	3 años
Otros componentes (tarjeta wifi)	1 año

Incluye

Tarjeta wifi	SI
Conmutador con 3 posiciones (directo - off - wifi)	SI
Anodo de magnesio	SI
Termómetro	SI
Luz piloto	SI
Válvula de doble seguridad (90 PSI)	SI
Kit de instalación	SI
Instalación gratuita	SI

OTROS

- Tarjeta wifi que permite encender, apagar y programar la terma; así como monitorear el consumo eléctrico remotamente desde tu smartphone sin importar el lugar en el que te encuentres.
- Conmutador con 3 posiciones para elegir tipo de funcionamiento: wifi o directo, de acuerdo a la necesidad del usuario. La tercera posición es "off".
- Tanque de acero aporcelanado (tecnología aplicada por las mejores marcas del mundo) preparado para soportar la dureza del agua del Perú (agua con exceso de cloro).
- Termostato y resistencias europeas para mayor seguridad.
- Válvula de seguridad importada con resortes de acero inoxidable.
- Tubería interna antirretorno (tipo basión) de acero inoxidable.
- Pintura electrostática exterior al horno.
- Protección anticorrosiva catódica (ánodo de sacrificio de magnesio).



RECOMENDACIONES Y PRECAUCIONES

1. NO MANIPULAR LA VALVULA DE SEGURIDAD. La válvula de seguridad va a gotear con la finalidad de proteger la terma, sus tuberías, a usted y a las demás personas de su casa contra una sobrepresión. Recuerde, CAPECO exige un punto de drenaje para cada sistema de agua caliente, esta válvula debe ser conectada a este drenaje.
2. JAMAS conecte la electricidad sin haber llenado previamente la terma de agua. El conectar la electricidad sin llenarla de antemano, ocasiona que en segundos se quemé irremediablemente la resistencia.
3. La llave termomagnética de la terma debe ser cableada exclusivamente de la llave general de la casa.
4. Existen ciertos barrios y urbanizaciones en las ciudades caracterizados por tener aguas excesivamente "duras". Si este es su caso, instale un ablandador de agua o dispositivo similar para evitarlo.
5. Desconecte la energía eléctrica de su terma cuando no la vaya a usar por periodos prolongados de tiempo.
6. Para vaciar la terma al hacerle un mantenimiento, desconecte los tubos de abasto y retire el tapón del ánodo de 3/4", por dicho agujero evacuará el agua.
7. Se debe realizar un mantenimiento preventivo cada año por personal calificado.
8. Al momento de realizar la conexión entre la tarjeta y su smartphone es necesario que tanto su smartphone como la terma reciba una buena señal de su router.

DIAGRAMA DE INSTALACIÓN



Fuente: Sole Perú, 2020

Anexo G. Especificaciones técnicas del intercambiador de calor IDROGAS - IDS14-20H

06 INTERCAMBIADORES DE PLACAS TERMOSOLDADOS

IDROGAS


El principio de construcción del intercambiador de placas termosoldado comprende un paquete de placas, está compuesto por placas canal corrugadas entre los paquetes de placas delanteras y traseras de cubierta. Las placas de cubierta constan de placas de sellado, anillos ciegos y placas de cubierta. Durante el proceso de soldadura al vacío se forma una unión soldada en cada punto de contacto entre dos placas. El diseño crea un intercambiador de calor que consta de dos circuitos separados.

Código	Artículo	Peso Kg	Medidas mm	€
CC 08 002	IDS14-20H de 20 placas	1,2	55 x 78 x 209	110,00
CC 08 003	IDS14-30H de 30 placas	2,4	78 x 78 x 209	140,00
CC 08 004	IDS14-40H de 40 placas	3	101 x 78 x 209	170,00
CC 08 022	IDS30-20M de 20 placas	3,7	57 x 110 x 310	205,00
CC 08 023	IDS30-30M de 30 placas	4,9	81 x 110 x 310	255,00
CC 08 024	IDS30-40M de 40 placas	6,1	105 x 110 x 310	305,00
CC 08 052	IDS110-20M de 20 placas	14,2	58 x 191 x 616	595,00
CC 08 053	IDS110-30M de 30 placas	17,8	82 x 191 x 616	755,00
CC 08 054	IDS110-40M de 40 placas	21,4	105 x 191 x 616	915,00



Modelo	Rosca	Temp. Máx. °C	Caudal máx. m³/h	Presión bar
IDS 14	ISO-G 3/4" M	225	3,6	0 a 30
IDS 30	ISO-G 1" M		8,1	
IDS 110	ISO-G 2" M		34	

Materiales estándar:

Placas de cubierta: 304 acero inoxidable.

Conexiones: 316L acero inox.

Placas: 316L acero inoxidable.

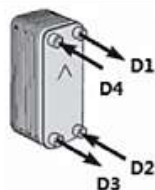
Material de soldadura: 99,99% cobre.

APLICACIONES 1 FASE

Calefacción, Solar, Clima ...

PRIMARIO
D4 → D3

SECUNDARIO
D2 → D1



Producción de ACS con Energía Solar Térmica

Ref. Escoda	Modelo	Nº Placas	Nº Paneles Solares 2 m²	Potencia Energ. Solar	Caudal l/h Caldera (1º)	Caudal l/h ACS (2º)
CC 08 002	IDS14-20H	20	5	7 kW	600	600
CC 08 002	IDS14-20H	20	10	14 kW	1200	1200
CC 08 003	IDS14-30H	30	15	21 kW	1800	1800
CC 08 004	IDS14-40H	40	25	35 kW	3000	3000
CC 08 022	IDS30-20M	20	30	40 kW	3500	3500
CC 08 023	IDS30-30M	30	35	50 kW	4400	4300
CC 08 024	IDS30-40M	40	45	70 kW	5300	5200
CC 08 052	IDS110-20M	20	90	100 kW	11100	10600
CC 08 053	IDS110-30M	30	135	150 kW	15900	15000
CC 08 054	IDS110-40M	40	175	200 kW	21000	20200

Primario: 55°C/45°C Secundario: 35°C/45°C Pd Circuito Solar: Max. 3 m.c.a.

Anexo H. Especificaciones técnicas las tuberías de cobre de ¾" marca Nacobre

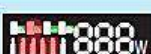
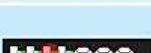
Productos Nacobre S.A.				Característica		Tubería Tipo "M"		
				Temple		Rígido		
				Color de identificación		Rojo		
				Grabado (bajo relieve)		Sí		
				Longitud del tramo		6.10 m		
				Diámetros		1/4" a 4"		

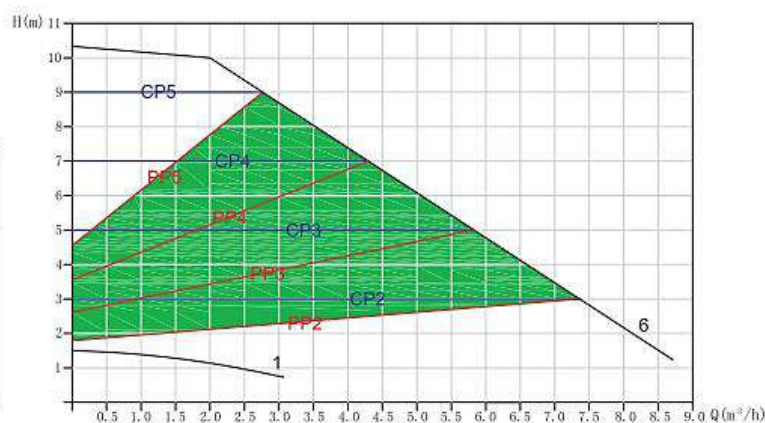
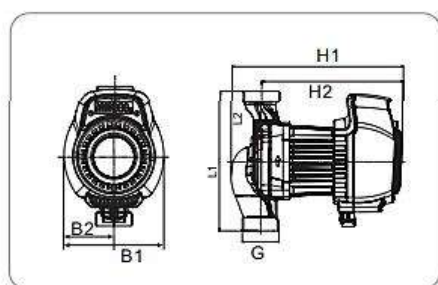
Tubería de cobre de temple rígido Tipo "M"								
Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por tramo	Presión Máxima	Presión Constante	Flujo
Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Pulgadas	Lb/pie	libras	PSI	PSI	G. P. M.
milímetros	milímetros	milímetros	milímetros	kg/m	kilogramos	kg/cm ²	kg/cm ²	L. P. M.
1/4"	0.375"	0.325"	0.025"	0.107	2.132	6,133	1,226	
6.35 mm	9.525	8.255	0.635	0.159	0.968	431.15	86.18	
3/8"	0.500"	0.450"	0.025"	0.145	2.903	4,500	900	2.247
9.50 mm	12.700	11.430	0.635	0.216	1.318	316.35	63.27	8.507
1/2"	0.625"	0.569"	0.028"	0.204	4.083	4,032	806	4.064
12.7 mm	15.875	14.453	0.711	0.304	1.854	283.45	56.66	15.382
3/4"	0.875"	0.811"	0.032"	0.328	6.566	3,291	658	10.656
19 mm	22.225	20.599	0.812	0.488	2.981	231.35	46.25	40.333
1"	1.125"	1.055"	0.035"	0.465	9.310	2,800	560	21.970
25 mm	28.575	26.767	0.889	0.693	4.227	196.84	39.36	83.180
1 1/4"	1.375"	1.291"	0.042"	0.683	13.656	2,749	550	39.255
32 mm	34.925	32.791	1.067	1.016	6.200	193.25	38.66	148.580
1 1/2"	1.625"	1.527"	0.049"	0.941	18.821	2,713	542	62.335
38 mm	41.275	38.785	1.245	1.400	8.545	190.72	38.10	235.940
2"	2.125"	2.009"	0.058"	1.461	29.233	2,470	491	131.000
51 mm	53.975	51.029	1.473	2.176	13.272	173.65	34.51	495.860
2 1/2"	2.625"	2.495"	0.065"	2.032	40.647	2,228	445	231.461
64 mm	66.675	63.373	1.651	3.025	18.454	156.62	31.28	876.010
3"	3.125"	2.981"	0.072"	2.683	53.663	2,073	414	375.189
76 mm	79.375	75.718	1.889	3.994	24.363	145.73	29.10	1,420.09
4"	4.125"	3.935"	0.095"	4.665	93.310	2,072	414	799.395
102 mm	104.775	99.949	2.413	6.945	42.363	145.65	29.10	3,025.71

Tubería tipo M					
Catálogo	Diámetro			Tramos x atado	PRECIO DE LISTA
	Nominal	Exterior	MM		
M6	1/4	3/8	6	25	\$ 303.23
M10	3/8	1/2	10	25	\$ 311.00
M13	1/2	5/8	13	25	\$ 390.99
M19	3/4	7/8	19	10	\$ 638.93

