

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y**  
**Formales**

**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica**  
**Eléctrica y Mecatrónica**



**“ESTUDIO TECNICO DE APROVECHAMIENTO SOLAR**  
**ANALIZANDO DIFERENTES TIPOS DE COLECTORES PARA**  
**APLICACIÓN EN HOTELES DE AREQUIPA”**

Tesis presentada por el Bachiller:  
**Huayta Ramos, Alex Eddy**

Para optar el Título de Profesional de:  
**Ingeniero Mecánico Electricista**

Asesor:  
**Dr. Gordillo Andia, Carlos Alberto**

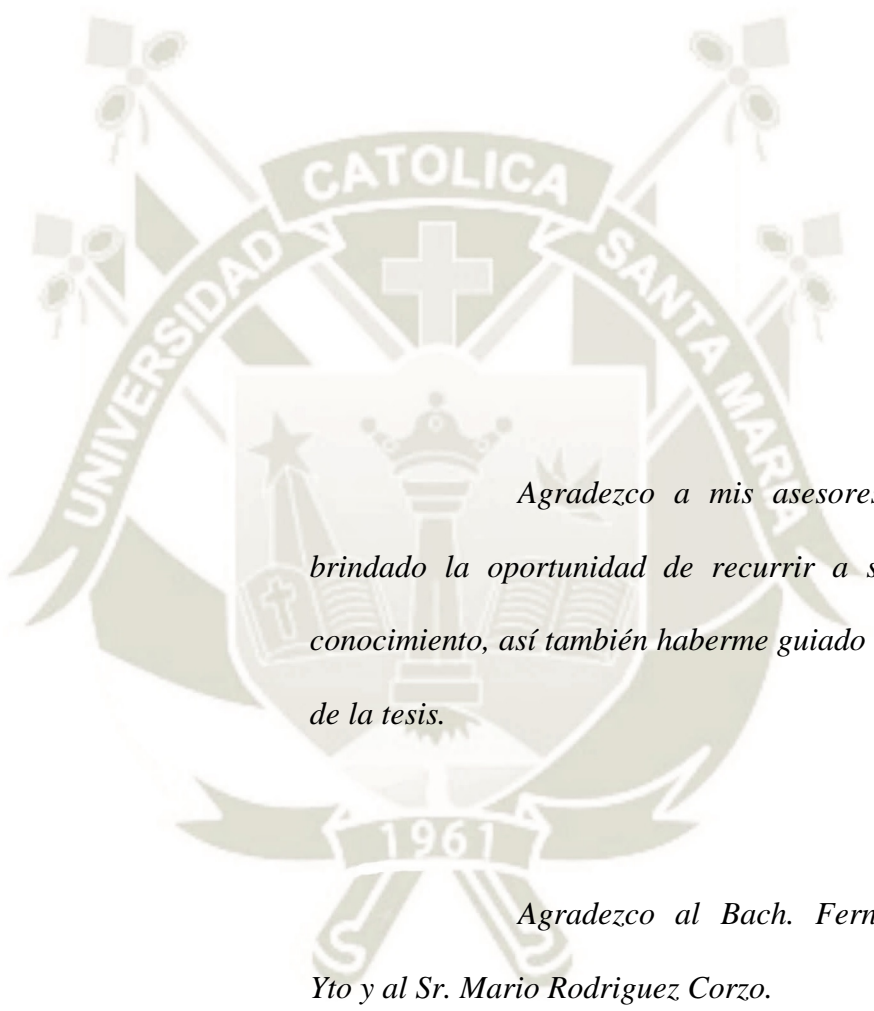
**Arequipa – Perú**  
**2021**

## *Dedicatoria*

*Dedico esta tesis a mis padres, tíos por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos logros se los debo a ustedes entre los que incluye esta tesis.*



## *Agradecimientos*



*Agradezco a mis asesores por haberme  
brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y  
conocimiento, así también haberme guiado en el desarrollo  
de la tesis.*

*Agradezco al Bach. Fernando Mendoza  
Yto y al Sr. Mario Rodríguez Corzo.*

## RESUMEN

Se realizó la evaluación y comparación de un calentador de tubos heat pipe y un calentador solar plano, que nos permitió conocer la temperatura máxima y eficiencia térmica de los colectores, para luego realizar la estimación de la irradiación solar sobre una superficie inclinada a partir de medidas de la misma sobre un plano horizontal, con estos datos se calcula una instalación solar térmica para un Hotel.

Los resultados de las evaluaciones muestran que la temperatura alcanzada por el colector heat pipe fue de 81.5 °C con respecto al colector de placa plana que fue de 59.4 °C. También se observó las eficiencias térmicas de los dos sistemas, el 74 % para el colector heat pipe y 59 % para el colector placa plana.

En conclusión, realizando el cálculo de número de colectores, si seleccionamos para los tres bloques obtenemos 14 colectores de placa plana y si seleccionamos colectores heat pipe obtenemos 9 colectores. El presupuesto considerando la suma de los tres bloques obtuvimos un total de S/. 72,516.21 con colectores de placa plana y con colectores heat pipe nos da el valor de S/. 86,888.60.

### Palabras claves

Eficiencia; heat pipe; irradiación; comparación.

## ABSTRACT

The evaluation and comparison of a heat pipe tube heater and a flat solar heater, which allowed us to know the maximum temperature and thermal efficiency of the collectors, and then to estimate the solar irradiation on a surface inclined from measurements of the same on a horizontal plane, with these data a solar thermal installation for a Hotel is calculated.

The results of the evaluations show that the temperature reached by the heat pipe collector was  $81.5^{\circ}\text{C}$  with respect to the flat plate collector, which was  $59.4^{\circ}\text{C}$ . The thermal efficiencies of the two systems are also found, 74 % for the heat pipe collector and 59 % for the flat plate collector.

In conclusion, performing the calculation of the number of collectors, if we select for the three blocks we obtain 14 flat plate collectors and if we select heat pipe collectors we obtain 9 collectors. Considering the sum of the three blocks, we obtained a total of S /. 72,516.21 with flat plate collectors and with heat pipe collectors gives us the value of S /. 86,888.60.

### Keywords

Efficiency; heat pipe; irradiation; comparison.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Hipótesis .....	1
1.3 Objetivos generales.....	2
1.4 Objetivos específicos .....	2
1.5 Alcances.....	2
1.6 Justificación .....	3
<b>CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1 Energías renovables .....	4
2.2 Energía solar.....	6
2.3 Desarrollo de la energía solar en el Perú.....	6
2.4 El sol, fuente inagotable de energía .....	9
2.4.1 Origen del sol .....	10
2.4.2 Constante solar .....	11
2.4.3 Declinación solar .....	12
2.4.4 Ángulo horario .....	14
2.4.5 Irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano.....	15
2.4.6 Irradiación solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal.....	16
2.4.7 Modelos de estimación de la irradiación solar .....	16
2.4.7.1 Modelo Bristow-Campbell .....	16

2.4.8 Irradiación global y difusa sobre superficies horizontales .....	18
2.4.9 Índice de claridad .....	19
2.4.10 Radiación solar incidente sobre un plano inclinado.....	19
2.4.11 Radiación global sobre una superficie inclinada.....	24
2.4.12 Distribución de ángulo horario.....	25
2.4.13 Estudio de un modelo empírico de descomposición horaria de la radiación solar media mensual. ....	26
2.4.13.1 Radiación directa instantánea sobre una superficie inclinada.....	28
2.4.13.2 Radiación difusa instantánea sobre una superficie inclinada.....	29
2.4.13.3 Radiación reflejada instantánea sobre una superficie inclinada.....	29
2.4.13.4 Radiación global instantánea sobre una superficie inclinada.....	29
2.5 Funcionamiento de la energía solar térmica.....	29
2.5.1 Conversión térmica de baja temperatura.....	30
2.5.1.1 Producción de agua caliente.....	30
2.6 Sistemas de energía solar térmica de baja temperatura.....	31
2.6.1 Sistemas termosifón .....	31
2.6.1.1 Instalación de circuito abierto .....	31
2.6.1.2 Instalación de circuito cerrado .....	31
2.7 Colectores solares.....	32

2.7.1 Colectores de placa plana.....	32
2.7.1.1 Cubierta transparente .....	33
2.7.1.2 Placa captadora.....	33
2.7.1.3 Aislante térmico .....	33
2.7.1.4 Carcasa .....	33
2.7.2 Colectores de tubo de vacío .....	34
2.7.2.1 Colectores de tubo de vacío de flujo directo.....	35
2.7.2.2 Colectores de tubo de calor (heat pipe).....	37
2.8 Agua caliente sanitaria.....	38
2.8.1 Temperatura de uso.....	39
2.8.2 Temperatura de preparación.....	39
2.9 Temperatura de agua – Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa.....	40
2.9.1 Temperatura promedio de agua.....	40
2.10 Inclinación de los colectores solares planos.....	41
2.11 Conexión de captadores.....	41
2.11.1 En paralelo .....	41
2.12 Bomba de recirculación.....	42
2.13 Tecnologías para calentamiento de agua.....	43
2.13.1 Calentadores de depósito.....	43

2.13.2 Calentadores instantáneos .....	44
2.14 Método de hunter .....	45
2.15 Tubería .....	47
2.15.1 Características del sistema hidro 3 termofusión.....	47
2.15.1.1 Máxima resistencia a la presión y temperatura .....	47
2.15.1.2 Mayor resistencia al impacto .....	47
2.15.1.3 No propicia las incrustaciones de sarro.....	48
2.15.1.4 Alta resistencia a la corrosión .....	48
2.15.1.5 Inalterabilidad del agua transportada .....	48
2.15.2 Tubería para agua caliente hidro 3 verde .....	48
2.15.2.1 Capa externa marrón .....	48
2.15.2.2 Capa externa blanca .....	49
2.15.2.3 Capa externa verde.....	49
<b>CAPÍTULO III: EVALUACION Y COMPARACION DE UN CALENTADOR DE TUBOS DE CALOR (HEAT PIPE) Y UN CALENTADOR SOLAR PLANO ANALIZADO EN AREQUIPA .....</b>	<b>50</b>
3.1 Introducción .....	50
3.2 Objetivo.....	50
3.2.1 Objetivos específicos .....	51
3.2.2 Tipos de colectores analizados.....	51

3.2.2.1 Colector plano .....	51
3.2.2.2 Colector de tubos de calor (heat pipe).....	52
3.3 Metodología y descripción del monitoreo.....	53
3.3.1 Descripción del banco de pruebas .....	53
3.3.2 Sensores y ordenadores .....	54
3.3.3 Descripción de las termas solares.....	55
3.3.4 Procedimiento .....	56
3.4 Comportamiento grafico de los sistemas .....	58
3.4.1 Eficiencia térmica de la terma solar .....	64
3.4.1.1 Primera prueba 26/08/18 .....	64
3.4.1.2 Segunda prueba 28/08/18 .....	68
3.4.1.3 Tercera prueba 30/08/18 .....	72
3.4.1.4 Cuarta prueba 02/09/18 .....	76
3.4.1.5 Quinta prueba 11/11/18.....	80
3.5 Resultados. ....	<b>85</b>
<b>CAPITULO IV: INGENIERÍA DEL PROYECTO .....</b>	<b>88</b>
4.1 Aplicación del Hotel .....	88
4.1.1 Ubicación.....	88
4.1.2 Categorización del Hotel .....	89

4.2 El proyecto de aplicación .....	89
4.3 Distribución de habitaciones del Hotel .....	89
4.4 Distribución de personas y cálculo de áreas.....	91
4.4.1 Distribución de personas por planta .....	91
4.4.2 División del hotel en bloques .....	91
4.4.3 Calculo de áreas .....	93
4.4.4 Calculo de personas para cada bloque .....	103
4.5 Demanda de agua caliente sanitaria .....	104
4.5.1 Consumo de agua en litros por persona .....	104
4.5.2 Temperatura de agua caliente sanitaria .....	104
4.5.3 Calculo de la demanda por bloque .....	105
4.6 Calculo del acumulador solar.....	106
4.6.1 Primer bloque .....	107
4.6.2 Segundo bloque .....	108
4.6.3 Tercer bloque .....	110
4.7 Calculo de la cantidad de calor requerida por cada mes .....	112
4.8 Dimensionamiento del sistema solar.....	116
4.8.1 Calculo de declinación .....	117
4.8.2 Calculo de ángulos de horas de asoleamiento.....	119

4.8.3 Irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano ubicado en el exterior	
de la atmosfera terrestre.....	120
4.8.4 Calculo de la radiación en el exterior de la atmosfera.....	121
4.8.5 Estimación de la radiación solar promedio sobre una superficie horizontal. ....	123
4.8.6 Estimación de la radiación solar promedio sobre una superficie inclinada.....	128
4.8.7 Radiación directa sobre una superficie inclinada. ....	132
4.8.8 Radiación difusa sobre una superficie inclinada. ....	133
4.8.9 Radiación reflejada sobre una superficie inclinada. ....	134
4.8.10 Radiación global sobre una superficie inclinada.....	135
4.8.11 Ángulo horario.....	136
4.8.12 Factor de radiación difusa .....	137
4.8.13 Radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal.....	139
4.8.14 Radiación global instantánea sobre una superficie horizontal.....	140
4.8.15 Radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal.....	141
4.8.16 Radiación promedio total instantánea sobre una superficie inclinada.....	142
4.8.17 Temperatura ambiente .....	148
4.8.18 Criterios de selección de colectores .....	148
4.8.19 Dimensionamiento del área colectora .....	150
4.8.20 Número de colectores para cada bloque .....	154

4.8.21 Análisis de funcionamiento del sistema solar para los tres bloques .....	155
4.9 Análisis de energía eléctrica y GLP para calentar agua en los meses desfavorables..	158
4.9.1 Análisis del I bloque .....	159
4.9.2 Análisis del II bloque.....	161
4.9.3 Análisis del III bloque .....	163
4.10 Ubicación y disposición de los colectores solares .....	165
4.11 Selección del diámetro de las tuberías para los tres bloques .....	166
4.11.1 Calculo de diámetro de tubería colectores – acumulador solar.....	166
4.11.1.1 Primer bloque .....	166
4.11.1.2 Segundo bloque .....	168
4.11.1.3 Tercer bloque .....	169
4.11.2 Calculo de diámetro de tubería acumulador solar - consumo .....	171
4.11.2.1 Primer bloque .....	174
4.11.2.2 Segundo bloque .....	175
4.11.2.3 Tercer bloque .....	177
4.12 Calculo de bombas de recirculación .....	179
4.12.1 Primer bloque .....	181
4.12.2 Segundo bloque.....	186
4.12.2.1 Segundo bloque – primera bomba.....	189

4.12.2.2 Segundo bloque – segunda bomba .....	192
4.12.3 Tercer bloque .....	196
4.12.3.1 Tercer bloque – primera bomba .....	198
4.12.3.2 Tercer bloque – segunda bomba .....	201
4.13 Calentadores de gas .....	205
4.13.1 Primer bloque .....	206
4.13.2 Segundo bloque .....	208
4.13.3 Tercer bloque .....	211
4.14 Calculo de diámetro de tubería calefón – acumulador solar .....	215
4.14.1 Primer bloque .....	216
4.14.2 Segundo bloque .....	217
4.14.3 Tercer bloque .....	218
4.15 Calculo de bomba de calefones .....	220
4.15.1 Primer bloque .....	222
4.15.2 Segundo bloque .....	227
4.15.3 Tercer bloque .....	233
4.16 Válvula reguladora de presión .....	239
4.17 Válvula antirretorno .....	240
4.18 Válvula de paso .....	241

4.19 Regulador térmico diferencial.....	242
<b>CAPITULO V: COSTOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>244</b>
5.1 Resumen del capítulo .....	244
5.2 Informe final de costos.....	244
Primer bloque.....	249
Segundo bloque.....	254
Tercer bloque .....	259
Conclusiones.....	263
Observaciones.....	264
Recomendaciones.....	265
Bibliografía .....	266
Anexos.....	270

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.- Centrales eléctricas no convencionales en operación .....	5
Tabla 2.- Centrales eléctricas no convencionales en construcción .....	6
Tabla 3.- Empresas dedicadas a las fuentes térmicas a través de termas de agua I .....	8
Tabla 4.- Empresas dedicadas a las fuentes térmicas a través de termas de agua II .....	9
Tabla 5.- Día promedio recomendado para cada mes .....	14
Tabla 6.- Valores de los coeficientes del modelo Bristow-Campbell por estación .....	18
Tabla 7.- Ventajas y desventajas de los colectores de placas planas .....	34
Tabla 8.- Ventajas y desventajas de un colector tubo de vacío de flujo directo .....	36
Tabla 9.- Ventajas y desventajas de un colector de tubos de calor (heat pipe) .....	38
Tabla 10.- Temperaturas de uso de aparatos sanitarios .....	39
Tabla 11.- Promedio de entrada y salida de agua, planta TOMILLA – CAYMA .....	40
Tabla 12.- Gastos probables para aplicación del Método de Hunter .....	46
Tabla 13.- Presiones y temperaturas para tuberías Hidro 3 verde .....	47
Tabla 14.- Especificaciones técnicas del colector solar plano .....	55
Tabla 15.- Especificaciones técnicas de colector heat pipe .....	56
Tabla 16.- Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento .....	56
Tabla 17.- Resumen de todas las pruebas de los colectores de placa plana y heat pipe .....	85
Tabla 18.- Ubicación de Hotel .....	88

Tabla 19.- Puntos de referencia del Hotel .....	88
Tabla 20.- Número de habitaciones por cada planta del Hotel .....	90
Tabla 21.- Número de personas por planta .....	91
Tabla 22.- Resumen de áreas .....	102
Tabla 23.- Número de personas bloque I - II - III.....	103
Tabla 24.- Tabla de consumos recomendados .....	104
Tabla 25.- Temperaturas de uso de aparatos sanitarios.....	104
Tabla 26.- Primer bloque área 1 .....	107
Tabla 27.- Acumulador vitrificado I .....	108
Tabla 28.- Segundo bloque área 2.....	109
Tabla 29.- Acumulador vitrificado II .....	110
Tabla 30.- Tercer bloque área 3 .....	110
Tabla 31.- Acumulador vitrificado III.....	111
Tabla 32.- Cálculo de la demanda mensual de agua caliente I Bloque.....	113
Tabla 33.- Cálculo de la demanda mensual de agua caliente II Bloque.....	114
Tabla 34.- Cálculo de la demanda mensual de agua caliente III Bloque .....	115
Tabla 35.- Datos de la estación meteorológica “La pampilla” .....	116
Tabla 36.- Valores de los coeficientes Characato – La pampilla, del modelo Bristow - Campbell.....	117

Tabla 37.- Declinación para cada día promedio del año, según el modelo COOPER.....	118
Tabla 38.- Angulo de horas de asoleamiento para cada día promedio del año.....	120
Tabla 39.- Irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano ubicado en exterior para cada día promedio del año .....	121
Tabla 40.- Radiación en el exterior de la atmosfera.....	122
Tabla 41.- Estimación de la radiación solar sobre una superficie horizontal.....	124
Tabla 42.- Fracción de Irradiación Promedio Mensual.....	125
Tabla 43.- Componente de la radiación total sobre una superficie horizontal.....	127
Tabla 44.- Angulo de horas de asoleamiento, ángulo horario de puesta del sol durante el periodo considerado.....	129
Tabla 45.- Coeficiente de conversión de radiación directa.....	130
Tabla 46.- Datos de radiación directa sobre una superficie inclinada.....	132
Tabla 47.- Datos de radiación difusa sobre una superficie inclinada.....	133
Tabla 48.- Datos de radiación reflejada sobre una superficie inclinada .....	134
Tabla 49.- Radiación global promedio sobre una superficie inclinada.....	135
Tabla 50.- Angulo horario con su perspectiva hora .....	137
Tabla 51.- Datos de factor de radiación difusa .....	138
Tabla 52.- Parámetros a y b.....	139
Tabla 53.- Datos de factor de conversión.....	139

Tabla 54.- Datos de radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal .....	140
Tabla 55.- Datos de radiación global instantánea sobre una superficie horizontal .....	141
Tabla 56.- Datos de radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal .....	142
Tabla 57.- Datos de $\cos(\theta)$ .....	144
Tabla 58.- Datos de $\sin(h)$ .....	145
Tabla 59.- Coeficiente de conversión de radiación directa .....	145
Tabla 60.- Radiación directa instantánea sobre una superficie inclinada .....	146
Tabla 61.- Radiación difusa instantánea sobre una superficie inclinada .....	146
Tabla 62.- Radiación reflejada instantánea sobre una superficie inclinada .....	147
Tabla 63.- Radiación promedio total instantánea sobre una superficie inclinada .....	147
Tabla 64.- Temperatura ambiente de Arequipa 2018.....	148
Tabla 65.- Datos experimentales del coeficiente global de perdidas .....	150
Tabla 66.- Datos experimentales del factor del $F_R(\tau\alpha)$ y $F_R U_L$ .....	150
Tabla 67.- Energía útil del colector de placa plana.....	151
Tabla 68.- Energía útil del colector de heat pipe .....	152
Tabla 69.- Energía acumulada de los colectores solares.....	152
Tabla 70.- Energía requerida para cada bloque.....	153
Tabla 71.- Área colectora.....	153
Tabla 72.- Número de colectores necesarios para nuestro hotel .....	154

Tabla 73.- Numero de colectores seleccionados .....	155
Tabla 74.- Demanda energética y energía útil de los colectores I Bloque .....	155
Tabla 75.- Demanda energética y energía útil de los colectores II Bloque.....	156
Tabla 76.- Demanda energética y energía útil de los colectores III Bloque .....	157
Tabla 77.- Energía faltante de cada colector para abastecer la demanda I Bloque .....	159
Tabla 78.- Costo anual con energía eléctrica para heat pipe y CPP I Bloque.....	159
Tabla 79.- Costo anual con GLP para heat pipe y CPP I Bloque.....	160
Tabla 80.- Energía faltante de cada colector para abastecer la demanda II Bloque.....	161
Tabla 81.- Costo anual con energía eléctrica para heat pipe y CPP II Bloque .....	161
Tabla 82.- Costo anual con GLP para heat pipe y CPP II Bloque .....	162
Tabla 83.- Energía faltante de cada colector para abastecer la demanda III Bloque .....	163
Tabla 84.- Costo anual con energía eléctrica para heat pipe y CPP III Bloque .....	163
Tabla 85.- Costo anual con GLP para heat pipe y CPP III Bloque.....	164
Tabla 86.- Tuberías de agua caliente Hidro 3 verde .....	171
Tabla 87.- Unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución en los bloques del Hotel .....	172
Tabla 88.- Gastos probables para aplicación del método de HUNTER.....	173
Tabla 89.- Cuadro resumen primer bloque .....	174
Tabla 90.- Cuadro resumen segundo bloque.....	175

Tabla 91.- Cuadro resumen tercer bloque .....	177
Tabla 92.- Tuberías de agua caliente Hidro 3 verde para los tres bloques.....	178
Tabla 93.- Rugosidad absoluta de materiales.....	179
Tabla 94.- Valores de k para conexiones .....	180
Tabla 95.- Valores de k de válvulas de bola de PVC y Bronce .....	180
Tabla 96.- Pérdidas secundarias en la tubería I Bloque .....	183
Tabla 97.- Conversión de unidades I Bloque .....	184
Tabla 98.- Pérdidas secundarias en la tubería primera bomba II Bloque.....	189
Tabla 99.- Conversión de unidades primera bomba II Bloque .....	190
Tabla 100.- Pérdidas secundarias en la tubería segunda bomba II Bloque .....	192
Tabla 101.- Conversión de unidades segunda bomba II Bloque.....	193
Tabla 102.- Pérdidas secundarias en la tubería primera bomba III Bloque .....	198
Tabla 103.- Conversión de unidades primera bomba III Bloque .....	199
Tabla 104.- Pérdidas secundarias en la tubería segunda bomba III Bloque.....	201
Tabla 105.- Conversión de unidades segunda bomba III Bloque .....	202
Tabla 106.- Selección de números de calentadores de gas de acuerdo a su potencia de demanda de cada circuito .....	214
Tabla 107.- Tuberías de agua caliente Hidro 3 verde .....	219
Tabla 108.- Rugosidad absoluta de materiales.....	220

Tabla 109.- Valores de k para conexiones .....	221
Tabla 110.- Valores de k de válvulas de bola de PVC y Bronce .....	221
Tabla 111.- Pérdidas secundarias en las tuberías I Bloque .....	224
Tabla 112.- Conversión de unidades I Bloque .....	225
Tabla 113.- Pérdidas secundarias en las tuberías II Bloque .....	230
Tabla 114.- Conversión de unidades II Bloque.....	230
Tabla 115.- Pérdidas secundarias en las tuberías III Bloque .....	235
Tabla 116.- Conversión de unidades III Bloque .....	236
Tabla 117.- Detalle de costos I Bloque .....	249
Tabla 118.- Detalle de costos II Bloque.....	254
Tabla 119.- Detalle de costos III Bloque .....	259
Tabla 120.- Estimación de costo total aplicado colectores de placa plana .....	260
Tabla 121.- Estimación de costo total aplicado colectores de tubos de calor .....	260
Tabla 122.- Comparación de costos para cada Bloque .....	261
Tabla 123.- Comparación de costos de diseño con colectores de placa plana y heat pipe	261

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Hotel Costa del Sol.....	3
Figura 2.- Irradiación Solar promedio anual .....	7
Figura 3.- Energía del sol que llega a la tierra .....	11
Figura 4.- Variación de la radiación solar extraterrestre con la época del año .....	12
Figura 5.- Declinación solar.....	13
Figura 6.- Relaciones entre los ángulos que describen el movimiento aparente del sol .....	15
Figura 7.- Esquema mostrando las componentes de la radiación solar incidente sobre una superficie colectora inclinada .....	20
Figura 8.- Esquema de ángulos mostrando las componentes de la radiación solar incidente sobre una superficie colectora inclinada .....	20
Figura 9.- Ángulo de incidencia sobre plano horizontal ( $\theta_z$ ) y sobre plano inclinado ( $\theta$ ).....	21
Figura 10.- Esquema mostrando el ángulo horario durante un periodo de tres horas antes y después del mediodía solar .....	22
Figura 11.- Esquema de ángulos horarios .....	26
Figura 12.- Esquema de agua caliente.....	30
Figura 13.- Funcionamiento de un sistema termosifón.....	32
Figura 14.- Tubos de vacío de flujo directo .....	36

Figura 15.- Funcionamiento de tubo de calor (heat pipe) .....	37
Figura 16.- Disposición de colectores en paralelo exterior e interior .....	42
Figura 17.- Bomba de recirculación.....	42
Figura 18.- Esquema del calentador de agua de depósito .....	44
Figura 19.- Calentador instantáneo .....	45
Figura 20.- Tubería para agua caliente Hidro 3 verde.....	49
Figura 21.- Colector Plano .....	52
Figura 22.- Tubos de vacío heat pipe .....	53
Figura 23.- Fotografía del banco de pruebas I .....	55
Figura 24.- Fotografía del banco de pruebas II .....	58
Figura 25.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 26/08/2018 .....	59
Figura 26.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 28/08/2018 .....	60
Figura 27.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 30/08/2018 .....	61
Figura 28.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 02/09/2018 .....	62
Figura 29.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los	

colectores de placa plana y heat pipe del día 11/11/2018 .....	63
Figura 30.- Comparación de temperaturas máximas alcanzadas en los acumuladores solares.....	85
Figura 31.- Comparación del tiempo de calentamiento con respecto a la temperatura máxima.....	86
Figura 32.- Energía aprovechada por cada colector con respecto a la temperatura máxima.....	86
Figura 33.- Comparación de eficiencia de placa plana y heat pipe.....	87
Figura 34.- División del Hotel en bloques I – II - III.....	92
Figura 35.- Ilustración de primera área .....	93
Figura 36.- Ilustración de segunda área .....	94
Figura 37.- Diagrama para hallar áreas A2.1 – A2.5 .....	94
Figura 38.- Diagrama para hallar áreas A3 .....	98
Figura 39.- Diagrama para hallar áreas A3.1 – A3.4 .....	99
Figura 40.- Comparación de demanda de calor por meses I Bloque.....	114
Figura 41.- Comparación de demanda de calor por meses II Bloque .....	115
Figura 42.- Comparación de demanda de calor por meses III Bloque .....	116
Figura 43.- Componentes de radiación directa y radiación difusa.....	127
Figura 44.- Radiación global promedio sobre una superficie inclinada.....	136

Figura 45.- Colector de placa plana .....	149
Figura 46.- Colector de tubos de calor (heat pipe).....	149
Figura 47.- Comparación demanda energética vs energía útil de los colectores (I Bloque) .....	156
Figura 48.- Comparación demanda energética vs energía útil de los colectores (II Bloque).....	157
Figura 49.- Comparación demanda energética vs energía útil de los colectores (III Bloque).....	158
Figura 50.- Cuadro de comparación de costos I Bloque .....	160
Figura 51.- Cuadro de comparación de costos II Bloque .....	162
Figura 52.- Cuadro de comparación de costos III Bloque.....	164
Figura 53.- Grafico de ubicación e inclinación de los colectores .....	165
Figura 54.- Disposición en paralelo de los colectores.....	166
Figura 55.- Punto de operación de la bomba I Bloque.....	184
Figura 56.- Punto de operación de la primera bomba II Bloque .....	190
Figura 57.- Punto de operación de la segunda bomba II Bloque .....	194
Figura 58.- Punto de operación de la primera bomba III Bloque.....	199
Figura 59.- Punto de operación de la segunda bomba III Bloque .....	203
Figura 60.- Bomba de recirculación.....	205

Figura 61.- Calentador de gas .....	215
Figura 62.- Punto de operación de la bomba I Bloque.....	225
Figura 63.- Punto de operación de la bomba II Bloque .....	231
Figura 64.- Punto de operación de la bomba III Bloque .....	236
Figura 65.- Bomba centrífuga .....	239
Figura 66.- Válvula reguladora de presión.....	240
Figura 67.- Válvula de clapeta antirretorno .....	240
Figura 68.- Válvula de obús antirretorno .....	241
Figura 69.- Válvula de bola.....	242
Figura 70.- Regulador térmico diferencial .....	243

## LISTA DE SIMBOLOS

$\eta_E$	Eficiencia energética	[%]
$E_T$	Energía térmica útil	[kWh]
$E_S$	Energía solar recibida	[kWh]
$C_e$	Calor específico	[J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup> ]
$m$	Masa	[kg]
$e_s$	Energía recibida por unidad de área	[kWh m <sup>-2</sup> ]
$A$	Área del colector	[m <sup>2</sup> ]
$Q_b$	Demanda por bloque	[l/día]
$Q_d$	Consumo recomendado por persona	[l/día]
$V_t$	Volumen del tanque	[l]
$Q_{req}$	Cantidad de calor requerido por el proceso	[kJ]
$T_{req}$	Temperatura requerida por el proceso	[°C]
$T_o$	Temperatura inicial del agua	[°C]
$Q_{ACS}$	Demanda de agua caliente sanitaria	[MJ/mes]
$G_o$	Irradiancia solar sobre un plano	[W m <sup>-2</sup> ]
$I_{SC}$	Constante solar	[W m <sup>-2</sup> ]
$H_o$	Radiación en el exterior de la atmosfera	[Wh m <sup>-2</sup> ]
$H$	Estimación de la radiación solar promedio	[Wh m <sup>-2</sup> ]
$K_h$	Fracción de irradiación promedio mensual	[-]
$H_b$	Radiación directa en superficie horizontal	[Wh m <sup>-2</sup> ]
$H_d$	Radiación difusa en superficie horizontal	[Wh m <sup>-2</sup> ]

$R_b$	Coefficiente de conversión para radiación directa	[-]
$S$	Latitud de superficie inclinada	[°]
$R_d$	Coefficiente de conversión para radiación difusa	[-]
$R_\rho$	Coefficiente de conversión para radiación reflejada	[-]
$H_T$	Radiación global sobre una superficie inclinada	[Wh m <sup>-2</sup> ]
$\overline{H_b}$	Radiación directa en superficie inclinada	[Wh m <sup>-2</sup> ]
$\overline{H_d}$	Radiación difusa en superficie inclinada	[Wh m <sup>-2</sup> ]
$\overline{H_\rho}$	Radiación reflejada en superficie inclinada	[Wh m <sup>-2</sup> ]
$r_d$	Factor de radiación difusa	[-]
$D$	Radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal	[W m <sup>-2</sup> ]
$G$	Radiación global instantánea sobre una superficie horizontal	[W m <sup>-2</sup> ]
$I_h$	Radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal	[W m <sup>-2</sup> ]
$G_t$	Radiación promedio total instantánea sobre una superficie inclinada	[W m <sup>-2</sup> ]
$F_R$	Factor de remoción	[-]
$U_L$	Perdida de calor global del colector	[W m <sup>-2</sup> C <sup>-1</sup> ]
$T_f$	Temperatura de ingreso al colector solar	[°C]
$T_a$	Temperatura del medio ambiente	[°C]
$Q$	Caudal del agua	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$H_b$	Altura de carga del sistema	[m]
$Z_2$	Altura estática de descarga	[m]
$Z_1$	Altura estática de succión	[m]
$L$	Longitud de la tubería	[m]
$P_2$	Presión de descarga	[kg f m <sup>-2</sup> ]
$P_1$	Presión de succión	[kg f m <sup>-2</sup> ]

$V_2$	Velocidad de descarga	$[m\ s^{-1}]$
$V_1$	Velocidad de succión	$[m\ s^{-1}]$
$g$	Gravedad	$[m\ s^{-2}]$
$P_r$	Potencia real de la bomba	$[W]$
$P_t$	Potencia teórica de la bomba	$[W]$
$Q_p$	Consumo periodo punta	$[l]$
$T$	Duración periodo punta	$[s]$
$N_H$	Número de habitaciones	$[-]$
$C_{max}$	Caudal máximo horario	$[l\ s^{-1}]$
Símbolos griegos		
$\Delta T$	Variación de temperatura	$[^{\circ}C]$
$\delta$	Declinación	$[^{\circ}]$
$\omega$	Angulo horario	$[^{\circ}]$
$\omega_s$	Angulo de horas de asoleamiento	$[^{\circ}]$
$\emptyset$	Latitud	$[^{\circ}]$
$\tau\alpha$	Transmitancia – absortancia	$[-]$
$v$	Velocidad del agua	$[m\ s^{-1}]$
$\rho$	Densidad del agua	$[kg\ m^{-3}]$
$\mu$	Viscosidad del agua	$[N\ s\ m^{-2}]$
$\varepsilon$	Rugosidad absoluta de la tubería	$[mm]$
$\varepsilon_r$	Rugosidad relativa	$[-]$
$\gamma$	Peso específico del agua	$[kg\ f\ m^{-3}]$

$\varphi$  Coeficiente de simultaneidad [-]

Numero adimensionales

Re Número de Reynolds [-]



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El uso de agua caliente sanitaria es un requisito de confort obligatorio según (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo) para los hoteles en Arequipa y contamos con una energía inagotable como es el sol. Los sistemas de acumulación y distribución de agua se desarrollan constantemente de la mano de la ingeniería hidráulica y la ingeniería solar térmica para el bien común de la población.

Se observa que en Arequipa para mantener su tasa de crecimiento necesita más energía térmica en el calentamiento de agua a través de las termas solares. Durante el 2018, según la encuesta trimestral de turismo interno se estiman que se realizaron más de 3.1 millones de viajes por turismo interno con destino a la región de Arequipa. (Dirección General de Investigación y Estudios sobre Turismo y Artesanías).<sup>1</sup>

### 1.2 Hipótesis

La energía solar que es renovable, no contaminante y gratuita nos permite el calentamiento de agua, así reducimos el consumo de electricidad para el calentamiento de agua en Hoteles.

---

<sup>1</sup> Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. 2018.

### 1.3 Objetivos generales

Evaluar y analizar los colectores que apliquen en los hoteles de Arequipa.

### 1.4 Objetivos específicos

- Realizar comparación de un calentador de tubos de calor heat pipe y un calentador solar plano.
- Determinar la categorización, cálculo y diseño de una instalación solar térmica para un Hotel.
- Hacer una comparación económica entre los dos sistemas planteados.

### 1.5 Alcances

El presente estudio técnico se realizará a los colectores térmicos seleccionados para la aplicación en hoteles, todos estos estudios se realizarán con apoyo de los instrumentos de la Escuela Profesional De Física – Universidad Nacional de San Agustín, obteniendo resultados de radiación solar, comportamiento del fluido y calentador solar, los resultados se expondrán gráficamente. Después se realizará el diseño de una instalación solar térmica de agua caliente sanitaria para un Hotel de Arequipa considerando métodos técnicos y análisis, de esta manera promover el desarrollo de las energías renovables.

## 1.6 Justificación

Con los resultados del estudio técnico de monitoreo y la cuantificación de la energía producida por los colectores solares comerciales a futuro se los podrá normar para su correcta selección y utilización tanto domiciliaria y hotelera.

La energía solar es abundante, gratuita, renovable y su aplicación para el calentamiento de agua a través de las termas solares está justificada.



**Figura 1.- Hotel Costa del Sol.**

Fuente: [www.costadelsolperu.com](http://www.costadelsolperu.com)

## CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 Energías renovables

Las energías renovables son fuentes de energías limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencia de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero - causantes del cambio climático - ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.