Fuente: Catálogo Nacobre, 2020

Anexo I. Especificaciones técnicas de la bomba GREENPRO - RS32/10EA-180

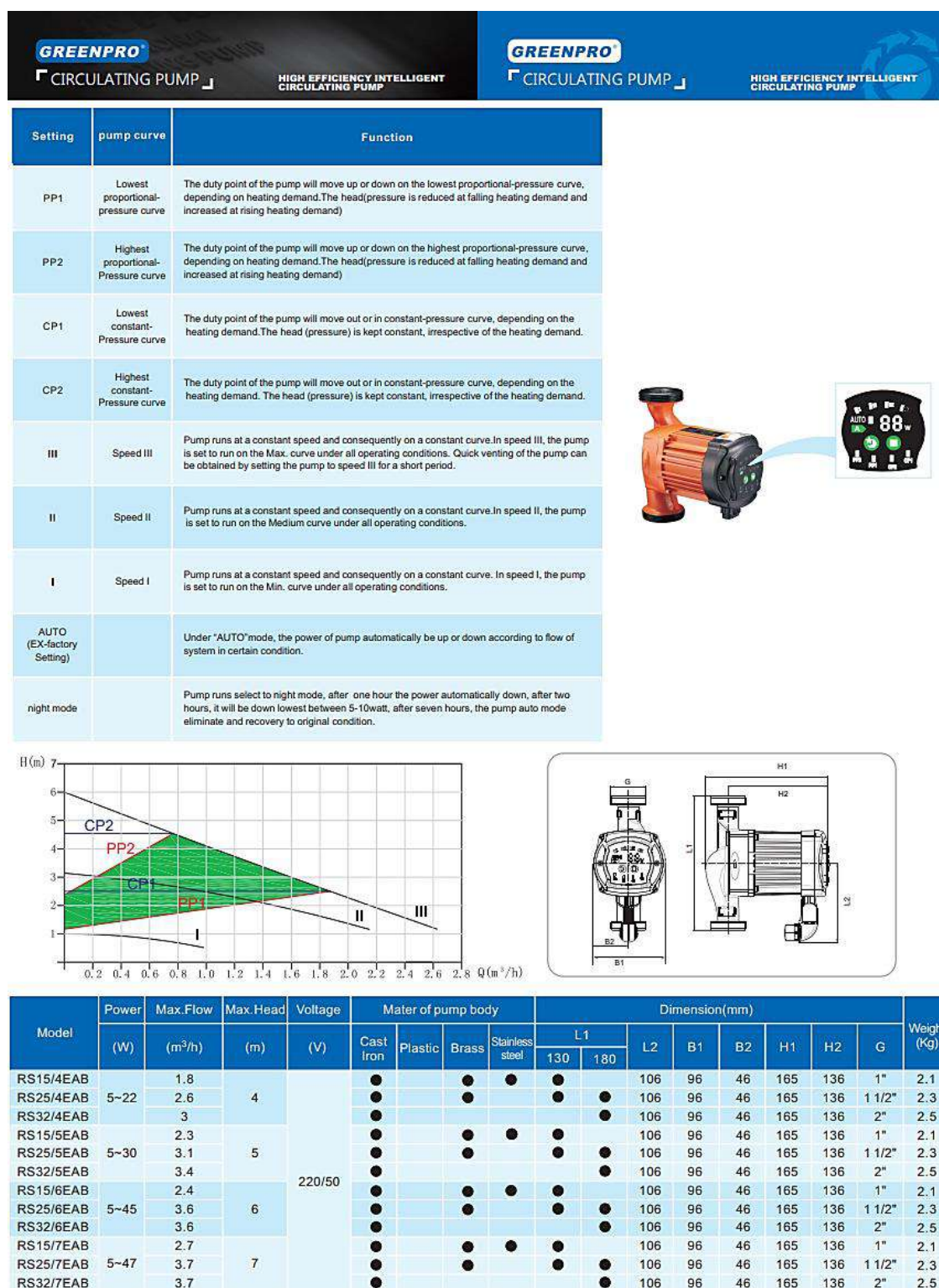
 CIRCULATING PUMP  CIRCULATING PUMP HIGH EFFICIENCY INTELLIGENT CIRCULATING PUMP	
Control Panel Pump Curve	Description
 CP2,CP3,CP4,CP5	The operating point moves back and forth on the curve according to the volume of flow from the system. As shown in the graph, the pump pressure remains constant, not affected by the volume demands of flow.
 CP1--Min. Speed CP6--Max. Speed	The two speeds are the Min. and Max. ones under constant pressure, the curve shown as in graph. can not keep constant. It rises and goes down as manual operation.
 PP2,PP3,PP4,PP5	The operating point moves back and forth on the proportional pressure curve according to the volume of flow from system. As shown in the graph. the pump pressure is directly proportional to the flow demands.
 CP1--Min. Speed CP6--Max. Speed	The two speeds are the Min. and Max. ones under proportional pressure, the curve shown as in graph. can not keep constant. It rises and goes down as manual operation.
 ECO	This mode use working as "auto adaptation". It confines the performance of the pumps in aimed scope. As shown in graph.: 1. Performance can be adjusted according to the scale of system 2. Performance can be adjusted according to the changing of load during a specific period. Under the mode of ECO", the pump is controlled by means of proportional pressure.



Model	Power	Max. Flow	Max. Head	Voltage	Mater of pump body				Dimension(mm)							Weight(Kg)
	(W)	(m³/h)	(m)	(V)	Cast Iron	Plastic	Brass	Stainless steel	L1	L2	B1	B2	H1	H2	G	
RS25/8EA	5~130	7.5	8	220/50	●				180	90	129	64.5	236	184	1 1/2"	3.3
RS32/8EA		10.2			●				180	90	129	64.5	236	184	2"	3.4
RS25/10EA	5~180	7.8	10		●				180	90	129	64.5	236	184	1 1/2"	3.3
RS32/10EA		10.8			●				180	90	129	64.5	236	184	2"	3.4

Fuente: Catálogo GreenPro, 2020

Anexo J. Especificaciones técnicas la bomba GREENPRO - RS15/6EAB



Fuente: Catálogo GreenPro, 2020

Anexo K. Especificaciones técnicas del vaso de expansión IBAIONDO 5 AMR

AMR

Acumuladores hidroneumáticos de membrana

Grupos de presión

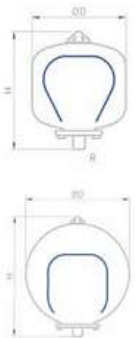
- Membrana recambiable, según EN 13831, apta para agua potable
- Conexión de agua en acero cincado
- Modelos de 100 AMR-P-A a 700 AMR-B cuentan con acoplamiento superior con conexión roscada (3/4" GM 1/2" GH)
- Temperatura: -10° C +100° C
- Pintura epoxi roja
- Precarga de aire: 1,5 bar
- Certificado UE, conforme a la Directiva 2014/68/UE



ACUMULADORES HIDRONEUMÁTICOS

Modelos sin patas 8 - 10 bar

Peso (Kg)	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua	Precio (€)
					Ø D (mm)	H (mm)		
2	01005013	5 AMR	5	10	200	245	3/4"	20,92
2	01005014	5 AMR	5	10	200	245	1"	20,92
2,5	01008021	8 AMR	8	10	200	350	1"	23,66
4	01015021	15 AMR	15	10	270	320	1"	27,47
4,5	01020021	20 AMR	20	10	270	425	1"	29,76
9	01035021	35 AMR	35	10	360	485	1"	52,73
10	01050021	50 AMR	50	10	360	620	1"	82,60
4,5	01025051	24 AMR-E	24	8	350	390	3/4"	36,91
4,5	01025061	24 AMR-E	24	8	350	390	1"	36,91



Fuente: Catálogo Ibaiondo, 2019



Anexo L. Especificaciones técnicas del vaso de expansión IBAIONDO 150 AMR-B90

AMR

Acumuladores hidroneumáticos de membrana

Grupos de presión

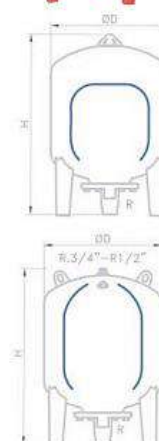
- Membrana recambiable, según EN 13831, apta para agua potable
- Conexión de agua en acero cincado
- Modelos de 100 AMR-P-A a 700 AMR-B cuentan con acoplamiento superior con conexión roscada (3/4" GM 1/2" GH)
- Temperatura: -10° C +100° C
- Pintura epoxi roja
- Precarga de aire: 1,5 bar
- Certificado UE, conforme a la Directiva 2014/68/UE



ACUMULADORES HIDRONEUMÁTICOS

Modelos con patas 8-10 bar

Peso (Kg)	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua	Precio (€)
					Ø D (mm)	H (mm)		
18	03100041	100 AMR-P-A	100	10	450	875	1 1/4"	191,69
25	03150801	150 AMR-B90 (M/F)	150	10	485	1060	1 1/4"	251,11
42	03200801	200 AMR-B90 (M/F)	200	10	550	1135	1 1/4"	281,52
55	03300801	300 AMR-B160 (M/F)	300	10	650	1180	1 1/4"	338,37
71	03500801	500 AMR-B160 (M/F)	500	10	750	1450	1 1/2"	501,79
78	03700501	700 AMR-B160 (M/F)	700	8	750	1750	1 1/2"	692,70



Fuente: Catálogo Ibaiondo, 2019

URENSI

Anexo M. Especificaciones técnicas del controlador STIEBEL ELTRON SOM7Eplus

SOM 7 E plus

SOLAR CONTROL UNITS

STIEBEL ELTRON

For one or two consumers.

The SOM 7 E plus solar controller is specifically designed for high efficiency pumps in standard solar thermal systems for DHW heating and central heating backup.

The main features

Up to two consumers

Function check

Heat statement

Maximum cylinder temperature

Collector cooling function

Tube collector function

Energy saving power supply technology

Pasteurisation program

Semi-conductor relay for variable speed solar circuit pumps



Type	SOM 7 E plus
Part no.	234785
Consumer	2
Number of standard systems	10

Technical data

Height	166 mm
Width	110 mm
Depth	47 mm
Phases	1/N/PE
Rated voltage	100...240 V
Frequency	50...60 Hz
Relay capacity	1 (1) A
Total switching current	4 A
IP-Rating	IP20
Number of inputs	4
Number of switched outputs	2
High efficiency pump control	x

Contact information

You have questions? We appreciate to help you:

Call! +49 5531 - 7020

Write an email to info@stiebel-eltron.com

Fuente: Stiebel Eltron Products, 2020

Anexo N. Especificaciones técnicas del acumulador IDROGAS CV 200 SR

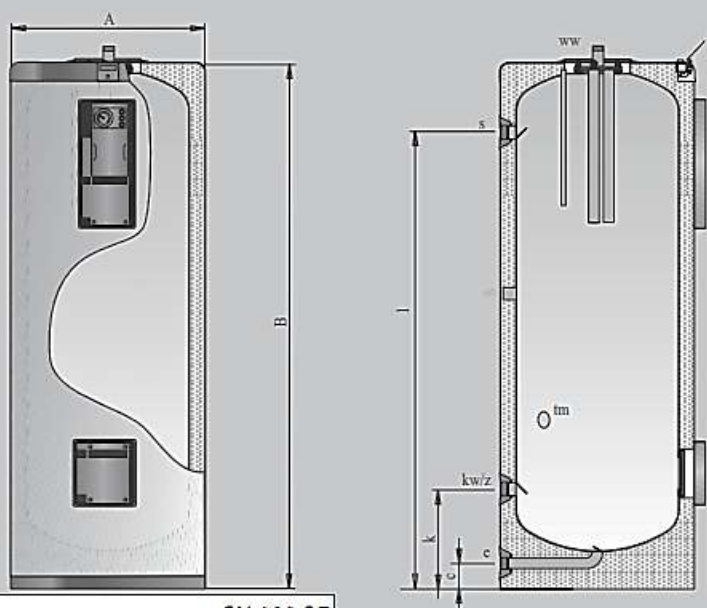
Depósitos desde 200 a 500 litros, sin serpentines

IDROGAS

para acumulación o producción de A.C.S. por medio de intercambiador de placas

Modelos: CV-200...500-SR

Todos con boca de inspección superior y lateral.
Con opción de resistencia en boca lateral.



Modelo	CV 200 SR
Capacidad de A.C.S.	200

Características técnicas / Conexiones / Dimensiones		CV-200-SR	CV-300-SR	CV-500-SR
Temperatura máxima depósito de A.C.S.	°C	90	90	90
Peso en vacío (aprox.)	kg	70	90	130
kw-z: Entrada agua fría / recirculación	°GAS/M	1-1/4	1-1/4	1-1/4
s: Conexión lateral	°GAS/M	1-1/4	1-1/4	1-1/4
tm: Conexión sensores laterales	°GAS/M	3/4	3/4	3/4
eh: Conexión lateral	°GAS/M	1-1/4	1-1/4	1-1/4
Cota B: Longitud total	mm	1205	1685	1690
Cota k:	mm	320	320	360

Código	Artículo	€
CC 01 749	CV 200 SR	961.00

Fuente: Salvador Escoda S.A., 2020

Anexo O. Especificaciones técnicas del vaso de expansión IBAIONDO 35 AMR-P

AMR

Acumuladores hidroneumáticos de membrana

Grupos de presión

- Membrana recambiable, según EN 13831, apta para agua potable
- Conexión de agua en acero cincado
- Modelos de 100 AMR-P-A a 700 AMR-B cuentan con acoplamiento superior con conexión roscada (3/4" GM 1/2" GH)
- Temperatura: -10° C +100° C
- Pintura epoxi roja
- Precarga de aire: 1,5 bar
- Certificado UE, conforme a la Directiva 2014/68/UE



ACUMULADORES HIDRONEUMÁTICOS

Modelos con patas 8-10 bar

Peso (Kg)	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua	Precio (€)
					Ø D (mm)	H (mm)		
10	01035241	35 AMR-P	35	10	360	615	1"	64,44
12	01050241	50 AMR-P	50	10	360	750	1"	86,71
16	03080241	80 AMR-P	80	10	450	750	1"	109,32
18	03100031	100 AMR-P	100	10	450	850	1"	159,24

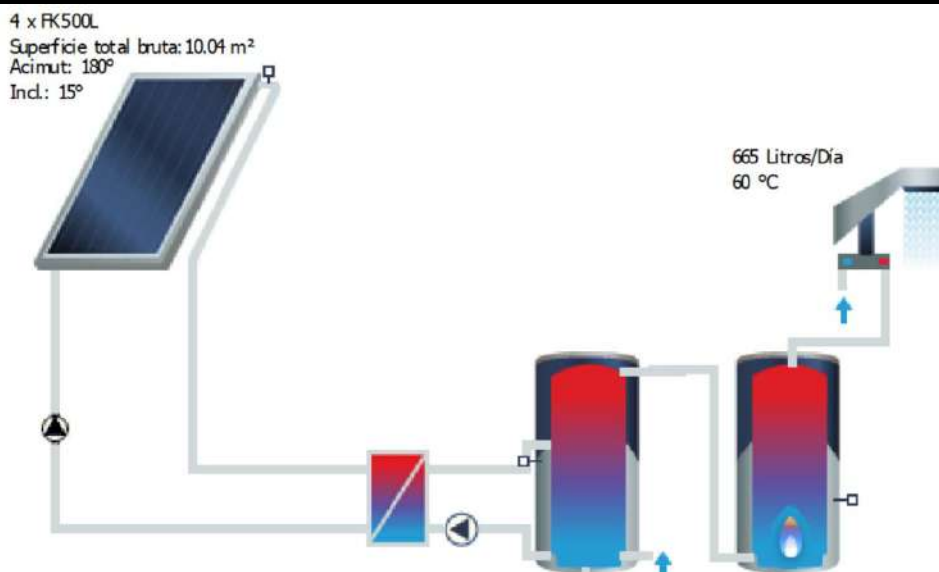
Fuente: Catálogo Ibaiondo, 2019



Anexo P. Reporte de resultados de la simulación para el edificio multifamiliar

Fuente: T*SOL 2018





Resultados de la simulación anual

Potencia de colectores instalada:	7.03 kW	
Superficie de colectores instalada (bruta):	10.04 m²	
Irradiación a la superficie colector (Superficie ref.):	19,708.20 kWh	2,096.62 kWh/m²
Energía suministrada por los colectores:	11,823.67 kWh	1,257.84 kWh/m²
Energía suministrada por los circuitos del colector:	10,419.30 kWh	1,108.44 kWh/m²
Sum. De energía para la producción del agua caliente:	10,154.85 kWh	
Energía del sistema solar para el ACS:	9,562.95 kWh	
Energía suministrada por la calefacción auxiliar:	3,257.2 kWh	
Ahorro Gas natural H:	1,073.6 m³	
Emisión de CO2 evitada:	2,488.09 kg	
Fracción solar ACS:	74.6 %	
Ahorro relativo de energía adicional (DIN EN 12977):	71.6 %	
Grado de uso del sistema:	52.9 %	

Especificación

Datos climáticos

Ubicación:	Piura
Datos climáticos:	Piura
Suma anual de la radiación global:	2,123.713 kWh/m ²
Latitud:	-5.17 °
Longitud:	80.63 °

Agua Caliente Sanitaria

Consumo medio diario:	0.67 m ³
Temperatura deseada:	60 °C
Perfil de carga:	Viviendas multifamiliares con niños
Temperatura del agua fría:	Febrero: 24 °C Agosto: 23 °C
Recirculación:	no

Instalación

Circuito del colector

Fabricante:	Solfex Ltd.
Tipo:	FK500L
Número:	4.00
Superficie total bruta:	10.04 m ²
Superficie total de referencia:	9.4 m ²
Ángulo de inclinación:	15 °
Orientación:	0 °
Acimut:	0 °

Depósito de disponibilidad de ACS

Fabricante:	Estándar
Tipo:	5 x Depósito de disponibilidad de ACS
Volumen:	5 x 0.11 m ³

Depósito de precalentamiento solar

Fabricante:	Salvador Escoda
Tipo:	IDROGAS CV 750 SR
Volumen:	0.795 m ³

Calefacción auxiliar

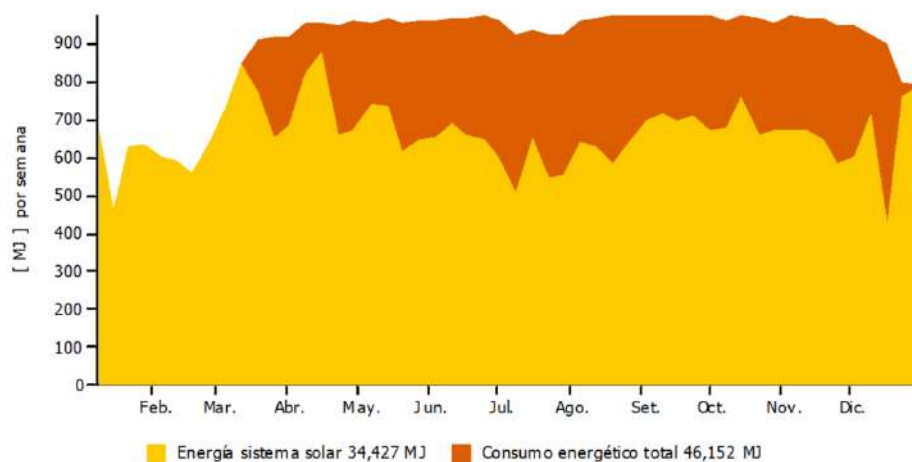
Fabricante:	ver depósito de disponibilidad ACS
Tipo:	combustión directa
Potencia nominal:	9 kW

Leyenda

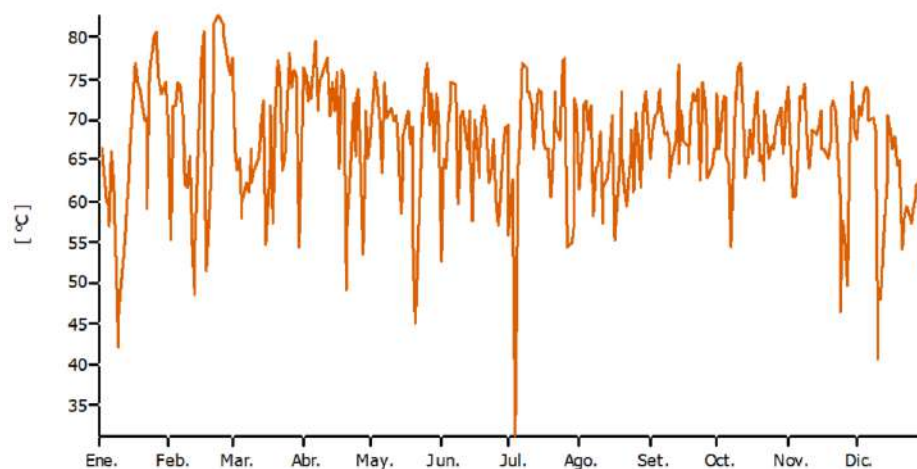
Con informe de ensayo
Solar Keymark



Fracción de energía solar en el consumo energético



Temperaturas máximas diarias en el colector



Los cálculos han sido realizados con el programa de simulación para instalaciones solares térmicas T*SOL 2018 (R3). Los resultados han sido calculados mediante un modelo de cálculo matemático con un intervalo de tiempo variable de máx. 6 minutos. Los resultados reales pueden mostrar variaciones debido a las variaciones meteorológicas, de consumo y por otras causas. El esquema de la instalación no substituye el dibujo técnico de la instalación solar térmica.

Clima

Grupo de datos:	Piura
Ubicación:	Piura
Latitud:	-5.17 °
Longitud	80.63 °
Suma anual de la radiación global:	2,124 kWh/m ²
Parte de radiación difusa:	46.2 %
Temperatura media al exterior:	23.68 °C

Consumidores ACS



Consumo de ACS

Consumo medio diario:	0.670 m ³
Consumo anual:	242.7 m ³
Consumo diario máximo:	0.760 m ³
Temperatura deseada:	60.0 °C
Temperatura del agua fría:	24 °C / 23 °C
Demanda energética anual:	36,752 MJ
Días de funcionamiento:	365 Días
Sin funcionamiento:	- sin restricciones -

Recirculación

- No hay circulación -

Perfil de carga

Perfil:	Viviendas multifamiliares con niños
---------	-------------------------------------



Circuito solar

Interconexión hidráulica

Circuito solar central –
intercambiador de calor

Fluido portador: Agua con
Capacidad calorífica:

0 % Glicol de polipropileno
4180 J/(kg·K)

La red solar está constituida por:
Circuito del colector



Circuito del colector (CIRC COL 1)

Caudal:

30 l/h

Control:

La bomba del circuito del colector se controla en dependencia de la diferencia de temperatura entre la temperatura de la salida del colector y la temperatura de referencia del depósito.

Encender por encima de la diferencia:

7 K

Apagar por debajo de la diferencia:

3 K

Campo colector

Superficie total bruta

10.04 m²

Superficie total de referencia

9.4 m²

Número de colectores:

4

Inclinación:

Ángulo de inclinación:

15 °

Ángulo de acimut:

0 °

Irradiación a superficie colector (Superficie bruta):

75,780 MJ

Tubería:

Longitud simple de la tubería

int. edificio:

11 m

al exterior:

16 m

entre los colectores:

200 mm / Colector

Coefficiente de conductividad térmica del aislamiento térmico

int. edificio:

0.045 W/(m·K)

al exterior:

0.045 W/(m·K)

Proyecto Edificio

entre los colectores:	0.045 W/(m·K)
Diámetro nominal de la tubería	
interior y exterior:	19 mm
entre los colectores:	19 mm
(Corresponde a una velocidad de flujo de aprox 0.5 m/s)	
Grosor del aislamiento	
interior:	20 mm
exterior:	20 mm
entre los colectores:	20 mm



Colector plano

Fabricante:	Solfex Ltd.
Tipo:	FK500L

Capacidad calorífica:

Capacidad calorífica específica:	4820 J/(m ² ·K)
----------------------------------	----------------------------

Pérdidas:

Factor de conversión:	81.1 %
Coeficiente lineal de transferencia térmica:	3.295 W/(m ² ·K)
Coeficiente cuadrado de transferencia térmica:	0.017 W/(m ² ·K ²)
Coef. de transmisión de calor referidos a temp. de entrada del colector:	No
Factor de corrección del ángulo (IAM) para radiación indirecta:	91 %
Factor de corrección del ángulo para radiación directa con ángulo de incidencia de 50°:	96 %

Tamaño:

Superficie bruta:	2.51 m ²
Superficie de referencia:	2.35 m ² (Superficie de apertura)