Las energías renovables contabilizaron por 70% de la capacidad de generación energética que se sumó a nivel global en 2017. Se trata del mayor aumento de la capacidad de fuentes renovables en la historia moderna, según el Reporte 2018 sobre la Situación Mundial de Renovables (GSR, por sus siglas en inglés) de REN21. No obstante, los sectores de calentamiento, enfriamiento y transporte en conjunto, explican cerca de cuatro quintas partes de la demanda final de energía en el mundo y siguen presentado un rezago muy importante en comparación con el sector eléctrico.<sup>2</sup>

#### a) Actualidad de energías renovables en Perú

En la actualidad sólo el 2.7% de la matriz energética nacional está compuesta por energías renovables no convencionales (sin considerar la energía hidroeléctrica) que buscan promover los Recursos Energéticos Renovables (RER), y de acuerdo al Plan Energético Nacional 2014-2025 se tiene previsto alcanzar el 5%. Aunque con las tendencias actuales a preservar el

---

<sup>2</sup> REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. 2018.

medio ambiente, dicho Plan podría quedarse corto, siendo el potencial de las RER mucho mayor.

Para ello, el Gobierno ha planteado poner en valor el potencial renovable convencional y no convencional como una política de contribución al cambio climático, entre ellos la energía eólica, solar y mini-hidros. En ese sentido, la Sociedad Peruana de Energías Renovables (SPR) adelantó que, a fines del 2017, la cartera de proyectos eólicos, solares y de biomasa bordeaba los US\$2,000 millones. Elaborado por la consultora EY Perú.

### b) Centrales de generación con recurso energético renovables en Perú

Perú también apuesta por las energías renovables, como por ejemplos la puesta en operación en el 2018 de las Centrales Solares Rubí con 144.48 MW e Intipampa con 40 MW pasando a la Energía Eólica tenemos a la Central Wayra I con 126 MW.

**Tabla 1. Centrales eléctricas no convencionales en operación.**

CENTRALES	Empresa Concesionaria	Potencia (MW)	Energía	Tarifa	Inversión (Mio US\$)	Puesta en Operación Comercial
C.S Panamericana Solar	Panamericana Solar	20	50676 (MWh/año)	21,5 (cUS\$/kWh)	95	31.12.2012
C.S Majes solar 20T	Grupo T Solar Global	20	37630 (MWh/año)	22,3 (cUS\$/kWh)	74	31.10.2012
C.S Repartición 20T	Grupo T Solar Global	20	37440 (MWh/año)	22,3 (cUS\$/kWh)	74	31.10.2012
C.S Tacna Solar	Tacna solar	20	47196 (MWh/año)	22,5 (cUS\$/kWh)	95	31.10.2012
C.S Moquegua FV	Moquegua FV	16	43000 (MWh/año)	12 (cUS\$/kWh)	43	31.12.2014
C.S Intipampa	Engie Energía Perú	40	108,4 (GWh/año)	48,50 (US\$/MWh)	52.3	31.03.2018
C.S Rubí	Enel Green Power Perú	144.48	415 (GWh/año)	47,98 (US\$/MWh)	165	30.01.2018
C.E Tres Hermanas	Parque Eólico Tres Hermana	97.15	415760 (MWh/año)	8.9 (cUS\$/kWh)	186	25.03.2016
C.E Cupisnique	Energía Eólica	80	302952 (MWh/año)	8.5 (cUS\$/kWh)	242	30.08.2014
C.E Talara	Energía Eólica	30	119673 (MWh/año)	8.7 (cUS\$/kWh)	101	30.08.2014
C.E Marcona	Cobra Perú	32	148378 (MWh/año)	6.6 (cUS\$/kWh)	61.1	25.04.2014
C.E Wayra I	Enel Green Power Perú	126	573 (GWh/año)	37.83 (US\$/MWh)	165.8	31.03.2018
C.B La Gringa V	Petramas	3.2	14016 (MWh/año)	9.9 (cUS\$/kWh)	5.1	01.09.2015
C.B Huaycoloro	Petramas	4	28295 (MWh/año)	11 (cUS\$/kWh)	10.5	12.11.2011
C.B Paramonga	Agro Industrial Paramonga	23	115000 (MWh/año)	5.2 (cUS\$/kWh)	31	31.03.2010
<b>Total</b>		<b>675.83</b>			<b>1400.8</b>	

Fuente: Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional – Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minas.

**Tabla 2. Centrales eléctricas no convencionales en construcción.**

CENTRALES	Empresa Concesionaria	Potencia (MW)	Energía (GWh/año)	Inversión (Mio US\$)	Puesta en Operación Comercial
<b>C.S Huambos</b>	GR Paino	18.4	84.6	25.9	31.12.2018
<b>C.S Duna</b>	GR Taruca	18.4	81	25.9	31.12.2018
CENTRALES	Empresa Concesionaria	Potencia (MW)	Energía (GWh/año)	Inversión (Mio US\$)	Puesta en Operación Comercial
<b>C.B Huaycoloro II</b>	E.C. Energía Limpia	2.4	14.5	2.5	31.12.2017
<b>C.B Callao</b>	E.C. Energía Limpia	2.4	14.5	2.5	31.12.2017
<b>C.B San Jacinto</b>	Agroindustrial San Jacinto	21.71		9	30.06.2017

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minas.

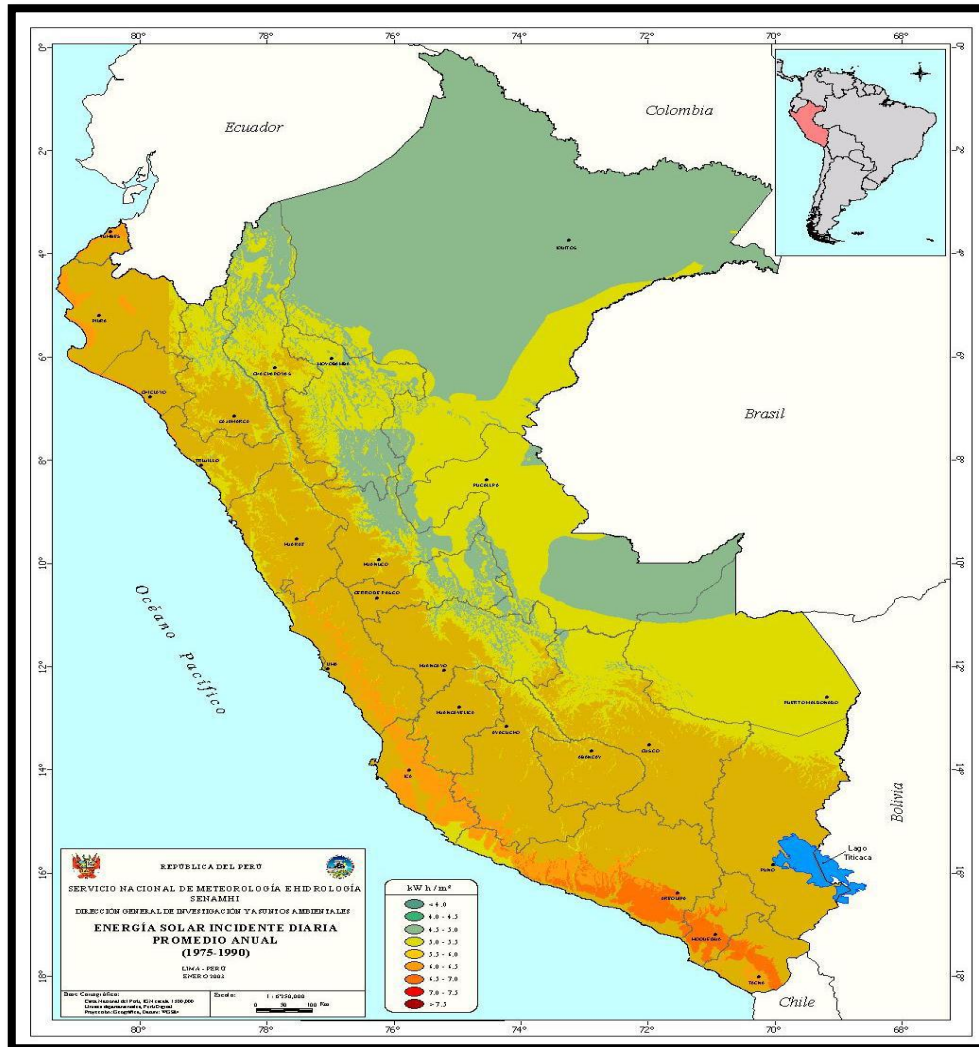
## 2.2 Energía solar

La Energía Solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico).

## 2.3 Desarrollo de la energía solar en el Perú

La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de

aproximadamente 5.5 a 6.5 kW.h/m<sup>2</sup>; 5.0 a 6.0 kW.h/m<sup>2</sup> en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 kW.h/m<sup>2</sup>.<sup>3</sup>



**Figura 2.- Irradiación Solar promedio anual.**

Fuente: Delta Volt.

<sup>3</sup> Radiación Solar del Perú. Delta Volt.

El primer ámbito (y más tradicional) es el uso como fuente térmica a través de termas de agua en zonas del sur peruano principalmente Arequipa y en otros departamentos como Lima, Cusco, Tacna y Cajamarca donde suman aproximadamente 44 empresas, unos dedicados a la fabricación, mantenimiento de estos aparatos y otros a la distribución.<sup>4</sup>

**Tabla 3. Empresas dedicadas a las fuentes térmicas a través de termas de agua I.**

N.	EMPRESA	CIUDAD	CONDICIÓN	PRODUCTO
1	BRIDSOLAR	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
2	ECOENERGIAS	AREQUIPA	IMPORTADOR	TUBOS AL VACIO
3	INGERSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
4	INOXOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
5	HIDROSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
6	HIDROSOL H3	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
7	MASTER INOX	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
8	MEGAINOX	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
9	MEGASOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
10	MISTISOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
11	SERVISOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
12	SOL CARIBE	AREQUIPA	IMPORTADOR	TUBOS AL VACIO
13	SOL CENTER	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
14	SOL MASTER	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
15	SOLUCIONES INTEGRALES	AREQUIPA	IMPORTADOR	TUBOS AL VACIO
16	SUPERSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
17	THERMOSUR	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
18	TOBISHI	AREQUIPA	IMPORTADOR	TUBOS AL VACIO
19	ACUASOL	AREQUIPA	IMPORTADOR	TUBOS AL VACIO
20	D'SOL	AREQUIPA	IMPORTADOR	TUBOS AL VACIO
21	FAMESOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
22	LIDERSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA

Fuente: GEO ENERGIA – XX SIMPOSIO PERUANO DE ENERGIA SOLAR 2013.

<sup>4</sup> Geo Energía – XX Simposio Peruano de Energía Solar 2013.

**Tabla 4. Empresas dedicadas a las fuentes térmicas a través de termas de agua II.**

N.	EMPRESA	CIUDAD	CONDICIÓN	PRODUCTO
23	RED SOLAR	AREQUIPA	DISTRIBUIDOR	PLACA PLANA
24	SOLAR INOXPLUS	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
25	CRIS - SOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
26	TECNOSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
27	MASTER INOX	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
28	GRUPO 21	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
29	INVERSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
30	INOXOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
31	SOLAR 21	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
32	SUPERSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
33	ELECTROSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
34	ENERSOL	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
35	SOLARSUR	TACNA	FABRICANTE	PLACA PLANA
36	TECNOSOL	CAJAMARCA	DISTRIBUIDOR	PLACA PLANA
37	DERCO	LIMA	IMPORTADOR	TUBOS AL VACIO
38	TRANSSSEN PERU	LIMA	DISTRIBUIDOR	PLACA PLANA
39	KUTI	CUSCO	FABRICANTE	PLACA PLANA
40	SOLARTEC	LIMA	FABRICANTE	PLACA PLANA
41	AQUALIFE	AREQUIPA	DISTRIBUIDOR	TUBOS AL VACIO
42	SOL SUR	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
43	SOLAQP	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA
44	ENERSUR	AREQUIPA	FABRICANTE	PLACA PLANA

Fuente: GEO ENERGIA - XX SIMPOSIO PERUANO DE ENERGIA SOLAR 2013.

## 2.4 El sol, fuente inagotable de energía

El Sol es, por tanto, la principal fuente de energía para todos los procesos que tienen lugar en nuestro planeta. Localizado a una distancia media de 150 millones de kilómetros, tiene un radio de 109 veces el de la Tierra y está formado por gas a muy alta temperatura. En su núcleo se producen continuamente reacciones atómicas de fusión nuclear que convierten el hidrógeno en helio. Este proceso libera gran cantidad de energía que sale hasta la superficie visible del Sol (fotosfera), y escapa en forma de rayos solares al espacio exterior.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Energía Solar Térmica, Madrid, España 2007.

### 2.4.1 Origen del sol

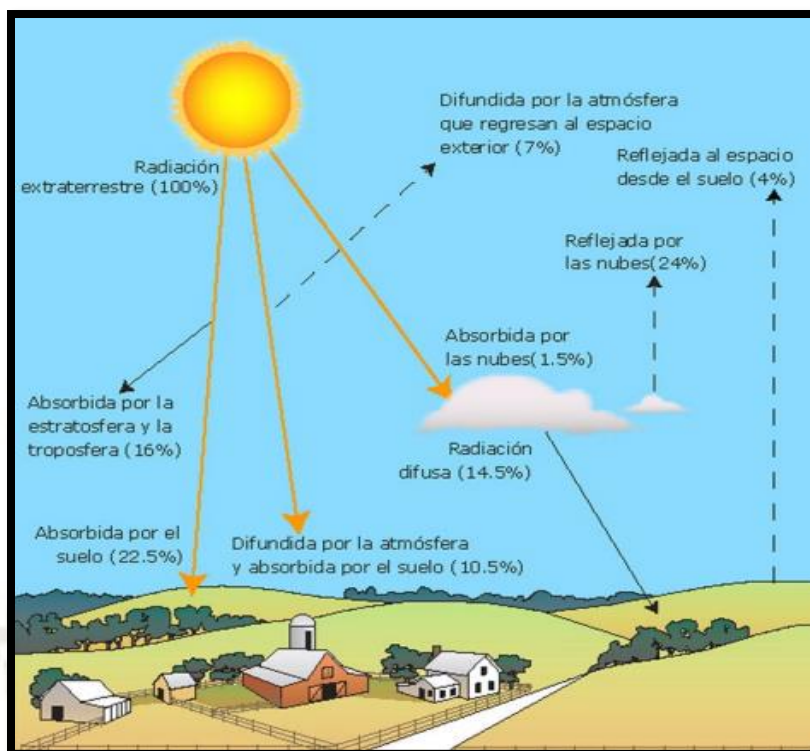
La mayor parte de energía que llega a nuestro planeta procede del Sol, en forma de radiación electromagnética.

De la enorme cantidad de energía que emite constantemente el Sol, una parte llega a la atmósfera terrestre en forma de radiación solar. De ella, el 16% es absorbido por la estratosfera y la troposfera y el 22,5% por el suelo; el 4% es reflejado directamente al espacio desde el suelo. La atmósfera difunde el 17,5% de la radiación, del cual el 10,5% es absorbido por el suelo y el 7% regresa al espacio exterior. Las nubes reflejan al espacio exterior un 24%, absorbiendo un 1,5% y enviando al suelo, como radiación difusa, el 14,5%, que es absorbido por el mismo. Así, pues, el 47,5% de la radiación llega efectivamente a la superficie de la Tierra por tres vías:

- Radiación directa: Es la radiación que incide sobre los objetivos iluminados por el Sol sin haber interactuado con nada y sin cambiar de dirección (es la más importante en un día soleado).
- Radiación difusa: Es una radiación que incide indirectamente, como reflejo de la radiación solar que es absorbida por el polvo y el aire (es la radiación típica de los días nublados).
- Radiación reflejada o albedo: Es la radiación procedente de la reflexión de la radiación directa en los elementos del entorno (es importante cerca del mar y de las zonas con nieve).<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Energía Solar. Energías Renovables – Capítulo 19.



**Figura 3.- Energía del sol que llega a la tierra.**

Fuente: Comunidad medioambiental – Capítulo 19.

#### 2.4.2 Constante solar

El flujo de radiación solar que incide sobre un plano cualquiera depende de la orientación de éste y de su distancia al sol, origen de la citada radiación. Como la tierra, en su trayectoria anual, describe una órbita elíptica alrededor de aquel, el valor de la energía que alcanza un plano perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, situado en el límite de la atmósfera terrestre variará según la posición de la tierra. Se define la constante solar  $G_{CS}$  como la energía por unidad de tiempo y de área que recibe un plano perpendicular a la dirección de propagación de la radiación en la distancia media tierra-sol en el exterior de la atmósfera. Este valor es  $1353 \text{ W/m}^2$ .

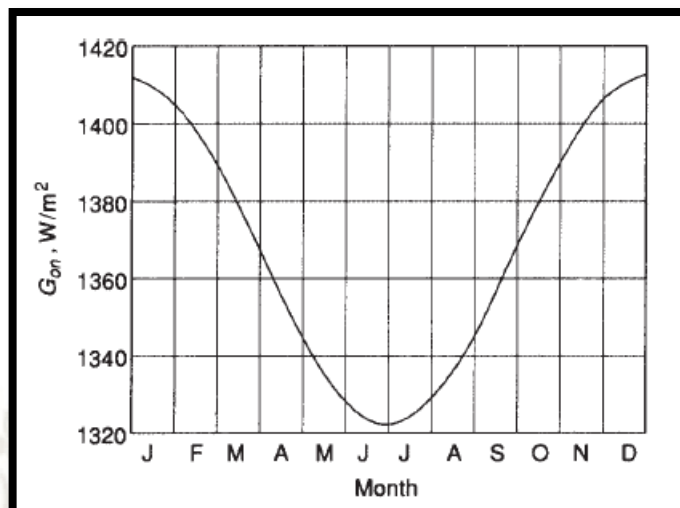


Figura 4.- Variación de la radiación solar extraterrestre con la época del año.

Fuente: Solar Engineering of Thermal Processes.

### 2.4.3 Declinación solar

El plano en el que se desplaza la tierra alrededor del sol se denomina plano eclíptico, en este se desarrolla el movimiento cíclico anual (365 días). La tierra, además, realiza un movimiento de giro alrededor de un eje llamado eje polar, el cual está inclinado  $23,5^\circ$  respecto al plano eclíptico.

La rotación sobre el eje polar produce el ciclo diario (24 horas), variando a lo largo del año la duración del día y de la noche.

El ángulo entre el eje y el plano permanece constante a lo largo del año, al igual que el plano ecuatorial (plano perpendicular al eje polar y que pasa por el ecuador) respecto al plano eclíptico. Sin embargo, el ángulo formado por la línea de unión imaginaria entre el sol, la tierra y el plano ecuatorial varía en cada instante, este ángulo se llama declinación solar ( $\delta$ ).

La declinación solar es nula en los equinoccios, mientras que referida para el hemisferio norte es máxima en el solsticio de verano (23, 5°) y mínima en el solsticio de invierno (-23, 5°).

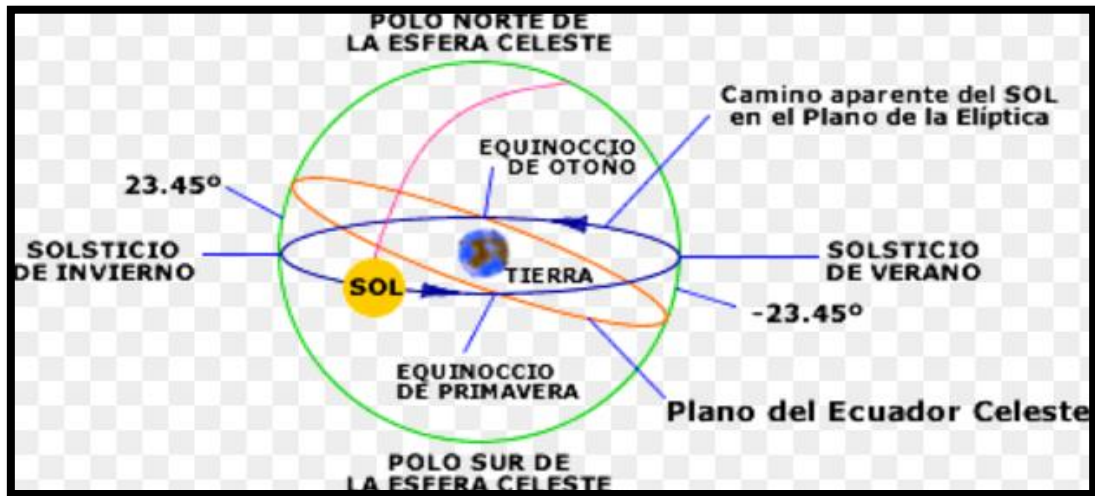


Figura 5.- Declinación solar.

Fuente: <http://www.phinet.cl/ds/teoria/>

La declinación solar se parametriza en forma aproximada en términos de ordinal – día n.

$$\delta = \delta_0 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360 \cdot (284 + n)}{365} \right] \quad (2.1)$$

Donde  $\delta_0 = 23.45 \approx 0.4093$  radianes, la declinación es cero en los equinoccios y en estos puntos presenta su menor variación diaria (menor a 0.5° por día).<sup>7</sup>

<sup>7</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

**Tabla 5. Día promedio recomendado para cada mes.**

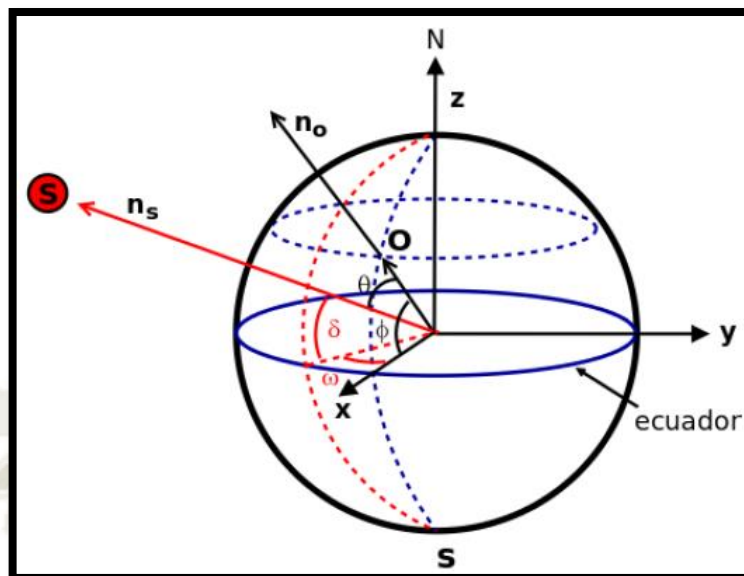
Mes	Día en el año	Fecha
Enero	17	Enero 17
Febrero	47	Febrero 16
Marzo	75	Marzo 16
Abril	105	Abril 15
Mayo	135	Mayo 15
Junio	162	Junio 11
Julio	198	Julio 17
Agosto	228	Agosto 16
Setiembre	258	Setiembre 15
Octubre	288	Octubre 15
Noviembre	318	Noviembre 14
Diciembre	344	Diciembre 10

Fuente: Figura adaptada de la referencia (John A. Duffie y William A. Beckman). Página 14.

#### 2.4.4 Angulo horario

El ángulo horario  $\omega_s$ , indica el desplazamiento angular aparente del sol de este a oeste a una tasa de 15 grados/hora. Esta tasa debida a la rotación de la tierra sobre su eje, corresponde a 360 grados/24 horas ( $\pi/12 \approx 0.2618$  rad/h). Por convención, el ángulo horario  $\omega_s$  es nulo a mediodía solar, negativo en la mañana y positivo en la tarde. Este ángulo se define sobre el plano del ecuador, como el ángulo entre los meridianos del sol y del observador, vea la figura siguiente.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).



**Figura 6.- Relaciones entre los ángulos que describen el movimiento aparente del sol.**

Fuente: Manual técnico de energía solar térmica, Gonzalo Abal – Valeria Durañona. Página 6.

Utilizando los datos de declinación ( $\delta$ ) a lo largo del año y la latitud de un lugar geográfico ( $\phi$ ), es posible encontrar el ángulo horario  $\omega_s$  de salida y puesta del sol.

$$\omega_s = \text{acos}(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta)) \quad (2.2)$$

#### 2.4.5 Irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano

La irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano ubicado al exterior de la atmosfera terrestre  $G_0$ , tiene una dependencia estacional debido a la variación de la Tierra – Sol.

$$G_0 = G_{CS} \cdot \left[ 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{n \cdot 360}{365}\right) \right] \quad (2.3)$$

Donde  $G_{CS}$  es la constante solar y  $n$  el día del año.

### 2.4.6 Irradiación solar extraterrestre diaria sobre una superficie horizontal

La irradiancia extraterrestre diaria promedia mensualmente  $H_o$ , también es útil y puede calcularse para latitudes de hasta  $\pm 60^\circ$  con la ecuación anterior usando los días ( $n$ ), la declinación ( $\delta$ ), la latitud ( $\phi$ ), ángulo de horas de sol ( $\omega_s$ ) y la irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano ( $G_0$ ).

$$H_o = G_0 \cdot \frac{24}{\pi} \cdot [\cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s) + \omega_s \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta)] \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (2.4)$$

### 2.4.7 Modelo de estimación de la irradiación solar

#### 2.4.7.1 Modelo Bristow-Campbell

De acuerdo a Bristow-Campbell la diferencia entre las temperaturas máximas y mínima en un día determinado, depende de la relación de Bowen, esto es, la relación entre el calor sensible y el calor latente. El calor sensible depende de la irradiación solar y es responsable de las temperaturas máximas. Durante la noche, el calor sensible es perdido hacia el espacio como radiación en onda larga, disminuyendo así la temperatura del aire hasta su valor mínimo, valor que normalmente se alcanza antes del amanecer. Esta explicación física justifica el hecho del uso de modelos para estimar la irradiación solar en función de la temperatura, pero con la ventaja de una gran red de estaciones que realizan este tipo de mediciones.<sup>9</sup>

Dentro de los modelos existentes, Baigorria llegaron a la conclusión que el modelo Bristow-Campbell era el que mejor se adecuaba a las condiciones de Perú. Este modelo sugiere la estimación de la transmisividad o irradiación solar relativa ( $H/H_o$ ) en función de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínimas ( $\Delta T$ , °C):

---

<sup>9</sup> Atlas de Energía Solar del Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidráulica. Página 17.

$$\frac{H}{H_0} = a_B [1 - \exp(-b_B \Delta T^{c_B})] \quad (2.5)$$

Si despejamos H toma el nombre de radiación global sobre plano horizontal.

$$H = H_0 a_B [1 - \exp(-b_B \Delta T^{c_B})] \quad (2.6)$$

En este caso, los valores empíricos ( $a_B$ ,  $b_B$  y  $c_B$ ) tienen también un significado físico;  $a_B$  representa el máximo valor de  $\tau$  que es característico de cada área de estudio y además depende de la contaminación atmosférica y de la altitud;  $b_B$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) y  $c_B$  determinan el efecto del incremento de  $\Delta T$  sobre la máxima  $\tau$  de la atmósfera.

La tabla 6 muestra los valores de los coeficientes del modelo Bristow-Campbell encontrados para cada estación, así como su error promedio. Es necesario recalcar que el valor del coeficiente  $a_B$  corresponde a la sumatoria de los coeficientes a y b encontrados para el modelo Ångström-Prescott.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Atlas de Energía Solar del Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidráulica. Página 18.

**Tabla 6. Valores de los coeficientes del modelo Bristow-Campbell por estación.**

Estación meteorológica	$a_B$	$b_B$ (°C-1)	$c_B$	Número de datos	Error (%)
<b>COSTA</b>					
Miraflores	0,75	0,04	1,49	3 597	3,8
A. Von Humboldt	0,68	0,06	1,42	13 712	14,1
San Camilo	0,79	0,09	1,05	2 244	3,9
<b>SIERRA</b>					
Bambamarca	0,66	0,23	0,80	2 033	12,6
Weberbauer	0,75	0,04	1,28	1 607	3,2
Cosmos	0,70	0,03	1,62	773	8,5
Huayao	0,78	0,11	0,97	5 387	4,6
Granja Kcayra	0,74	0,11	0,92	1 961	11,6
Chuquibambilla	0,78	0,19	0,76	1 476	3,6
Puno	0,82	0,20	0,87	2 156	7,2
Characato-La pampilla	0,76	0,16	0,91	3 134	7,5
<b>SELVA</b>					
San Ramón SM	0,68	0,02	1,86	2 864	7,5
El Porvenir	0,60	0,06	1,21	2 346	4,1
Bellavista	0,70	0,06	1,22	1 038	2,3

Fuente: Atlas de energía solar del Perú – Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

#### 2.4.8 Irradiación global y difusa sobre superficies horizontales

La claridad atmosférica se encuentra fuertemente influenciada por el grado de cobertura de las nubes sobre la tierra. Ésta es una variable aleatoria de difícil caracterización, por lo que las ecuaciones para caracterizar el paso de la radiación a través de las atmósferas nubosas no son sino ajustes estadísticos, y por tanto su valor no es sino el de estimaciones que caben esperar en situaciones medias.

$$H = H_b + H_d \quad (2.7)$$

En este contexto la caracterización de fraccionamiento radiactivo en irradiación global directa diaria  $H_b$  y global difusa diaria  $H_d$ .

#### 2.4.9 Índice de claridad

El índice de claridad promedio mensual  $K_T$  es la razón de la radiación diaria promediada mensualmente sobre una superficie horizontal, con respecto a la irradiación extraterrestre diaria  $H_0$ , que no tiene en cuenta efectos estacionales.

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (2.8)$$

La segunda correlación considera efectos estacionales (a través de la variable  $\omega_s$ )

$$\frac{H_d}{H} = 0.775 + 0.347 \cdot \left(\omega_s - \frac{\pi}{2}\right) - \left[0.505 + 0.261 \cdot \left(\omega_s - \frac{\pi}{2}\right)\right] \cdot \cos(2 \cdot K_t - 1.8) \quad (2.9)$$

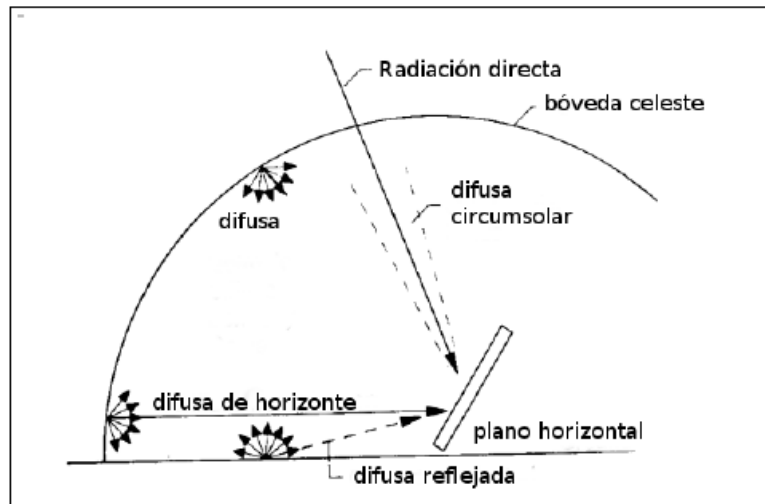
#### 2.4.10 Radiación solar incidente sobre un plano inclinado

La medida de radiación solar más frecuente es la irradiación global en plano horizontal. En general, para los cálculos de diseño, se requiere la irradiación global sobre un plano inclinado. El problema de estimar la radiación incidente sobre un plano inclinado a partir de medidas sobre un plano horizontal es de gran interés práctico, tanto para estimar el aporte solar a un colector inclinado como para fines de diseño y Arquitectura. En esta Sección desarrollaremos los métodos usados para pasar de una a otra magnitud.<sup>11</sup>

**Radiación directa:** Índice sobre la superficie sin sufrir desvíos a lo largo de la Tierra – Sol.

**Radiación difusa:** Índice sobre la superficie desde todas las direcciones hemisféricas de ser dispersada o reflejada por el entorno.

<sup>11</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

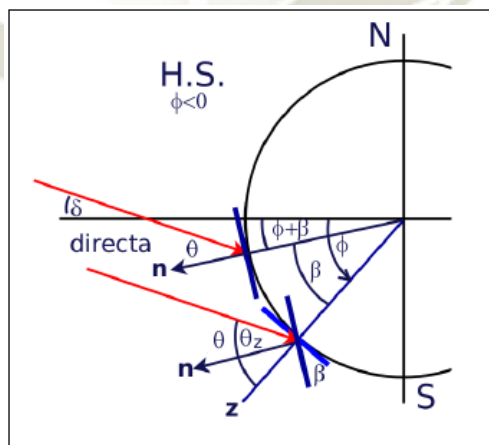


**Figura 7.- Esquema mostrando las componentes de la radiación solar incidente sobre una superficie colectora inclinada.**

Fuente: Figura adaptada de la referencia, Gonzalo Abal – Valeria Durañona. Página 39.

### Superficies orientadas al Norte

En primer lugar, analizamos el caso más sencillo de una superficie orientada al Norte, para la cual el ángulo azimutal es  $\gamma = 0$ . Supondremos que la superficie tiene una inclinación  $\beta$  ( $0 \leq \beta \leq \pi/2$ ) con respecto al plano horizontal.



**Figura 8.- Esquema de ángulos mostrando las componentes de la radiación solar incidente sobre una superficie colectora inclinada.**

Fuente: Figura adaptada de la referencia, Gonzalo Abal – Valeria Durañona. Página 41.

En este caso se puede establecer una correspondencia con un plano horizontal ubicado en una latitud equivalente, como se muestra en la figura 9. El ángulo de inclinación  $\theta$  de la radiación directa sobre una superficie inclinada un ángulo  $\beta$  en el Hemisferio Sur (H.S) con  $\phi < 0$ , es el mismo que el ángulo cenital  $\theta_z$  sobre una superficie horizontal colocada a una latitud  $\phi + \beta$ . Se define la latitud equivalente.

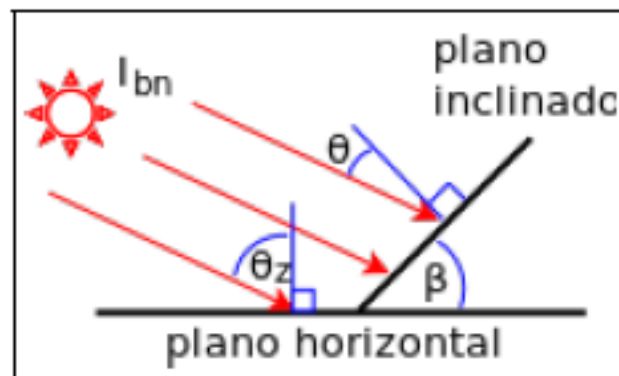
$$\phi = \beta - |\phi| \text{ (H.S)}$$

Usando las expresiones para un plano horizontal con la latitud equivalente se obtienen expresiones para un plano inclinado en la latitud real.

La latitud equivalente  $\phi = \beta - |\phi|$  nos permite aplicar las expresiones válidas para un plano horizontal a una superficie inclinada orientada al Ecuador.<sup>12</sup>

La expresión para ángulo de incidencia de la irradiación directa sobre una superficie inclinada en latitud  $\phi$ .

$$\cos\theta = \cos(\beta - |\phi|) \cos\delta \cos\omega + \sin(\beta - |\phi|) \sin\delta \quad (\gamma = 0) \quad (2.10)$$



**Figura 9.- Ángulo de incidencia sobre plano horizontal ( $\theta_z$ ) y sobre plano inclinado ( $\theta$ ).**

Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica (Gonzalo Abal – Valeria Durañona). Página 41.

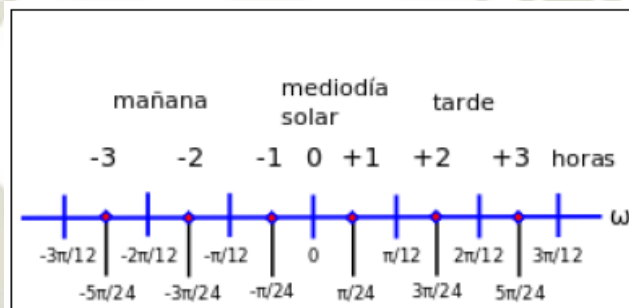
<sup>12</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

### Componente directa

La componente más simple de calcular es la irradiación directa  $I_{bi}$ , basada en un cálculo geométrico. Se define la razón directa horaria.

$$r_b = \frac{I_{bi}}{I_{bh}} = \frac{I_{bn} \cos \theta}{I_{bn} \cos \theta_z} \cong \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.11)$$

Como el cociente entre la irradiación directa sobre la superficie inclinada y la irradiación directa sobre plano horizontal. La segunda expresión, en términos de los ángulos de incidencia mostrados en la figura 10 es exacta a nivel de irradiancia y es una muy buena aproximación a nivel horario o diario.<sup>13</sup>



**Figura 10.- Esquema mostrando el ángulo horario durante un periodo de tres horas antes y después del mediodía solar.**

Fuente: Manual Técnico de Energía Solar Térmica (Gonzalo Abal – Valeria Durañona). Página 42.

Para cálculos horarios, se utiliza el valor de  $\omega$  en el punto medio de cada hora, indicando en la figura por los puntos rojos.

Usando la ecuación  $\cos \theta = \cos(\beta - |\phi|) \cos \delta \cos \omega + \sin(\beta - |\phi|) \sin \delta$ , la expresión para la razón directa (instantánea u horaria) es.

<sup>13</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

$$r_b \cong \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} = \frac{\cos(\beta - |\varnothing|) \cos\delta \cos\omega + \sin(\beta - |\varnothing|) \sin\delta}{\cos\delta \cos\delta \cos\omega + \sin\varnothing \sin\delta} \quad (\text{H.S}) \quad (2.12)$$

Para usar esta expresión en el H.N se debe reemplazar  $\beta - |\varnothing|$  por  $\varnothing - \beta$ . Se puede usar para la razón directa a escala horaria, considerando que  $\omega$  es el ángulo horario en el punto medio de la hora solar correspondiente.

Análogamente se define la razón directa diaria,  $R_b$  como el cociente entre la irradiación directa diaria sobre plano inclinado y sobre plano horizontal.<sup>14</sup>

$$R_b = \frac{H_{bi}}{H_{bh}} = \frac{\omega'_s \cdot \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\varnothing - \beta) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varnothing - \beta) \cdot \text{sen}(\omega'_s)}{\omega_s \cdot \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\varnothing) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varnothing) \cdot \text{sen}(\omega_s)} \quad (\text{H.N}) \quad (2.13)$$

$$R_d = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad (2.14)$$

$$R_p = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \cdot \rho \quad (2.15)$$

Esta expresión es válida para superficies orientadas al Norte en el H.S. El ángulo  $\omega'_s$  es el ángulo horario de puesta de sol (en radianes) para una superficie inclinada orientada al Ecuador. Este ángulo nunca puede ser mayor que su correspondiente para plano horizontal  $\omega_s$ , por lo tanto, la expresión  $\omega'_s$  es.

$$\omega'_s = \min[\omega_s, \text{acos}(-\tan(\varnothing - \beta) \cdot \tan(\delta))] \quad (2.16)$$

<sup>14</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

### 2.4.11 Radiación global sobre una superficie inclinada

Como la difusa y el suelo reflejaban irradiaciones independientes del ángulo de la incidencia. Suponiendo que el modelo isotrópico de la difusa y global refleja la radiación, la radiación solar diaria total en una superficie inclinada puede ser escrita como:

$$H_T = H_b \cdot R_b + H_d \cdot R_d + (H_d + H_b) \cdot R_\rho \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (2.17)$$

La radiación directa sobre una superficie inclinada está relacionada con la siguiente ecuación.<sup>15</sup>

$$R_{directa} = H_b \cdot R_b \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (2.18)$$

La componente difusa cuenta con el modelo más sencillo es el isotrópico que asume que la distribución de ángulo de incidencia de la radiación difusa es uniforme en la parte de la bóveda celeste vista por la superficie inclinada. Esta suposición lleva a la expresión para la irradiación difusa de cielo.

$$R_{difusa} = H_d \cdot R_d \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (2.19)$$

La radiación proveniente de reflexión de superficies cercanas, consideradas como reflectores difusos, puede expresarse en términos de las reflectancias típicas  $\rho$  de las superficies cercanas y de sus factores de vista al colector. Este cálculo dependerá fuertemente de los detalles de entorno del colector. La reflectividad típica para varios tipos de superficies será.

<sup>15</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

$$R_{\text{reflejada}} = R_{\rho} \cdot (H_d + H_b) \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (2.20)$$

#### 2.4.12 Distribución de ángulo horario

En astronomía, el ángulo horario es el arco de ecuador contado desde el punto de intersección del ecuador con el meridiano del observador hasta el círculo horario del astro, en sentido horario, el del movimiento aparente de la bóveda celeste. Aunque se podría medir en grados, para su medida se usa la hora, unidad que equivale a  $15^\circ$ .

Así, si un objeto tiene un ángulo horario de 2,5 horas, ha transitado por el meridiano local hace 2,5 horas, y está actualmente a  $37,5$  grados oeste del meridiano. Los ángulos horarios negativos indican el tiempo que falta hasta el siguiente tránsito por el meridiano local. Por supuesto, un ángulo horario de 0 significa que el objeto está en el meridiano local.

La siguiente fórmula permite calcular el ángulo horario (HOR) mediante la hora local (HSL) del lugar:

$$\text{HOR} = 180 - 15\text{HSL}$$

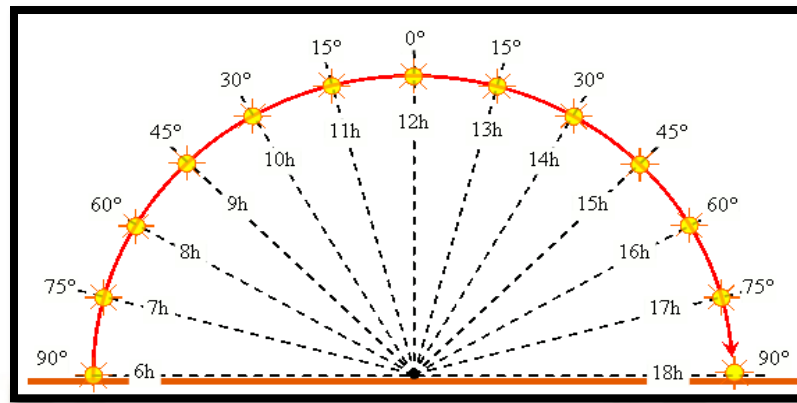
El ángulo horario ( $\omega$ ) indica el desplazamiento angular del sol sobre el plano de la trayectoria solar. Se toma como origen del ángulo el mediodía solar y valores crecientes en el sentido del movimiento del Sol. Cada hora corresponde a  $15^\circ$  ( $360^\circ/24\text{horas}$ ).<sup>16</sup>

Conocida la hora solar y sabiendo que el origen de coordenadas se encuentra en el meridiano local y que una hora solar corresponde a  $15^\circ$

$$\omega = (\text{hora solar} - 12) \cdot 15^\circ$$

---

<sup>16</sup> Angulo Horario Conceptos Físicos. (2014)



**Figura 11.- Esquema de ángulos horarios.**

Fuente: [http://ayudahispano-3000.blogspot.pe/2014/12/conceptos-fisicos\\_6.html](http://ayudahispano-3000.blogspot.pe/2014/12/conceptos-fisicos_6.html)

#### **2.4.13 Estudio de un modelo empírico de descomposición horaria de la radiación solar media mensual**

A su vez, para estimar la radiación solar recolectada tanto por planos inclinados u orientados en distintos ángulos como en superficies concentradoras, se debe contar con valores horarios de radiación global y de sus componentes difusa y directa. Sin embargo, esa información no existe en la mayoría de los sitios, lo que hace necesario desarrollar modelos que permitan estimarla a partir de otros valores más frecuentemente disponibles, tales como los de radiación global diaria media mensual.<sup>17</sup>

El método propuesto para determinar los valores horarios promedio de radiación global, difusa y directa consiste en determinar a partir de las mediciones el valor de la radiación global diaria media mensual  $H_G$ . Con este valor, deducir el de la radiación difusa diaria mensual  $H_d$ . Para esto se debe usar alguna correlación funcional entre  $H_G$  y  $H_d$ .

Una vez provistos los valores diarios medios mensuales  $H_G$  y  $H_d$ . Se calculan los factores  $r_G$  y  $r_d$  que relacionan los promedios diarios con los horarios  $h_G$  y  $h_d$ .

<sup>17</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

$$h_G = r_G \cdot H_G \quad (2.21)$$

$$h_d = r_d \cdot H_d \quad (2.22)$$

En su aproximación consideran que la radiación se distribuye temporalmente como si no hubiera, de manera que los factores  $r_G$  y  $r_d$  pueden calcularse como el cociente entre la radiación horaria y la diaria promedio a tope de atmósfera. Así dichos factores dependen solamente de dos variables: la hora del día  $t$  (expresada mediante el ángulo horario  $\omega = \frac{2\pi t}{T}$ , donde  $T = 24h$ ) y la hora de puesta del sol  $t_s$  (expresada mediante el ángulo horario de salida o puesta del sol  $\omega_s = \frac{2\pi t_s}{T}$  y resultan:<sup>18</sup>

$$r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \left[ \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_s)}{\text{sen}(\omega_s) - \omega_s \cdot \cos(\omega_s)} \right] \quad (2.23)$$

Colares Pereira y Rabl (1979) reformularon el planteo de Hottel Willier y Liu Jordan pues se percataron que la atenuación atmosférica de la radiación y global depende del ángulo horario. Usando una base de datos combinando 2 años de mediciones horarias de estaciones de Estados Unidos junto con los datos de Liu y Jordan y propusieron una ecuación corregida para el factor de atenuación de la radiación global, que incluye efectos atmosféricos.

$$r_G = \frac{\pi}{24} \cdot (a + b \cos \omega) \left[ \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_s)}{\text{sen}(\omega_s) - \omega_s \cdot \cos(\omega_s)} \right] \quad (2.24)$$

Con los coeficientes  $a$  y  $b$  dados por las expresiones

$$a = 0.409 + 0.5016 \cdot \text{sen}(\omega_s - 60^\circ) \quad (2.25)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \cdot \text{sen}(\omega_s - 60^\circ) \quad (2.26)$$

<sup>18</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

La radiación horaria media mensual directa sobre plano horizontal se obtiene con la siguiente ecuación.<sup>19</sup>

$$h_b = h_G - h_d \quad (2.27)$$

- ❖ Se trabajará con las horas y los días de enero a diciembre.

$$\cos\theta = \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\varnothing - s) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varnothing - s) \cdot \cos(\omega) \quad (2.28)$$

- $\delta$ : Declinación
- $\varnothing$ : Latitud
- $\omega$ : Angulo horario
- $s$ : Angulo de inclinación

- ❖ Se trabajará con las horas y los días de enero a diciembre.

$$\text{sen}(h) = \cos(\varnothing) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \text{sen}(\varnothing) \cdot \text{sen}(\delta) \quad (2.29)$$

- $\delta$ : Declinación
- $\varnothing$ : Latitud
- $\omega$ : Angulo horario

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\text{sen}(h)} \quad (2.30)$$

#### 2.4.13.1 Radiación directa instantánea sobre una superficie inclinada:

$$R_{\text{directa}} = R_b \cdot I_h \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (2.31)$$

<sup>19</sup> Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica. (2013).

#### 2.4.13.2 Radiación difusa instantánea sobre una superficie inclinada:

$$R_{\text{difusa}} = R_d \cdot D \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (2.32)$$

- D: Radiación difusa Instantánea sobre una superficie horizontal

#### 2.4.13.3 Radiación reflejada instantánea sobre una superficie inclinada:

$$R_{\text{reflejada}} = R_\rho \cdot G \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (2.33)$$

#### 2.4.13.4 Radiación global instantánea sobre una superficie inclinada:

$$R_{\text{global}} = R_{\text{directa}} + R_{\text{difusa}} + R_{\text{reflejada}} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (2.34)$$

### 2.5 Funcionamiento de la energía solar térmica

El principio básico de funcionamiento de estos sistemas solares es sencillo: la radiación solar se capta y el calor se transfiere a un fluido (generalmente agua o aire). Para aprovechar la energía solar térmica se usa el captador solar, también denominado colector o placa solar. El fluido calentado se puede usar directamente (por ejemplo, para calentar agua en piscinas) o indirectamente mediante un intercambiador de calor (por ejemplo, en el caso de la calefacción de una habitación).<sup>20</sup>

La energía solar térmica se utiliza principalmente para calentar fluidos, normalmente agua. Dependiendo de la temperatura final alcanzada por el fluido a la salida, las instalaciones se dividen en:

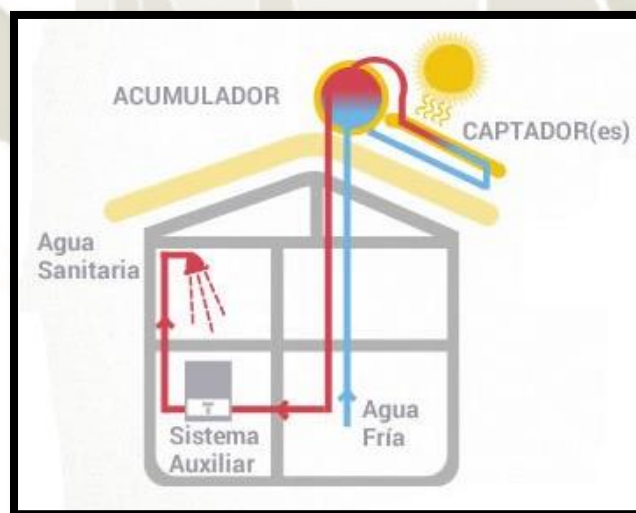
<sup>20</sup> Guía Técnica: Agua Caliente Sanitaria Central. Madrid, España. IDAE. (junio del 2010).

## 2.5.1 Conversión térmica de baja temperatura

Son las más extendidas y se destinan a aquellas aplicaciones que no exigen temperaturas del agua superiores a los 90 °C, como, por ejemplo, la producción de agua caliente sanitaria (ACS) para viviendas y polideportivos, apoyo a la calefacción de viviendas, calentamiento de agua para piscinas, distinguiéndose los siguientes subsistemas:

### 2.5.1.1 Producción de agua caliente

En la actualidad la energía solar térmica ofrece una solución idónea para la producción de agua caliente, al ser una alternativa completamente madura y rentable.



**Figura 12.- Esquema de agua caliente.**

Fuente: CLICK RENOVABLES.

## 2.6 Sistemas de energía solar térmica de baja temperatura

### 2.6.1 Sistemas termosifón

Este tipo de sistemas funcionan sin aporte externo de energía, ya que aprovechan el denominado efecto termosifón: el movimiento del agua se produce por la diferencia de temperaturas entre el agua fría del depósito de acumulación (tanque) y la caliente del captador, puesto que el agua que está dentro del colector se calienta por el Sol, disminuyendo su densidad y, por tanto, su peso específico. Al disminuir su peso específico, el agua más caliente se sitúa en la parte superior del captador.<sup>21</sup>

Estos 2 tipos de instalaciones pueden ser, a su vez, de circuito abierto o cerrado.

#### 2.6.1.1 Instalaciones de circuito abierto:

El agua que circula por el colector es la misma que se utiliza como agua caliente.

El agua entra en el colector, se calienta, pasa al tanque y se usa directamente.

#### 2.6.1.2 Instalaciones de circuito cerrado:

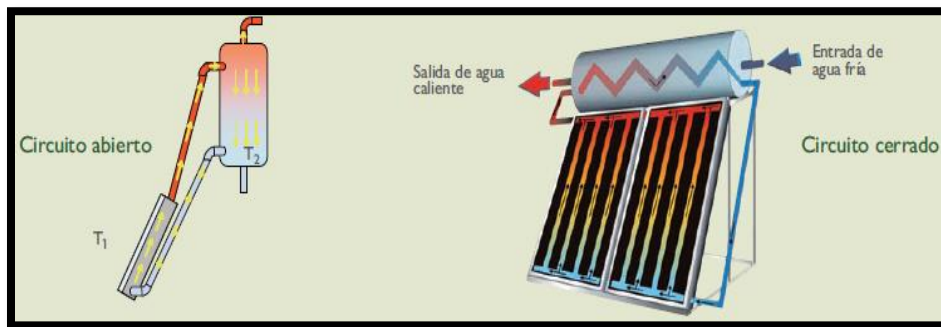
Por el colector circula un fluido (en circuito cerrado) que se calienta y cede su calor al agua de abasto a través de un intercambiador de calor.

Las instalaciones de circuito cerrado son apropiadas para aquellas zonas donde el agua de abasto es de mala calidad, ya que si esta agua circulara por el colector (caso de circuito abierto), éste se estropearía antes y habría que cambiarlo. Sin embargo, si se utiliza el circuito cerrado, el único elemento que está en contacto

---

<sup>21</sup> Energías renovables y eficiencia energética – Instituto tecnológica Canarias.

con el agua de abasto es el intercambiador de calor, elemento más económico y fácil de cambiar.



**Figura 13.- Funcionamiento de un sistema termosifón.**

Fuente: Energías renovables y eficiencia energética – Instituto tecnológica Canarias.

## 2.7 Colectores solares

El principal componente de cualquier sistema de energía solar es el colector o captador solar. Los colectores de energía solar son tipos especiales de intercambiadores de calor que transforman la energía captada de la radiación solar en energía interna y dicha energía la transfieren a un medio de transporte (por lo general agua, aceite o aire) que fluye a través del colector. El flujo de energía radiante que finalmente intercepta el colector, proviene básicamente del rango visible del espectro solar (longitudes de onda entre  $0.29$  y  $2.5 \mu\text{m}$ ) y es por naturaleza variable con la hora del día.

### Tipos de colectores solares

#### 2.7.1 Colectores de placa plana

Es un el tipo más habitual que sirve para aprovechar la energía de la radiación solar, transformándola en energía térmica para usos domésticos o comerciales.

## **Componentes de un colector de placas planas con cubierta**

El colector de placa plana está compuesto por cuatro elementos principalmente: la cubierta transparente, placa captadora, aislante térmica y carcasa.

### **2.7.1.1 Cubierta transparente**

Es donde se produce efecto invernadero, debido a que una parte de la radiación que ha atravesado la cubierta y llega a la placa captadora es reflejada hacia la cubierta la transparente, con lo que se consigue retener la radiación en el interior.

### **2.7.1.2 Placa Captadora**

Tiene como objetivo absorber de la forma más eficiente posible la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido de trabajo.

### **2.7.1.3 Aislamiento térmico**

La placa captadora está protegida en su parte posterior y lateral por medio de un aislamiento térmico para evitar las pérdidas de calor hacia el exterior.

### **2.7.1.4 Carcasa**

Es aquella que protege y soporta los elementos que constituyen el colector solar, además de servir de enlace con el edificio, por medio de los soportes.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico – Universidad Nacional Autónoma de México. 2014.

**Tabla 7. Ventajas y desventajas de los colectores de placas planas**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Soportan una amplia gama de presiones de operación (tinacos, red municipal, tanque elevado, etc.)	Mayor peso
Mayor resistencia durante su transporte, elevación y maniobras	Requieren protección anticongelante en climas templados y fríos durante el invierno.
Más resistentes al vandalismo.	Cambio periódico de la cubierta de policarbonato.
Mínimo mantenimiento	Formación de sarro en tuberías
Operan por circulación natural	Eficiencia entre 7% y 9%

Fuente: Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico –  
Universidad Nacional Autónoma de México.

### 2.7.2 Colectores de tubo de vacío

Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados), cada uno de los cuales contienen un material absolvedor de energía (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido de trabajo. Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura.

Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los

colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana.

Están bien adaptados para aplicaciones industriales de calefacción y también puede ser una alternativa eficaz a los colectores de placa plana para la calefacción doméstica, especialmente en regiones donde hay poca radiación.<sup>23</sup>

La técnica de vacío utilizada por los fabricantes de tubos fluorescentes, entre otros, se ha desarrollado hasta el punto de hacer rentable la producción en masa y la comercialización de sus equipos. Mediante la aplicación de esta tecnología, ha sido posible la construcción de los colectores solares de vacío que se comercializan en la actualidad y el mantenimiento de su elevado vacío. Debido a sus características geométricas, reciben el nombre de colectores de tubos de vacío. Existen dos tipos de colectores tubulares de vacío, según sea el método empleado para el intercambio de calor entre la placa y el fluido caloportador:

1. De flujo directo
2. Con tubo de calor (heat pipe)

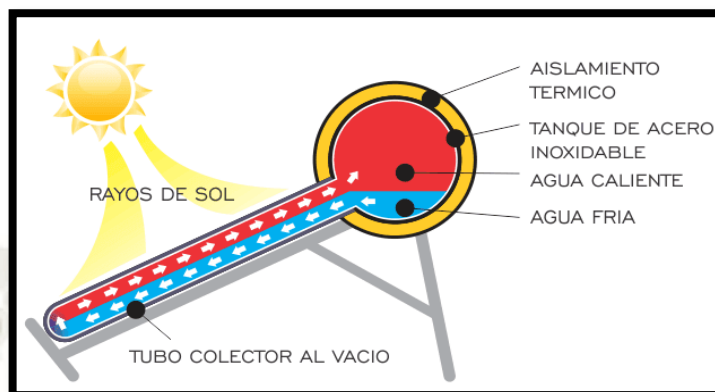
#### **2.7.2.1 Colectores de tubo de vacío de flujo directo.**

Los calentadores de flujo directo también son clasificados debido a su aplicación como colectores de baja presión. Estos consisten en un grupo de tubos de vidrio (dentro de cada uno de los cuales hay una aleta de aluminio, conectada a un tubo de metal (normalmente cobre) o tubo de vidrio. La aleta posee un recubrimiento selectivo que absorbe la radiación solar, e inhibe la pérdida de calor radiactivo. El fluido de transferencia de calor es el agua y se distribuye a través de las tuberías, de

---

<sup>23</sup> Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico – Universidad Nacional Autónoma de México. 2014.

las cuales una se utiliza para la entrada del líquido y la otra para la salida de fluidos.<sup>24</sup>



**Figura 14.- Tubo de vacío de flujo directo.**

Fuente: EVATIOS green energy.

**Tabla 8. Ventajas y desventajas de un colector tubo de vacío de flujo directo**

Ventajas	Desventajas
No requieren protección anticongelante.	Requieren cambios periódicos de los empaques que sirven de sellos entre los tubos y el tanque.
Son ligeros	Menor resistencia al vandalismo
La conexión de los tubos de vidrio es directa al termo tanque mediante empaques sin necesidad de tuberías o mangueras.	Si el espesor del tubo de vidrio exterior es menor a 1.5 mm no soportan fuertes granizadas.
Menor precio	No aprueban la presión requerida para el DIT (Dictamen de idoneidad Técnica)
Operan por termosifón	Riesgo de daño en los tubos de vidrio por choque térmico si se llenan con agua estando expuestos a la radiación solar

Fuente: Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico -

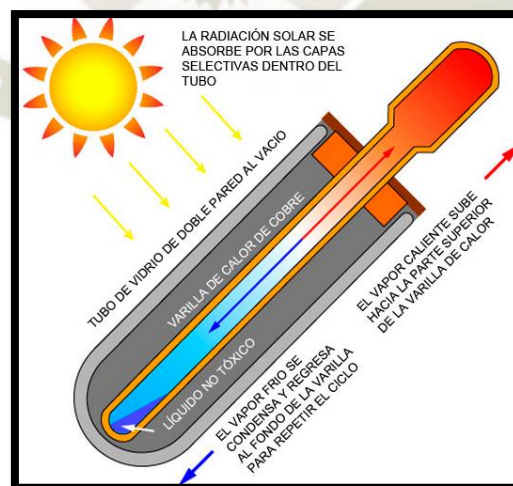
Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>24</sup> Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico – Universidad Nacional Autónoma de México. 2014.

### 2.7.2.2 Colectores de tubos de calor (heat pipe)

También clasificados como sistemas de alta presión. En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido que no puede salir del interior del tubo y que funciona como fluido de trabajo. Este fluido se evapora por efecto de la radiación solar y asciende hasta el extremo superior del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo.

Los tubos de calor son considerados como los “superconductores” del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad (superior a la del mejor conductor sólido del mismo tamaño). El uso del tubo de calor está muy extendido en la industria y basándose en este principio de funcionamiento se fabrican los actuales colectores de vacío con tubo de calor.<sup>25</sup>



**Figura 15.- Funcionamiento de tubo de calor (heat pipe)**

Fuente: ENERWORK.

<sup>25</sup> Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico – Universidad Nacional Autónoma de México. 2014.

**Tabla 9. Ventajas y desventajas de un colector de tubos de calor (heat pipe).**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Soportan bajas temperaturas en el invierno sin necesidad de protección anticongelante.	Requieren mantenimiento periódico los sellos entre tubos y termotanque.
Operan a altas presiones (tanque elevado, red municipal, equipo hidroneumático, etc.	Frágiles en su manejo, transporte e instalación.
No requieren tubería para conectar los tubos evacuados al termotanque.	Menor resistencia al vandalismo.
Ligeros	Si el espesor del tubo exterior es menor a 1.5 mm no soportan fuertes granizadas.
Funcionamiento por termosifón.	

Fuente: Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico -  
Universidad Nacional Autónoma de México.

## 2.8 Agua caliente sanitaria

El agua caliente sanitaria es un elemento muy importante en nuestra sociedad ya que se ha convertido en un requisito indispensable para el confort de nuestro día a día.

Existen normas y reglamentos que se preocupan del abastecimiento de agua a una edificación como es el NIA (Normas Internacionales de Auditoria), pero solo de agua fría.

Esta norma se interpreta de manera que toda la instalación de agua caliente sanitaria se realiza simétricamente a la del agua fría, con las salvedades de los sistemas centralizados, y la necesidad de que las instalaciones tengan la menor pérdida de energía posible.

En la actualidad la norma IS 0.10 del Reglamento Nacional de Edificaciones es la que se encarga de regular las instalaciones de agua caliente sanitaria en el Perú. <sup>26</sup>

<sup>26</sup> Jiménez López, L. Instalaciones Hidrosanitarias. Barcelona: Grupo Editorial CEAC.

La instalación de agua caliente para usos sanitarios debe suministrar el caudal demandado por los usuarios sin oscilaciones apreciables de su temperatura.

### 2.8.1 Temperaturas de uso

Las temperaturas medias de uso de los distintos aparatos sanitarios empleados en edificios residenciales y comerciales están indicadas en la siguiente tabla.

**Tabla 10.- Temperaturas de uso de aparatos sanitarios.**

Aparato sanitario	Campo de temperatura (°C)	Valor medio (°C)
Lavado	37 a 40	38
Ducha	38 a 43	40
Ducha hidromasaje	36 a 40	38
Bañera	40 a 43	42
Bidé	37 a 39	38
Fregadero	50 a 60	55

Fuente: Jiménez López, L. (2003). Instalaciones Hidrosanitarias. Barcelona: Grupo Editorial CEAC.

### 2.8.2 Temperatura de preparación

El agua caliente para usos sanitarios se preparará a la temperatura mínima compatible con su uso, la temperatura debe estar limitada a valores relativamente bajos con fin de evitar riesgo de quemaduras en los usuarios.

En relación con la temperatura de preparación y almacenamiento del agua caliente sanitaria, en aquellos edificios que incorporen sistemas centralizados con acumulación que den servicios principalmente a duchas para el aseo personal y que tengan como destino el alojamiento colectivo de personas, tales Hoteles, hospitales, clínicas, residencias, viviendas, cuarteles, cárceles, vestuarios de complejos deportivos y cualquier otro edificio de uso similar, deberán tenerse en consideración las reglas y criterios de proyecto contenidas en los apartados

correspondientes de la norma UNE 100030 “Prevención de la Legionela en instalaciones de edificios”.<sup>27</sup>

La temperatura mínima de preparación debe ser de 45°C para que el agua llegue a una temperatura aprovechable. La caída de temperatura del agua en la red depende de su extensión y del nivel de aislamiento térmico y, normalmente, debería estar comprendida entre 20 y 30°C.

Se consideran adecuadas las siguientes temperaturas del agua:

- ✓ De la red pública en la entrada del sistema de agua caliente: 10°C.
- ✓ De utilización en los puntos de consumo: 45°C.
- ✓ De preparación en los distintos sistemas: 50°C.

## 2.9 Temperatura de agua – Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa.

### 2.9.1 Temperatura promedio de agua

La temperatura de red de agua es importante para el cálculo de la cantidad de calor requerido para el Hotel, los valores promedios de la temperatura del agua fueron obtenidos de la planta Tomilla I - Cayma del año 2016.

**Tabla 11. Promedio de entrada y salida de agua, planta TOMILLA – CAYMA.**

Mes	Temperatura (°C)
Enero	16.93
Febrero	16.59
Marzo	16.36
Abril	14.69
Mayo	12.21
Junio	9.96
Julio	10.57
Agosto	11.17
Setiembre	12.24
Octubre	13.86
Noviembre	14.70
Diciembre	15.34
<b>Promedio</b>	<b>13.72</b>

Fuente: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa 2016.

<sup>27</sup> Jiménez López, L. Instalaciones Hidrosanitarias. Barcelona: Grupo Editorial CEAC.

## 2.10 Inclinación de los colectores solares planos

La inclinación de los colectores solares planos está determinada por la NORMA TECNICA PERUANA – SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR, para saber la cantidad de energía que incide sobre un colector solar es necesario saber la radiación solar sobre una superficie inclinada, esta superficie inclinada debe tener un ángulo de inclinación sobre la horizontal igual a la latitud del lugar  $\pm 10^\circ$ .

## 2.11 Conexión de captadores

Los colectores solares pueden ser agrupados en una batería para su simplificación. Para acoplar los colectores podemos hacerlo de dos formas: en serie o en paralelo.

### 2.11.1 En paralelo

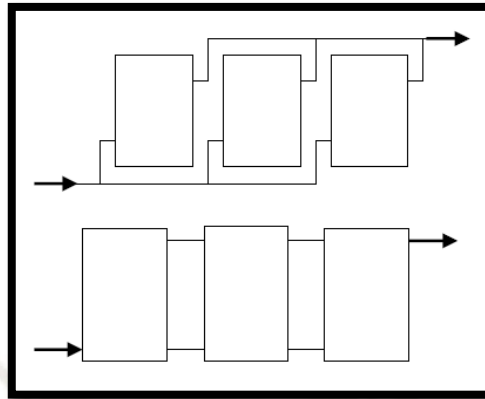
Por cada panel debe circular el caudal de diseño establecido por el fabricante para obtener el máximo rendimiento. Así, el acoplamiento en paralelo implicará que el caudal trasegado por toda la batería debe ser igual al número de colectores por el caudal unitario de diseño de cada colector. De este modo se consigue que todos los colectores trabajen proporcionando el mismo salto térmico, que sea idéntico al de la batería al completo.<sup>28</sup>

La conexión en paralelo implica que circule el mismo caudal por cada colector, pero existe un problema ya que se van produciendo mayores pérdidas de carga según avanza el fluido por los colectores de la batería, por lo que el caudal será menor en los últimos colectores que en los primeros, pudiendo producirse un desequilibrio notorio.

---

<sup>28</sup> Dimensionado de una instalación solar para agua caliente en Cáceres – Universidad Carlos III de Madrid.

Existen dos maneras de conectar los colectores de una batería: en paralelo exterior y en paralelo interior, como se puede ver en las siguientes figuras:



**Figura 16.- Disposición de colectores en paralelo exterior e interior.**

Fuente: Dimensionado de una instalación solar para agua caliente en Cáceres – Universidad Carlos III de Madrid.

## 2.12 Bomba de recirculación

La función de la bomba de recirculación es garantizar que el agua caliente siempre se encuentre disponible y tan cerca del punto de consumo como sea posible, con el fin de reducir el desperdicio de agua y de aumentar el confort.



**Figura 17.- Bomba de recirculación.**

Fuente: WILO.

## 2.13 Tecnologías para calentamiento de agua.

### Calentadores de agua convencionales

Un calentador de agua es un dispositivo por medio del cual se suministra agua caliente a servicios sanitarios que requieren temperaturas de hasta 70 °C. En uso residencial, los servicios más comunes para los cuales se requiere agua caliente son: ducha de personas, lavado de manos, lavado de trastes de cocina, lavado de ropa, etc. Para lograr tal fin, los calentadores de agua comúnmente utilizan combustibles fósiles, principalmente el gas licuado de petróleo (GLP) o gas natural (GN).

#### 2.13.1 Calentadores de depósito

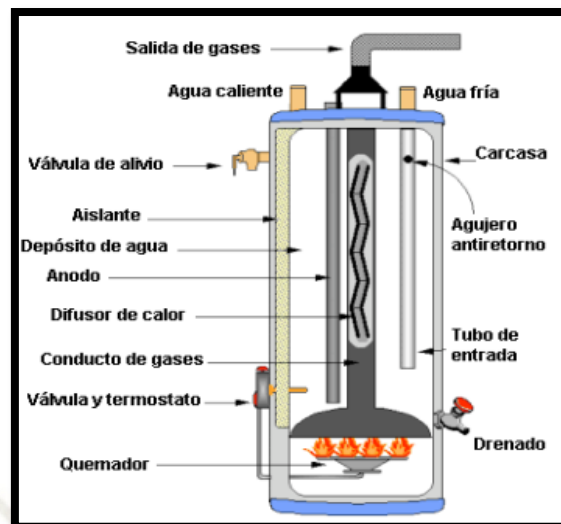
Los calentadores de agua de depósito poseen un tanque donde se acumula el agua que se va a calentar. El suministro de energía se logra por la parte inferior del tanque, en el cual está situado el quemador. Si el calentador es automático el quemador se acciona por medio de un piloto gobernado por un termostato, que al ser manipulado en forma manual se puede fijar la temperatura de operación, misma que depende de la estación del año y del número de personas que habitan la vivienda.<sup>29</sup>

Los gases de combustión que se generan suben por medio de un tubo hueco que está situado a lo largo del calentador para de esta forma, transferir el calor a las paredes y por consiguiente al agua almacenada dentro del recipiente.

---

<sup>29</sup> Propuesta metodológica para el análisis técnico y económico del uso de calentadores solares de agua

Universidad Nacional Autónoma de México.



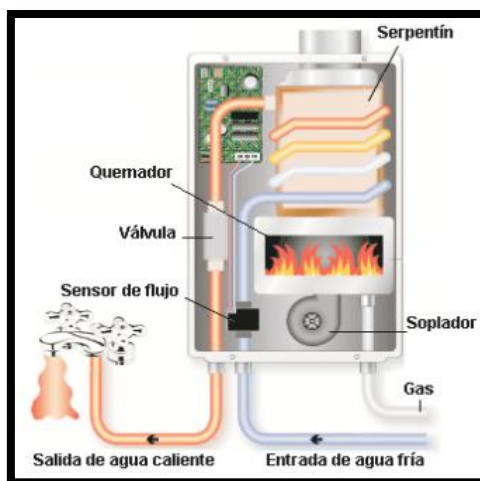
**Figura 18.- Esquema del calentador de agua de depósito.**

Fuente. Propuesta metodológica para el análisis técnico y económico del uso de calentadores solares de agua.

### 2.13.2 Calentador instantáneo

Como su nombre lo indica, este calentador de gas calienta el agua al momento que ésta circula a través de un intercambiador de calor, por lo que no se requiere un depósito de agua. Al abrir cualquier llave de agua caliente, se efectúa una circulación de agua que provoca una caída de presión y que se registra por medio de un sensor activando el funcionamiento del quemador, suministrando así calor al agua de circulación. Algunos modelos están equipados con un control electrónico para la temperatura de salida, donde dicho control realiza un registro entre el flujo de agua y la temperatura de entrada, por lo que regula la cantidad de calor que se suministra al agua al calentarse.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Propuesta metodológica para el análisis técnico y económico del uso de calentadores solares de agua - Universidad Nacional Autónoma de México.



**Figura 19.- Calentador instantáneo.**

Fuente. Propuesta metodológica para el análisis técnico y económico del uso de calentadores solares de agua.

## 2.14 Método de hunter

Para el cálculo del diámetro de las tuberías se usará el método de Hunter, método estipulado en la norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se trata de la primera aplicación de la teoría de la probabilidad, en la determinación de los caudales probables en sistemas hidráulicos y sanitarios y aunque, desde entonces se han producido importantes cambios en el diseño de los aparatos sanitarios utilizados y en las griferías que los alimentan, orientados a reducir drásticamente los consumos de agua.

Para evaluar la máxima demanda probable de agua en un edificio debe tenerse en cuenta el tipo de servicio que van a prestar los aparatos: público o privado.<sup>31</sup>

- Aparatos de uso privado: cuando los baños son de uso privado existen menores posibilidades de uso simultáneo, para estimar sus unidades de gasto (UG) se puede recurrir a los valores mostrados en tablas del Reglamento Nacional de Construcción.

<sup>31</sup> Reglamento Nacional de Edificaciones. Gastos Probables para la aplicación del Método Hunter.

- Aparatos de uso público: cuando se encuentran ubicados en edificios de servicio público, es decir que varios aparatos pueden ser utilizados por diferentes personas simultáneamente, las unidades de gasto deben ser las indicadas al respecto en las tablas del Reglamento Nacional de Construcción.

**Tabla 12. Gastos probables para aplicación del Método de Hunter.**

N° de unidades	GASTO PROBABLE		N° de unidades	GASTO PROBABLE		N° de unidades	GASTO PROBABLE
	TANQUE	VÁLVULA		TANQUE	VÁLVULA		
3	0,12	-	120	1,83	2,72	1100	8,27
4	0,16	-	130	1,91	2,80	1200	8,70
5	0,23	0,91	140	1,98	2,85	1300	9,15
6	0,25	0,94	150	2,06	2,95	1400	9,56
7	0,28	0,97	160	2,14	3,04	1500	9,90
8	0,29	1,00	170	2,22	3,12	1600	10,42
9	0,32	1,03	180	2,29	3,20	1700	10,85
10	0,43	1,06	190	2,37	3,25	1800	11,25
12	0,38	1,12	200	2,45	3,36	1900	11,71
14	0,42	1,17	210	2,53	3,44	2000	12,14
16	0,46	1,22	220	2,60	3,51	2100	12,57
18	0,50	1,27	230	2,65	3,58	2200	13,00
20	0,54	1,33	240	2,75	3,65	2300	13,42
22	0,58	1,37	250	2,84	3,71	2400	13,86
24	0,61	1,42	260	2,91	3,79	2500	14,29
26	0,67	1,45	270	2,99	3,87	2600	14,71
28	0,71	1,51	280	3,07	3,94	2700	15,12
30	0,75	1,55	290	3,15	4,04	2800	15,53
32	0,79	1,59	300	3,32	4,12	2900	15,97
34	0,82	1,63	320	3,37	4,24	3000	16,20
36	0,85	1,67	340	3,52	4,35	3100	16,51
38	0,88	1,70	380	3,67	4,46	3200	17,23
40	0,91	1,74	390	3,83	4,60	3300	17,85
42	0,95	1,78	400	3,97	4,72	3400	18,07
44	1,00	1,82	420	4,12	4,84	3500	18,40
46	1,03	1,84	440	4,27	4,96	3600	18,91
48	1,09	1,92	460	4,42	5,08	3700	19,23
50	1,13	1,97	480	4,57	5,20	3800	19,75
55	1,19	2,04	500	4,71	5,31	3900	20,17
60	1,25	2,11	550	5,02	5,57	4000	20,50
65	1,31	2,17	600	5,34	5,83		
70	1,36	2,23	650	5,85	6,09		
75	1,41	2,29	700	5,95	6,35		
80	1,45	2,35	750	6,20	6,61		
85	1,50	2,40	800	6,60	6,84		
90	1,56	2,45	850	6,91	7,11		
95	1,62	2,50	900	7,22	7,36		
100	1,67	2,55	950	7,53	7,61		
110	1,75	2,60	1000	7,84	7,85		

PARA EL NÚMERO DE UNIDADES DE ESTA COLUMNA ES INDIFERENTE QUE LOS APARATOS SEAN DE TANQUE O DE VÁLVULA

NOTA: Los gastos están dados en L/s y corresponden a un ajuste de la tabla original del Método de Hunter.