Intercambiador colector del circuito solar

Tipo:	
Fabricante:	
Potencia máxima:	4.7 kW

Proyecto Edificio

valor kS:	1880 W/K
Salto térmico:	2.5 K



Depósito de disponibilidad de ACS

Fabricante:	Estándar
Tipo:	Depósito de disponibilidad de ACS
Volumen:	110 L
Altura/Diámetro:	1.80
Número de depósitos:	5

Aislamiento:

Espesor de aislamiento	100 mm
Coef. de conductividad térmica:	0.065 W/(m·K)

Conexiones:

	Altura:	Pérdidas:
Salida arriba:	100 %	0.25 W/K
Entrada abajo:	0 %	0.25 W/K
Retorno de la recirculación:	-sin-	
Intercambiador de calor Calefacción auxiliar:		
	Altura:	Pérdidas:
Retorno:	2 %	0.25 W/K
Impulsión:	60 %	0.25 W/K

Intercambiador de calor:

valor kS Calefacción auxiliar:	1 W/K por volumen del depósito
--------------------------------	--------------------------------

Control:

Temperatura deseada del depósito:	60 °C
Periodos de carga limitados:	0 : 00 – 6 : 00
	8 : 00 – 19 : 00
	22 : 00 – 24 : 00
	Altura: Temp. de conexión:
Conectar la calefacción auxiliar:	30 % -7 K
Desconectar la calefacción auxiliar:	30 % 3 K

Proyecto Edificio

Quemador interno

Potencia:	9 kW
Altura:	10 %
Fuente de energía:	Gas natural H
Grado de eficiencia:	95 %
Sin funcionamiento:	1.1 – 15.3 17.12 – 31.12



Depósito de precalentamiento solar

Fabricante:	Salvador Escoda
Tipo:	IDROGAS CV 750 SR
Volumen:	795 L
Volumen específico	80 L por sup. de colector
Número de depósitos:	1
Altura/Diámetro:	1.94

Aislamiento:

Espesor de aislamiento	75 mm
Coef. de conductividad térmica:	0.04 W/(m·K)

Conexiones para el circuito del colector:

	Altura:	Pérdidas:
Entrada arriba:	60 %	0.2 W/K
Salida abajo:	1 %	0.2 W/K

Altura de instalación de los sensores:

Circuito del colector – Encnd./Apg:	50 %	
Apagar circuito de colector:	50 %	para 90 °C

Conexión de consumidores ACS:

	Altura:	Pérdidas:
Impulsión centro:	99 %	0.2 W/K
Retorno abajo:	1 %	0.2 W/K
Mezcla de agua fría en la salida del depósito:	ninguna	

Conexión del caudal por el depósito:

	Altura:	Pérdidas:
Entrada abajo:	1 %	0.2 W/K
Salida arriba:	99 %	0.2 W/K

Resultados de la simulación anual

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Instalación ACS (2 depósitos) con depósito de combustión directa e IC externo - US												
Ahorro Gas natural H en m³												
1,073.6	79.9	75.0	104.4	100.7	94.2	86.2	78.1	88.8	93.3	95.5	83.9	93.6
Emisión de CO2 evitada en kg												
2,488.1	185.2	173.9	242.0	233.3	218.4	199.8	180.9	205.8	216.3	221.3	194.4	216.9
Fracción solar ACS en %												
74.6	100.0	100.0	84.4	78.7	71.5	66.5	60.9	66.2	71.5	72.2	65.0	79.8
Grado de uso del sistema en %												
52.9	52.0	51.6	57.4	54.8	53.3	51.7	50.4	51.9	51.6	51.7	51.6	56.0
Energía del sistema solar para el ACS en MJ												
34,427	2,562	2,406	3,348	3,228	3,022	2,764	2,503	2,847	2,993	3,062	2,690	3,001
E-Solar al Tanque en MJ												
37,509	2,810	2,739	3,597	3,481	3,259	3,015	2,724	3,154	3,278	3,329	2,938	3,185
Energía de la calefacción auxiliar en MJ												
11,726	0	0	621	874	1,204	1,393	1,605	1,452	1,192	1,181	1,446	758
Clima												
Temperatura al exterior en °C												
23.7	26.6	27.7	27.6	25.8	23.7	21.4	21.2	21.0	20.9	21.8	22.2	24.6
Radiación global horizontal en kWh/m²												
2,124	177	167	189	182	168	157	148	172	188	201	185	190
Altura del sol en °												
20.6	21.1	22.1	22.3	20.7	18.7	17.7	18.2	19.9	21.9	22.3	21.4	20.8
Acimut del sol en °												
-3.2	-4.3	-5.1	-4.2	-3.3	-3.0	-3.3	-3.8	-3.7	-2.7	-1.5	-1.5	-2.7

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Velocidad del viento en m/s												
3.1	3.1	2.6	2.5	2.7	3.2	2.9	3.0	3.2	3.6	3.6	3.5	3.4
Consumidores ACS												
Suministro de energía para ACS en MJ												
36,557	1,905	1,772	3,194	3,264	3,357	3,309	3,249	3,423	3,323	3,377	3,281	3,104
Demanda energética ACS en MJ												
36,786	1,989	1,808	3,194	3,265	3,358	3,309	3,249	3,423	3,323	3,377	3,283	3,207
Pérdidas por recirculación en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura del agua fría en °C												
23.5	23.9	24.0	23.9	23.7	23.5	23.2	23.1	23.0	23.1	23.3	23.5	23.8
Temperatura del agua caliente en °C												
55.2	46.2	48.4	52.2	56.7	57.8	58.4	59.0	58.6	58.0	57.8	58.2	50.9
Consumo indicado de ACS en m³												
240.9	13.2	12.0	21.2	21.5	22.0	21.5	21.0	22.1	21.5	22.0	21.5	21.2
Consumo del agua caliente en m³												
277.2	21.8	18.5	28.2	23.1	22.8	21.7	21.1	22.4	22.0	22.6	21.7	31.2
Circuito solar												
Temperatura de referencia del circuito del colector en °C												
49.8	49.6	53.1	48.1	53.2	51.1	50.0	46.8	49.1	52.2	52.4	49.5	43.5
Circuito solar-Temperature entrada en °C												
32.6	32.6	33.8	32.5	35.1	33.4	32.9	30.9	32.6	34.0	32.4	32.0	29.6
Circuito solar-Temperature salida en °C												
51.9	51.3	53.7	49.5	55.0	53.5	52.2	50.1	51.9	54.8	55.0	51.9	46.0
Caudal-circuito solar en m³												
465.5	36.1	32.9	50.7	41.7	38.8	37.5	34.0	39.0	37.7	35.4	35.4	46.4
Grado de eficiencia del circuito solar en %												
52.9	52.0	51.6	57.4	54.8	53.3	51.7	50.4	51.9	51.6	51.7	51.6	56.0

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Irradiación total sobre la superficie en MJ												
70,950	5,406	5,304	6,270	6,353	6,120	5,834	5,406	6,080	6,353	6,434	5,699	5,690
Pérdidas de la red solar en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modificación del contenido Red solar en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energía del circuito solar a la red en MJ												
37,509	2,810	2,739	3,597	3,481	3,259	3,015	2,724	3,154	3,278	3,329	2,938	3,185
Red solar hacia depósito en MJ												
37,509	2,810	2,739	3,597	3,481	3,259	3,015	2,724	3,154	3,278	3,329	2,938	3,185
Temperatura max. del colector en °C												
50.3	50.8	53.8	50.4	52.8	50.9	49.5	47.1	48.9	51.1	51.7	49.7	47.0
Circuito del colector												
Energía suministrada por el circuito del colector (CIRC COL 1) en MJ												
37,509	2,810	2,739	3,597	3,481	3,259	3,015	2,724	3,154	3,278	3,329	2,938	3,185
Grado de rendimiento del circuito del colector (CIRC COL 1) en %												
52.9	52.0	51.6	57.4	54.8	53.3	51.7	50.4	51.9	51.6	51.7	51.6	56.0
Temperatura de referencia del circuito del colector (CIRC COL 1) en °C												
49.8	49.6	53.1	48.1	53.2	51.1	50.0	46.8	49.1	52.2	52.4	49.5	43.5
Temperatura de salida del circuito del colector (CIRC COL 1) en °C												
55.3	54.5	57.2	52.4	58.5	57.0	55.5	53.5	55.3	58.4	58.9	55.3	48.9
Caudal (CIRC COL 1) en m³												
465.5	36.1	32.9	50.7	41.7	38.8	37.5	34.0	39.0	37.7	35.4	35.4	46.4
Campo colector												
spec. DNI (CIRC COL 1) en kWh/m²												
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
G opt. pérdida deducida (CIRC COL 1) en kWh/m²												
1,613.4	121.3	119.9	142.2	145.4	140.3	133.8	123.3	138.9	145.2	146.4	128.8	128.0

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Radiación global específica sobre superficie inclinada (CIRC COL 1) en kWh/m²												
2,096.6	159.7	156.7	185.3	187.7	180.9	172.4	159.8	179.7	187.7	190.1	168.4	168.1
Radiación global específica sobre superficie inclinada con sombra (CIRC COL 1) en kWh/m²												
2,096.6	159.7	156.7	185.3	187.7	180.9	172.4	159.8	179.7	187.7	190.1	168.4	168.1
Irradiación sobre la superficie bruta -sin sombra- (CIRC COL 1) en MJ												
75,780	5,774	5,665	6,697	6,785	6,537	6,231	5,774	6,494	6,786	6,872	6,087	6,077
Irradiación sobre la superficie bruta (CIRC COL 1) en MJ												
75,780	5,774	5,665	6,697	6,785	6,537	6,231	5,774	6,494	6,786	6,872	6,087	6,077
Irradiación sobre la superficie de referencia -sin sombra- (CIRC COL 1) en MJ												
70,950	5,406	5,304	6,270	6,353	6,120	5,834	5,406	6,080	6,353	6,434	5,699	5,690
Irradiación sobre la superficie de referencia (CIRC COL 1) en MJ												
70,950	5,406	5,304	6,270	6,353	6,120	5,834	5,406	6,080	6,353	6,434	5,699	5,690
Pérdidas ópticas (CIRC COL 1) en MJ												
16,351	1,303	1,246	1,457	1,433	1,373	1,308	1,233	1,378	1,441	1,480	1,341	1,359
Pérdidas tubería al exterior (CIRC COL 1) en MJ												
2,640	194	195	180	219	230	238	229	244	257	255	223	176
Pérdidas en tubería al interior (CIRC COL 1) en MJ												
2,416	221	226	226	223	207	185	177	187	194	203	185	183
Pérdidas térmicas del colector (CIRC COL 1) en MJ												
12,034	878	898	810	997	1,051	1,088	1,043	1,117	1,184	1,168	1,013	787
Temperatura de impulsión del colector (CIRC COL 1) en °C												
36.0	37.3	39.6	38.0	38.3	36.4	34.8	33.6	34.3	35.3	35.6	34.7	34.6
Temperatura del colector (CIRC COL 1) en °C												
34.5	36.1	38.2	36.3	36.7	34.9	33.3	32.3	32.9	33.7	34.1	33.4	33.1
Temperatura max. del colector (CIRC COL 1) en °C												
48.2	48.8	51.8	48.1	50.5	48.8	47.6	45.4	47.0	48.9	49.4	47.7	44.9
Energía bomba (CIRC COL 1) en MJ												
559	43	40	61	50	47	45	41	47	45	42	43	56

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----

Intercambiador colector del circuito solar

Energía transmitida (CS) en MJ

37,509	2,810	2,739	3,597	3,481	3,259	3,015	2,724	3,154	3,278	3,329	2,938	3,185
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Temperatura de impulsión circuito primario (CS) en °C

51.5	50.8	53.2	50.1	54.6	53.0	51.5	49.4	51.2	53.9	53.6	51.0	46.4
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Temperatura retorno circuito primario (CS) en °C

35.8	35.7	37.2	35.4	38.2	36.6	36.0	34.0	35.6	37.2	36.0	35.2	32.5
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Temperatura retorno circuito secundario (CS) en °C

32.4	32.5	33.7	32.4	34.7	33.1	32.6	30.7	32.3	33.6	32.1	31.8	29.6
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Temperatura impulsión circ secundario (CS) en °C

50.4	49.8	52.2	48.6	53.3	51.7	50.5	48.4	50.2	52.8	52.6	50.1	45.2
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Corriente calor circuito primario (CS) en °C

Corriente calor circuito secundario (CS) en °C

Temperatura de impulsión circuito primario después de mezcla (CS) en °C

10.4	9.4	9.9	12.7	12.0	10.5	10.3	8.7	10.3	10.8	9.9	9.7	10.8
-------------	-----	-----	------	------	------	------	-----	------	------	-----	-----	------

Depósito de disponibilidad de ACS

Pérdidas del depósito en MJ

9,599	645	628	757	842	876	846	856	874	859	881	840	695
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Modificación del contenido energético en MJ

-4	12	6	19	-4	-7	2	3	2	3	-16	14	-39
-----------	----	---	----	----	----	---	---	---	---	-----	----	-----

Temperatura media en °C

53.3	46.0	48.0	50.8	55.4	55.8	55.8	55.3	55.8	56.2	55.9	55.6	48.4
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Sensor: Calefacción aux. ON en °C

52.0	45.9	47.9	49.9	54.3	54.5	54.0	53.4	54.1	54.7	54.4	53.7	47.3
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Sensor: Calefacción aux. OFF en °C

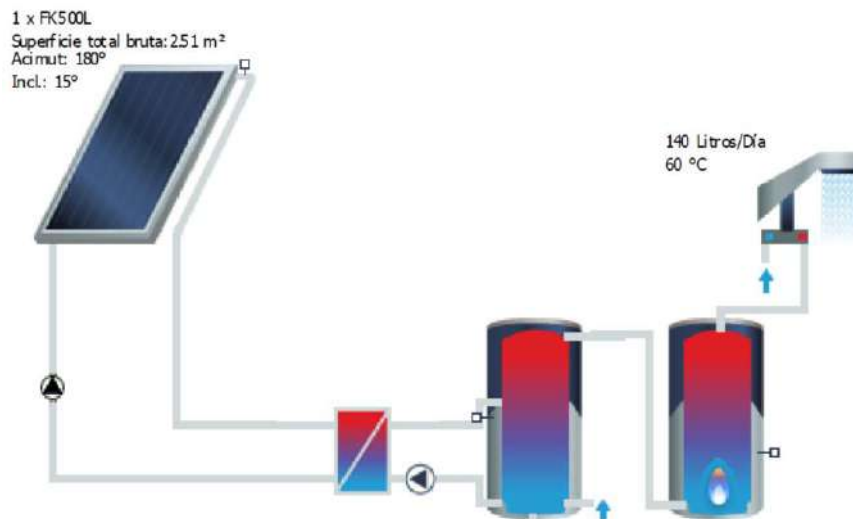
52.0	45.9	47.9	49.9	54.3	54.5	54.0	53.4	54.1	54.7	54.4	53.7	47.3
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
E resistencia eléctrica en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E-Quemador de combustión directa en MJ												
11,726	0	0	621	874	1,204	1,393	1,605	1,452	1,192	1,181	1,446	758
Energía primaria de quemador de combustión directa en MJ												
13,528	0	0	717	1,008	1,389	1,607	1,851	1,675	1,375	1,362	1,668	875
Consumo Gas natural H en m³												
329.0	0.0	0.0	17.4	24.5	33.8	39.1	45.0	40.7	33.4	33.1	40.6	21.3
Temperatura deseada de la calefacción auxiliar en °C												
60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Depósito de precalentamiento solar												
Pérdidas del depósito (S) en MJ												
3,095	266	269	256	279	269	251	237	255	268	276	249	220
Modificación del contenido energético (S) en MJ												
-28	-20	61	-8	-26	-32	-1	-17	49	16	-9	-1	-39
Temperatura media (S) en °C												
44.7	45.0	48.1	43.8	47.1	45.3	44.4	42.1	44.0	46.1	46.0	44.1	40.5
Sensor circuito colector Encender /Apagado (S) en °C												
49.6	49.4	53.0	48.0	53.0	50.9	49.8	46.6	48.9	51.9	52.2	49.3	43.3
Desconectar el sensor en el circuito de colector (S) en °C												
49.6	49.4	53.0	48.0	53.0	50.9	49.8	46.6	48.9	51.9	52.2	49.3	43.3
Pérdidas del depósito solar (S) en MJ												
3,095	266	269	256	279	269	251	237	255	268	276	249	220

Anexo Q. Reporte de resultados de la simulación para la vivienda unifamiliar

Fuente: T*SOL 2018





Resultados de la simulación anual

Potencia de colectores instalada:		1.76 kW
Superficie de colectores instalada (bruta):		2.51 m²
Irradiación a la superficie colector (Superficie ref.):	4,927.05 kWh	2,096.62 kWh/m²
Energía suministrada por los colectores:	3,134.66 kWh	1,333.90 kWh/m²
Energía suministrada por los circuitos del colector:	2,282.97 kWh	971.48 kWh/m²
Sum. De energía para la producción del agua caliente:		2,113.15 kWh
Energía del sistema solar para el ACS:		1,892.19 kWh
Energía suministrada por la calefacción auxiliar:		699.5 kWh
Ahorro Gas natural H:		212.4 m³
Emisión de CO2 evitada:		492.31 kg
Fracción solar ACS:		73.0 %
Ahorro relativo de energía adicional (DIN EN 12977):		74.3 %
Grado de uso del sistema:		46.3 %

Especificación

Datos climáticos

Ubicación:	Piura
Datos climáticos:	Piura
Suma anual de la radiación global:	2,123.713 kWh/m ²
Latitud:	-5.17 °
Longitud:	80.63 °

Agua Caliente Sanitaria

Consumo medio diario:	0.14 m ³
Temperatura deseada:	60 °C
Perfil de carga:	Vivienda unifamiliar (Tarde)
Temperatura del agua fría:	Febrero: 24 °C Agosto: 23 °C
Recirculación:	no

Instalación

Circuito del colector

Fabricante:	Solfex ltd.
Tipo:	FK500L
Número:	1.00
Superficie total bruta:	2.51 m ²
Superficie total de referencia:	2.35 m ²
Ángulo de inclinación:	15 °
Orientación:	0 °
Acimut:	0 °

Depósito de disponibilidad de ACS

Fabricante:	Estándar
Tipo:	Depósito de disponibilidad de ACS
Volumen:	0.11 m ³

Depósito de precalentamiento solar

Fabricante:	Salvador Escoda
Tipo:	IDROGAS CV 200 SR
Volumen:	0.2 m ³

Calefacción auxiliar

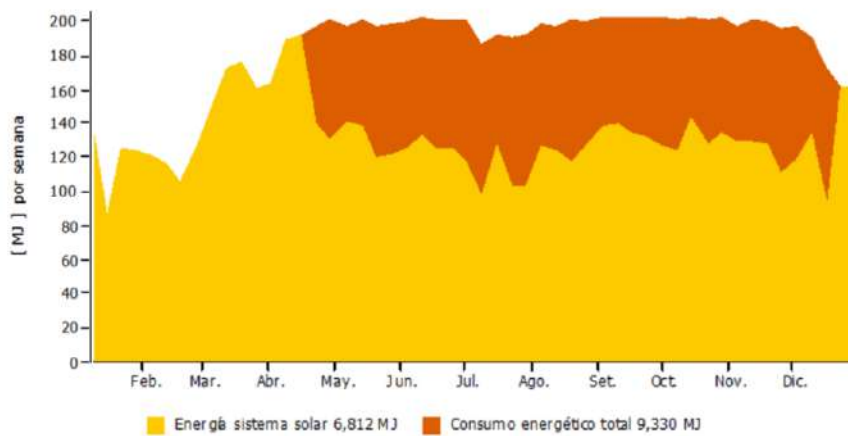
Fabricante:	ver depósito de disponibilidad
	ACS
Tipo:	combustión directa
Potencia nominal:	9 kW

Leyenda

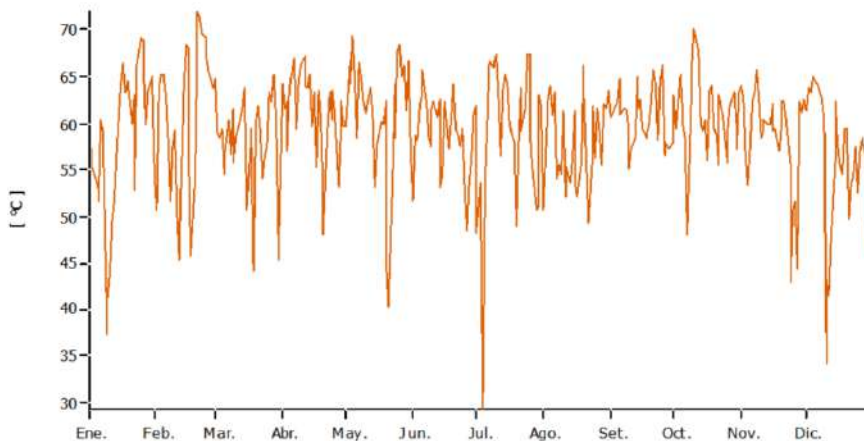
Con informe de ensayo
Solar Keymark



Fracción de energía solar en el consumo energético



Temperaturas máximas diarias en el colector



Los cálculos han sido realizados con el programa de simulación para instalaciones solares térmicas T*SOL 2018 (R3). Los resultados han sido calculados mediante un modelo de cálculo matemático con un intervalo de tiempo variable de máx. 6 minutos. Los resultados reales pueden mostrar variaciones debido a las variaciones meteorológicas, de consumo y por otras causas. El esquema de la instalación no substituye el dibujo técnico de la instalación solar térmica.

Clima

Grupo de datos:	Piura
Ubicación:	Piura
Latitud:	-5.17 °
Longitud	80.63 °
Suma anual de la radiación global:	2,124 kWh/m ²
Parte de radiación difusa:	46.2 %
Temperatura media al exterior:	23.68 °C

Consumidores ACS



Consumo de ACS

Consumo medio diario:	0.140 m ³
Consumo anual:	51.1 m ³
Consumo diario máximo:	0.160 m ³
Temperatura deseada:	60.0 °C
Temperatura del agua fría:	24 °C / 23 °C
Demanda energética anual:	7,737 MJ
Días de funcionamiento:	365 Días
Sin funcionamiento:	- sin restricciones -

Recirculación

- No hay circulación -

Perfil de carga

Perfil:	Vivienda unifamiliar (Tarde)
---------	------------------------------



Circuito solar

Interconexión hidráulica

Circuito solar central –
intercambiador de calor

Fluido portador: Agua con
Capacidad calorífica:

0 % Glicol de polipropileno
4180 J/(kg·K)

La red solar está constituida por:
Circuito del colector



Circuito del colector (CIRC COL 1)

Caudal:

30 L/h

Control:

La bomba del circuito del colector se controla en dependencia de la diferencia de temperatura entre la temperatura de la salida del colector y la temperatura de referencia del depósito.

Encender por encima de la diferencia:

7 K

Apagar por debajo de la diferencia:

3 K

Campo colector

Superficie total bruta

2.51 m²

Superficie total de referencia

2.35 m²

Número de colectores:

1

Inclinación:

Ángulo de inclinación:

15 °

Ángulo de acimut:

0 °

Irradiación a superficie colector (Superficie bruta):

18,945 MJ

Tubería:

Longitud simple de la tubería

int. edificio:

8 m

al exterior:

12 m

entre los colectores:

200 mm / Colector

Coefficiente de conductividad térmica del aislamiento térmico

int. edificio:

0.045 W/(m·K)

al exterior:

0.045 W/(m·K)

entre los colectores:

0.045 W/(m·K)

Proyecto Casa

Diámetro nominal de la tubería

interior y exterior: 19 mm

entre los colectores: 19 mm

(Corresponde a una velocidad de flujo de aprox 0.5 m/s)

Grosor del aislamiento

interior: 20 mm

exterior: 20 mm

entre los colectores: 20 mm



Colector plano

Fabricante: Solfex Ltd.