Fuente. Reglamento Nacional de Edificaciones. Gastos Probables para la aplicación del Método Hunter.

## 2.15 Tubería

Las tuberías son conductos cuya función es transportar o direccionar agua. Tubería saladillo hidro 3 es un sistema sintético inalterable, especialmente desarrollados para conducir agua y otros fluidos, a temperaturas y presiones elevados, sin corrosión, sin incrustaciones y en condiciones de máxima seguridad, higiene, economía y prolongada vida útil.

### 2.15.1 Características del sistema hidro 3 termofusión

#### 2.15.1.1 Máxima resistencia a la presión y temperatura

El proceso de fabricación por coextrusión y el empleo de materias primas de probada confiabilidad, maximizan la capacidad del sistema para conducir agua y otros fluidos de manera ininterrumpida y por más de 50 años.

**Tabla 13. Presiones y temperaturas para tuberías Hidro 3 verde.**

Ø Nominal	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Temperatura	Presión de servicio admisible para tubos Hidro 3 unidos por fusión (bar)									
20°	23.7	21.2	21.3	19.5	18.8	17.8	16.8	16.4	15.6	15.3
40°	19.0	17.0	17.0	15.6	15.0	14.2	13.4	13.1	12.5	12.2
60°	14.0	12.5	12.5	11.5	11	10.5	9.9	9.6	9.2	9.00
80°	6.1	5.4	5.4	5.0	4.8	4.5	4.3	4.2	4	3.90

Fuente. SALADILLO HIDRO 3.

#### 2.15.1.2 Mayor resistencia al impacto

El proceso de fabricación por coextrusión (capas) y las materias primas utilizadas en la fabricación de los tubos Hidro 3 verde determina que su resistencia al impacto a baja temperatura sea superior a la de los tubos milimétricos PN20.

### **2.15.1.3 No propicia las incrustaciones de sarro**

El perfecto acabado de las superficies internas de los tubos y conexiones y las propiedades no adherentes de la materia prima utilizada para su fabricación no favorecen la incrustación de sarro. Esta característica, sumada a su mayor diámetro interno, garantiza valores máximos y constantes de caudal y presión, durante toda su prolongada vida útil.

### **2.15.1.4 Alta resistencia a la corrosión**

Los tubos y conexiones del sistema, resisten la corrosión galvánica, química, bacteriana y atmosférica, soportando la conducción de agua y otros fluidos con un valor de pH entre 1 y 14. Este rango, comprende a la mayoría de las sustancias ácidas y alcalinas dentro de un espectro amplio de temperaturas y concentraciones.

### **2.15.1.5 Inalterabilidad del agua transportada**

El sistema H3 es absolutamente atóxico e inerte. Por lo tanto, garantiza un insuperable nivel de asepsia y potabilidad. H3, no modifica las características organolépticas del agua transportada, manteniendo inalterable, su color, olor y sabor.

## **2.15.2 Tubería para agua caliente Hidro 3 verde**

Está diseñada para la circulación de agua caliente eficientemente presentando tres capas.

### **2.15.2.1 Capa externa marrón: Alta resistencia al medio externo**

- Resiste la exposición solar, altas y bajas temperaturas atmosféricas y los malos tratos de obra.
- En contacto con la cal, el cemento y otras sustancias corrosivas, no se corroe ni envejece.

#### 2.15.2.2 Capa central blanca: Alta resistencia mecánica.

- Soporta presiones de agua superiores a los 100 kg/cm<sup>2</sup>.
- Resiste el roscado, las fibrillas de vidrio presentes en su formulación exclusiva, brindan filetes de rosca de alta tenacidad que garantizan un excelente acople y sellado.
- El bajo índice de fluencia y elevado punto de ablandamiento del Polipropileno Homopolimero isotáctico asegura la perfecta fusión molecular.

#### 2.15.2.3 Capa interna verde: Alta conductividad de fluido

- Es inerte y atóxica, no afecta el color, olor o sabor del agua transportada.
- Resistente a la corrosión indefinidamente.
- Soporta el agua hirviendo y puede conducir ácidos y álcalis.

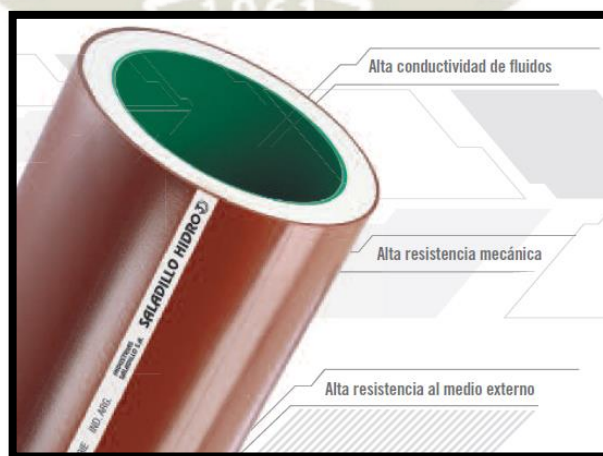


Figura 20.- Tubería para agua caliente Hidro 3 verde.

Fuente. SALADILLO HIDRO 3.

## CAPITULO III: EVALUACION Y COMPARACION DE UN CALENTADOR DE TUBOS DE CALOR (HEAT PIPE) Y UN CALENTADOR SOLAR PLANO ANALIZADO EN AREQUIPA

### 3.1 Introducción

En Arequipa la energía solar es una fuente de energía abundante, pudiendo ser colectada y transformada en energía térmica.

Esta evaluación y comparación que se realizara entre un colector solar plano y el un colector de calor (heat pipe), es para dar a conocer sobre su rendimiento térmico de cada sistema. En marco de una investigación para sustentación de tesis en el área de energía solar, fue diseñado y construida un banco de pruebas que nos mostrara los resultados de dicha evaluación.

### 3.2 Objetivo

- Determinar la temperatura máxima alcanzada por cada sistema.
- Definir el tiempo de calentamiento de cada sistema.
- Determinar la energía solar recibida en las pruebas.

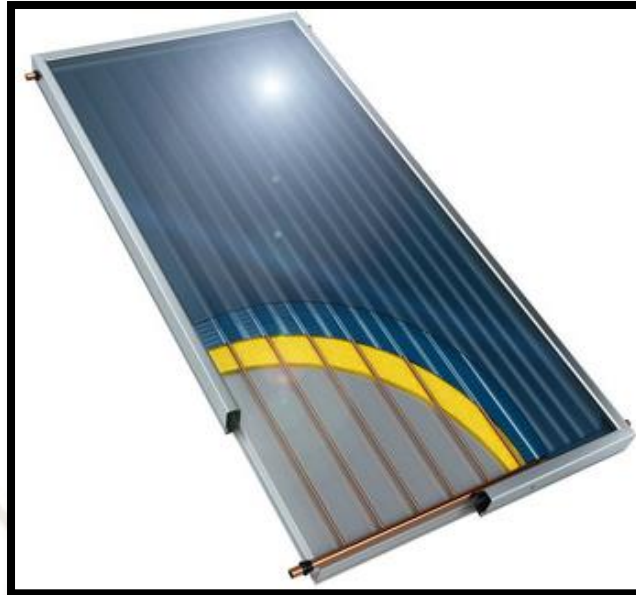
### 3.2.1 Objetivos específicos

- Instalación correcta de los dos calentadores solares.
- Calibración e instalación de instrumentos de medida en los calentadores.
- Registro de datos de temperatura, radiación solar.
- Comparación de gráficas.

### 3.2.2 Tipos de colectores analizados

#### 3.2.2.1 Colector plano

Colectores planos están compuestos por cuatro elementos principalmente: la cubierta transparente, placa captadora, aislante térmico y carcasa. La cubierta transparente es donde se produce efecto invernadero, debido a que una parte que atraviesa la cubierta llega a la placa captadora y es reflejada hacia la cubierta transparente, en donde se consigue retener la radiación en el interior. En cuanto a la placa captadora su objetivo es absorber eficientemente la radiación solar y transformarla en energía térmica utilizable mediante su transferencia al fluido de trabajo. El aislante térmico está protegiendo en la parte posterior y lateral para evitar las pérdidas de calor hacia el exterior, por último, la carcasa es aquella que protege y soporta los elementos que constituyen el colector solar.

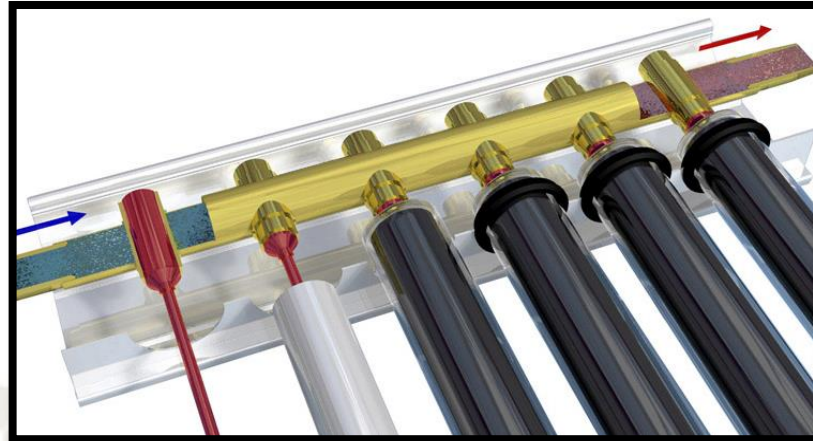


**Figura 21.- Colector Plano.**

Fuente: Alibaba.com

### 3.2.2.2 Colector de tubos de calor (heat pipe)

También clasificado como sistema de alta presión. En este sistema los tubos de vacío llevan un fluido que no puede salir del interior del tubo y que funciona como fluido de trabajo, dicho fluido se evapora por efecto de la radiación solar y asciende hasta el extremo del tubo que se encuentra a temperatura inferior, esto hace que el vapor se condense, ceda su energía y retorne a su estado líquido cayendo por acción de la gravedad a la parte inferior del tubo, donde al recibir más radiación, vuelve a evaporarse y comienza un nuevo ciclo. Los tubos de calor son considerados como los “superconductores” del calor, debido a su muy baja capacidad calorífica y a su excepcional conductividad.



**Figura 22.- Tubos de vacío heat pipe.**

Fuente: ENERGY SLT.

### 3.3 Metodología y descripción del monitorio

#### 3.3.1 Descripción del banco de pruebas

El banco de pruebas está constituido de la siguiente manera:

- Dos tanques de calentamiento de agua de 90L, que cuenta con tres ductos.
- Un colector de placa plana.
- Un colector de tubos de calor (heat pipe).
- Estructura metálica para los tanques de calentamiento.
- Tubería de agua caliente de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ".
- Universales y codos de  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ".
- Dos estructuras para los Piranómetros.

### 3.3.2 Sensores y ordenador

- Dos piranómetros (FISICA – UNSA), para medir la radiación global incidente en el plano de los colectores con una precisión de  $\pm 0.5$  W/m<sup>2</sup>.
- Seis sensores “MICROSOL” para medir temperatura en los tanques de calentamiento, en unidades relativas °C.
- Cuatro sensores “HOBO” para medir temperatura de entrada y salida de los colectores, en unidades relativas °C.
- Dos controladores diferenciales de temperatura “MICROSOL”, con muestreo en tiempo real de temperatura en °C.
- Un bloque de conexión para comunicación serial.
- Un interfaz serial RS-485 Full Gauge, dispositivo utilizado para establecer la conexión de los instrumentos.
- Un ordenador “GATEWAY” para el control de los instrumentos “MICROSOL”, para el control de temperatura de los tanques.
- Software “SITRAD” para el registro de medidas de temperatura.
- Dos contadores de agua para la medición del flujo de agua de los colectores l/s.



**Figura 23.- Fotografía del banco de pruebas I.**

Fuente: Propia.

### 3.3.3 Descripción de las termas solares

**Tabla 14. Especificaciones técnicas del colector solar plano.**

<b>DATOS DEL COLECTOR SOLAR PLANO</b>	
Área del panel colector (m <sup>2</sup> )	1.07
Largo del colector (m)	1.37
Ancho del colector (m)	0.78
Material de la lámina del colector	Aluminio
Espesor de la placa colector (mm)	0.6
Tipo de doblado de lamina	Omega
Material de conductor del colector	Cobre
Diámetro de conductos de colector	3/8"
Cantidad de conductos del colector	8
Distancia entre conductos (mm)	101
Tipo de aislante del colector	Poliuretano
Espesor de aislante del colector (mm)	20
Espesor cubierta transparente (mm)	3

Fuente: Instalaciones & Proyectos Hidráulicos

**Tabla 15. Especificaciones técnicas del colector heat pipe.**

<b>DATOS DE TUBOS DE CALOR (HEAT PIPE)</b>	
Diámetro del tubo (mm)	58
Longitud del tubo (mm)	1800
Cantidad de tubos	10
Colector (interior)	Cobre rojo
Colector (exterior)	Aleación aluminio
Conservación aproximada de calor (hrs)	72
Resistencia de granizo (mm)	25
Presión máxima (bar)	6
Tubo de calor Anticongelante	$\geq -35^{\circ}\text{C}$

Fuente: LIDERS.

**Tabla 16. Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento.**

<b>DATOS DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>	
Volumen del tanque interior (L)	90
Diámetro exterior (m)	0.48
Longitud exterior (m)	0.84
Material del tanque	AISI 304L-2B
Material de aislamiento	Poliuretano Rígido – PUR
Material protector exterior	Acero inoxidable
Soporte	Acero estructural

Fuente: Instalaciones & Proyectos Hidráulicos

### 3.3.4 Procedimiento

Para determinar las curvas de los sistemas y el comportamiento de calentamiento de los tanques de almacenamiento se ha realizado varias evaluaciones que se detallaran a continuación.

- Se ha realizado cinco pruebas en días distintos del mes de agosto, setiembre y noviembre del 2018, cada día aproximadamente desde 5:30 am hasta las 6: 00 pm.
- Manteniendo todos los sensores conectados, seis sensores controlan la temperatura en los tanques de almacenamiento, estos sensores están siendo controlados por dos instrumentos “MICROSOL” que a su vez están conectados por un bloque de conexión serial y un interfaz serial RS-485 Full Gauge, que conectado a un ordenador y el software “SITRAD” nos registra los datos.
- El colector de placa plana tiene una inclinación de  $26^\circ$  en dirección al norte según las recomendaciones de la latitud del lugar.
- Para el colector de tubos de calor (heat pipe) su inclinación es de  $26^\circ$  ya definida por el fabricante.
- Los piranómetros están colocados según la inclinación de los colectores para medir la radiación global incidente.
- Se inyecta agua a los tanques de almacenamiento en su totalidad y unos minutos antes del inicio de la prueba.



**Figura 24.- Fotografía del banco de pruebas II.**

Fuente: Propia.

### **3.4 Comportamiento grafico de los sistemas**

Evaluando los dos sistemas obtenemos datos experimentales que se obtuvieron en 5 días de medición, todas estas evaluaciones se realizaron en horas de mayor y menor intensidad de radiación solar.

Se registraron los parámetros de flujo del fluido caloportador, temperaturas en tres puntos del tanque, radiación solar, estos parámetros nos permiten analizar el sistema termosifón de cada sistema, la convección del fluido a distintas horas del día, la temperatura más alta de los sistemas, la intensidad de radiación solar más alta para cada sistema y eficiencia térmica de las termas.

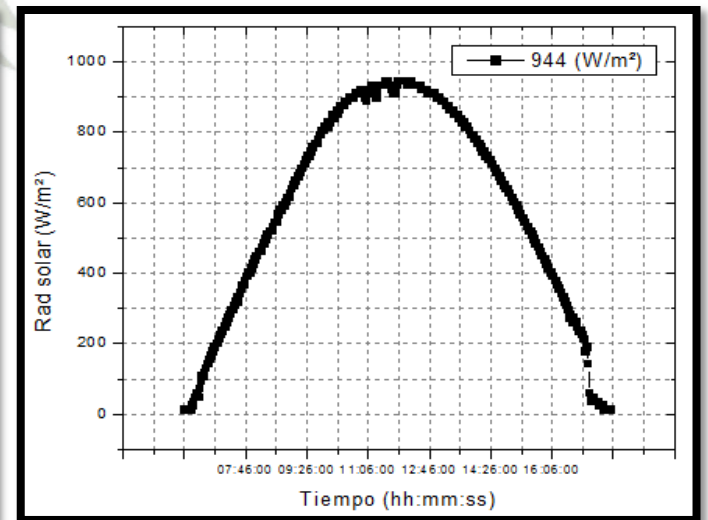
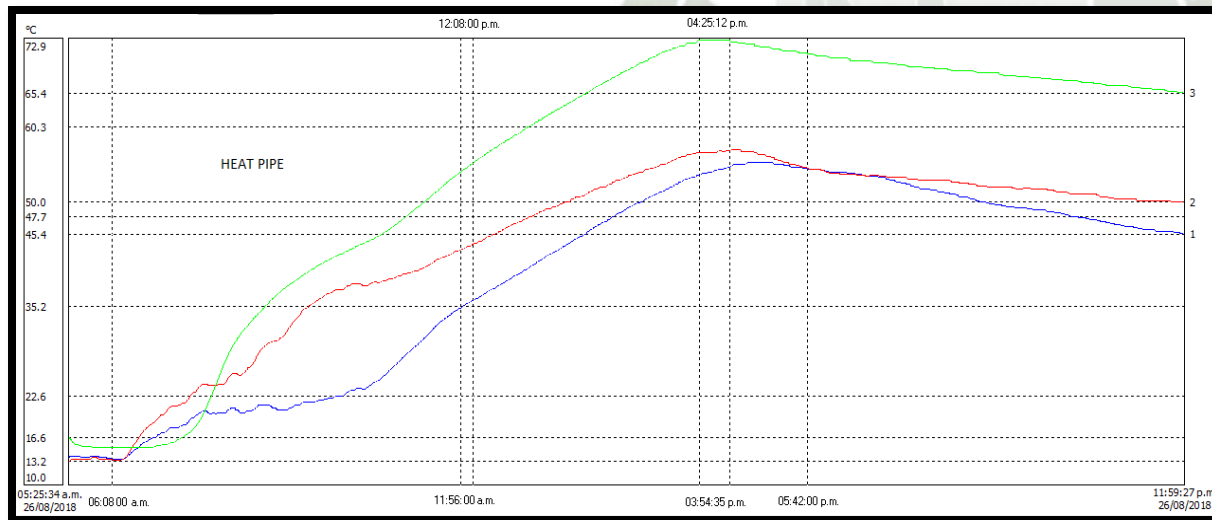
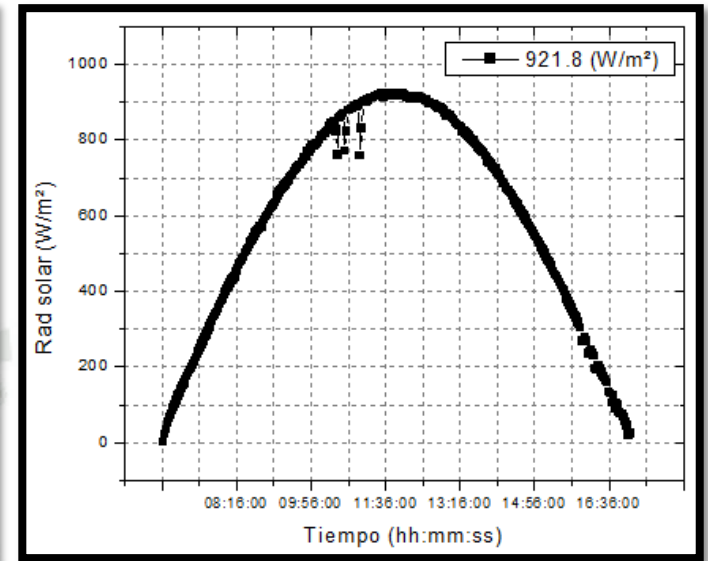
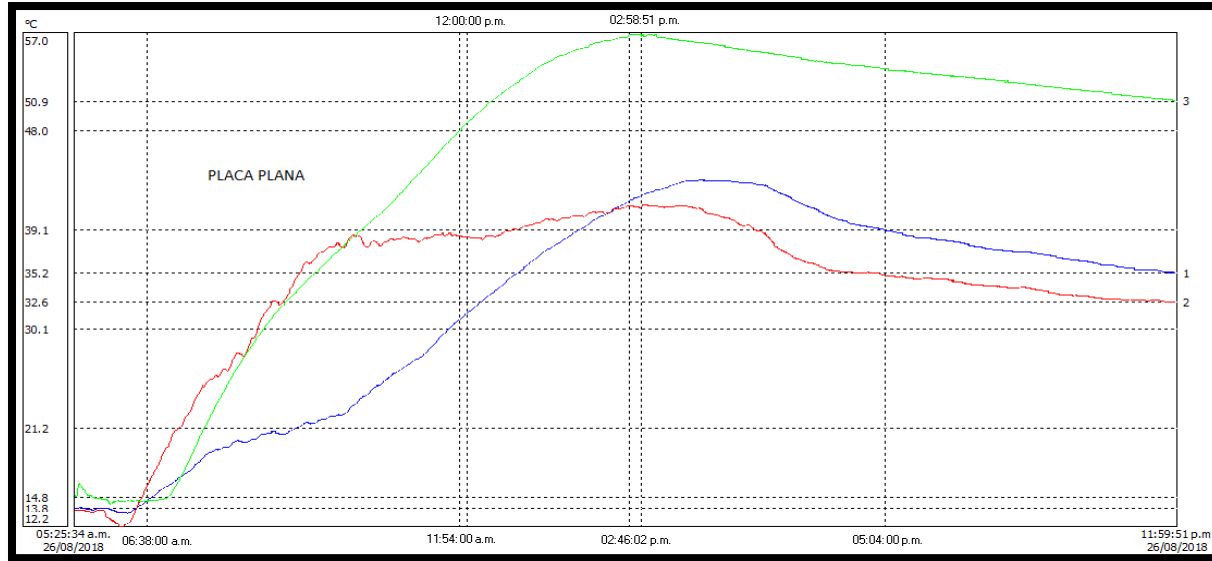
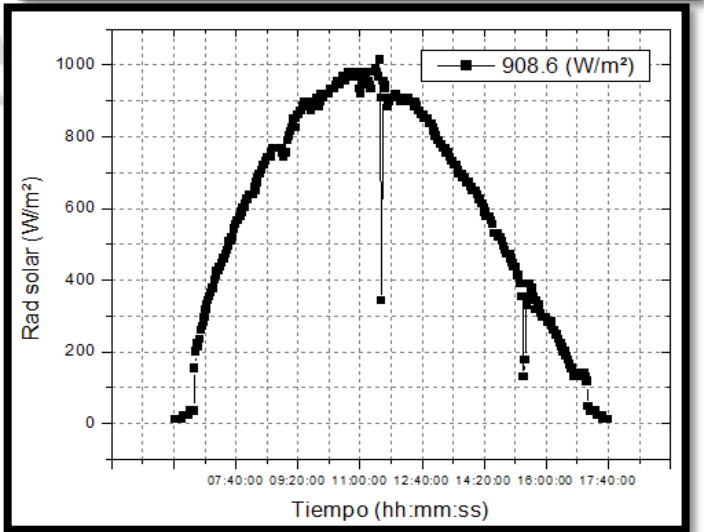
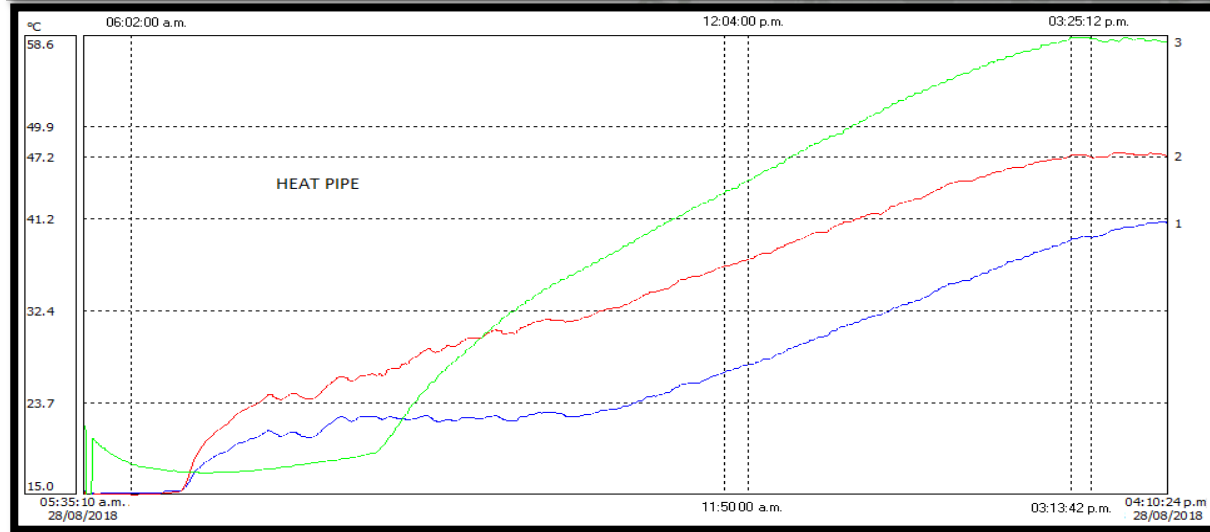
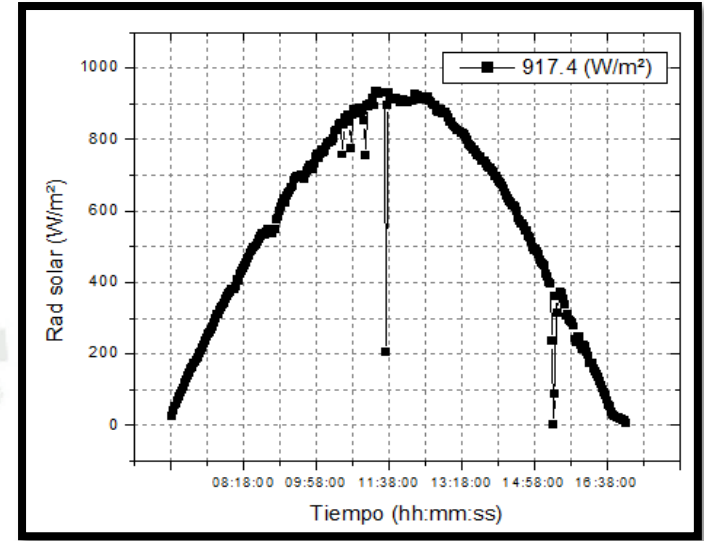
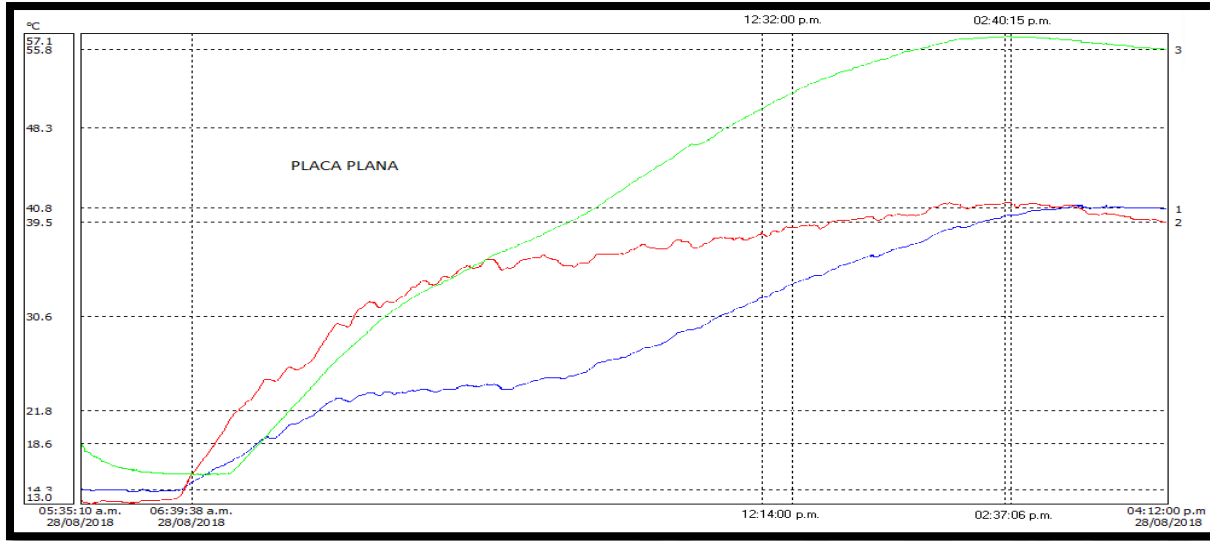


Figura 25.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 26/08/2018.



**Figura 26.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 28/08/2018.**

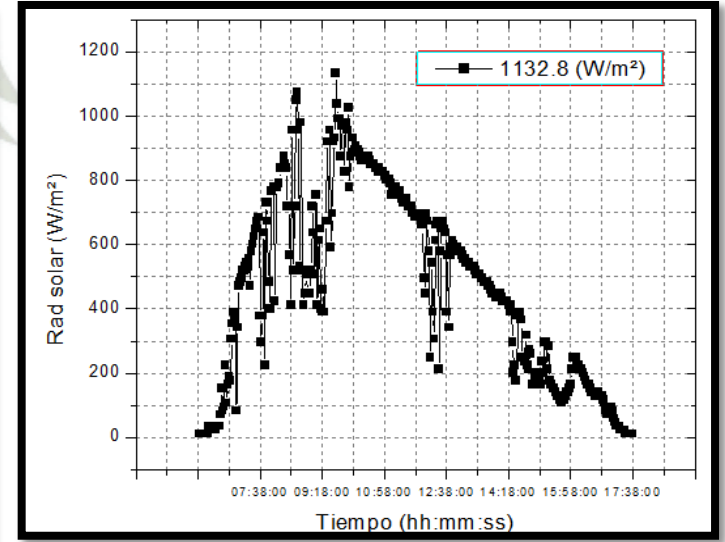
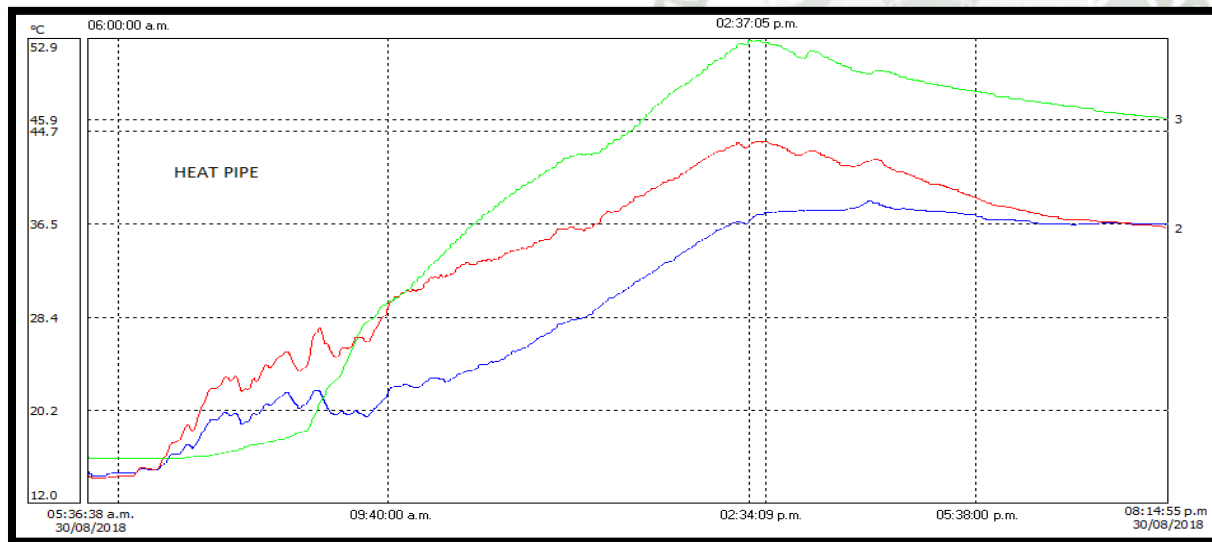
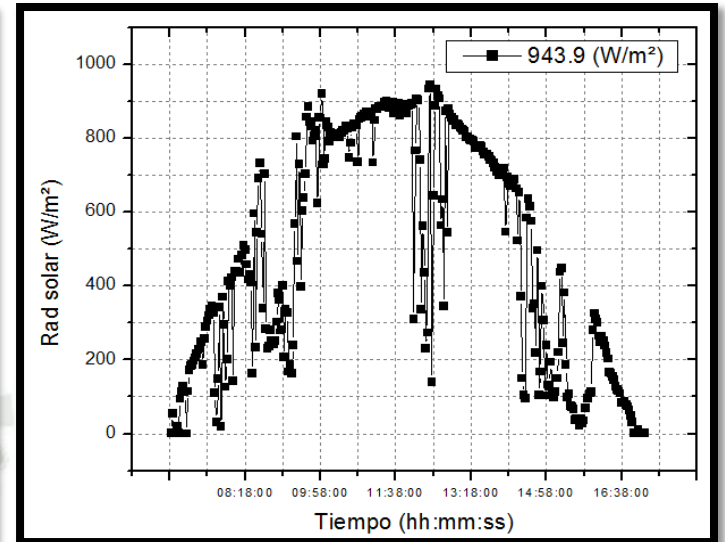
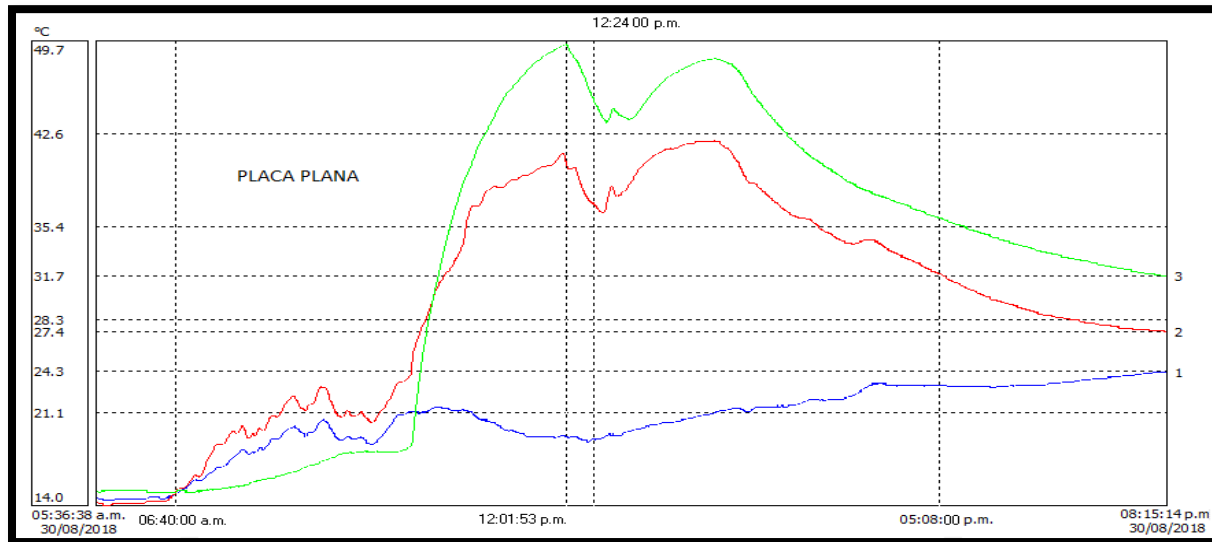


Figura 27.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 30/08/2018.