Tipo: FK500L

Capacidad calorífica:

Capacidad calorífica específica: 4820 J/(m²·K)

Pérdidas:

Factor de conversión: 81.1 %

Coefficiente lineal de transferencia térmica: 3.295 W/(m²·K)

Coefficiente cuadrado de transferencia térmica: 0.017 W/(m²·K²)

Coef. de transmisión de calor referidos a temp. de entrada del colector: No

Factor de corrección del ángulo (IAM) para radiación indirecta: 91 %

Factor de corrección del ángulo para radiación directa con ángulo de incidencia de 50°: 96 %

Tamaño:

Superficie bruta: 2.51 m²

Superficie de referencia: 2.35 m² (Superficie de apertura)



Intercambiador colector del circuito solar

Tipo:

Fabricante:

Potencia máxima: 1.18 kW

valor kS: 470 W/K

Salto térmico: 2.5 K



Depósito de disponibilidad de ACS

Fabricante:	Estándar
Tipo:	Depósito de disponibilidad de ACS
Volumen:	110 L
Altura/Diámetro:	1.80
Número de depósitos:	1

Aislamiento:

Espesor de aislamiento	100 mm
Coef. de conductividad térmica:	0.065 W/(m·K)

Conexiones:

	Altura:	Pérdidas:
Salida arriba:	100 %	0.25 W/K
Entrada abajo:	0 %	0.25 W/K
Retorno de la recirculación:	-sin-	
Intercambiador de calor Calefacción auxiliar:		
	Altura:	Pérdidas:
Retorno:	2 %	0.25 W/K
Impulsión:	60 %	0.25 W/K

Intercambiador de calor:

valor kS Calefacción auxiliar:	1 W/K por volumen del depósito
--------------------------------	--------------------------------

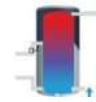
Control:

Temperatura deseada del depósito:	60 °C
Periodos de carga limitados:	0 : 00 – 6 : 00
	8 : 00 – 19 : 00
	22 : 00 – 24 : 00
	Altura: Temp. de conexión:
Conectar la calefacción auxiliar:	30 % -7 K
Desconectar la calefacción auxiliar:	30 % 3 K

Quemador interno

Potencia:	9 kW
Altura:	10 %
Fuente de energía:	Gas natural H
Grado de eficiencia:	95 %

Sin funcionamiento:	1.1 – 17.4
	14.12 – 31.12



Depósito de precalentamiento solar

Fabricante:	Salvador Escoda
Tipo:	IDROGAS CV 200 SR
Volumen:	200 L
Volumen específico	90 L por sup. de colector
Número de depósitos:	1
Altura/Diámetro:	1.94

Aislamiento:

Espesor de aislamiento	75 mm
Coef. de conductividad térmica:	0.04 W/(m·K)

Conexiones para el circuito del colector:

	Altura:	Pérdidas:
Entrada arriba:	60 %	0.2 W/K
Salida abajo:	1 %	0.2 W/K

Altura de instalación de los sensores:

Circuito del colector – Encnd./Apg:	50 %	
Apagar circuito de colector:	50 %	para 90 °C

Conexión de consumidores ACS:

	Altura:	Pérdidas:
Impulsión centro:	99 %	0.2 W/K
Retorno abajo:	1 %	0.2 W/K
Mezcla de agua fría en la salida del depósito:	ninguna	

Conexión del caudal por el depósito:

	Altura:	Pérdidas:
Entrada abajo:	1 %	0.2 W/K
Salida arriba:	99 %	0.2 W/K

Resultados de la simulación anual

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----

Instalación ACS (2 depósitos) con depósito de combustión directa e IC externo - US

Ahorro Gas natural H en m³

212.4	15.6	14.7	23.3	21.3	17.7	16.7	14.8	17.5	17.8	18.1	16.1	19.1
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Emisión de CO2 evitada en kg

492.3	36.1	34.0	53.9	49.4	41.0	38.6	34.3	40.4	41.3	41.9	37.3	44.2
--------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fracción solar ACS en %

73.0	100.0	100.0	100.0	82.2	65.0	62.5	56.7	63.5	66.4	66.1	61.0	81.3
-------------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Grado de uso del sistema en %

46.3	45.9	45.6	53.7	50.5	45.2	44.4	43.1	44.9	44.1	44.2	44.1	49.6
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Energía del sistema solar para el ACS en MJ

6,812	500	470	746	683	567	534	474	560	571	580	516	611
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

E-Solar al Tanque en MJ

8,219	620	604	841	802	691	648	583	683	701	710	628	706
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Energía de la calefacción auxiliar en MJ

2,518	0	0	0	148	306	321	363	322	290	298	330	141
--------------	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Clima

Temperatura al exterior en °C

23.7	26.6	27.7	27.6	25.8	23.7	21.4	21.2	21.0	20.9	21.8	22.2	24.6
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Radiación global horizontal en kWh/m²

2,124	177	167	189	182	168	157	148	172	188	201	185	190
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Altura del sol en °

20.6	21.1	22.1	22.3	20.7	18.7	17.7	18.2	19.9	21.9	22.3	21.4	20.8
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Acimut del sol en °

-3.2	-4.3	-5.1	-4.2	-3.3	-3.0	-3.3	-3.8	-3.7	-2.7	-1.5	-1.5	-2.7
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Velocidad del viento en m/s												
3.1	3.1	2.6	2.5	2.7	3.2	2.9	3.0	3.2	3.6	3.6	3.5	3.4
Consumidores ACS												
Suministro de energía para ACS en MJ												
7,607	390	360	636	686	705	696	681	718	699	711	687	636
Demanda energética ACS en MJ												
7,744	419	381	672	687	707	697	687	718	699	711	691	675
Pérdidas por recirculación en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura del agua fría en °C												
23.5	23.9	24.0	23.9	23.7	23.5	23.2	23.1	23.0	23.1	23.3	23.5	23.8
Temperatura del agua caliente en °C												
52.2	42.7	44.5	43.4	51.9	56.6	56.6	56.5	55.9	56.8	56.6	56.6	48.0
Consumo indicado de ACS en m³												
50.7	2.8	2.5	4.5	4.5	4.6	4.5	4.5	4.6	4.5	4.6	4.5	4.5
Consumo del agua caliente en m³												
68.4	5.3	4.6	8.5	6.4	5.2	5.1	5.0	5.5	5.1	5.2	5.1	7.5
Circuito solar												
Temperatura de referencia del circuito del colector en °C												
39.7	41.8	44.5	33.4	37.2	42.6	40.1	40.2	37.3	42.0	42.2	40.5	35.0
Circuito solar-Temperature entrada en °C												
32.4	32.6	34.2	30.4	32.8	33.8	32.7	31.9	32.1	33.9	33.2	32.6	30.6
Circuito solar-Temperature salida en °C												
46.6	47.1	49.5	43.6	46.3	49.4	46.7	46.1	46.0	48.7	49.0	47.2	43.0
Caudal-circuito solar en m³												
138.4	10.2	9.4	15.3	14.3	10.6	11.1	9.8	11.8	11.3	10.8	10.3	13.6
Grado de eficiencia del circuito solar en %												
46.3	45.9	45.6	53.7	50.5	45.2	44.4	43.1	44.9	44.1	44.2	44.1	49.6

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Irradiación total sobre la superficie en MJ												
17,737	1,351	1,326	1,567	1,588	1,530	1,458	1,352	1,520	1,588	1,608	1,425	1,422
Pérdidas de la red solar en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Modificación del contenido Red solar en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energía del circuito solar a la red en MJ												
8,219	620	604	841	802	691	648	583	683	701	710	628	706
Red solar hacia depósito en MJ												
8,219	620	604	841	802	691	648	583	683	701	710	628	706
Temperatura max. del colector en °C												
44.3	44.6	46.9	44.1	45.4	45.7	43.6	41.7	43.1	45.1	45.7	44.2	42.2
Circuito del colector												
Energía suministrada por el circuito del colector (CIRC COL 1) en MJ												
8,219	620	604	841	802	691	648	583	683	701	710	628	706
Grado de rendimiento del circuito del colector (CIRC COL 1) en %												
46.3	45.9	45.6	53.7	50.5	45.2	44.4	43.1	44.9	44.1	44.2	44.1	49.6
Temperatura de referencia del circuito del colector (CIRC COL 1) en °C												
39.7	41.8	44.5	33.4	37.2	42.6	40.1	40.2	37.3	42.0	42.2	40.5	35.0
Temperatura de salida del circuito del colector (CIRC COL 1) en °C												
49.1	49.6	52.2	45.9	48.6	52.1	49.1	48.5	48.4	51.3	51.7	49.7	45.2
Caudal (CIRC COL 1) en m³												
138.4	10.2	9.4	15.3	14.3	10.6	11.1	9.8	11.8	11.3	10.8	10.3	13.6
Campo colector												
spec. DNI (CIRC COL 1) en kWh/m²												
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
G opt. pérdida deducida (CIRC COL 1) en kWh/m²												
1,613.4	121.3	119.9	142.2	145.4	140.3	133.8	123.3	138.9	145.2	146.4	128.8	128.0

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Radiación global específica sobre superficie inclinada (CIRC COL 1) en kWh/m²												
2,096.6	159.7	156.7	185.3	187.7	180.9	172.4	159.8	179.7	187.7	190.1	168.4	168.1
Radiación global específica sobre superficie inclinada con sombra (CIRC COL 1) en kWh/m²												
2,096.6	159.7	156.7	185.3	187.7	180.9	172.4	159.8	179.7	187.7	190.1	168.4	168.1
Irradiación sobre la superficie bruta -sin sombra- (CIRC COL 1) en MJ												
18,945	1,443	1,416	1,674	1,696	1,634	1,558	1,444	1,624	1,696	1,718	1,522	1,519
Irradiación sobre la superficie bruta (CIRC COL 1) en MJ												
18,945	1,443	1,416	1,674	1,696	1,634	1,558	1,444	1,624	1,696	1,718	1,522	1,519
Irradiación sobre la superficie de referencia -sin sombra- (CIRC COL 1) en MJ												
17,737	1,351	1,326	1,567	1,588	1,530	1,458	1,352	1,520	1,588	1,608	1,425	1,422
Irradiación sobre la superficie de referencia (CIRC COL 1) en MJ												
17,737	1,351	1,326	1,567	1,588	1,530	1,458	1,352	1,520	1,588	1,608	1,425	1,422
Pérdidas ópticas (CIRC COL 1) en MJ												
4,088	326	312	364	358	343	327	308	345	360	370	335	340
Pérdidas tubería al exterior (CIRC COL 1) en MJ												
1,565	107	107	91	118	144	146	140	150	161	159	137	105
Pérdidas en tubería al interior (CIRC COL 1) en MJ												
1,501	137	140	136	134	133	115	109	115	121	128	116	116
Pérdidas térmicas del colector (CIRC COL 1) en MJ												
2,365	161	163	135	177	218	222	211	228	246	242	208	156
Temperatura de impulsión del colector (CIRC COL 1) en °C												
33.6	34.7	36.6	34.9	35.0	34.3	32.5	31.4	32.0	33.0	33.4	32.6	32.6
Temperatura del colector (CIRC COL 1) en °C												
32.5	33.7	35.5	33.5	33.7	33.2	31.4	30.5	31.0	31.8	32.2	31.6	31.4
Temperatura max. del colector (CIRC COL 1) en °C												
43.1	43.6	45.8	42.5	43.9	44.5	42.5	40.8	41.9	43.9	44.4	43.0	40.8
Energía bomba (CIRC COL 1) en MJ												
166	12	11	18	17	13	13	12	14	14	13	12	16