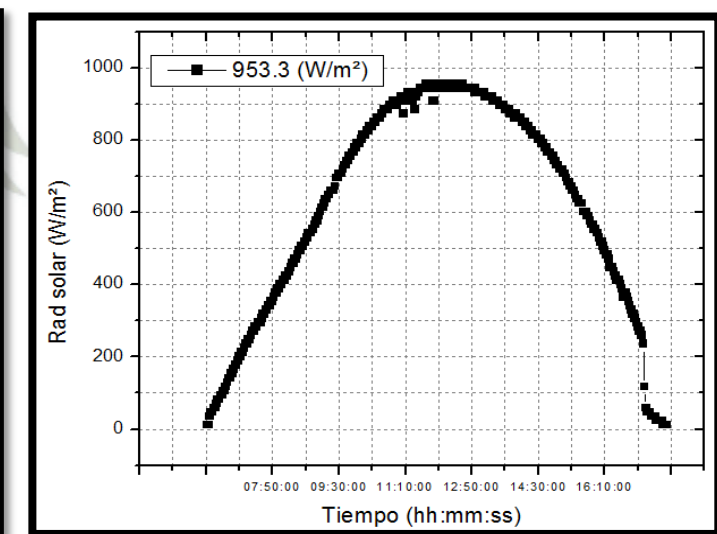
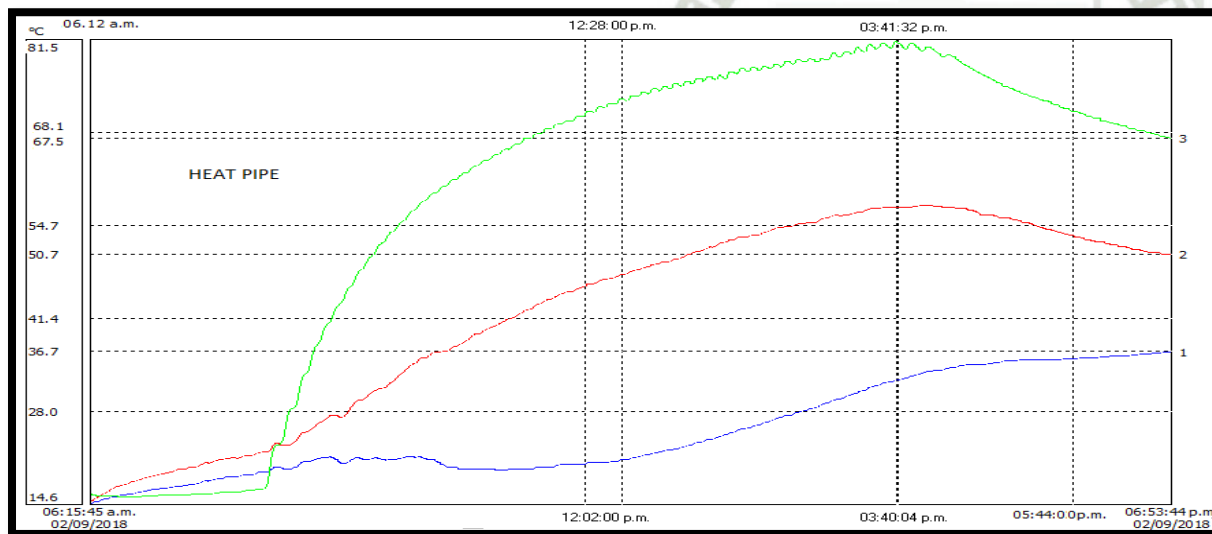
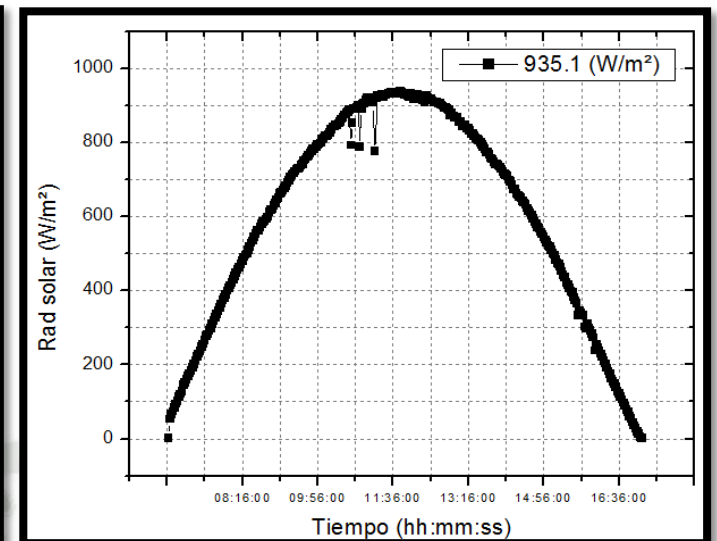
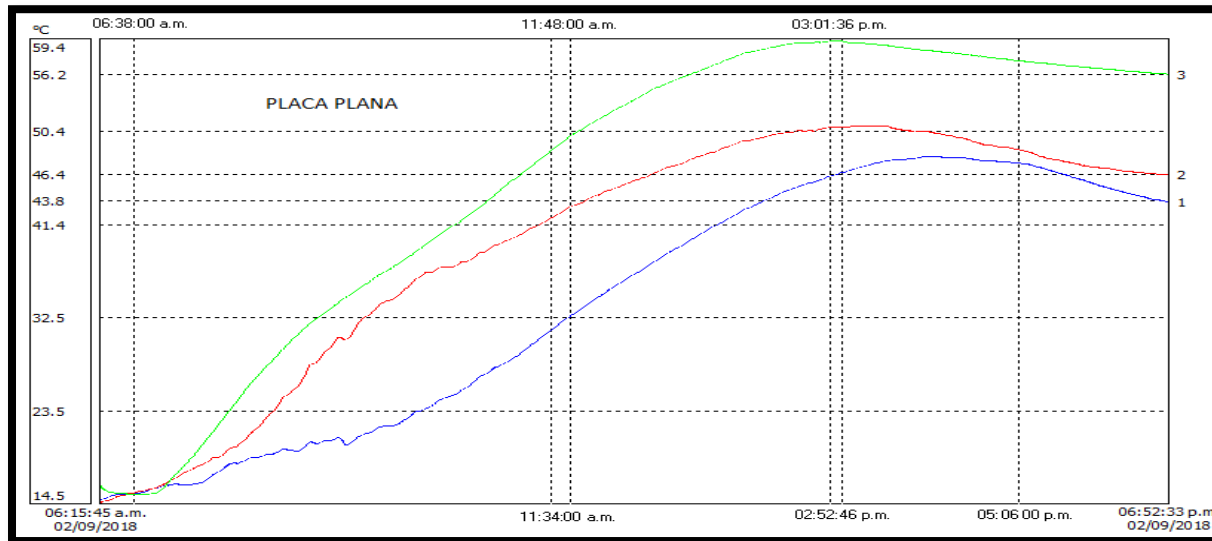


Figura 28.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 02/09/2018.

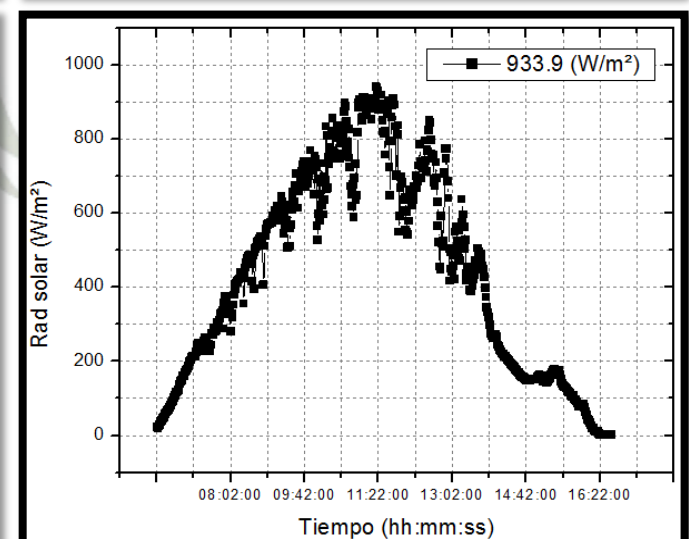
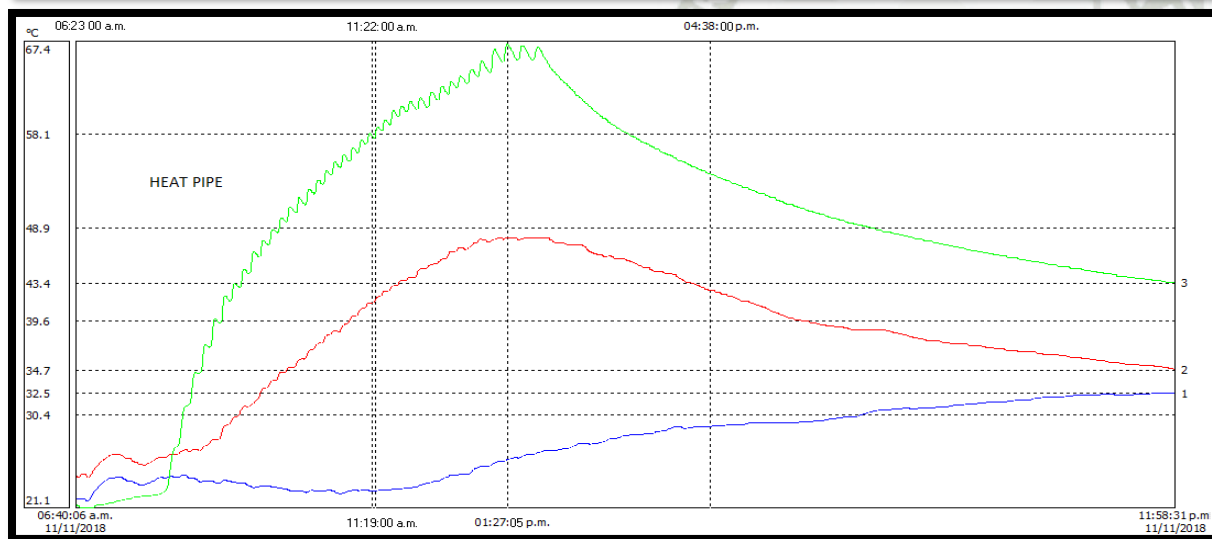
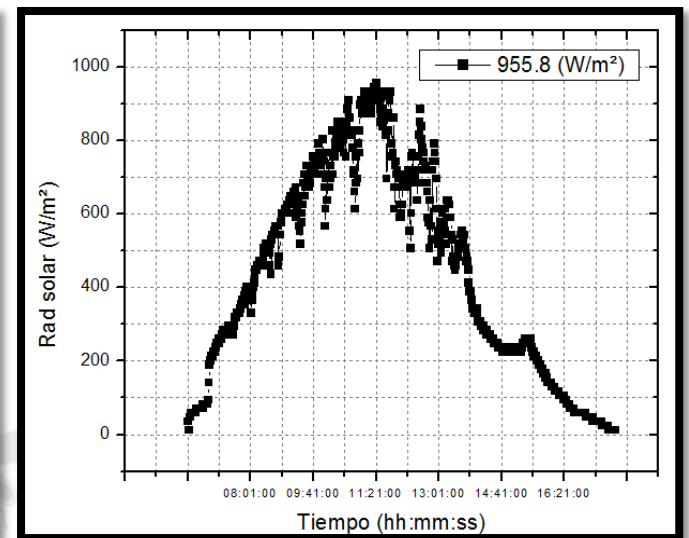
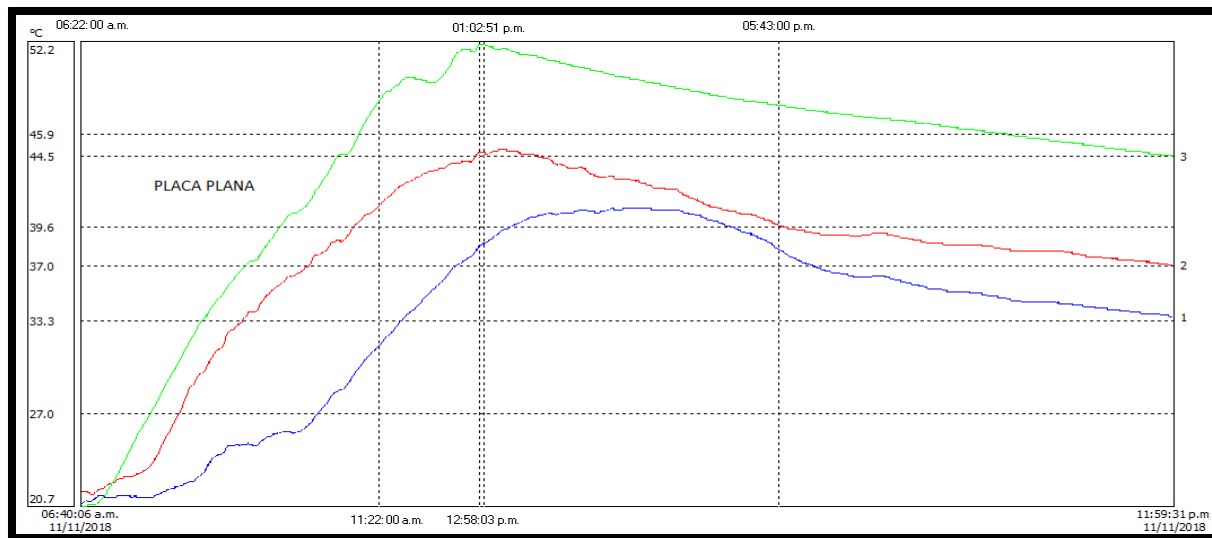


Figura 29.- Comportamiento de las temperaturas del tanque, radiación solar de los colectores de placa plana y heat pipe del día 11/11/2018.

### 3.4.1 Eficiencia térmica de la terma solar

Para hallar la eficiencia térmica de las dos termas se debe evaluar su rendimiento energético global.

La eficiencia energética ( $\eta_E$ ) se define como la relación entre la energía térmica útil ganada por la terma y la energía solar disponible ese día (Valera Anibal, 2007).

$$\eta_E = \frac{\text{Energía térmica útil } (E_T)}{\text{Energía solar recibida } (E_S)} \quad (3.1)$$

Para realizar esta prueba se instalaron tres termistores NTC, en el interior del tanque de almacenamiento de agua de la terma (parte inferior, parte media y parte superior).

Se monitorearon las temperaturas del interior del tanque y radiación solar en distintos días y los resultados se muestran a continuación.

#### 3.4.1.1 Primera prueba 26/08/18

##### **Eficiencia térmica del acumulador solar con colector de placa plana**

En la figura 25 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:38 am con una temperatura promedio de 14.03 °C el cual se prolonga hasta las 14:46 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 46.73 °C, por tanto, tenemos un incremento en la temperatura de 32.7 °C que ocurre en un lapso de 8:08 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg°C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 32.7^\circ\text{C} \quad (3.3)$$

$$E_T = 3.42 \text{ kW.h} \quad (3.4)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:38 y las 14:46 horas fue 5.44 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.07 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.5)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 5.44 \frac{\text{kW.h}}{\text{m}^2} \cdot 1.07 \text{m}^2 \quad (3.6)$$

$$E_S = 5.83 \text{ kW.h} \quad (3.7)$$

Por tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.8)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{3.42 \text{ kW.h}}{5.83 \text{ kW.h}} \quad (3.9)$$

$$\eta_E = 0.59 \quad (3.10)$$

$$\eta_E = 59\% \quad (3.11)$$

### **Eficiencia térmica del acumulador solar con colector heat pipe**

En la figura 25 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:08 am con una temperatura promedio de 14.4 °C el cual se prolonga hasta las 15:54 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 61.3 °C, por tanto, tenemos un incremento en la temperatura de 46.8 °C que ocurre en un lapso de 09:46 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.12)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 46.8^\circ\text{C} \quad (3.13)$$

$$E_T = 4.9 \text{ kW.h} \quad (3.14)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:08 y las 15:54 horas fue 6.39 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.04 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.15)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 6.39 \frac{\text{kW.h}}{\text{m}^2} \cdot 1.04 \text{ m}^2 \quad (3.16)$$

$$E_S = 6.64 \text{ kW.h} \quad (3.17)$$

Por tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.18)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{4.90 \text{ kW.h}}{6.64 \text{ kW.h}} \quad (3.19)$$

$$\eta_E = 0.74 \quad (3.20)$$

$$\eta_E = 74 \% \quad (3.21)$$

#### 3.4.1.2 Segunda prueba 28/08/18

##### **Eficiencia térmica del acumulador solar con colector de placa plana**

En la figura 26 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:40 am con una temperatura promedio de 15.3 °C el cual se prolonga hasta las 14:36 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 46.2 °C, por tanto, tenemos un incremento en la temperatura de 30.9 °C que ocurre en un lapso de 7:56 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.22)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 30.9^\circ\text{C} \quad (3.23)$$

$$E_T = 3.23 \text{ kW.h} \quad (3.24)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:40 y las 14:36 horas fue 5.19 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.07 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.25)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 5.19 \frac{\text{kW.h}}{\text{m}^2} \cdot 1.07 \text{m}^2 \quad (3.26)$$

$$E_S = 5.56 \text{ kW.h} \quad (3.27)$$

Por tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.28)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{3.23 \text{ kW.h}}{5.56 \text{ kW.h}} \quad (3.29)$$

$$\eta_E = 0.58 \quad (3.30)$$

$$\eta_E = 58 \% \quad (3.31)$$

### **Eficiencia térmica del acumulador solar con colector heat pipe**

En la figura 26 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:02 am con una temperatura promedio de 15.3 °C el cual se prolonga hasta las 15:14 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 48.4 °C, por tanto, tenemos un incremento en la temperatura de 33.04 °C que ocurre en un lapso de 9:12 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.32)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 33.04^\circ\text{C} \quad (3.33)$$

$$E_T = 3.45 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (3.34)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:02 y las 15:14 horas fue 6.11 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.04 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.35)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/ m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 6.11 \frac{kW \cdot h}{m^2} \cdot 1.04 m^2 \quad (3.36)$$

$$E_S = 6.36 kW \cdot h \quad (3.37)$$

Por lo tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.38)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{3.45 kW \cdot h}{6.36 kW \cdot h} \quad (3.39)$$

$$\eta_E = 0.54 \quad (3.40)$$

$$\eta_E = 54 \% \quad (3.41)$$

### 3.4.1.3 Tercera prueba 30/08/18

#### Eficiencia térmica del acumulador solar con colector de placa plana

En la figura 27 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:40 am con una temperatura promedio de 14.5 °C el cual se prolonga hasta las 12:02 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 36.5 °C, por tanto, tenemos un

incremento en la temperatura de 22 °C que ocurre en un lapso de 5.22 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.42)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 22 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.43)$$

$$E_T = 2.30 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (3.44)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:40 y las 12:02 horas fue 4.39 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.07 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.45)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 4.39 \frac{kW \cdot h}{m^2} \cdot 1.07 m^2 \quad (3.46)$$

$$E_S = 4.70 kW \cdot h \quad (3.47)$$

Por tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.48)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{2.30 kW \cdot h}{4.70 kW \cdot h} \quad (3.49)$$

$$\eta_E = 0.49 \quad (3.50)$$

$$\eta_E = 49 \% \quad (3.51)$$

### **Eficiencia térmica del acumulador solar con colector heat pipe**

En la figura 27 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:00 am con una temperatura promedio de 14.9°C el cual se prolonga hasta las 14:34 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 44.4 °C, por tanto, tenemos un

incremento en la temperatura de 29.47 °C que ocurre en un lapso de 8.34 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.52)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90kg \cdot 4182 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot 29.4^{\circ}C \quad (3.53)$$

$$E_T = 3.08 kW.h \quad (3.54)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:00 y las 14:34 horas fue 4.94 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.55)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 4.94 \frac{kW \cdot h}{m^2} \cdot 1.04 m^2 \quad (3.56)$$

$$E_S = 5.14 kW \cdot h \quad (3.57)$$

Por lo tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.58)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{3.08 kW \cdot h}{5.14 kW \cdot h} \quad (3.59)$$

$$\eta_E = 0.60 \quad (3.60)$$

$$\eta_E = 60 \% \quad (3.61)$$

#### 3.4.1.4 Cuarta prueba 02/09/18

##### Eficiencia térmica del acumulador solar con colector de placa plana

En la figura 28 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:38 am con una temperatura promedio de 15.2 °C el cual se prolonga hasta las 14:52 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 52.3 °C, por tanto, tenemos un

incremento en la temperatura de 37.10 °C que ocurre en un lapso de 8:14 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.62)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 37.1^\circ\text{C} \quad (3.63)$$

$$E_T = 3.88 \text{ kW.h} \quad (3.64)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:38 y las 14:52 horas fue 5.61 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.07 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.65)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/ m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 5.2336 \frac{kW \cdot h}{m^2} \cdot 1.07m^2 \quad (3.66)$$

$$E_S = 6.0 kW \cdot h \quad (3.67)$$

Por tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.68)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{3.88 kW \cdot h}{6.0 kW \cdot h} \quad (3.69)$$

$$\eta_E = 0.65 \quad (3.70)$$

$$\eta_E = 65 \% \quad (3.71)$$

### **Eficiencia térmica del acumulador solar con colector heat pipe**

En la figura 28 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:12 am con una temperatura promedio de 15.13°C el cual se prolonga hasta las 15:40 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 57.2 °C, por tanto, tenemos un

incremento en la temperatura de 42.04 °C que ocurre en un lapso de 9:28 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.72)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 42.04^\circ\text{C} \quad (3.73)$$

$$E_T = 4.4 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (3.74)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:12 y las 15:40 horas fue 6.44 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.04 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.75)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 6.44 \frac{kW \cdot h}{m^2} \cdot 1.04 m^2 \quad (3.76)$$

$$E_S = 6.70 kW \cdot h \quad (3.77)$$

Por lo tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.78)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{4.40 kW \cdot h}{6.70 kW \cdot h} \quad (3.79)$$

$$\eta_E = 0.66 \quad (3.80)$$

$$\eta_E = 66 \% \quad (3.81)$$

### 3.4.1.5 Quinta prueba 11/11/18

#### Eficiencia térmica del acumulador solar con colector de placa plana

En la figura 29 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:22 am con una temperatura promedio de 21.03 °C el cual se prolonga hasta las 12:58 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de 45.1 °C, por tanto, tenemos un

incremento en la temperatura de 24.07 °C que ocurre en un lapso de 6:36 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.82)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90 \text{ kg} \cdot 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 24.07^\circ\text{C} \quad (3.83)$$

$$E_T = 2.52 \text{ kW.h} \quad (3.84)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:22 y las 12:58 horas fue 3.83 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.07 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.85)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector ( $m^2$ )

$$E_S = 3.83 \frac{kW.h}{m^2} \cdot 1.07m^2 \quad (3.86)$$

$$E_S = 4.10 kW.h \quad (3.87)$$

Por tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.88)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{2.52 kW.h}{3.83 kW.h} \quad (3.89)$$

$$\eta_E = 0.61 \quad (3.90)$$

$$\eta_E = 61 \% \quad (3.91)$$

### **Eficiencia térmica del acumulador solar con colector heat pipe**

En la figura 29 se observa que el calentamiento de agua en el tanque inicia a las 6:23 am con una temperatura promedio de  $22.37^\circ C$  el cual se prolonga hasta las 13:27 pm alcanzando una temperatura máxima promedio de  $47.10^\circ C$ , por tanto, tenemos un

incremento en la temperatura de 24.73 °C que ocurre en un lapso de 7:4 horas, esto nos permite calcular la energía térmica útil ganada por la terma de 90 litros.

$$E_T = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad (3.92)$$

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$C_e$ : Calor específico (J/kg °C)

$\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

$m$  : Masa (kg)

$$E_T = 90kg \cdot 4182 \frac{J}{kg^{\circ}C} \cdot 24.73^{\circ}C \quad (3.93)$$

$$E_T = 2.59 kW.h \quad (3.94)$$

Entonces como la energía solar por unidad de área recibida entre las 6:23 y las 13:27 horas fue 3.89 kW.h/m<sup>2</sup> y el área del colector es de 1.04 m<sup>2</sup>, calculamos la energía solar recibida:

$$E_S = e_s \cdot A \quad (3.95)$$

Donde:

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$e_s$ : Energía solar recibida por unidad de área (kW.h/m<sup>2</sup>)

$A$  : Área del colector (m<sup>2</sup>)

$$E_S = 3.89 \frac{kW \cdot h}{m^2} \cdot 1.04 m^2 \quad (3.96)$$

$$E_S = 4.04 kW \cdot h \quad (3.97)$$

Por lo tanto, la eficiencia de la terma solar es:

$$\eta_E = \frac{E_T}{E_S} \quad (3.98)$$

Donde:

$E_T$ : Energía térmica útil (kW.h)

$E_S$ : Energía solar recibida (kW.h)

$\eta_E$ : Eficiencia energética (%)

$$\eta_E = \frac{2.59 kW \cdot h}{4.04 kW \cdot h} \quad (3.99)$$

$$\eta_E = 0.64 \quad (3.100)$$

$$\eta_E = 64 \% \quad (3.101)$$

### 3.5 Resultados

Tabla 17. Resumen de todas las pruebas de los colectores de placa plana y heat pipe.

Fecha	Colectores	Hora	To (°C)	Tm (°C)	Tf (°C)	Promedio (°C)	Radiación alta (W/m <sup>2</sup> )	Energía (kWh)
26/08/2018	PLANA	02:46:02 p.m.	41.8	41.4	57.0	46.7	921.8	5.83
	HEATPIPE	03:54:35 p.m.	53.8	57.1	72.9	61.3	944.0	6.64
28/08/2018	PLANA	02:37:06 p.m.	40.1	41.4	57.1	46.2	917.4	5.56
	HEATPIPE	03:13:42 p.m.	39.2	47.3	58.6	48.4	908.6	6.36
30/08/2018	PLANA	12:01:53 p.m.	19.3	40.6	49.7	36.5	943.9	4.70
	HEATPIPE	02:34:09 p.m.	36.8	43.5	52.9	44.4	1132.8	5.14
02/09/2018	PLANA	02:52:46 p.m.	46.3	51.1	59.4	52.3	935.1	6.00
	HEATPIPE	03:40:04 p.m.	32.4	57.6	81.5	57.2	953.3	6.70
11/11/2018	PLANA	12:58:03 p.m.	38.3	44.8	52.2	45.1	955.8	4.10
	HEATPIPE	01:27:05 p.m.	25.9	48	67.4	47.1	933.9	4.04

Fuente: Propia.

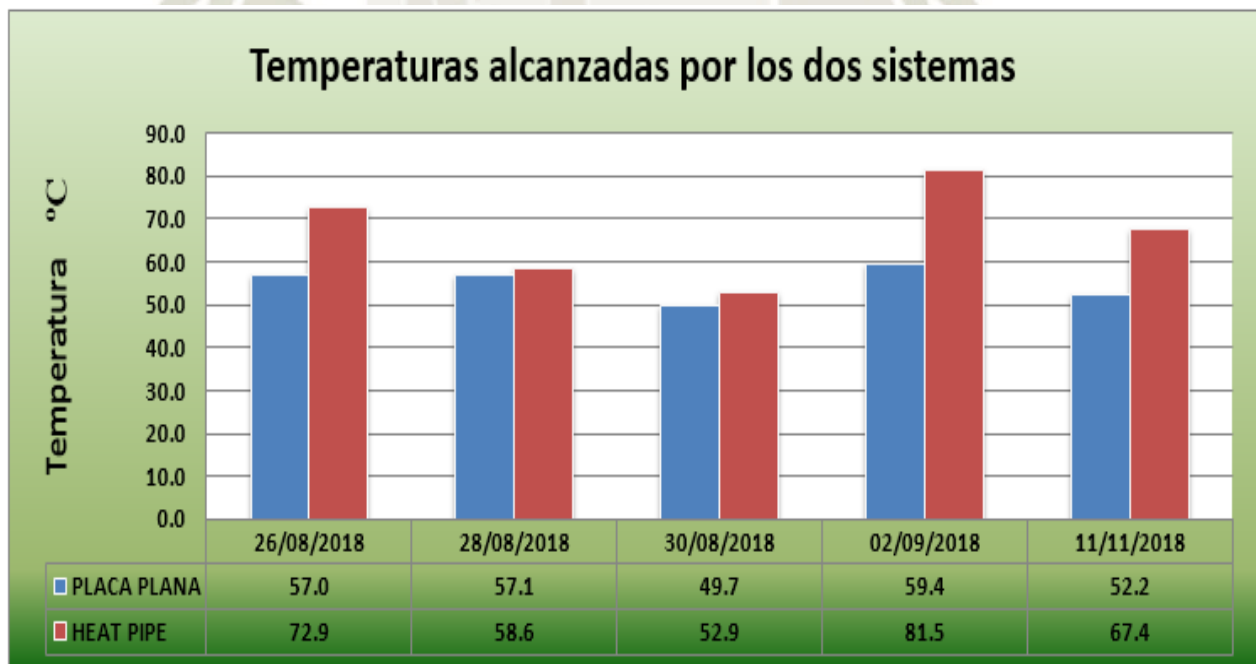


Figura 30.- Comparación de temperaturas máximas alcanzadas en los acumuladores solares.

Fuente: Propia.

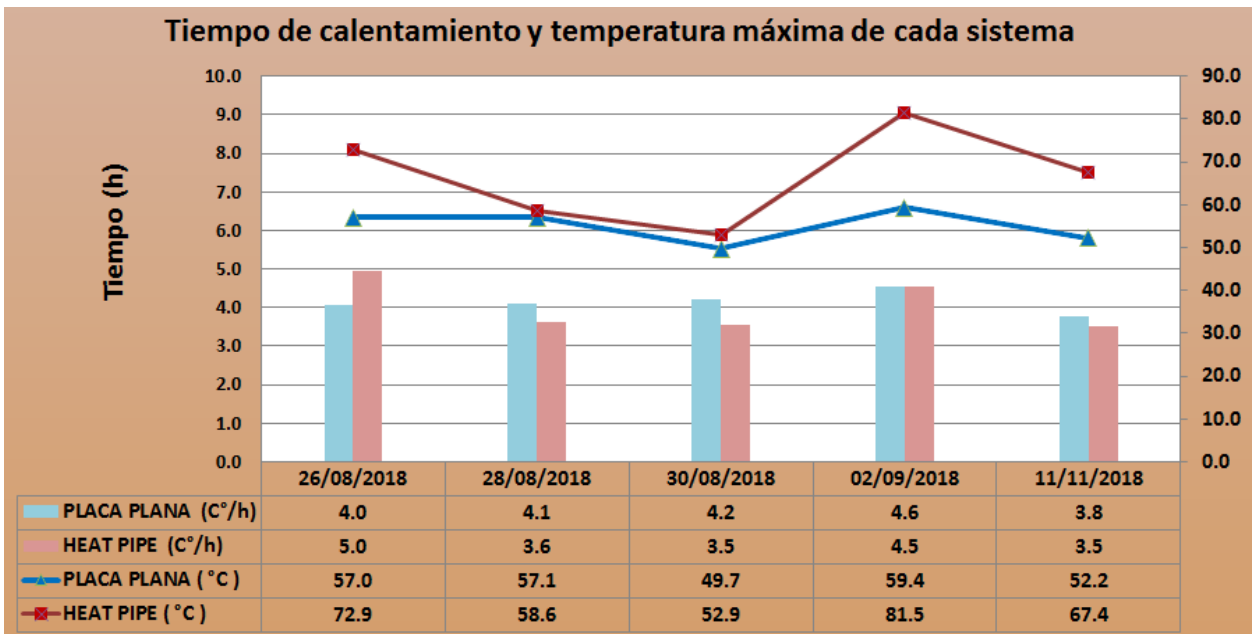


Figura 31.- Comparación del tiempo de calentamiento con respecto a la temperatura máxima.

Fuente: Propia.

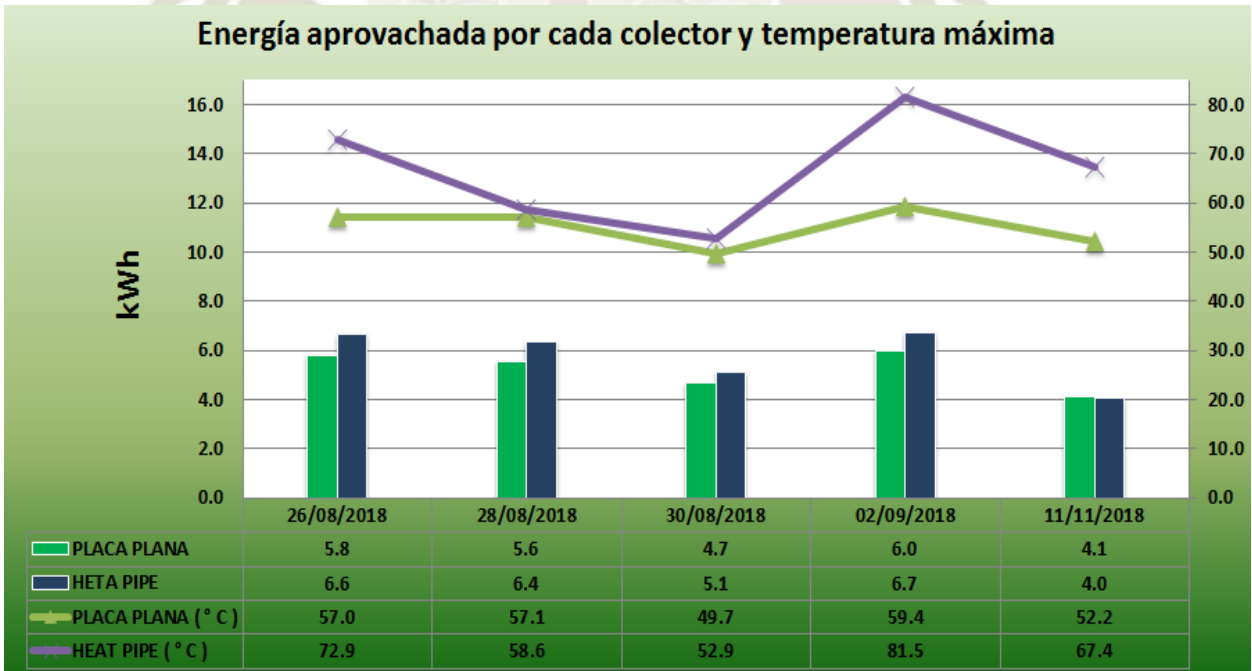
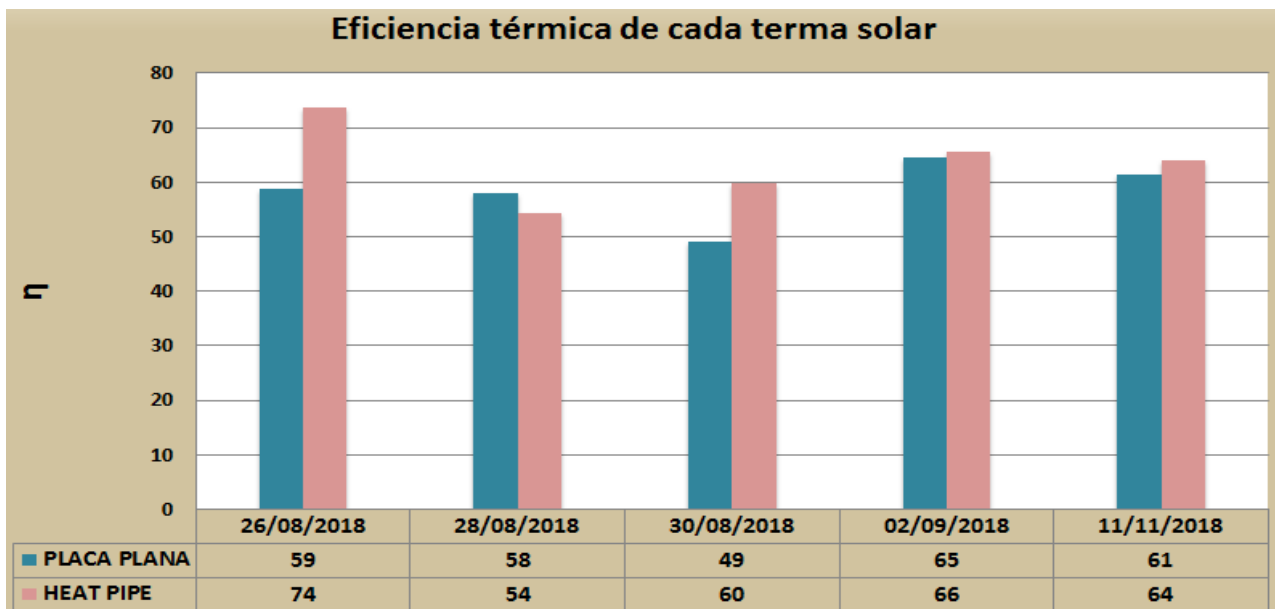


Figura 32.- Energía aprovechada por cada colector con respecto a la temperatura máxima.

Fuente: Propia.



**Figura 33.- Comparación de eficiencia de placa plana y heat pipe.**

Fuente: Propia.

- Figura N° 30: Nos muestra las temperaturas alcanzadas por los sistemas, el 02/09/18 nos alcanzó una temperatura alta de 81.5 °C del colector heat pipe contra 59.4 °C del colector de placa plana.
- Figura N° 31: Se compara tiempo de calentamiento contra temperatura alcanzada, el 02/09/18 se tubo para los dos sistemas un tiempo de calentamiento de 4.55 (°C/h) pero el colector heat pipe alcanzo más temperatura que el colector de placa plana.
- Figura N° 32: Nos compara la energía aprovechada por cada colector contra temperatura, el 11/11/18 nos da la menor energía aprovechada y el 02/09/18 tenemos la mayor energía aprovechada.
- Figura N° 33: Nos muestra las comparaciones de eficiencias de los sistemas, el 26/08/18 nos da una eficiencia mayor de 74 % (heat pipe) y 59 % (placa plana).

## CAPITULO IV: INGENIERÍA DEL PROYECTO

### 4.1 Aplicación del Hotel

#### 4.1.1 Ubicación

El Hotel se encuentra ubicado en:

**Tabla 18. Ubicación de Hotel.**

<b>HOTEL</b>	
<b>Departamento</b>	Arequipa
<b>Provincia</b>	Arequipa
<b>Distrito</b>	Arequipa (Cercado)

Fuente: Elaboración Propia.

Los puntos de referencia son los siguientes:

**Tabla 19. Puntos de referencia del Hotel.**

<b>PUNTOS DE REFERENCIA</b>	
<b>Parte Frontal</b>	Av. San Francisco
<b>Parte Posterior</b>	Av. Santa Catalina (Chaqchao chocolates)
<b>Parte Lateral Izquierda</b>	Av. San Francisco (Academia Lehninger)
<b>Parte Lateral Derecha</b>	Av. San Francisco (Hotel San Francisco)

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.1.2 Categorización del Hotel**

Es un establecimiento de hospedaje que cuenta con 27 habitaciones que según el Reglamento de Establecimiento de Hospedaje (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo) nos categoriza como un Hotel de 4 estrellas.

#### **4.2 El proyecto de aplicación**

El proyecto a realizar trata del cálculo y diseño de una instalación solar térmica para suministrar agua caliente a 27 habitaciones del Hotel que se encuentra en la ciudad de Arequipa.

Se trata de aprovechar la energía solar como medio para cubrir las necesidades de agua caliente sanitaria en todas las habitaciones. En la ingeniería de aplicación tratará de evidenciar las ventajas que conlleva el uso de la energía aportada por el sol frente a los sistemas convencionales.

#### **4.3 Distribución de habitaciones del Hotel**

El Hotel tiene cuatro plantas formada por habitaciones simples y dúplex, que cuenta con todos los requerimientos estipulados en el Reglamento de Establecimiento de Hospedaje (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo).

**Tabla 20. Número de habitaciones por cada planta del Hotel.**

	<b>HABITACIONES</b>	<b>N° DE PERSONAS</b>
<b>PLANTA CUARTA</b>	Habitación Dúplex	2
<b>PLANTA TERCERA</b>	Habitación 301	3
	Habitación 302	2
	Habitación 303	2
	Habitación Dúplex 304	2
	Habitación 305	2
	Habitación 306	2
	Habitación 307	2
	Habitación 308	2
	Habitación 309	2
	Habitación 310	2
	Habitación 311	2
	Habitación Dúplex 312	2
<b>PLANTA SEGUNDA</b>	Habitación 201	2
	Habitación 202	2
	Habitación 203 A	1
	Habitación 203 B	2
	Habitación 204	1
	Habitación 205	2
	Habitación Suite 206	2
	Habitación 207	2
	Habitación 208	2
	Habitación 209	2
	Habitación 210	2
<b>PLANTA SEGUNDO NIVEL INTERMEDIO</b>	Habitación 211	2
	Habitación 212	2
	Habitación 213	2
<b>TOTAL</b>		<b>53</b>

Fuente: Plano del Hotel.

#### 4.4 Distribución de personas y cálculo de áreas

##### 4.4.1 Distribución de personas por planta

El número de personal del Hotel está determinado por la planta cuarta, tercera, segunda y segunda intermedia.

**Tabla 21. Número de personas por planta.**

PLANTAS	Nº DE PERSONAS
PLANTA CUARTA	2
PLANTA TERCERA	25
PLANTA SEGUNDA	20
PLANTA SEGUNDO NIVEL INTERMEDIO	6
<b>TOTAL</b>	<b>53</b>

Fuente: Elaboración propia.

##### 4.4.2 División del hotel en bloques

La división se realiza por que las redes de agua fría y agua caliente están divididas en tres sistemas, que a su vez lo nombraremos como bloques (I, II y III).

Cada bloque tiene su propio ramal para abastecer de agua caliente sanitaria a las habitaciones correspondientes, entonces tendremos tres cálculos de demanda y para determinarlas se calculará el número de personas para cada bloque.

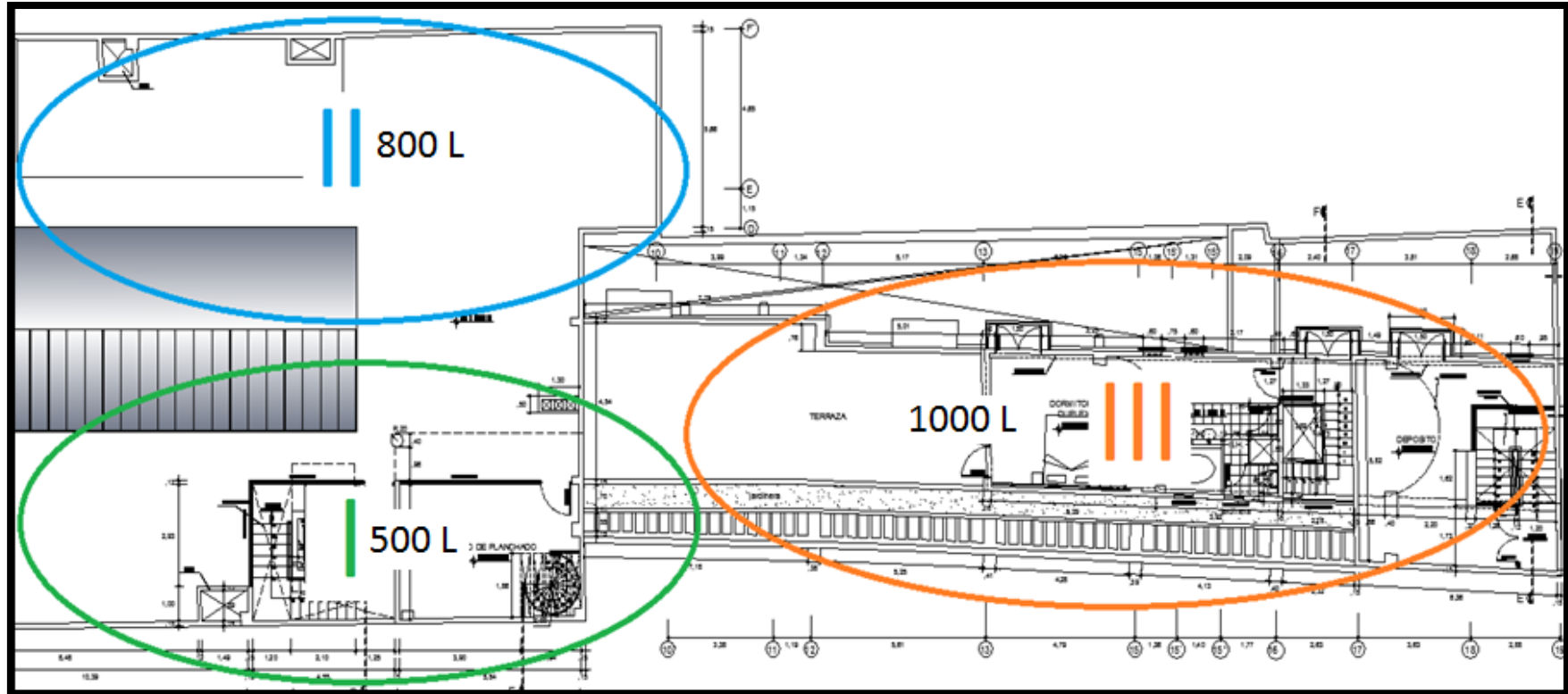


Figura 34.- División del Hotel en bloques I – II – III.

Fuente: PLANTAS TERCER – CUARTO NIVEL.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Arq. Oscar A. Garcia Castro.

#### 4.4.3 Calculo de áreas

Son tres áreas que analizaremos para la instalación de nuestro sistema de agua caliente para abastecer la demanda de nuestro hotel.

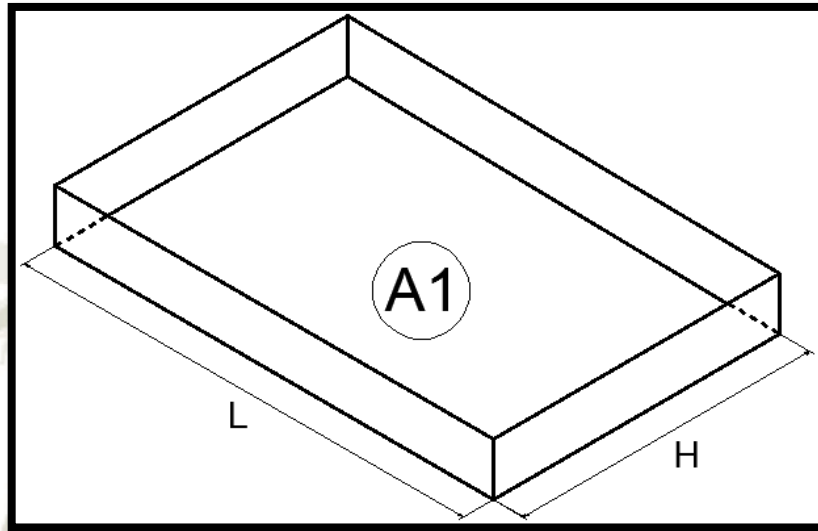


Figura 35.- Ilustración de primera área.

Dimensiones:

$$H = 3.81\text{m}$$

$$L = 5.83 \text{ m}$$

$$A = H \cdot L = 22.21 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

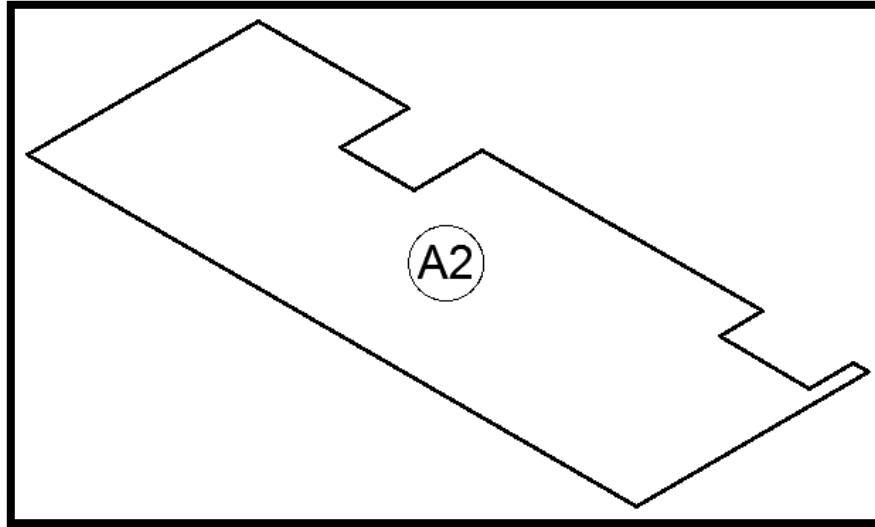


Figura 36.- Ilustración de segunda área.

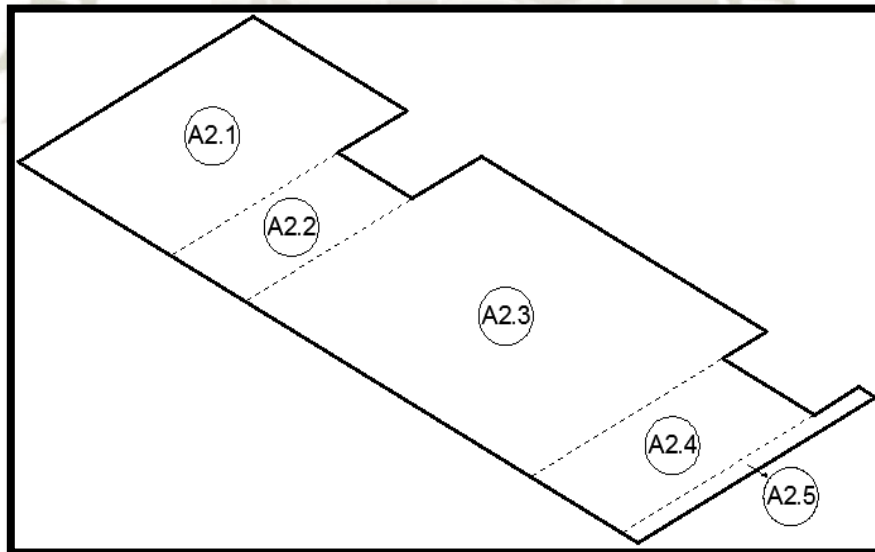
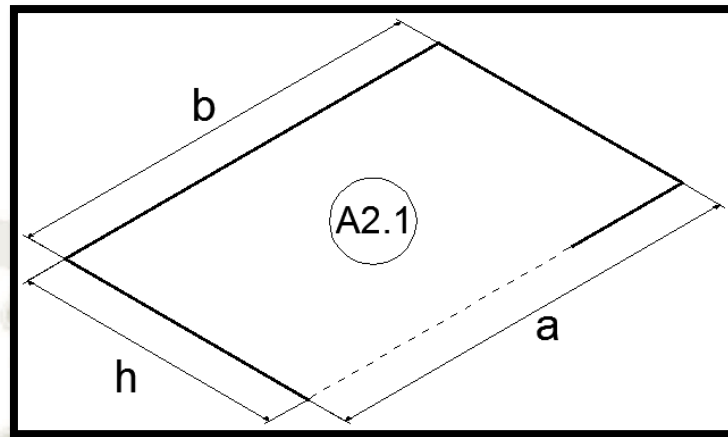


Figura 37.- Diagrama para hallar áreas A2.1 – A2.5

Dimensiones del trapecio (A2.1):



$$a = 3.99 \text{ m}$$

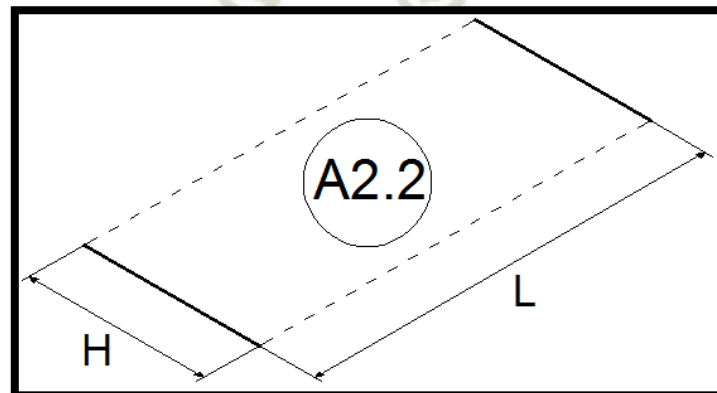
$$b = 3.98 \text{ m}$$

$$h = 2.59 \text{ m}$$

$$A = \frac{(a+b) \cdot h}{2} \quad (4.2)$$

$$A_{2.1} = 10.32 \text{ m}^2 \quad (4.3)$$

Dimensiones del rectángulo (A2.2):

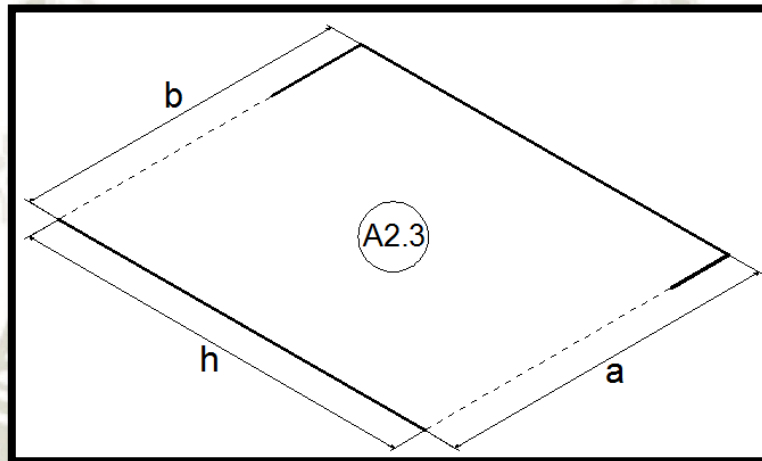


$$H = 1.26 \text{ m}$$

$$L = 2.82 \text{ m}$$

$$A_{2.2} = H \cdot L = 3.55 \text{ m}^2 \quad (4.4)$$

Dimensiones del trapecio (A2.3):



$$a = 4.01 \text{ m}$$

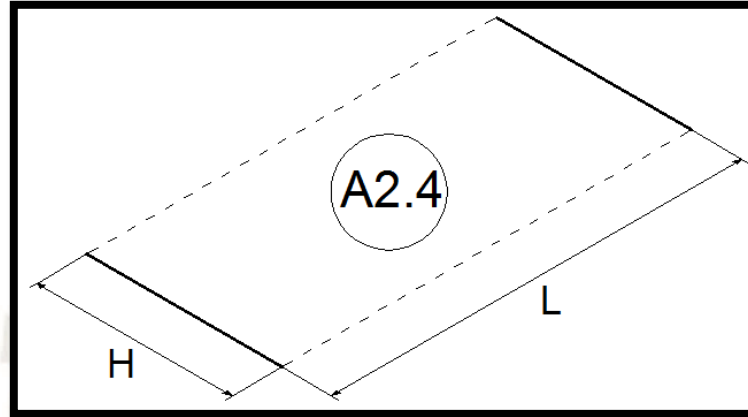
$$b = 3.99 \text{ m}$$

$$h = 4.83 \text{ m}$$

$$A = \frac{(a+b) \cdot h}{2} \quad (4.5)$$

$$A_{2.3} = 19.32 \text{ m}^2 \quad (4.6)$$

Dimensiones del rectángulo (A2.4):

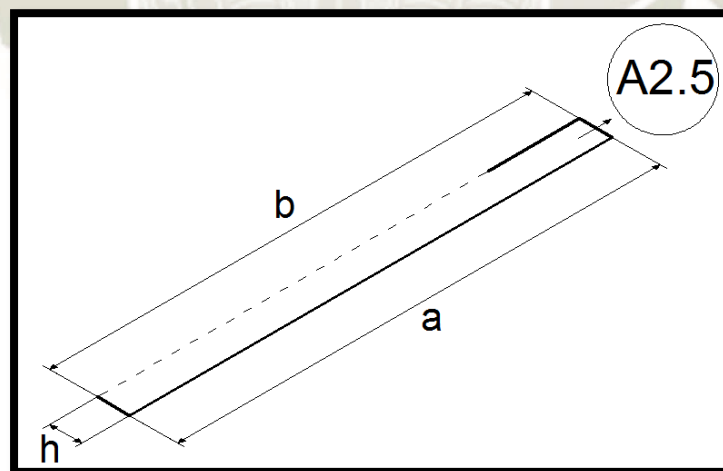


$$H = 1.55 \text{ m}$$

$$L = 3.26 \text{ m}$$

$$A_{2.4} = H \cdot L = 5.05 \text{ m}^2 \quad (4.7)$$

Dimensiones del trapecio (A2.5):



$$a = 4.02 \text{ m}$$

$$b = 4.01 \text{ m}$$

$$h = 0.27 \text{ m}$$

$$A = \frac{(a + b) \cdot h}{2} \quad (4.8)$$

$$A_{2.5} = 1.08 \text{ m}^2 \quad (4.9)$$

$$\text{Area total: } A_{2.1} + A_{2.2} + A_{2.3} + A_{2.4} + A_{2.5} \quad (4.10)$$

$$\text{Area total: } 10.32 + 3.55 + 19.32 + 5.05 + 1.08 \quad (4.11)$$

$$\text{Area total: } 39.32 \text{ m}^2 \quad (4.12)$$

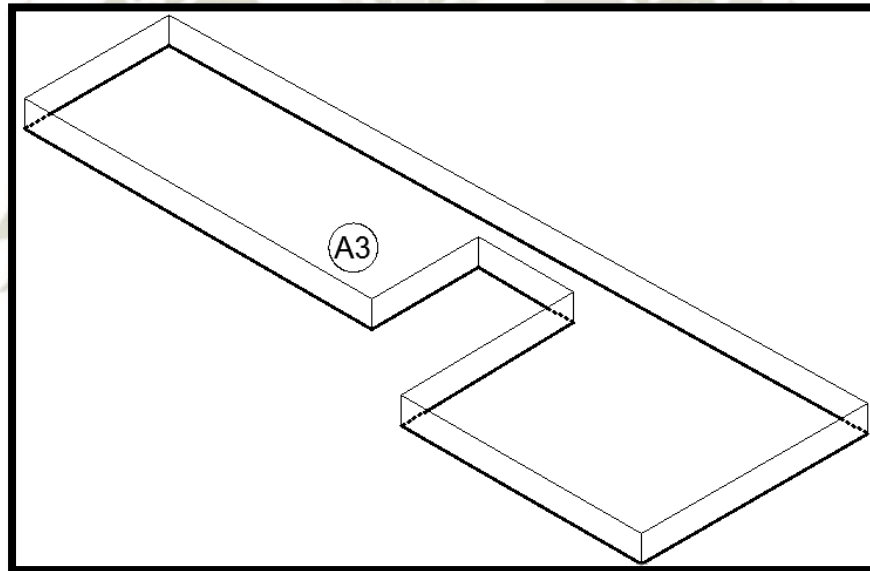
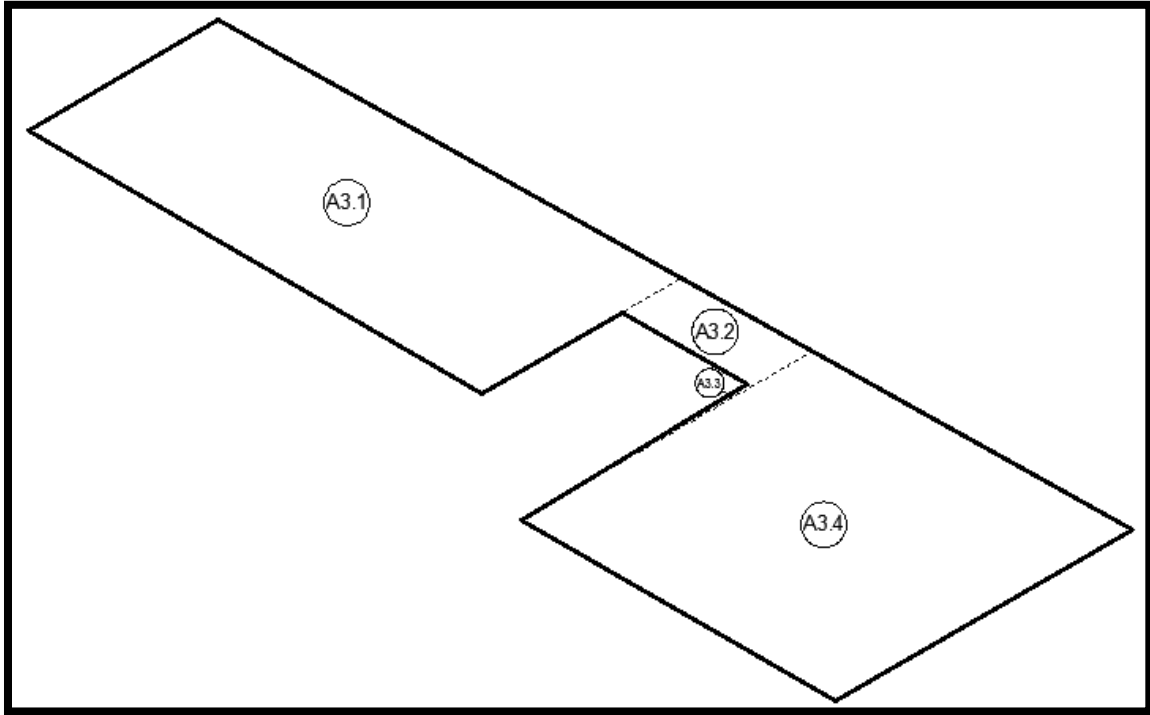
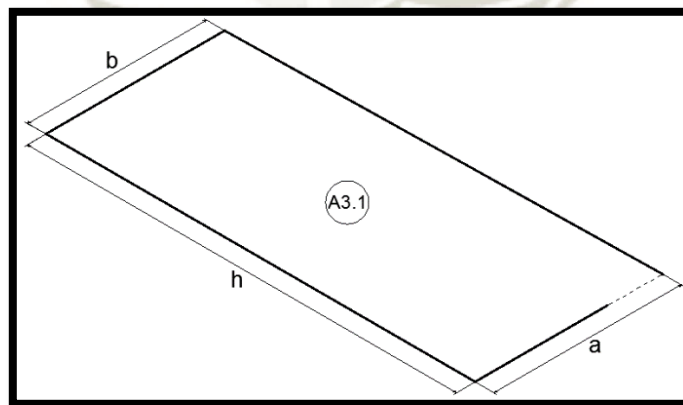


Figura 38.- Diagrama para hallar áreas A3.



**Figura 39.- Diagrama para hallar áreas A3.1 – A3.4.**

Dimensiones del trapecio (A3.1):



$$a = 4.02 \text{ m}$$

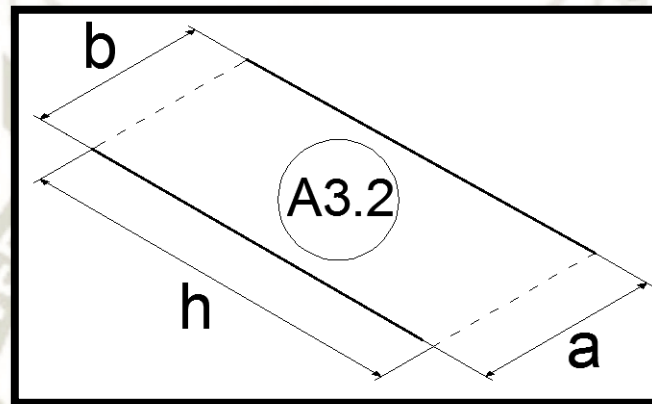
$$b = 3.84 \text{ m}$$

$$h = 9.21 \text{ m}$$

$$A = \frac{(a+b) \cdot h}{2} \quad (4.13)$$

$$A_{3.1} = 36.20 \text{ m}^2 \quad (4.14)$$

Dimensiones del trapecio (A3.2):



$$a = 1.24 \text{ m}$$

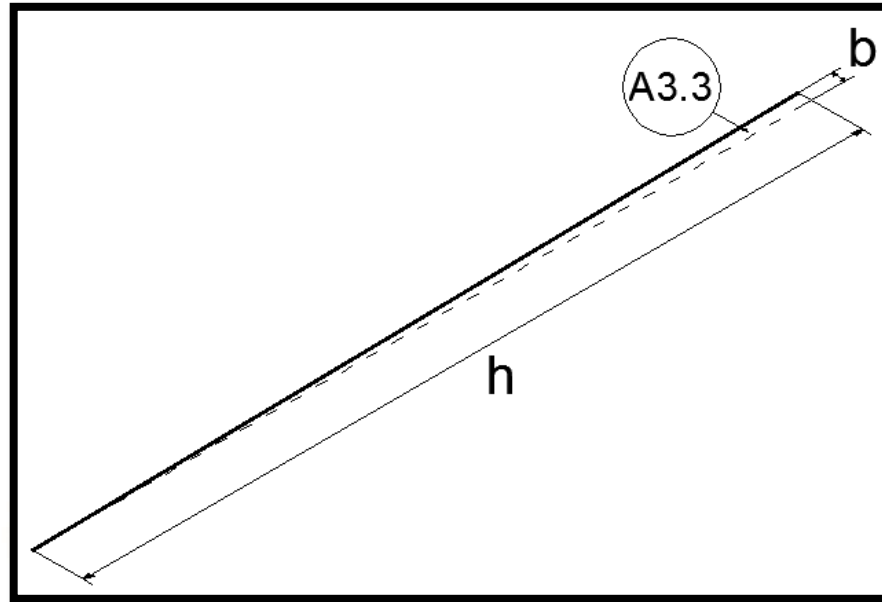
$$b = 1.19 \text{ m}$$

$$h = 2.61 \text{ m}$$

$$A = \frac{(a+b) \cdot h}{2} \quad (4.15)$$

$$A_{3.2} = 3.17 \text{ m}^2 \quad (4.16)$$

Dimensiones del triángulo (A3.3):



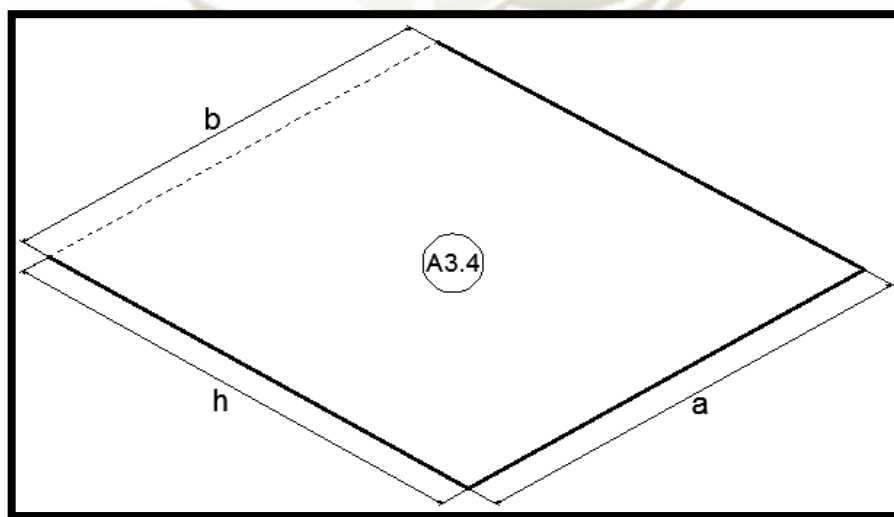
$$b = 0.08 \text{ m}$$

$$h = 4.64 \text{ m}$$

$$A_{3.3} = b \cdot h = 0.37 \text{ m}^2$$

(4.17)

Dimensiones del trapecio (A3.4):



$$a = 6.00 \text{ m}$$

$$b = 5.88 \text{ m}$$

$$h = 6.36 \text{ m}$$

$$A = \frac{(a+b) \cdot h}{2} \quad (4.18)$$

$$A_{3.4} = 37.78 \text{ m}^2 \quad (4.19)$$

$$\text{Area total: } A_{3.1} + A_{3.2} + A_{3.3} + A_{3.4} \quad (4.20)$$

$$\text{Área total: } 36.20 + 3.17 + 0.37 + 37.78 \quad (4.21)$$

$$\text{Área total: } 77.52 \text{ m}^2 \quad (4.22)$$

**Tabla 22. Resumen de áreas.**

Bloques	Áreas
Primer bloque	22.21 m <sup>2</sup>
Segundo bloque	39.32 m <sup>2</sup>
Tercero bloque	77.52 m <sup>2</sup>

Fuente: Propia.

#### 4.4.4 Calculo de personas para cada bloque

En las siguientes tablas se determina el número de personas para cada bloque.

**Tabla 23. Número de personas bloque I – II – III**

	HABITACIONES	N° DE PERSONAS
PLANTA TERCERA	Habitación 305	2
	Habitación 306	2
	Habitación 308	2
PLANTA SEGUNDA	Habitación 204	1
	Habitación 205	2
	Habitación Suite 206	2
	<b>TOTAL</b>	<b>11</b>

	HABITACIONES	N° DE PERSONAS
PLANTA TERCERA	Habitación 301	3
	Habitación 302	2
	Habitación 303	2
	Habitación Dúplex 304	2
	Habitación 307	2
PLANTA SEGUNDA	Habitación 201	2
	Habitación 202	2
	Habitación 203 A	1
	Habitación 203 B	2
	<b>TOTAL</b>	<b>18</b>

	HABITACIONES	N° DE PERSONAS
PLANTA CUARTA	Habitación Dúplex	2
PLANTA TERCERA	Habitación 309	2
	Habitación 310	2
	Habitación 311	2
	Habitación Dúplex 312	2
PLANTA SEGUNDA	Habitación 207	2
	Habitación 208	2
	Habitación 209	2
	Habitación 210	2
PLANTA SEGUNDO NIVEL INTERMEDIO	Habitación 211	2
	Habitación 212	2
	Habitación 213	2
	<b>TOTAL</b>	<b>24</b>

Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 Demanda de agua caliente sanitaria

### 4.5.1 Consumo de agua en litros por persona

Para el consumo de agua se tomará los valores recomendados en la tabla a continuación, para nuestro caso tomaremos los valores de Hoteles.

**Tabla 24. Tabla de consumos recomendados.**

Domestico	Baños	35 litros por día por persona
	Cocina	5 litros por día por persona
	Lavatorios	5 litros por día por persona
Albergues	Por camas	30 litros por día por persona
Hoteles	Por cama	40 litros por día por persona
Hospitales	Por cama	45 litros por día por persona

Fuente: XV SIMPOSIO PERUANO DE ENERGIA SOLAR.

### 4.5.2 Temperatura de agua caliente sanitaria

Tomaremos los valores recomendados de las temperaturas medias de uso de los distintos aparatos sanitarios de la siguiente tabla.

**Tabla 25. Temperaturas de uso de aparatos sanitarios.**

Aparato sanitario	Campo de temperatura (°C)	Valor medio (°C)
Lavado	37 a 40	38
Ducha	38 a 43	40
Ducha hidromasaje	36 a 40	38
Bañera	40 a 43	42
Bidé	37 a 39	38
Fregadero	50 a 60	55

Fuente: Jiménez López, L. (2003). Instalaciones Hidrosanitarias. Barcelona: Grupo Editorial CEAC.

#### 4.5.3 Cálculo de la demanda por bloque

Con los datos indicados anteriormente, podemos llevar a cabo el cálculo de la demanda energética de agua caliente sanitaria.

Para realizar el cálculo de la demanda energética utilizaremos los valores de consumos recomendados, para hoteles es 40 litros por persona.

- **Primer bloque**

$$Q_b = n^\circ \text{ personas} \cdot Q_d \text{ unitario} \quad (4.23)$$

Done:

$Q_b$ : Demanda del primer bloque (l/día)

$n^\circ$  : Número de personas del primer bloque

$Q_d$ : Consumo recomendado por persona (40 l/día)

$$Q_b = 11 \text{ personas} \cdot 40 \frac{\text{l}}{\text{día} \cdot \text{persona}} = 440 \frac{\text{l}}{\text{día}} \quad (4.24)$$

- **Segundo bloque**

$$Q_b = n^\circ \text{ personas} \cdot Q_d \text{ unitario} \quad (4.25)$$

Done:

$Q_b$ : Demanda del segundo bloque (l/día)

$n^\circ$  : Número de personas del segundo bloque

$Q_d$ : Consumo recomendado por persona (40 l/día)

$$Q_b = 18 \text{ personas} \cdot 40 \frac{\text{l}}{\text{día} \cdot \text{persona}} = 720 \frac{\text{l}}{\text{día}} \quad (4.26)$$

- **Tercer bloque**

$$Q_b = n^\circ \text{ personas} \cdot Q_d \text{ unitario} \quad (4.27)$$

Done:

$Q_b$ : Demanda del tercer bloque (l/día)

$n^\circ$  : Número de personas del tercer bloque

$Q_d$ : Consumo recomendado por persona (40 l/día)

$$Q_b = 24 \text{ personas} \cdot 40 \frac{\text{l}}{\text{día} \cdot \text{persona}} = 960 \frac{\text{l}}{\text{día}} \quad (4.28)$$

#### 4.6 Calculo del acumulador solar

El acumulador se encarga de almacenar la energía térmica generada por las placas solares. Su misión es independizar el suministro de calor del consumo, porque la máxima aportación energética solar no suele coincidir con su demanda, adecuando de esta manera la disponibilidad a la necesidad.

- De acuerdo con la Tabla 24 nos recomienda que en hoteles la recomendación por cama el consumo de agua caliente son de 40 litros por persona.
- Para el cálculo de los tanques de agua caliente sanitaria, lo realizaremos por el número de camas y personas, que están divididas en tres bloques para cada área hallada en el hotel.

#### 4.6.1 Primer Bloque.

- ✓ En el primer bloque tenemos la cantidad de cinco habitaciones y una habitación Suite con un total de 11 personas.

Tabla 26. Primer Bloque – Área 1

	HABITACIONES	N° DE PERSONAS
<b>PLANTA TERCERA</b>	Habitación 305	2
	Habitación 306	2
	Habitación 308	2
<b>PLANTA SEGUNDA</b>	Habitación 204	1
	Habitación 205	2
	Habitación Suite 206	2
	<b>TOTAL</b>	<b>11</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$V_{\text{tanque}} = n^{\circ} \cdot Q_d \quad (4.29)$$

Done:

$V_t$  : Volumen del tanque por día (l)

$n^{\circ}$  : Número de personas primer bloque


$Q_d$  : Consumo recomendado por persona (40 l/día)


$$V_{\text{tanque}} = 11 \cdot 40 \quad (4.30)$$

$$V_{tanque} = 440 \text{ litros} \quad (4.31)$$

- Como tenemos 440 litros de consumo por día, para seguridad del bloque seleccionaremos un tanque de 500 litros.
- Por lo tanto, elegiremos un acumulador ELBI de 500 litros cuyas características se muestran a continuación.

Tabla 27. Acumulador vitrificado I.

Pos.	Descrizione Description	Modello / Type				
		SAC				
	Capacità Capacity (lt.)	300	500	800	1000	1500
Ø	Diametro accumulatore Cylinder diameter (mm)	650	750	900	900	1100
H	Altezza Height (mm)	1400	1695	1780	2030	2465
Øg	Diametro gonna Skirt diameter (mm)	510	600	760	760	850
A	(mm)	280	300	350	360	475
B	(mm)	/	/	/	/	945
C	(mm)	710	855	905	1030	1245
D	(mm)	/	/	/	/	1395



Fuente: ELBI.

#### 4.6.2 Segundo Bloque.

- ✓ En el segundo bloque tenemos la cantidad de ocho habitaciones y una habitación duplex con un total de 18 personas.

**Tabla 28. Segundo Bloque – Área 2.**

	HABITACIONES	N° DE PERSONAS
<b>PLANTA TERCERA</b>	Habitación 301	3
	Habitación 302	2
	Habitación 303	2
	Habitación Dúplex 304	2
	Habitación 307	2
<b>PLANTA SEGUNDA</b>	Habitación 201	2
	Habitación 202	2
	Habitación 203 A	1
	Habitación 203 B	2
	<b>TOTAL</b>	<b>18</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$V_{\text{tanque}} = n^{\circ} \cdot Q_d \quad (4.32)$$

Done:

$V_t$  : Volumen del tanque por día (l)

$n^{\circ}$  : Número de personas segundo bloque


$Q_d$  : Consumo recomendado por persona (40 l/día)


$$V_{\text{tanque}} = 18 \cdot 40 \quad (4.33)$$

$$V_{\text{tanque}} = 720 \text{ litros} \quad (4.34)$$

- Como tenemos 720 litros de consumo por día, para seguridad del bloque seleccionaremos un tanque de 800 litros.
- Por lo tanto, elegiremos un acumulador ELBI cuyas características se muestran a continuación.

**Tabla 29. Acumulador vitrificado II.**

Pos.	Descrizione Description	Modello / Type				
		SAC				
	Capacità Capacity (lt.)	300	500	800	1000	1500
Ø	Diametro accumulatore Cylinder diameter (mm)	650	750	900	900	1100
H	Altezza Height (mm)	1400	1695	1780	2030	2465
Øg	Diametro gonna Skirt diameter (mm)	510	600	760	760	850
A	(mm)	280	300	350	360	475
B	(mm)	/	/	/	/	945
C	(mm)	710	855	905	1030	1245
D	(mm)	/	/	/	/	1395



Fuente: ELBI.