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----

Intercambiador colector del circuito solar

Energía transmitida (CS) en MJ

8,219	620	604	841	802	691	648	583	683	701	710	628	706
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Temperatura de impulsión circuito primario (CS) en °C

48.3	48.5	50.9	45.4	48.2	50.9	48.3	47.5	47.6	50.4	50.6	48.8	44.7
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Temperatura retorno circuito primario (CS) en °C

34.9	35.0	36.7	32.7	35.2	36.4	35.1	34.3	34.5	36.4	35.9	35.1	32.8
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Temperatura retorno circuito secundario (CS) en °C

32.4	32.5	34.0	30.4	32.8	33.7	32.6	31.8	32.0	33.8	33.2	32.5	30.6
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Temperatura impulsión circ secundario (CS) en °C

46.4	46.7	49.0	43.4	46.2	48.9	46.4	45.7	45.7	48.4	48.6	46.8	42.9
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Corriente calor circuito primario (CS) en °C

Corriente calor circuito secundario (CS) en °C

Temperatura de impulsión circuito primario después de mezcla (CS) en °C

11.0	9.7	10.4	13.4	13.7	10.5	10.7	9.1	10.9	11.4	10.6	10.1	11.7
-------------	-----	------	------	------	------	------	-----	------	------	------	------	------

Depósito de disponibilidad de ACS

Pérdidas del depósito en MJ

1,723	111	107	109	140	167	159	159	161	162	167	158	124
--------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Modificación del contenido energético en MJ

0	-1	3	0	4	1	0	-3	3	-1	0	1	-8
----------	----	---	---	---	---	---	----	---	----	---	---	----

Temperatura media en °C

50.2	42.2	43.7	42.1	49.7	54.6	54.2	53.3	53.5	54.8	54.6	54.1	45.5
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Sensor: Calefacción aux. ON en °C

49.6	42.1	43.7	42.0	49.3	53.3	53.4	52.7	52.8	53.6	53.8	53.3	45.0
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Sensor: Calefacción aux. OFF en °C

49.6	42.1	43.7	42.0	49.3	53.3	53.4	52.7	52.8	53.6	53.8	53.3	45.0
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
E resistencia eléctrica en MJ												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E-Quemador de combustión directa en MJ												
2,518	0	0	0	148	306	321	363	322	290	298	330	141
Energía primaria de quemador de combustión directa en MJ												
2,905	0	0	0	170	353	370	419	372	334	344	381	162
Consumo Gas natural H en m³												
70.7	0.0	0.0	0.0	4.1	8.6	9.0	10.2	9.0	8.1	8.4	9.3	4.0
Temperatura deseada de la calefacción auxiliar en °C												
60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
Depósito de precalentamiento solar												
Pérdidas del depósito (S) en MJ												
1,402	124	124	101	116	128	115	110	115	125	129	116	99
Modificación del contenido energético (S) en MJ												
-6	-4	10	-8	2	-5	-2	-2	8	4	1	-4	-6
Temperatura media (S) en °C												
37.9	38.7	40.7	35.1	37.9	39.4	38.0	36.6	37.2	39.5	39.5	38.0	34.8
Sensor circuito colector Encender/Apagado (S) en °C												
39.5	41.6	44.4	33.3	37.0	42.4	39.9	40.1	37.1	41.8	42.0	40.4	34.9
Desconectar el sensor en el circuito de colector (S) en °C												
39.5	41.6	44.4	33.3	37.0	42.4	39.9	40.1	37.1	41.8	42.0	40.4	34.9
Pérdidas del depósito solar (S) en MJ												
1,402	124	124	101	116	128	115	110	115	125	129	116	99



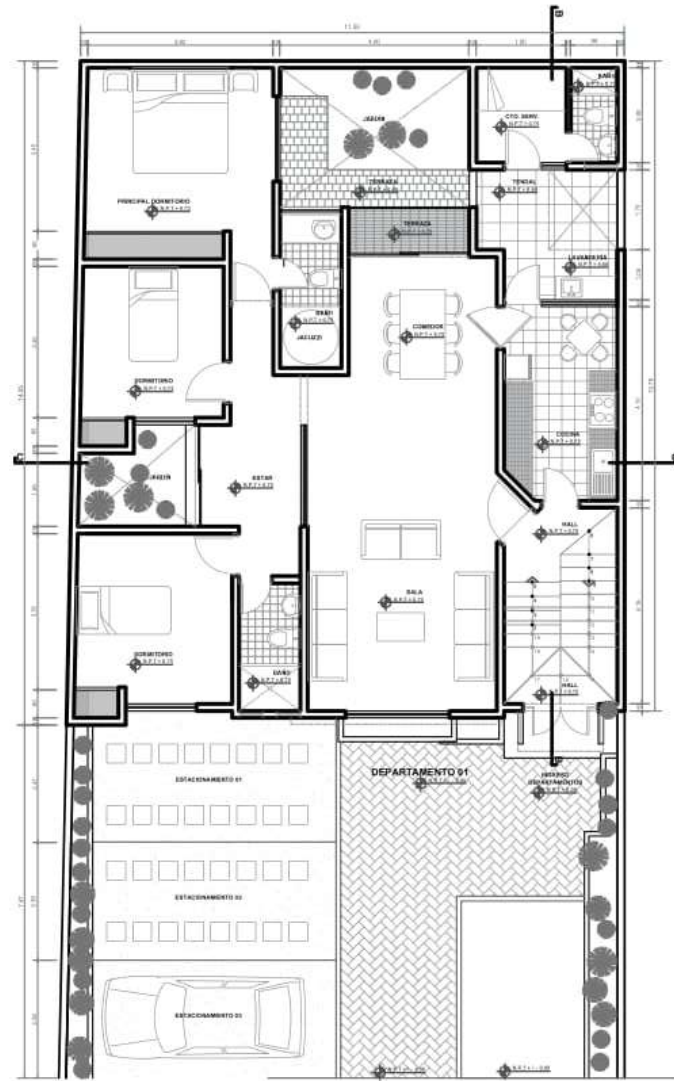
Planos



Plano A. Distribución arquitectónica del edificio multifamiliar

Fuente: Elaboración propia





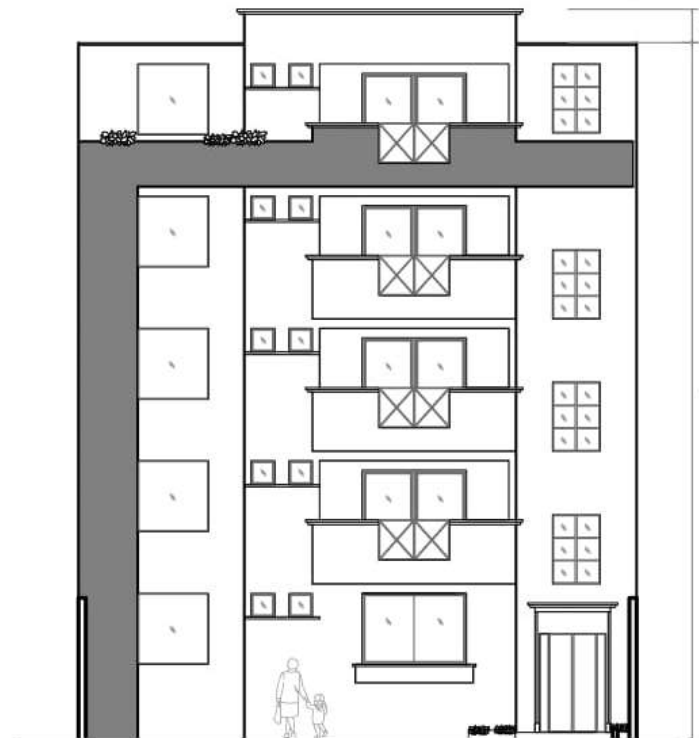
PLANTA PRIMER PISO
ESC. 1/75



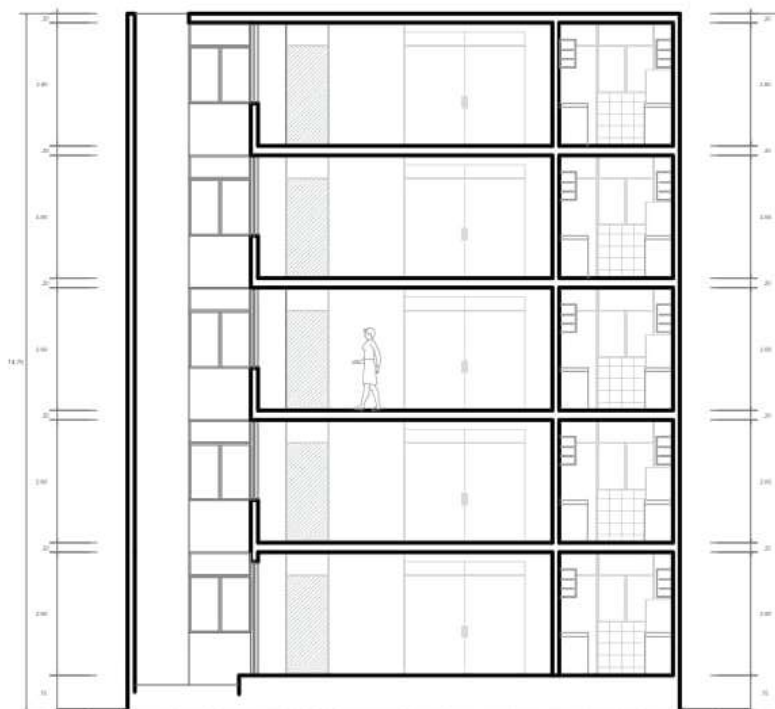
PLANTA SEGUNDO PISO
ESC. 1/75



PLANTA TERCER PISO
ESC. 1/75



ELEVACIÓN FRONTAL
ESC. 1/75



CORTE C - C'
ESC. 1/75

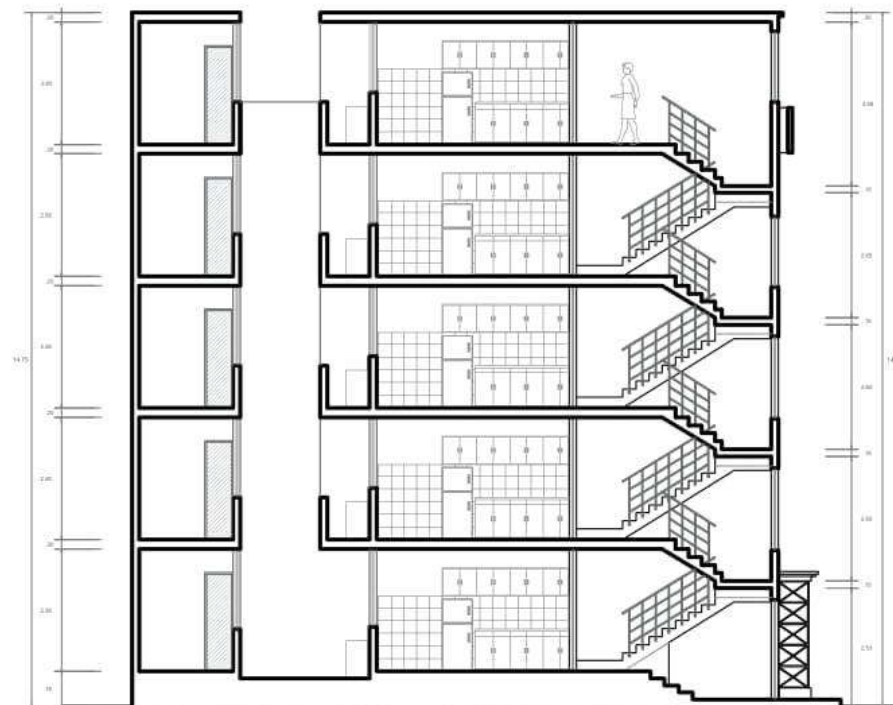
UNIVERSIDAD DE PIURA		
SEDE PIURA		
LÁMINA	PLANOS DE ARQUITECTURA DE EDIFICIO MULTIFAMILIAR	FECHA: 24/07/2020
01	GHERSI CÓRDOVA, ENRIQUE MARROQUÍN LIU, DANIELA MARÍA	ESCALA: 1 / 150



PLANTA CUARTO PISO
ESC. 1/75



PLANTA QUINTO PISO
ESC. 1/75



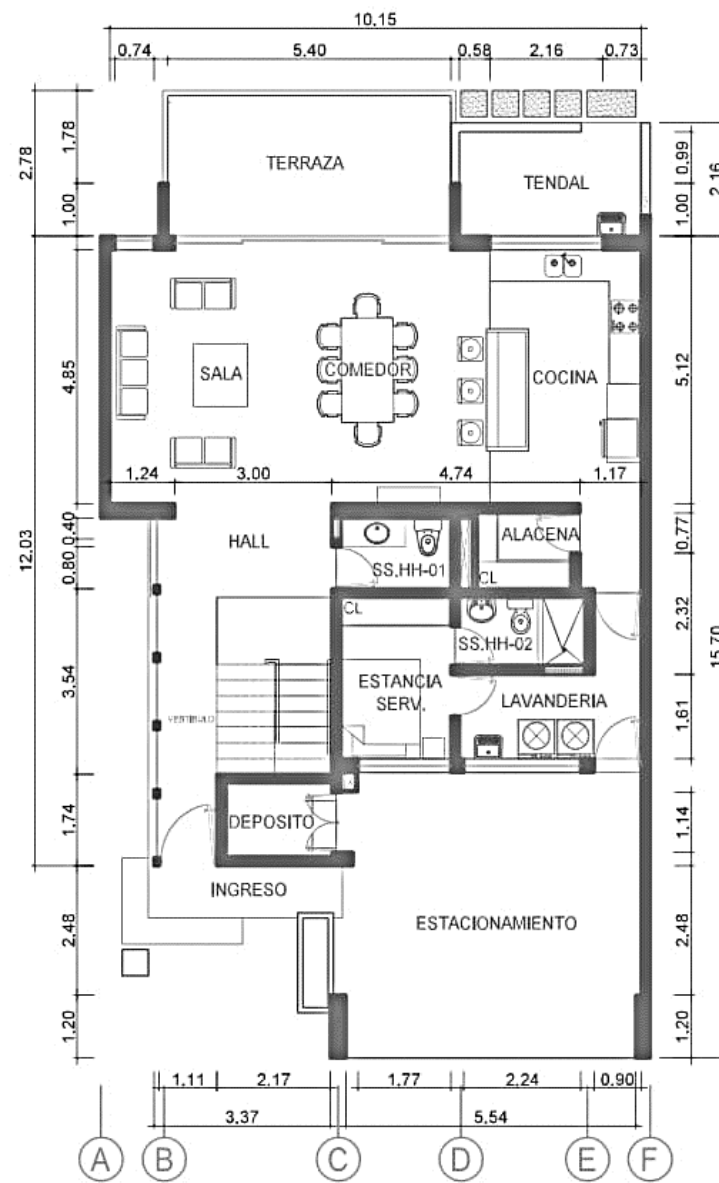
CORTE B-B'
ESC. 1/75

UNIVERSIDAD DE PIURA		
SEDE PIURA		
LÁMINA	PLANOS DE ARQUITECTURA DE EDIFICIO MULTIFAMILIAR	FECHA: 24/07/2020
02	GHERSI CÓRDOVA, ENRIQUE MARROQUÍN LIU, DANIELA MARÍA	ESCALA: 1 / 150

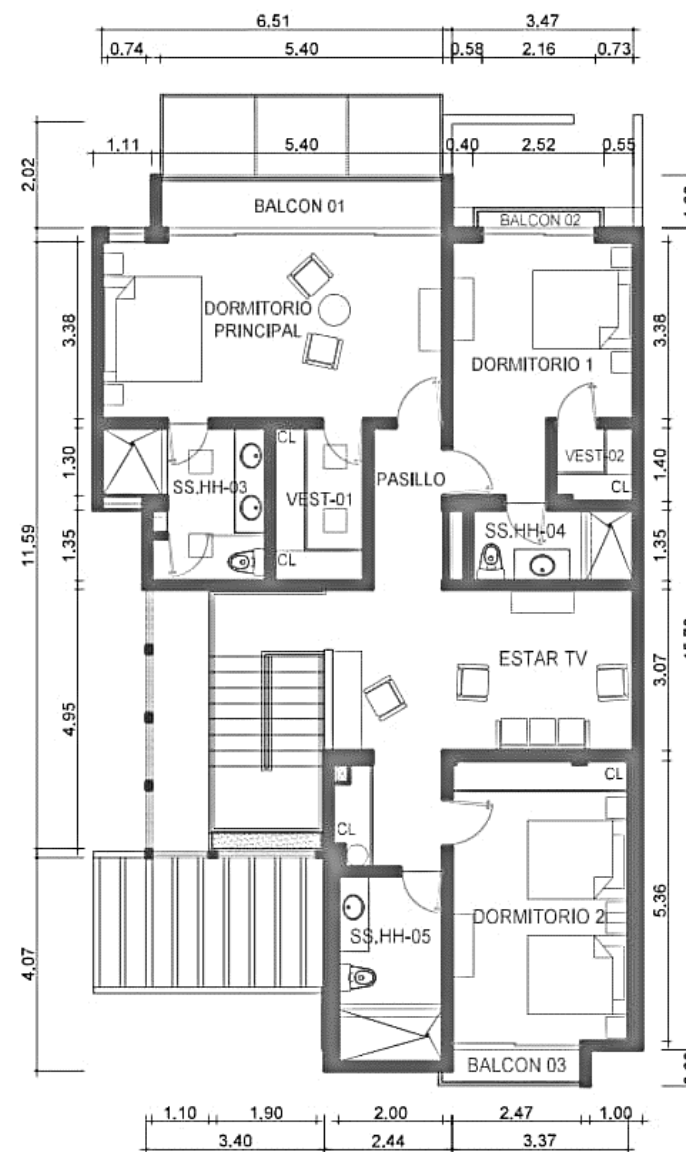
Plano B. Distribución arquitectónica de vivienda unifamiliar

Fuente: Elaboración propia

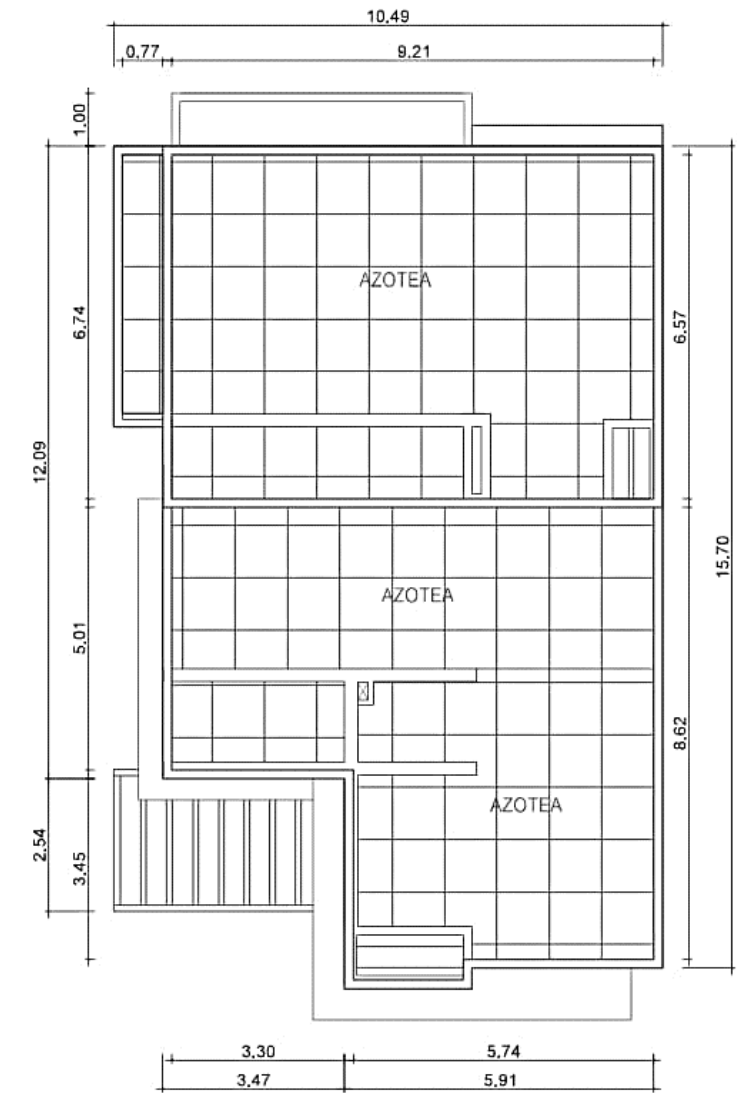




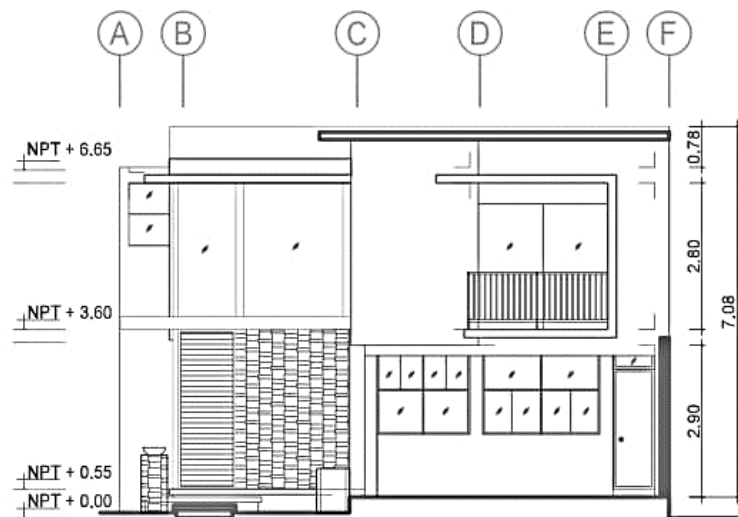
PRIMER PISO



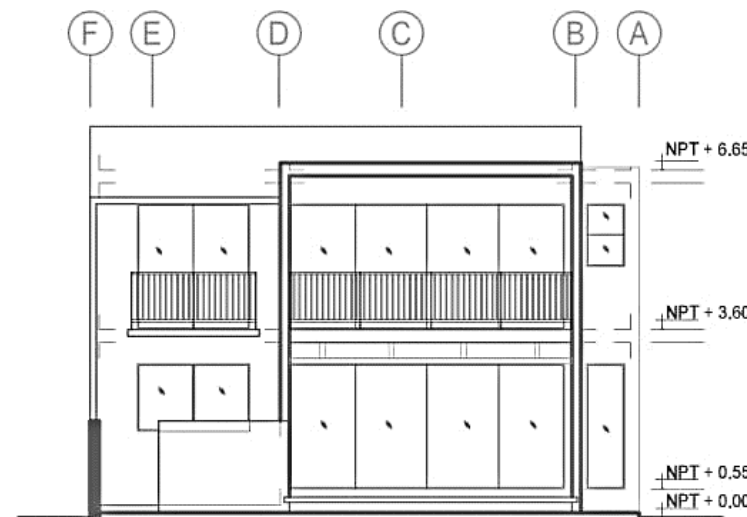
SEGUNDO PISO



AZOTEA



ELEVACION FRONTAL



ELEVACION POSTERIOR

UNIVERSIDAD DE PIURA

SEDE PIURA

LAMINA

PLANOS DE ARQUITECTURA DE
VIVIENDA UNIFAMILIAR

FECHA:
1 / JULIO

01

GHERSI CORDOVA, ENRIQUE
MARROQUIN LIU, DANIELA MARIA

ESCALA:

S / E