#### 4.6.3 Tercer Bloque.

- En el tercer bloque tenemos la cantidad de diez habitaciones y dos habitaciones duplex con un total de 24 personas.

**Tabla 30. Tercer bloque – Área 3.**

	HABITACIONES	N° DE PERSONAS
<b>PLANTA CUARTA</b>	Habitación Dúplex	2
<b>PLANTA TERCERA</b>	Habitación 309	2
	Habitación 310	2
	Habitación 311	2
	Habitación Dúplex 312	2
<b>PLANTA SEGUNDA</b>	Habitación 207	2
	Habitación 208	2
	Habitación 209	2
	Habitación 210	2
<b>PLANTA SEGUNDO NIVEL INTERMEDIO</b>	Habitación 211	2
	Habitación 212	2
	Habitación 213	2
	<b>TOTAL</b>	<b>24</b>

$$V_{\text{tanque}} = n^{\circ} \cdot Q_d \quad (4.35)$$

Done:

$V_t$  : Volumen del tanque por día (l)

$n^{\circ}$  : Número de personas tercer bloque


$Q_d$  : Consumo recomendado por persona (40 l/día)


$$V_{\text{tanque}} = 24 \cdot 40 \quad (4.36)$$

$$V_{\text{tanque}} = 960 \text{ litros} \quad (4.37)$$

- Como tenemos 960 litros de consumo por día, para seguridad del bloque seleccionaremos un tanque de 1000 litros ELBI.

**Tabla 31. Acumulador vitrificado III.**

Pos.	Descrizione Description	Modello / Type				
		SAC				
	Capacità Capacity (l.)	300	500	800	1000	1500
Ø	Diametro accumulatore Cylinder diameter (mm)	650	750	900	900	1100
H	Altezza Height (mm)	1400	1695	1780	2030	2465
Øg	Diametro gonna Skirt diameter (mm)	510	600	760	760	850
A	(mm)	280	300	350	360	475
B	(mm)	/	/	/	/	945
C	(mm)	710	855	905	1030	1245
D	(mm)	/	/	/	/	1395



Fuente: ELBI.

#### 4.7 Cálculo de la cantidad de calor requerida por cada mes

Para realizar el cálculo de la cantidad de calor requerido correspondiente al calentamiento de agua de la red hasta la temperatura de consumo de 55 °C utilizaremos la siguiente expresión:

$$Q_{req} = N^{\circ} \cdot m \cdot cp_{agua} \cdot (T_{requerida} - T_{agua\ inicial}) \quad (4.38)$$

Dónde:

$Q_{req}$	: Cantidad de calor requerido por el proceso	: kJ
$N^{\circ}$	: Número de días por cada mes	
$m$	: Masa de agua	: kg
$cp_{agua}$	: Calor específico del agua	: 4.182 kJ/kg °C
$T_{requerida}$	: Temperatura requerida por el proceso	: 55 °C
$T_{agua\ inicial}$	: Temperatura inicial del agua	: 16.93 °C

Reemplazando obtendremos el calor requerido en un día del mes de enero:

$$Q_{req} = 31 \cdot 500 \text{ kg} \cdot 4.182 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (55 ^{\circ}\text{C} - 16.93 ^{\circ}\text{C}) = 2467735.47 \text{ kJ} \quad (4.39)$$

Siguiendo este mismo procedimiento y con las temperaturas de agua de la red de cada mes obtenidas de la planta Tomilla I podemos hallar la demanda de agua caliente anual con la siguiente ecuación.

$$Q_{ACS}[\text{MJ/mes}] = [N \cdot Q_d^{AC} \cdot C_p \cdot \rho_{agua} \cdot (T_{sum} - T_{red})]/1000 \quad (4.40)$$

**Tabla 32. Cálculo de la demanda mensual de agua caliente I Bloque.**

Mes	N° días (N) [día/mes]	Demanda		Cp [kJ/kg.K]	$\rho_{agua}$ [kg/l]	Tsum [°C]	Tred [°C]	Q [MJ/mes]
		N° días	diaria (Q <sub>d</sub> <sup>ACS</sup> ) [l/día]					
Ene	31	500	4.182	1	55	16.93	2467.74	
Feb	28	500	4.182	1	55	16.59	2248.83	
Mar	31	500	4.182	1	55	16.36	2504.68	
Abr	30	500	4.182	1	55	14.69	2528.65	
May	31	500	4.182	1	55	12.21	2773.69	
Jun	30	500	4.182	1	55	9.96	2825.36	
Jul	31	500	4.182	1	55	10.57	2880.00	
Ago	31	500	4.182	1	55	11.17	2841.10	
Sep	30	500	4.182	1	55	12.24	2682.33	
Oct	31	500	4.182	1	55	13.86	2666.74	
Nov	30	500	4.182	1	55	14.70	2528.02	
Dic	31	500	4.182	1	55	15.34	2570.80	
<b>DEMANDA TOTAL ANUAL DE ACS [MJ] =</b>							<b>31517.94</b>	

Fuente: Elaboración propia.

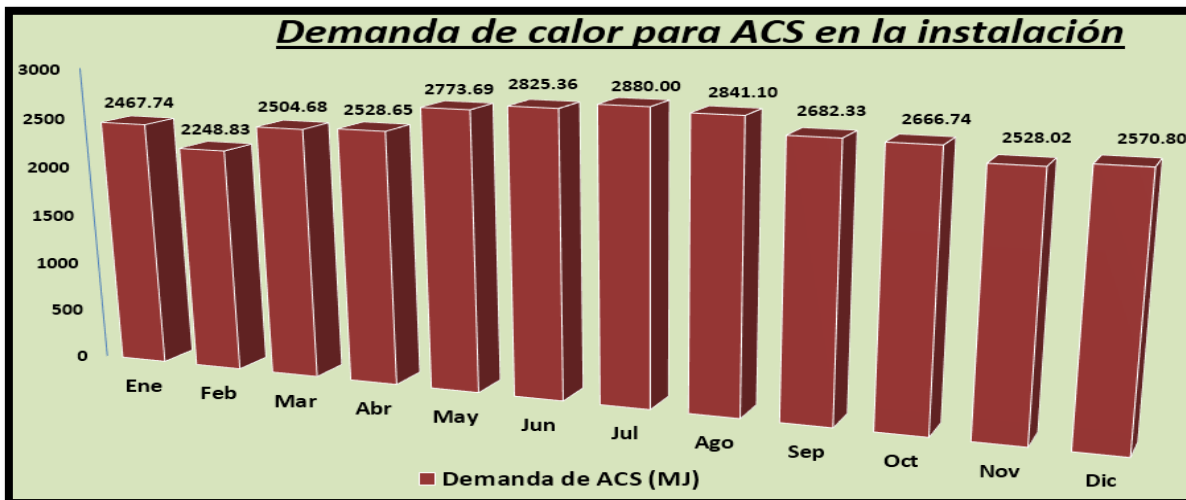


Figura 40.- Comparación de demanda de calor por meses I Bloque.

Tabla 33. Cálculo de la demanda mensual de agua caliente II Bloque.

Mes	N° días (N) [día/mes]	Demanda diaria ( $Q_d^{ACS}$ ) [l/día]	$C_p$ [kJ/kg.K]	$\rho_{agua}$ [kg/l]	$T_{sum}$ [°C]	$T_{red}$ [°C]	Q [MJ/mes]
Ene	31	800	4.182	1	55	16.93	3948.38
Feb	28	800	4.182	1	55	16.59	3598.13
Mar	31	800	4.182	1	55	16.36	4007.49
Abr	30	800	4.182	1	55	14.69	4045.83
May	31	800	4.182	1	55	12.21	4437.90
Jun	30	800	4.182	1	55	9.96	4520.57
Jul	31	800	4.182	1	55	10.57	4608.00
Ago	31	800	4.182	1	55	11.17	4545.77
Sep	30	800	4.182	1	55	12.24	4291.74
Oct	31	800	4.182	1	55	13.86	4266.78
Nov	30	800	4.182	1	55	14.70	4044.83
Dic	31	800	4.182	1	55	15.34	4113.28
<b>DEMANDA TOTAL ANUAL DE ACS [MJ] =</b>							<b>50428.70</b>

Fuente: Elaboración propia.

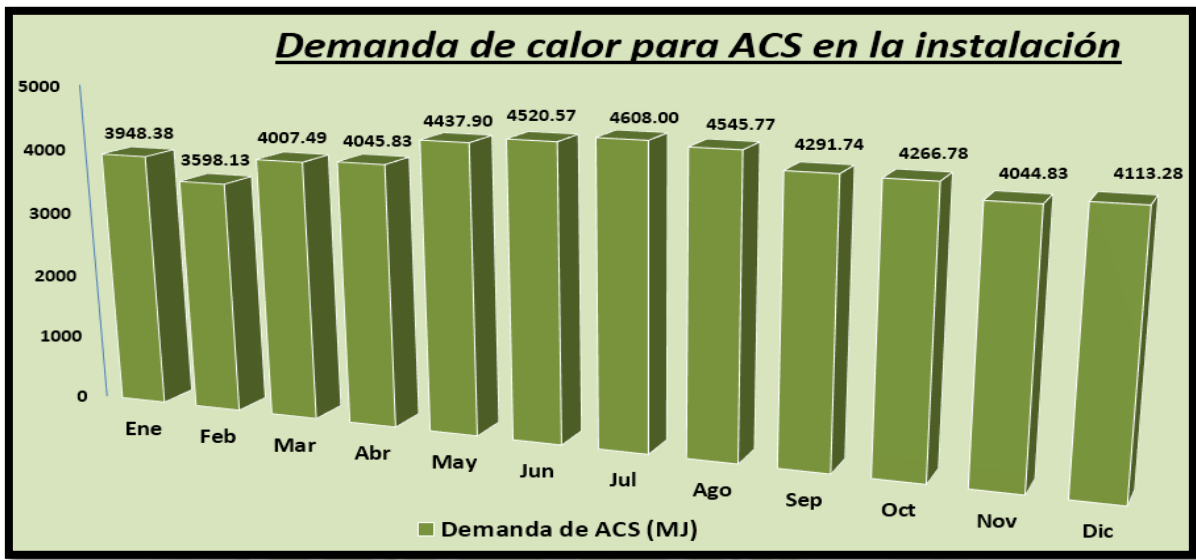


Figura 41.- Comparación de demanda de calor por meses II Bloque.

Tabla 34. Cálculo de la demanda mensual de agua caliente III Bloque.

Mes	N° días (N) [día/mes]	Demanda diaria ( $Q_d^{ACS}$ ) [l/día]	$C_p$ [kJ/kg.K]	$\rho_{agua}$ [kg/l]	$T_{sum}$ [°C]	$T_{red}$ [°C]	Q [MJ/mes]
Ene	31	1000	4.182	1	55	16.93	4935.47
Feb	28	1000	4.182	1	55	16.59	4497.66
Mar	31	1000	4.182	1	55	16.36	5009.37
Abr	30	1000	4.182	1	55	14.69	5057.29
May	31	1000	4.182	1	55	12.21	5547.38
Jun	30	1000	4.182	1	55	9.96	5650.72
Jul	31	1000	4.182	1	55	10.57	5759.99
Ago	31	1000	4.182	1	55	11.17	5682.21
Sep	30	1000	4.182	1	55	12.24	5364.67
Oct	31	1000	4.182	1	55	13.86	5333.47
Nov	30	1000	4.182	1	55	14.70	5056.04
Dic	31	1000	4.182	1	55	15.34	5141.60
<b>DEMANDA TOTAL ANUAL DE ACS [MJ] =</b>							<b>63035.87</b>

Fuente: Elaboración propia.

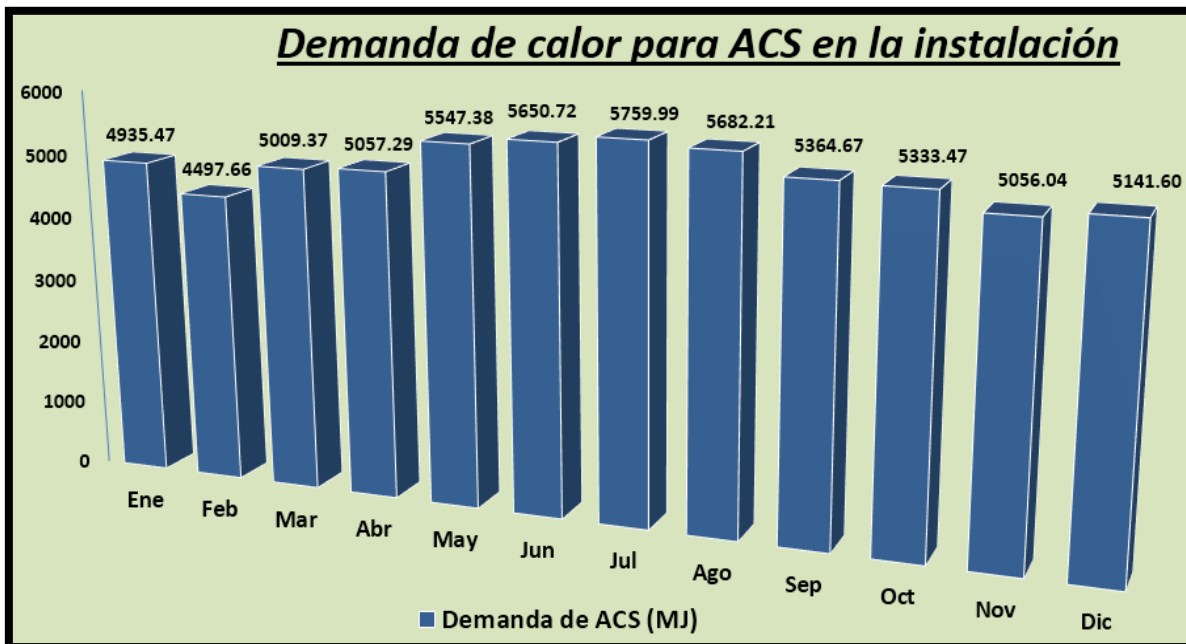


Figura 42.- Comparación de demanda de calor por meses III Bloque.

#### 4.8 Dimensionamiento del sistema solar

Los parámetros meteorológicos de la ciudad de Arequipa están en la siguiente tabla:

Tabla 35. Datos de la estación meteorológica “La pampilla”.

Estación convencional meteorológica	
Departamento	Arequipa
Provincia	Arequipa
Distrito	Arequipa
Latitud	16° 24' 18.22" - Sur
Longitud	71° 31' 24.02 " - Oeste
Altitud	2365

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Para obtener de la radiación del lugar de instalación los estimaremos con el modelo de Bristow – Campbell.

**Tabla 36. Valores de los coeficientes Characato – La Pamapilla, del modelo Bristow – Campbell.**

Estación meteorológica	$a_B$	$b_B$ (°C-1)	$c_B$	Número de datos	Error (%)
<b>COSTA</b>					
Miraflores	0,75	0,04	1,49	3 597	3,8
A. Von Humboldt	0,68	0,06	1,42	13 712	14,1
San Camilo	0,79	0,09	1,05	2 244	3,9
<b>SIERRA</b>					
Bambamarca	0,66	0,23	0,80	2 033	12,6
Weberbauer	0,75	0,04	1,28	1 607	3,2
Cosmos	0,70	0,03	1,62	773	8,5
Huayao	0,78	0,11	0,97	5 387	4,6
Granja Kcayra	0,74	0,11	0,92	1 961	11,6
Chuquibambilla	0,78	0,19	0,76	1 476	3,6
Puno	0,82	0,20	0,87	2 156	7,2
Characato-La pampilla	0,76	0,16	0,91	3 134	7,5
<b>SELVA</b>					
San Ramón SM	0,68	0,02	1,86	2 864	7,5
El Porvenir	0,60	0,06	1,21	2 346	4,1
Bellavista	0,70	0,06	1,22	1 038	2,3

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

#### 4.8.1 Cálculo de declinación.

Para el cálculo de la declinación tomaremos como base los días promedio recomendado para cada mes de la Tabla 5 del Capítulo II.

Dónde:

- Día : 16 marzo
- n : 75

- $\delta$ : Declinación ( $^{\circ}$ )

Según Cooper:

$$\delta = 23.45 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360 \cdot (284 + n)}{365} \right] \quad (4.41)$$

Reemplazando:

$$\delta = 23.45 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360 \cdot (284 + 75)}{365} \right] = -2.418^{\circ} \quad (4.42)$$

En la siguiente tabla mostraremos los resultados obtenidos para cada promedio del año.

**Tabla 37. Declinación para cada día promedio del año, según el modelo COOPER.**

FECHA		n	$\delta$ COOPER
MES	DIA		
<b>ENERO</b>	17	17	-20.92°
<b>FEBRERO</b>	16	47	-12.95°
<b>MARZO</b>	16	75	-2.42°
<b>ABRIL</b>	15	105	9.41°
<b>MAYO</b>	15	135	18.79°
<b>JUNIO</b>	11	162	23.09°
<b>JULIO</b>	17	198	21.18°
<b>AGOSTO</b>	16	228	13.46°
<b>SETIEMBRE</b>	15	258	2.22°
<b>OCTUBRE</b>	15	288	-9.59°
<b>NOVIEMBRE</b>	14	318	-18.91°
<b>DICIEMBRE</b>	10	344	-23.05°

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.2 Cálculo del ángulo de horas de asoleamiento.

Para el cálculo del ángulo de horas de asoleamiento se desarrolla con los datos de la Tabla N° 35 y los resultados de la Tablas N° 37.

$$\omega_s = \text{acos}(-\tan(\varnothing) \cdot \tan(\delta)) \quad (4.43)$$

Dónde:

- Día : 16 marzo
- n : 75
- $\omega_s$ : Angulo de horas de asoleamiento (°)
- $\delta$  : Declinación, tabla 37 (2.42°)
- $\varnothing$  : Latitud de Arequipa (-16.405061°)

Latitud

Los datos de SENAMHI nos indica que la latitud es 16° 24' 18.22'', -1 por estar en la zona sur.

$$\varnothing = \left[ \left( 16 + \frac{24}{60} + \frac{18.22}{3600} \right) \cdot -1 \right] \text{ sur} \quad (4.44)$$

$$\varnothing = -16.405061^\circ \quad (4.45)$$

Reemplazando:

$$\omega_s = \text{acos}(-\tan(-16.40) \cdot \tan(-2.42^\circ)) = 90.71^\circ \quad (4.46)$$

Repetiendo en cálculo anterior para todos los días promedio del año tenemos los siguientes resultados.

**Tabla 38. Ángulo de horas de asoleamiento para cada día promedio del año.**

FECHA		ωs
MES	DIA	
ENERO	17	96.46°
FEBRERO	16	93.88°
MARZO	16	90.71°
ABRIL	15	87.20°
MAYO	15	84.25°
JUNIO	11	82.79°
JULIO	17	83.45°
AGOSTO	16	85.96°
SETIEMBRE	15	89.35°
OCTUBRE	15	92.85°
NOVIEMBRE	14	95.79°
DICIEMBRE	10	97.19°

Fuente: Elaboración propia.

Comparando los resultados el ángulo horario mayor lo tenemos en el mes de diciembre y el ángulo horario menor en el mes de junio.

#### **4.8.3 Irradiación solar en incidencia normal sobre un plano ubicado en el exterior de la atmosfera terrestre.**

Para el cálculo de utilizaremos la constante solar y los días promedio del año de la Tabla 37.

$$G_0 = I_{SC} \cdot \left[ 1 + 0.033 \cdot \cos \left( \frac{n \cdot 360}{365} \right) \right] \quad (4.47)$$

Dónde:

- $I_{SC}$  : Constante solar: 1353 W/m<sup>2</sup>

- $G_0$  : Irradiación solar sobre un plano ( $W/m^2$ )
- $n$  : Días de todo el año

**Tabla 39. Irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano ubicado en el exterior para cada día promedio del año.**

FECHA		$G_0$ ( $W/m^2$ )
MES	DIA	
ENERO	17	1331.1
FEBRERO	16	1320.9
MARZO	16	1359.5
ABRIL	15	1308.6
MAYO	15	1369.0
JUNIO	11	1312.6
JULIO	17	1392.0
AGOSTO	16	1364.2
SETIEMBRE	15	1308.4
OCTUBRE	15	1364.4
NOVIEMBRE	14	1391.8
DICIEMBRE	10	1397.6

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.4 Calculo de la radiación en el exterior de la atmosfera.

Para el cálculo de la radiación en el exterior de la atmosfera se calcula con los resultados de la Tabla N° 37, 38, 39.

$$H_o = G_0 \cdot \frac{24}{\pi} \cdot [\cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s) + \omega_s \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\delta)] \quad \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (4.48)$$

Dónde:

- $H_o$ : Radiación en el exterior de la atmosfera ( $Wh/m^2$ )

- $G_0$ : Irradiancia solar en incidencia normal sobre un plano, tabla 39 (Wh/m<sup>2</sup>)
- $Día$ : 16 marzo
- $\emptyset$  : Latitud de Arequipa (-16.40°)
- $\delta$  : Declinación, tabla 37 (-2.42°)
- $\omega_s$ : Angulo de horas de asoleamiento, tabla 38 (90.71°)

Reemplazando:

$$H_o = 1359.5 \cdot \frac{24}{\pi} \cdot [\cos(-16.40) \cdot \cos(-2.42) \cdot \text{sen}(90.71) + 90.71 \cdot \text{sen}(-16.40^\circ) \cdot \text{sen}(-2.42^\circ)] \quad (4.49)$$

$$H_o = 10149 \frac{Wh}{m^2} \quad (4.50)$$

**Tabla 40. Radiación en el exterior de la atmosfera.**

FECHA		Ho (Wh/m <sup>2</sup> )
MES	DIA	
<b>ENERO</b>	17	10781.0
<b>FEBRERO</b>	16	10459.0
<b>MARZO</b>	16	10149.0
<b>ABRIL</b>	15	8746.9
<b>MAYO</b>	15	8051.3
<b>JUNIO</b>	11	7174.7
<b>JULIO</b>	17	7869.2
<b>AGOSTO</b>	16	8671.4
<b>SETIEMBRE</b>	15	9410.2
<b>OCTUBRE</b>	15	10643.0
<b>NOVIEMBRE</b>	14	11227.0
<b>DICIEMBRE</b>	10	11353.0

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.5 Estimación de la radiación solar promedio sobre una superficie horizontal

Para la estimación de la radiación sobre una superficie horizontal usaremos el modelo de Bristow – Campbell.

$$H = H_0 \cdot a_B \cdot [1 - e^{-b_B \cdot (T_{max} - T_{min})^{c_B}}] \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (4.51)$$

Con los datos de la Tabla 36, 40 y los valores de temperatura máxima, mínima (Anexo 1) con estos datos podemos estimar la radiación solar.

Dónde:

- $H$  : Estimación de la radiación solar promedio (Wh/m<sup>2</sup>)
- $H_0$  : Radiación en el exterior de la atmosfera (Wh/m<sup>2</sup>)
- $a_B$  : 0.76
- $b_B$  : 0.16
- $c_B$  : 0.91
- $T_{min}$  : Temperatura mínima (°C)
- $T_{max}$  : Temperatura máxima (°C)
- $Día$  : 16 marzo

Reemplazando y aplicando para los demás meses.

$$H = 10149 \cdot 0.76 [1 - e^{-0.16 \cdot (22.1 - 11.8)^{0.91}}] \quad (4.52)$$

$$H = 4912.70 \frac{Wh}{m^2} \quad (4.53)$$

**Tabla 41. Estimación de la radiación solar sobre una superficie horizontal.**

MES	TEMPERATURA		H (Wh/m <sup>2</sup> )
	MÁXIMA	MÍNIMA	
ENERO	22.6	12.4	6013.71
FEBRERO	22.0	11.3	6275.90
MARZO	22.1	11.8	4912.70
ABRIL	23.7	10.5	5430.00
MAYO	23.9	9.1	5164.40
JUNIO	23.2	7.2	4676.20
JULIO	23.9	7.5	5220.20
AGOSTO	23.8	6.8	5807.20
SETIEMBRE	24.3	9.8	5779.90
OCTUBRE	24.7	9.5	5778.20
NOVIEMBRE	24.3	10.0	6467.00
DICIEMBRE	23.4	11.2	7011.40

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, hallaremos los componentes de la radiación total, pero primero debemos hallar la fracción de irradiación promedio mensual a través de la siguiente formula.

$$K_h = \frac{H}{H_o} \quad (4.54)$$

Donde para el mes de marzo daría el siguiente resultado:

- $K_h$ : Fracción de irradiación promedio mensual.
- $H$  : Estimación de la radiación solar promedio (Wh/m<sup>2</sup>)
- $H_o$ : Radiación en el exterior de la atmosfera (Wh/m<sup>2</sup>)

Reemplazando:

$$K_h = \frac{4912.70 \text{ W/m}^2}{10149 \text{ W/m}^2} = 0.48 \quad (4.55)$$

Repitiendo este cálculo para los siguientes meses según los resultados de la tabla anteriores.

**Tabla 42. Fracción de Irradiación Promedio Mensual.**

MES	Kh
<b>ENERO</b>	0.56
<b>FEBRERO</b>	0.60
<b>MARZO</b>	0.48
<b>ABRIL</b>	0.62
<b>MAYO</b>	0.64
<b>JUNIO</b>	0.65
<b>JULIO</b>	0.66
<b>AGOSTO</b>	0.67
<b>SETIEMBRE</b>	0.61
<b>OCTUBRE</b>	0.54
<b>NOVIEMBRE</b>	0.58
<b>DICIEMBRE</b>	0.62

Fuente: Elaboración propia.

Después usaremos la fórmula de Collares – Pereira y Rabl se puede hallar la radiación difusa:

$$\frac{H_d}{H} = 0.775 + 0.347 \cdot \left(\omega_s - \frac{\pi}{2}\right) - \left[0.505 + 0.261 \cdot \left(\omega_s - \frac{\pi}{2}\right)\right] \cdot \cos(2 \cdot K_h - 1.8) \quad (4.56)$$

Dónde:

- $\frac{H_d}{H}$  : Relación entre radiación promedio difusa y radiación promedio en una superficie horizontal.
- $\omega_s$  : Angulo de horas de asoleamiento, tabla 38 (°)
- $K_h$  : Fracción de irradiación promedio mensual

Reemplazando:

$$\frac{H_d}{H} = 0.775 + 0.347 \cdot \left(1.58 - \frac{\pi}{2}\right) - \left[0.505 + 0.261 \cdot \left(1.58 - \frac{\pi}{2}\right)\right] \cdot \cos(2 \cdot 0.61 - 1.8) \quad (4.57)$$

$$\frac{H_d}{H} = 0.44 \quad (4.58)$$

Ahora:

$$H_b = H - \left(\frac{H_d}{H} \cdot H\right) \quad (4.59)$$

Reemplazando y continuando con los demás mese.

$$H_b = 4912.70 - (0.44 \cdot 4912.70) \quad (4.60)$$

$$H_b = 2765.70 \text{ Wh/m}^2 \quad (4.61)$$

Tabla 43. Componente de la radiación total sobre una superficie horizontal.

MES	Hd/H	Hd (Wh/m <sup>2</sup> )	Hb (Wh/m <sup>2</sup> )	Ht (Wh/m <sup>2</sup> )
ENERO	0.40	2405.7	3608.0	6013.7
FEBRERO	0.37	2303.8	3972.1	6275.9
MARZO	0.44	2146.9	2765.7	4912.6
ABRIL	0.34	1849.3	3580.7	5430.0
MAYO	0.32	1673.1	3491.3	5164.4
JUNIO	0.32	1478.5	3197.7	4676.2
JULIO	0.31	1630.7	3589.5	5220.2
AGOSTO	0.31	1827.2	3980.0	5807.2
SETIEMBRE	0.35	2016.1	3763.8	5779.9
OCTUBRE	0.40	2316.2	3462.0	5778.2
NOVIEMBRE	0.39	2498.9	3968.1	6467.0
DICIEMBRE	0.36	2554.6	4456.8	7011.4

Fuente: Elaboración propia.

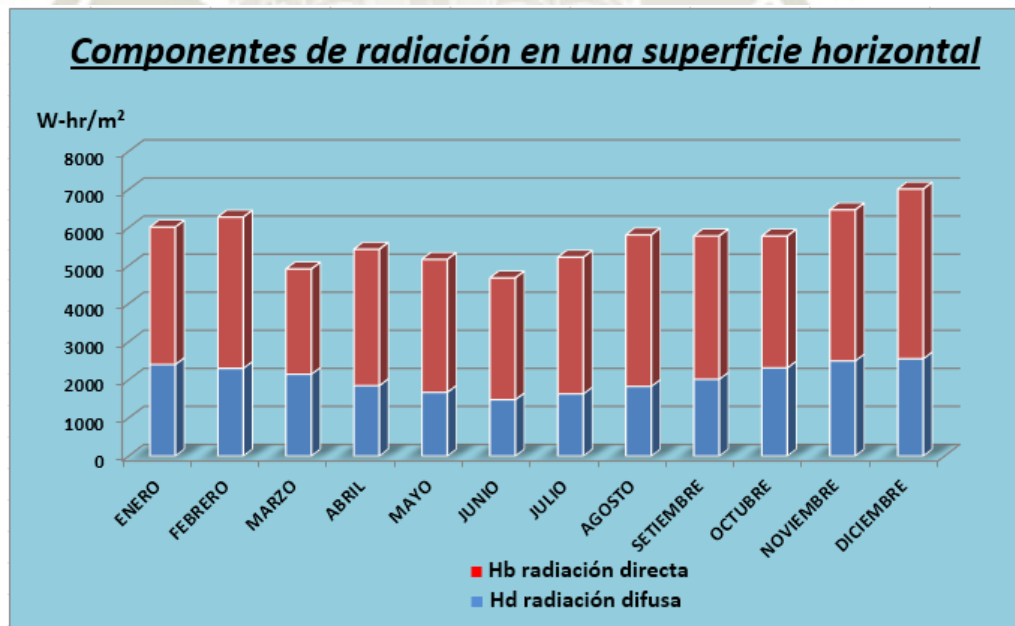


Figura 43.- Componentes de radiación directa y radiación difusa.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando el grafico se concluye que el valor más alto de la radiación solar está en el mes de diciembre con 7011.4 Wh/m<sup>2</sup>, la radiación más bajo esta en el mes de junio con 4676.2 Wh/m<sup>2</sup>.

#### 4.8.6 Estimación de la radiación solar promedio sobre una superficie inclinada

Para determinar la cantidad de energía que incide sobre un colector solar es necesario saber la radiación solar sobre una superficie inclinada, esta superficie inclinada debe tener un ángulo de inclinación sobre la horizontal que según la bibliografía este ángulo a la latitud del lugar más 10° según nuestro caso este ángulo será 26° con este concepto podremos calcular la radiación sobre una superficie inclinada.

$$R_b = \frac{\omega'_s \cdot \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\varnothing - S) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varnothing - S) \cdot \text{sen}(\omega'_s)}{\omega_s \cdot \text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\varnothing) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varnothing) \cdot \text{sen}(\omega_s)} \quad (4.62)$$

Dónde:

$$\omega'_s = \text{mínimo} \left\{ \begin{array}{l} \omega_s \\ \cos^{-1}[-\tan(\varnothing - S) \tan \delta] \end{array} \right. \quad (4.63)$$

Por lo tanto, resolviendo esta ecuación para el mes de marzo tenemos los siguientes datos:

- S : Latitud de superficie inclinada (26°)
- R<sub>b</sub> : Coeficiente de conversión para radiación directa
- ∅ : Latitud de Arequipa (-16.4°)
- δ : Declinación, tabla 37 (°)
- ω<sub>s</sub> : Angulo de horas de asoleamiento, tabla 38 (°)

Ahora tenemos que escoger el mínimo valor para  $\omega'_s$

$$\omega'_s = \text{mínimo} \left\{ \begin{array}{l} 90.71^\circ \\ \cos^{-1}[-\tan(-16.4 - 26) \tan - 2.41] = 92.19^\circ \end{array} \right. \quad (4.64)$$

Analizando los dos valores se escoge  $\omega'_s = 90.71^\circ$ , repitiendo este procedimiento obtenemos la siguiente tabla.

**Tabla 44. Ángulo de horas de asoleamiento, ángulo horario de puesta del sol durante el periodo considerado.**

MES	$\omega's$
ENERO	96.46
FEBRERO	93.88
MARZO	90.71
ABRIL	81.29
MAYO	71.89
JUNIO	67.09
JULIO	69.27
AGOSTO	77.38
SETIEMBRE	87.97
OCTUBRE	92.85
NOVIEMBRE	95.79
DICIEMBRE	97.19

Fuente: Elaboración propia.

Con todas las constantes determinadas podemos ahora a calcular el coeficiente de conversión de la radiación directa en la anterior ecuación haciéndolo primero con los datos para marzo.

$$R_b = \frac{90.71 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \text{sen}(-2.41) \cdot \text{sen}(-16.4^\circ - 26) + \cos(-2.41) \cdot \cos(-16.4^\circ - 26) \cdot \text{sen}(90.71)}{90.71 \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \text{sen}(-2.41) \cdot \text{sen}(-16.4^\circ) + \cos(-2.41) \cdot \cos(-16.4^\circ) \cdot \text{sen}(90.71)} \quad (4.65)$$

$$R_b = 0.8 \quad (4.66)$$

Repetimos este proceso con los datos anteriores podemos calcular el factor  $R_b$  para el resto del año y los resultados se muestra en el siguiente cuadro.

**Tabla 45. Coeficiente de conversión para radiación directa.**

MES	Rb
<b>ENERO</b>	1.03
<b>FEBRERO</b>	0.93
<b>MARZO</b>	0.80
<b>ABRIL</b>	0.64
<b>MAYO</b>	0.51
<b>JUNIO</b>	0.44
<b>JULIO</b>	0.47
<b>AGOSTO</b>	0.58
<b>SETIEMBRE</b>	0.74
<b>OCTUBRE</b>	0.89
<b>NOVIEMBRE</b>	1.00
<b>DICIEMBRE</b>	1.06

Fuente: Elaboración propia.

Hallando el coeficiente de conversión para radiación difusa, para lo cual usamos la siguiente ecuación.

$$R_d = \frac{1 + \cos(S)}{2} \quad (4.67)$$

Dónde:

$S$  : Latitud de superficie inclinada ( $26^\circ$ )

$R_d$ : Coeficiente de conversión para radiación difusa

Reemplazando tenemos:

$$R_d = \frac{1 + \cos(26)}{2} = 0.949 \quad (4.68)$$

Hallando el coeficiente de conversión para radiación reflejada, para lo cual usamos la siguiente ecuación:

$$R_\rho = \frac{1 + \cos(S)}{2} \cdot \rho \quad (4.69)$$

Dónde:

$S$  : Latitud de superficie inclinada ( $26^\circ$ )

$R_\rho$ : Coeficiente de conversión para radiación reflejada

$\rho$  : Albedo 0.2

Reemplazando tenemos:

$$R_\rho = \frac{1 + \cos(26)}{2} \cdot 0.2 \quad (4.70)$$

$$R_\rho = 0.189 \quad (4.71)$$

#### 4.8.7 Radiación directa sobre una superficie inclinada

Para determinar la radiación directa sobre una superficie inclinada utilizaremos la Tabla 43 y de la Tabla 45.

$$R_{directa} = H_b \cdot R_b \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (4.72)$$

Dónde:

$H_b$  : Radiación directa superficie horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)

$R_b$  : Coeficiente de conversión para radiación directa, tabla 45

Analizando los valores mencionados obtenemos la siguiente tabla.

**Tabla 46. Datos de radiación directa sobre una superficie inclinada.**

MES	Rdirecta (Wh/m <sup>2</sup> )
ENERO	3711.99
FEBRERO	3700.70
MARZO	2215.20
ABRIL	2306.30
MAYO	1777.10
JUNIO	1412.60
JULIO	1694.40
AGOSTO	2338.40
SETIEMBRE	2787.80
OCTUBRE	3083.60
NOVIEMBRE	3984.90
DICIEMBRE	4702.70

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.8 Radiación difusa sobre una superficie inclinada

Para determinar la radiación difusa sobre una superficie inclinada utilizaremos la Tabla 43 y el coeficiente de conversión de radiación difusa.

$$R_{difusa} = H_d \cdot R_d \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (4.73)$$

Dónde:

$H_d$  : Radiación difusa superficie horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)

$R_b$  : Coeficiente de conversión para radiación difusa (0.949)

Analizando los valores mencionados obtenemos la siguiente tabla.

**Tabla 47. Datos de radiación difusa sobre una superficie inclinada.**

MES	Rdifusa (W-hr/m <sup>2</sup> )
<b>ENERO</b>	2283.97
<b>FEBRERO</b>	2187.20
<b>MARZO</b>	2038.30
<b>ABRIL</b>	1755.70
<b>MAYO</b>	1588.40
<b>JUNIO</b>	1403.70
<b>JULIO</b>	1548.20
<b>AGOSTO</b>	1734.70
<b>SETIEMBRE</b>	1914.10
<b>OCTUBRE</b>	2199.00
<b>NOVIEMBRE</b>	2372.40
<b>DICIEMBRE</b>	2425.30

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.9 Radiación reflejada sobre una superficie inclinada

Para determinar la radiación reflejada sobre una superficie inclinada utilizaremos la Tabla 43 y el coeficiente de conversión de radiación reflejada.

$$R_{reflejada} = R_{\rho} \cdot (H_b + H_d) \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (4.74)$$

Dónde:

$H_b$  : Radiación directa superficie horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)

$H_d$  : Radiación difusa superficie horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)

$R_{\rho}$  : Coeficiente de conversión para radiación reflejada (0.189)

**Tabla 48. Datos de radiación reflejada sobre una superficie inclinada.**

MES	Rreflejada (Wh/m <sup>2</sup> )
<b>ENERO</b>	1141.88
<b>FEBRERO</b>	1191.70
<b>MARZO</b>	932.81
<b>ABRIL</b>	1031.00
<b>MAYO</b>	980.62
<b>JUNIO</b>	887.92
<b>JULIO</b>	991.21
<b>AGOSTO</b>	1102.70
<b>SETIEMBRE</b>	1097.50
<b>OCTUBRE</b>	1097.20
<b>NOVIEMBRE</b>	1227.90
<b>DICIEMBRE</b>	1331.30

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.10 Radiación global sobre una superficie inclinada

Ahora se puede calcular la radiación global sobre una superficie inclinada con la siguiente ecuación:

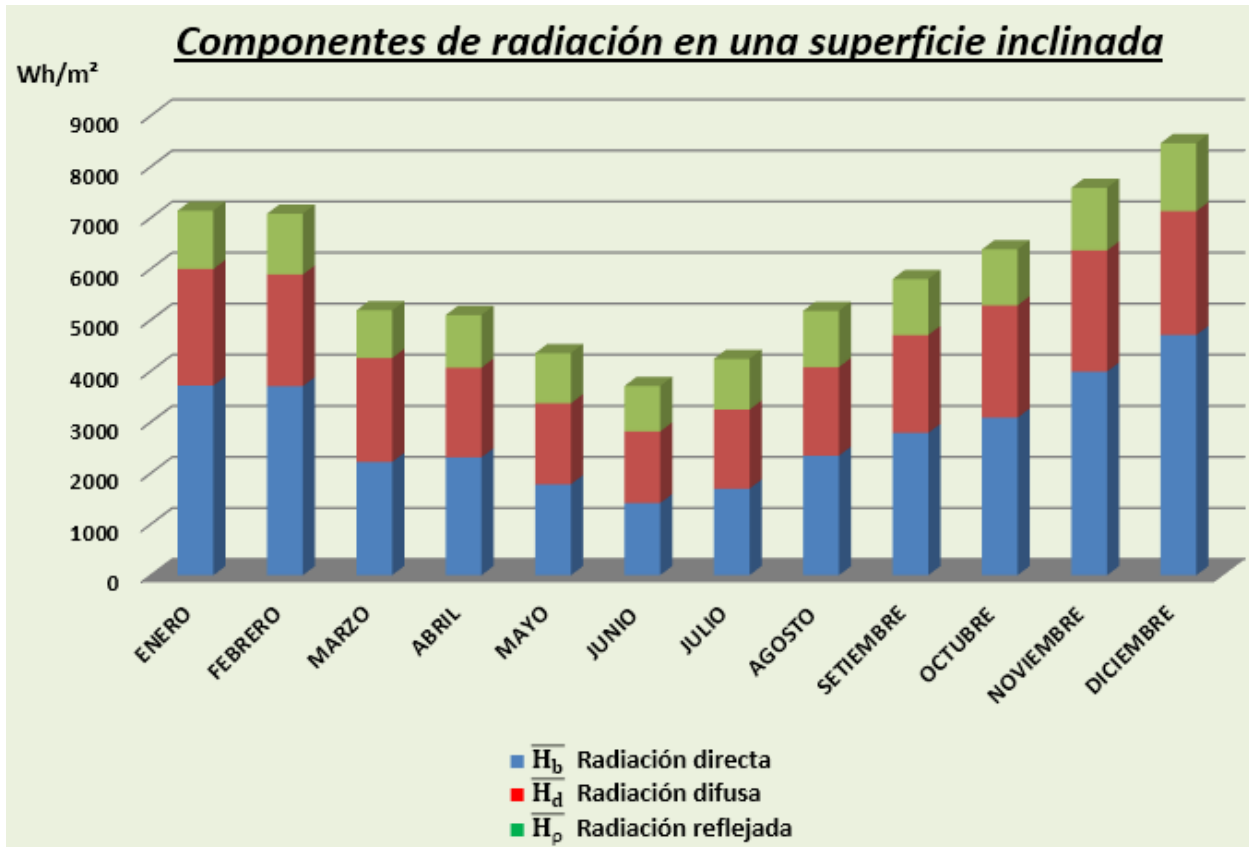
$$H_T = H_b \cdot R_b + H_d \cdot R_d + (H_b + H_d) \cdot R_\rho \quad \left[ \frac{Wh}{m^2} \right] \quad (4.75)$$

Sumamos radiación directa, radiación difusa y la radiación reflejada para obtener la radiación global.

**Tabla 49.- Radiación global promedio sobre una superficie inclinada.**

MES	Radiación			
	Directa $\overline{H}_b$ (Wh/m <sup>2</sup> )	Difusa $\overline{H}_d$ (Wh/m <sup>2</sup> )	Reflejada $\overline{H}_\rho$ (Wh/m <sup>2</sup> )	Global $H_T$ (Wh/m <sup>2</sup> )
<b>ENERO</b>	3711.99	2283.97	1141.88	<b>7137.84</b>
<b>FEBRERO</b>	3700.70	2187.20	1191.70	<b>7079.60</b>
<b>MARZO</b>	2215.20	2038.30	932.81	<b>5186.31</b>
<b>ABRIL</b>	2306.30	1755.70	1031.00	<b>5093.00</b>
<b>MAYO</b>	1777.10	1588.40	980.62	<b>4346.12</b>
<b>JUNIO</b>	1412.60	1403.70	887.92	<b>3704.22</b>
<b>JULIO</b>	1694.40	1548.20	991.21	<b>4233.81</b>
<b>AGOSTO</b>	2338.40	1734.70	1102.70	<b>5175.80</b>
<b>SETIEMBRE</b>	2787.80	1914.10	1097.50	<b>5799.40</b>
<b>OCTUBRE</b>	3083.60	2199.00	1097.20	<b>6379.80</b>
<b>NOVIEMBRE</b>	3984.90	2372.40	1227.90	<b>7585.20</b>
<b>DICIEMBRE</b>	4702.70	2425.30	1331.30	<b>8459.30</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 44: Radiación global promedio sobre una superficie inclinada.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.11 Ángulo horario

Trabajaremos con los siguientes ángulos horarios de acuerdo a la hora de inicio hasta su término.

**Tabla 50. Ángulo horario con su respectiva hora.**

Horas	$\omega$
06:00	90
07:00	75
08:00	60
09:00	45
10:00	30
11:00	15
12:00	0
13:00	-15
14:00	-30
15:00	-45
16:00	-60
17:00	-75
18:00	-90

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.12 Factor de radiación difusa

Para determinar el factor de radiación difusa utilizaremos la siguiente formula.

$$r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \left[ \frac{\cos(\omega) - \cos(\omega_s)}{\text{sen}(\omega_s) - \omega_s \cdot \cos(\omega_s)} \right] \quad (4.76)$$

Dónde:

- $T$  : Longitud del día (24 horas)
- $r_d$  : Factor de radiación difusa
- $\omega_s$  : Ángulo de horas de asoleamiento, tabla 38
- $\omega$  : Ángulo horario, tabla 50

Reemplazando los datos en la formula obtendremos el siguiente cuadro para cada mes.

**Tabla 51. Datos de factor de radiación difusa.**

	Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
rd	06:00	90	0.012	0.008	0.002	-0.007	-0.016	-0.020	-0.018	-0.010	-0.001	0.006	0.011	0.014
	07:00	75	0.041	0.039	0.035	0.030	0.024	0.022	0.023	0.028	0.033	0.037	0.041	0.042
	08:00	60	0.068	0.067	0.066	0.064	0.062	0.060	0.061	0.063	0.065	0.067	0.068	0.068
	09:00	45	0.091	0.091	0.092	0.093	0.094	0.094	0.094	0.093	0.093	0.092	0.091	0.090
	10:00	30	0.108	0.110	0.113	0.116	0.118	0.120	0.119	0.117	0.114	0.111	0.109	0.108
	11:00	15	0.119	0.122	0.126	0.130	0.134	0.136	0.135	0.131	0.127	0.123	0.120	0.119
	12:00	0	0.123	0.126	0.130	0.135	0.139	0.141	0.140	0.136	0.132	0.127	0.124	0.122
	13:00	-15	0.119	0.122	0.126	0.130	0.134	0.136	0.135	0.131	0.127	0.123	0.120	0.119
	14:00	-30	0.108	0.110	0.113	0.116	0.118	0.120	0.119	0.117	0.114	0.111	0.109	0.108
	15:00	-45	0.091	0.091	0.092	0.093	0.094	0.094	0.094	0.093	0.093	0.092	0.091	0.090
	16:00	-60	0.068	0.067	0.066	0.064	0.062	0.060	0.061	0.063	0.065	0.067	0.068	0.068
	17:00	-75	0.041	0.039	0.035	0.030	0.024	0.022	0.023	0.028	0.033	0.037	0.041	0.042
18:00	-90	0.012	0.008	0.002	-0.007	-0.016	-0.020	-0.018	-0.010	-0.001	0.006	0.011	0.014	

Fuente: Elaboración propia.

Similarmente, el factor de conversión  $r_h$  puede calcularse mediante la relación:

$$r_h = r_d \cdot [a + b \cdot \cos(\omega)] \quad (4.77)$$

De donde los parámetros a y b están dados por las expresiones

$$a = 0.409 + 0.5016 \cdot \text{sen}(\omega_s - 60^\circ) \quad (4.78)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \cdot \text{sen}(\omega_s - 60^\circ) \quad (4.79)$$

Para poder obtener el factor de conversión  $r_h$  es necesario calcular los parámetros a y b:

**Tabla 52. Parámetros a y b.**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
a	0.707	0.69	0.665	0.638	0.615	0.603	0.609	0.629	0.655	0.682	0.703	0.712
b	0.378	0.394	0.418	0.443	0.465	0.476	0.471	0.452	0.427	0.402	0.382	0.373

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 53. Datos del factor de conversión.**

Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
rh	06:00	90	0.009	0.006	0.001	-0.004	-0.010	-0.012	-0.011	-0.006	-0.001	0.004	0.008	0.010
	07:00	75	0.033	0.031	0.027	0.022	0.018	0.016	0.017	0.021	0.025	0.029	0.032	0.034
	08:00	60	0.061	0.059	0.057	0.055	0.052	0.051	0.052	0.054	0.057	0.059	0.060	0.061
	09:00	45	0.088	0.089	0.089	0.089	0.088	0.088	0.088	0.089	0.089	0.089	0.088	0.088
	10:00	30	0.112	0.114	0.116	0.118	0.120	0.121	0.121	0.119	0.117	0.114	0.112	0.111
	11:00	15	0.128	0.130	0.134	0.139	0.142	0.144	0.143	0.140	0.136	0.132	0.129	0.127
	12:00	0	0.134	0.136	0.141	0.146	0.150	0.152	0.151	0.147	0.143	0.138	0.134	0.133
	13:00	-15	0.128	0.130	0.134	0.139	0.142	0.144	0.143	0.140	0.136	0.132	0.129	0.127
	14:00	-30	0.112	0.114	0.116	0.118	0.120	0.121	0.121	0.119	0.117	0.114	0.112	0.111
	15:00	-45	0.088	0.089	0.089	0.089	0.088	0.088	0.088	0.089	0.089	0.089	0.088	0.088
	16:00	-60	0.061	0.059	0.057	0.055	0.052	0.051	0.052	0.054	0.057	0.059	0.060	0.061
	17:00	-75	0.033	0.031	0.027	0.022	0.018	0.016	0.017	0.021	0.025	0.029	0.032	0.034
18:00	-90	0.009	0.006	0.001	-0.004	-0.010	-0.012	-0.011	-0.006	-0.001	0.004	0.008	0.010	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.13 Radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal

Para determinar la radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal utilizaremos la siguiente fórmula.

$$D = r_d \cdot H_d \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (4.80)$$

Dónde:

- $D$  : Radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal (W/m<sup>2</sup>)
- $r_d$  : Factor de radiación difusa, tabla 51
- $H_d$  : Radiación difusa sobre una superficie horizontal, tabla 43

Reemplazando los datos en la formula obtendremos el siguiente cuadro para cada mes.

**Tabla 54. Datos de radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal.**

	Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
D	06:00	90	29.95	18.42	3.43	-12.78	-25.88	-29.96	-29.44	-18.89	-3.06	13.99	28.36	34.77
	07:00	75	98.84	88.82	74.76	54.99	40.99	31.83	37.34	50.52	66.48	86.68	101.12	106.62
	08:00	60	163.04	154.43	141.24	118.14	103.30	89.40	99.57	115.20	131.29	154.42	168.92	173.57
	09:00	45	218.16	210.76	198.33	172.37	156.81	138.84	153.01	170.75	186.94	212.59	227.14	231.06
	10:00	30	260.46	253.99	242.13	213.98	197.87	176.77	194.01	213.37	229.64	257.23	271.82	275.17
	11:00	15	287.05	281.16	269.66	240.13	223.68	200.62	219.79	240.16	256.48	285.29	299.90	302.91
	12:00	0	296.12	290.43	279.06	249.06	232.49	208.75	228.58	249.30	265.64	294.86	309.48	312.37
	13:00	-15	287.05	281.16	269.66	240.13	223.68	200.62	219.79	240.16	256.48	285.29	299.90	302.91
	14:00	-30	260.46	253.99	242.13	213.98	197.87	176.77	194.01	213.37	229.64	257.23	271.82	275.17
	15:00	-45	218.16	210.76	198.33	172.37	156.81	138.84	153.01	170.75	186.94	212.59	227.14	231.06
	16:00	-60	163.04	154.43	141.24	118.14	103.30	89.40	99.57	115.20	131.29	154.42	168.92	173.57
	17:00	-75	98.84	88.82	74.76	54.99	40.99	31.83	37.34	50.52	66.48	86.68	101.12	106.62
	18:00	-90	29.95	18.42	3.43	-12.78	-25.88	-29.96	-29.44	-18.89	-3.06	13.99	28.36	34.77

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.14 Radiación global instantánea sobre una superficie horizontal

Para determinar la radiación global instantánea sobre una superficie horizontal utilizaremos la siguiente formula.

$$G = r_h \cdot H \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (4.81)$$

Dónde:

- $G$  : Radiación global instantánea sobre una superficie horizontal ( $W/m^2$ )
- $r_h$ : Factor de conversión, tabla 53
- $H$ : Estimación de la radiación solar sobre una superficie horizontal, tabla 41

Reemplazando los datos en la formula obtendremos el siguiente cuadro para cada mes.

**Tabla 55. Datos de radiación global instantánea sobre una superficie horizontal.**

	Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
G	06:00	90	52.94	34.56	5.22	-23.96	-49.14	-57.16	-57.36	-37.74	-5.75	23.76	51.54	67.98
	07:00	75	198.86	191.37	132.28	121.57	93.04	73.14	87.33	119.72	145.89	169.80	209.68	236.65
	08:00	60	365.13	372.81	282.44	298.24	270.26	237.91	269.09	312.94	326.88	339.88	390.56	428.08
	09:00	45	531.23	555.79	435.82	481.58	456.88	412.79	461.30	514.64	512.86	512.10	571.70	618.82
	10:00	30	673.30	713.23	568.83	642.07	621.65	567.90	631.43	691.83	674.71	660.65	726.86	781.70
	11:00	15	769.11	819.77	659.25	751.76	734.83	674.70	748.45	813.19	784.96	761.31	831.59	891.43
	12:00	0	802.94	857.45	691.30	790.73	775.12	712.76	790.13	856.34	824.07	796.94	868.58	930.15
	13:00	-15	769.11	819.77	659.25	751.76	734.83	674.70	748.45	813.19	784.96	761.31	831.59	891.43
	14:00	-30	673.30	713.23	568.83	642.07	621.65	567.90	631.43	691.83	674.71	660.65	726.86	781.70
	15:00	-45	531.23	555.79	435.82	481.58	456.88	412.79	461.30	514.64	512.86	512.10	571.70	618.82
	16:00	-60	365.13	372.81	282.44	298.24	270.26	237.91	269.09	312.94	326.88	339.88	390.56	428.08
	17:00	-75	198.86	191.37	132.28	121.57	93.04	73.14	87.33	119.72	145.89	169.80	209.68	236.65
	18:00	-90	52.94	34.56	5.22	-23.96	-49.14	-57.16	-57.36	-37.74	-5.75	23.76	51.54	67.98

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.15 Radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal

Para determinar la radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal utilizaremos la siguiente fórmula.

$$I_h = G - D \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (4.82)$$

Dónde:

- $I_h$ : Radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal ( $W/m^2$ )
- $G$ : Radiación global instantánea sobre una superficie horizontal, tabla 55.
- $D$ : Radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal, tabla 54.

Reemplazando los datos en la fórmula obtendremos el siguiente cuadro para cada mes.

**Tabla 56. Datos de radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal.**

Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
lh	06:00	90	22.99	16.14	1.79	-11.17	-23.25	-27.20	-27.92	-18.85	-2.69	9.78	23.19	33.20
	07:00	75	100.01	102.55	57.52	66.58	52.05	41.31	49.99	69.20	79.40	83.12	108.56	130.03
	08:00	60	202.09	218.38	141.20	180.11	166.96	148.52	169.52	197.73	195.59	185.46	221.64	254.51
	09:00	45	313.07	345.03	237.50	309.21	300.07	273.96	308.29	343.89	325.92	299.51	344.55	387.76
	10:00	30	412.84	459.24	326.70	428.09	423.78	391.13	437.42	478.47	445.07	403.41	455.04	506.52
	11:00	15	482.06	538.61	389.59	511.63	511.14	474.08	528.66	573.03	528.48	476.02	531.69	588.52
	12:00	0	506.81	567.02	412.24	541.67	542.63	504.01	561.55	607.04	558.44	502.08	559.10	617.79
	13:00	-15	482.06	538.61	389.59	511.63	511.14	474.08	528.66	573.03	528.48	476.02	531.69	588.52
	14:00	-30	412.84	459.24	326.70	428.09	423.78	391.13	437.42	478.47	445.07	403.41	455.04	506.52
	15:00	-45	313.07	345.03	237.50	309.21	300.07	273.96	308.29	343.89	325.92	299.51	344.55	387.76
	16:00	-60	202.09	218.38	141.20	180.11	166.96	148.52	169.52	197.73	195.59	185.46	221.64	254.51
	17:00	-75	100.01	102.55	57.52	66.58	52.05	41.31	49.99	69.20	79.40	83.12	108.56	130.03
	18:00	-90	22.99	16.14	1.79	-11.17	-23.25	-27.20	-27.92	-18.85	-2.69	9.78	23.19	33.20

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.16 Radiación promedio total instantánea sobre una superficie inclinada

Para determinar la energía recibida sobre una superficie inclinada a partir de mediciones en el plano horizontal, hace falta multiplicar por los factores de inclinación.

$$G_t = R_b \cdot l_h + R_d \cdot D + R_\rho \cdot G \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (4.83)$$

Dónde:

- $G_t$  : Radiación promedio total instantánea sobre una superficie inclinada ( $W/m^2$ )
- $R_b$ : Coeficiente de conversión de radiación directa.
- $l_h$  : Radiación directa instantánea sobre una superficie horizontal ( $W/m^2$ )
- $R_d$ : Coeficiente de conversión de radiación difusa.
- $D$  : Radiación difusa instantánea sobre una superficie horizontal ( $W/m^2$ )
- $R_\rho$ : Coeficiente de conversión de radiación reflejada.

- $G$  : Radiación global instantánea sobre una superficie horizontal ( $W/m^2$ )

El coeficiente de conversión de radiación directa es:

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\sin(h)} \quad (4.84)$$

Dónde:

- ❖  $\theta$ : Ángulo entre un rayo incidente directamente del sol y la normal a un plano cualquiera.
- ❖  $h$ : Ángulo de altura solar.

Se denomina factor de inclinación a los ángulos  $h$  y  $\theta$  que pueden ser calculados a partir de las siguientes fórmulas.

$$\cos\theta = \sin(\delta) \cdot \sin(\varnothing - s) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varnothing - s) \cdot \cos(\omega) \quad (4.85)$$

Dónde:

- ✓  $\varnothing$ : Latitud de Arequipa ( $-16.4^\circ$ )
- ✓  $\delta$ : Declinación, tabla 37
- ✓  $\omega$ : Ángulo horario (cada hora es  $15^\circ$ )
- ✓  $s$ : Latitud de superficie inclinada ( $26^\circ$ )

Reemplazando los datos anteriores obtenemos el siguiente cuadro.

Tabla 57. Datos de  $\cos(\theta)$ .

Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
cos $\theta$	06:00	90	0.240	0.155	0.028	-0.111	-0.217	-0.264	-0.243	-0.155	-0.023	0.115	0.220	0.265
	07:00	75	0.418	0.341	0.219	0.077	-0.036	-0.088	-0.064	0.031	0.167	0.303	0.401	0.440
	08:00	60	0.585	0.514	0.396	0.253	0.132	0.075	0.102	0.204	0.345	0.478	0.569	0.604
	09:00	45	0.728	0.663	0.549	0.403	0.277	0.216	0.244	0.353	0.497	0.629	0.713	0.745
	10:00	30	0.837	0.777	0.666	0.519	0.388	0.324	0.354	0.467	0.615	0.744	0.824	0.853
	11:00	15	0.906	0.849	0.739	0.591	0.457	0.392	0.423	0.538	0.688	0.817	0.894	0.921
	12:00	0	0.930	0.873	0.764	0.616	0.481	0.415	0.446	0.563	0.713	0.842	0.918	0.944
	13:00	-15	0.906	0.849	0.739	0.591	0.457	0.392	0.423	0.538	0.688	0.817	0.894	0.921
	14:00	-30	0.837	0.777	0.666	0.519	0.388	0.324	0.354	0.467	0.615	0.744	0.824	0.853
	15:00	-45	0.728	0.663	0.549	0.403	0.277	0.216	0.244	0.353	0.497	0.629	0.713	0.745
	16:00	-60	0.585	0.514	0.396	0.253	0.132	0.075	0.102	0.204	0.345	0.478	0.569	0.604
	17:00	-75	0.418	0.341	0.219	0.077	-0.036	-0.088	-0.064	0.031	0.167	0.303	0.401	0.440
	18:00	-90	0.240	0.155	0.028	-0.111	-0.217	-0.264	-0.243	-0.155	-0.023	0.115	0.220	0.265

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo de  $\text{sen}(h)$  se determina con la siguiente fórmula.

$$\text{sen}(h) = \cos(\varnothing) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \text{sen}(\varnothing) \cdot \text{sen}(\delta) \quad (4.86)$$

Dónde:

- ✓  $h$ : Angulo de altura solar
- ✓  $\varnothing$ : Latitud de Arequipa ( $-16.4^\circ$ )
- ✓  $\delta$ : Declinación, tabla 37
- ✓  $\omega$ : Ángulo horario (cada hora es  $15^\circ$ )

Reemplazando los datos anteriores obtenemos el siguiente cuadro.

**Tabla 58. Datos de sen (*h*).**

Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
sen h	06:00	90	0.100	0.065	0.012	-0.047	-0.091	-0.111	-0.102	-0.065	-0.010	0.048	0.092	0.111
	07:00	75	0.332	0.306	0.259	0.198	0.144	0.118	0.130	0.176	0.238	0.292	0.327	0.339
	08:00	60	0.549	0.531	0.490	0.426	0.363	0.331	0.346	0.401	0.469	0.520	0.545	0.552
	09:00	45	0.734	0.724	0.688	0.622	0.551	0.513	0.531	0.594	0.667	0.715	0.733	0.735
	10:00	30	0.877	0.873	0.840	0.772	0.695	0.654	0.673	0.743	0.819	0.865	0.877	0.875
	11:00	15	0.966	0.966	0.936	0.866	0.786	0.742	0.763	0.836	0.915	0.960	0.967	0.963
	12:00	0	0.997	0.997	0.968	0.898	0.817	0.772	0.793	0.867	0.947	0.992	0.998	0.993
	13:00	-15	0.966	0.966	0.936	0.866	0.786	0.742	0.763	0.836	0.915	0.960	0.967	0.963
	14:00	-30	0.877	0.873	0.840	0.772	0.695	0.654	0.673	0.743	0.819	0.865	0.877	0.875
	15:00	-45	0.734	0.724	0.688	0.622	0.551	0.513	0.531	0.594	0.667	0.715	0.733	0.735
	16:00	-60	0.549	0.531	0.490	0.426	0.363	0.331	0.346	0.401	0.469	0.520	0.545	0.552
	17:00	-75	0.332	0.306	0.259	0.198	0.144	0.118	0.130	0.176	0.238	0.292	0.327	0.339
	18:00	-90	0.100	0.065	0.012	-0.047	-0.091	-0.111	-0.102	-0.065	-0.010	0.048	0.092	0.111

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 59.- Coeficiente de conversión de radiación directa.**

Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Rb	00:00	90	2.388	2.388	2.353	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	
	00:00	75	1.258	1.111	0.836	0.375	-0.271	-0.753	-0.508	0.157	0.694	1.033	1.225	1.298
	00:00	60	1.066	0.967	0.807	0.590	0.361	0.228	0.292	0.505	0.734	0.919	1.043	1.094
	00:00	45	0.991	0.915	0.796	0.647	0.501	0.421	0.459	0.592	0.745	0.878	0.973	1.014
	00:00	30	0.955	0.890	0.792	0.671	0.557	0.496	0.525	0.627	0.750	0.860	0.940	0.975
	00:00	15	0.938	0.879	0.790	0.682	0.582	0.528	0.554	0.643	0.752	0.851	0.924	0.956
	00:00	0	0.933	0.875	0.789	0.685	0.589	0.538	0.562	0.648	0.752	0.848	0.919	0.950
	00:00	-15	0.938	0.879	0.790	0.682	0.582	0.528	0.554	0.643	0.752	0.851	0.924	0.956
	00:00	-30	0.955	0.890	0.792	0.671	0.557	0.496	0.525	0.627	0.750	0.860	0.940	0.975
	00:00	-45	0.991	0.915	0.796	0.647	0.501	0.421	0.459	0.592	0.745	0.878	0.973	1.014
	00:00	-60	1.066	0.967	0.807	0.590	0.361	0.228	0.292	0.505	0.734	0.919	1.043	1.094
	00:00	-75	1.258	1.111	0.836	0.375	-0.271	-0.753	-0.508	0.157	0.694	1.033	1.225	1.298
	Hora	-90	2.388	2.388	2.353	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388	2.388

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 60. Radiación directa instantánea sobre una superficie inclinada.**

	Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rblh	06:00	90	54.89	38.53	4.27	-26.68	-55.52	-64.96	-66.66	-45.00	-6.42	23.35	55.36	79.28
	07:00	75	126.02	113.35	48.54	26.21	-13.12	-31.12	-25.29	11.40	55.20	85.68	132.82	168.71
	08:00	60	215.62	210.25	114.22	107.10	60.83	33.80	49.39	99.74	143.17	169.93	230.80	278.40
	09:00	45	310.52	314.38	189.45	200.91	150.83	115.23	141.32	203.15	242.23	262.42	334.81	392.89
	10:00	30	394.59	407.39	258.95	288.14	236.50	193.82	229.30	299.75	332.98	346.01	427.07	493.46
	11:00	15	452.44	471.69	307.89	349.75	297.74	250.38	292.35	368.15	396.58	404.17	490.60	562.33
	12:00	0	473.05	494.65	325.50	371.96	319.93	270.93	315.22	392.83	419.43	425.00	513.24	586.81
	13:00	-15	452.44	471.69	307.89	349.75	297.74	250.38	292.35	368.15	396.58	404.17	490.60	562.33
	14:00	-30	394.59	407.39	258.95	288.14	236.50	193.82	229.30	299.75	332.98	346.01	427.07	493.46
	15:00	-45	310.52	314.38	189.45	200.91	150.83	115.23	141.32	203.15	242.23	262.42	334.81	392.89
	16:00	-60	215.62	210.25	114.22	107.10	60.83	33.80	49.39	99.74	143.17	169.93	230.80	278.40
	17:00	-75	126.02	113.35	48.54	26.21	-13.12	-31.12	-25.29	11.40	55.20	85.68	132.82	168.71
	18:00	-90	54.89	38.53	4.27	-26.68	-55.52	-64.96	-66.66	-45.00	-6.42	23.35	55.36	79.28

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 61. Radiación difusa instantánea sobre una superficie inclinada.**

	Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RdD	06:00	90	28.44	17.49	3.25	-12.14	-24.57	-28.44	-27.95	-17.93	-2.91	13.28	26.92	33.01
	07:00	75	93.84	84.33	70.98	52.20	38.91	30.22	35.45	47.96	63.12	82.30	96.00	101.22
	08:00	60	154.79	146.61	134.09	112.16	98.07	84.87	94.53	109.37	124.64	146.61	160.37	164.79
	09:00	45	207.12	200.09	188.29	163.64	148.88	131.81	145.27	162.11	177.48	201.84	215.65	219.37
	10:00	30	247.28	241.13	229.88	203.15	187.86	167.83	184.20	202.57	218.02	244.21	258.07	261.25
	11:00	15	272.53	266.93	256.02	227.98	212.36	190.47	208.67	228.01	243.50	270.85	284.73	287.58
	12:00	0	281.14	275.73	264.94	236.45	220.72	198.19	217.02	236.68	252.19	279.94	293.82	296.56
	13:00	-15	272.53	266.93	256.02	227.98	212.36	190.47	208.67	228.01	243.50	270.85	284.73	287.58
	14:00	-30	247.28	241.13	229.88	203.15	187.86	167.83	184.20	202.57	218.02	244.21	258.07	261.25
	15:00	-45	207.12	200.09	188.29	163.64	148.88	131.81	145.27	162.11	177.48	201.84	215.65	219.37
	16:00	-60	154.79	146.61	134.09	112.16	98.07	84.87	94.53	109.37	124.64	146.61	160.37	164.79
	17:00	-75	93.84	84.33	70.98	52.20	38.91	30.22	35.45	47.96	63.12	82.30	96.00	101.22
	18:00	-90	28.44	17.49	3.25	-12.14	-24.57	-28.44	-27.95	-17.93	-2.91	13.28	26.92	33.01

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 62. Radiación reflejada instantánea sobre una superficie inclinada.**

	Hora	$\omega$	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
RpG	06:00	90	10.05	6.56	0.99	-4.55	-9.33	-10.85	-10.89	-7.17	-1.09	4.51	9.79	12.91
	07:00	75	37.76	36.34	25.12	23.08	17.67	13.89	16.58	22.73	27.70	32.24	39.81	44.94
	08:00	60	69.33	70.79	53.63	56.63	51.32	45.17	51.09	59.42	62.07	64.54	74.16	81.28
	09:00	45	100.87	105.53	82.75	91.44	86.75	78.38	87.59	97.72	97.38	97.24	108.55	117.50
	10:00	30	127.85	135.43	108.01	121.92	118.04	107.83	119.90	131.36	128.11	125.44	138.02	148.43
	11:00	15	146.04	155.66	125.18	142.74	139.53	128.11	142.11	154.41	149.05	144.56	157.90	169.26
	12:00	0	152.46	162.81	131.26	150.14	147.18	135.34	150.03	162.60	156.47	151.32	164.93	176.62
	13:00	-15	146.04	155.66	125.18	142.74	139.53	128.11	142.11	154.41	149.05	144.56	157.90	169.26
	14:00	-30	127.85	135.43	108.01	121.92	118.04	107.83	119.90	131.36	128.11	125.44	138.02	148.43
	15:00	-45	100.87	105.53	82.75	91.44	86.75	78.38	87.59	97.72	97.38	97.24	108.55	117.50
	16:00	-60	69.33	70.79	53.63	56.63	51.32	45.17	51.09	59.42	62.07	64.54	74.16	81.28
	17:00	-75	37.76	36.34	25.12	23.08	17.67	13.89	16.58	22.73	27.70	32.24	39.81	44.94
	18:00	-90	10.05	6.56	0.99	-4.55	-9.33	-10.85	-10.89	-7.17	-1.09	4.51	9.79	12.91

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando los valores anteriores en la fórmula:

$$G_t = R_b \cdot l_h + R_d \cdot D + R_\rho \cdot G \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (4.87)$$

Obtendremos los valores de la radiación total instantánea sobre una superficie inclinada.

**Tabla 63. Radiación promedio total instantánea sobre una superficie inclinada.**

	Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Gt	06:00	93.49	61.19	10.62	-44.75	-87.25	-108.26	-101.23	-67.87	-9.62	54.30	101.80	115.61
	07:00	258.56	225.70	162.50	103.24	43.13	13.28	26.91	82.44	156.99	239.23	288.81	293.35
	08:00	441.59	411.13	338.39	281.50	206.71	169.68	189.84	266.44	352.79	449.76	497.39	489.68
	09:00	621.26	595.11	515.90	465.65	379.59	337.20	363.28	458.25	552.14	659.97	702.91	681.92
	10:00	773.22	751.78	668.69	626.41	532.55	486.56	517.36	626.63	724.66	839.71	877.17	844.24
	11:00	875.01	857.16	772.11	736.13	637.72	589.69	623.55	741.89	841.80	960.89	994.06	952.86
	12:00	910.83	894.32	808.69	775.08	675.19	626.51	661.42	782.86	883.29	1003.66	1035.23	991.07
	13:00	875.01	857.16	772.11	736.13	637.72	589.69	623.55	741.89	841.80	960.89	994.06	952.86
	14:00	773.22	751.78	668.69	626.41	532.55	486.56	517.36	626.63	724.66	839.71	877.17	844.24
	15:00	621.26	595.11	515.90	465.65	379.59	337.20	363.28	458.25	552.14	659.97	702.91	681.92
	16:00	441.59	411.13	338.39	281.50	206.71	169.68	189.84	266.44	352.79	449.76	497.39	489.68
	17:00	258.56	225.70	162.50	103.24	43.13	13.28	26.91	82.44	156.99	239.23	288.81	293.35
	18:00	93.49	61.19	10.62	-44.75	-87.25	-108.26	-101.23	-67.87	-9.62	54.30	101.80	115.61

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.17 Temperatura ambiente

La temperatura ambiente está dada por el centro meteorológico de la Pampilla que se describe en la siguiente tabla.

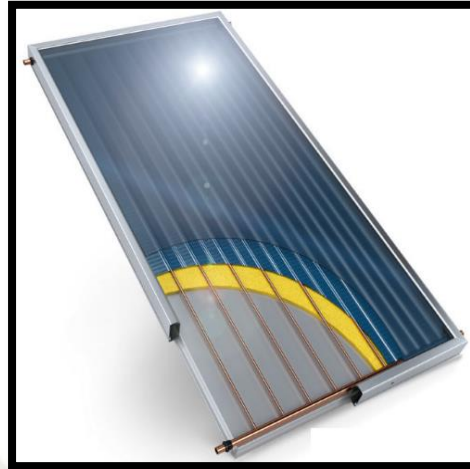
**Tabla 64. Temperatura ambiente de Arequipa 2018.**

MES	TEMPERATURA	
	MÁXIMA	MÍNIMA
ENERO	22.6	12.4
FEBRERO	22.0	11.3
MARZO	22.1	11.8
ABRIL	23.7	10.5
MAYO	23.9	9.1
JUNIO	23.2	7.2
JULIO	23.9	7.5
AGOSTO	23.8	6.8
SETIEMBRE	24.3	9.8
OCTUBRE	24.7	9.5
NOVIEMBRE	24.3	10.0
DICIEMBRE	23.4	11.2

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

#### 4.8.18 Criterios de selección de colectores

En el mercado local encontramos variedad de termas solares, para hoteles tenemos que seleccionar entre el colector de placa plana y el colector de tubos de calor (heat pipe).



**Figura 45.- Colector de placa plana.**

Fuente: GREEN LINE.



**Figura 46.- Colector de tubos de calor (heat pipe)**

Fuente: KHONE.

En la siguiente tabla se muestran valores típicos de los parámetros característicos de eficiencia óptica ( $FR(\tau\alpha)$ ) y el coeficiente global de pérdidas de calor ( $FRUI$ ), así como el rango normal de temperaturas de trabajo para distintos tipos de colectores:

**Tabla 65. Datos experimentales del coeficiente global de pérdidas.**

COLECTOR	RANGO °C	$U_L$ (W/m <sup>2</sup> -K)
Sin cubierta	10-40	15-25
Cubierta simple	10-60	7
Cubierta doble vidrio	10-80	5
Superficie selectiva	10-80	5
Tubos en vacío	13-130	2

Fuente: CENSOLAR (Centro de Estudio de la Energía Solar)

**Tabla 66. Datos experimentales del factor del  $F_R(\tau\alpha)$  y  $F_R U_L$**

Tipos de colectores	$F_R(\tau\alpha)$	$F_R U_L$
Colector de placa plana	0.70	5.53
Tubos de calor (Heat Pipe)	0.755	1.848

Fuentes: Avances del estudio experimental de la eficiencia de los colectores de los SCAES en laboratorio de energía solar de DAIME y Determinación de los parámetros de rendimiento de un colector solar de tubos de vidrio al vacío.

#### 4.8.19 Dimensionamiento del área colectora

Para el dimensionamiento del área colectora requerida por el sistema.

$$\frac{Q_u}{A_c} = [G_t \cdot F_R(\tau\alpha) - F_R U_L(T_{f,i} - T_a)] \quad (4.88)$$

Dónde:

- $Q_u/A_c$  : Energía útil del colector por metro cuadrado (kW/m<sup>2</sup>)
- $G_t$  : Radiación total instantánea (W/m<sup>2</sup>)
- $F_R(\tau\alpha)$ : Factor de remoción por producto transmitancia – absortancia.
- $F_R U_L$  : Factor de remoción por la pérdida de calor global del colector (W/m<sup>2</sup> - °C)
- $T_{f,i}$  : Temperatura de ingreso al colector solar (13.72 °C).
- $T_a$  : Temperatura del medio ambiente (°C)

Teniendo ya todos los datos y reemplazamos en la formula procedemos primero a determinar la energía útil del colector solar de placa plana.

**Tabla 67. Energía útil del colector de placa plana (W-hr/m<sup>2</sup> - día)**

Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6	119.02	92.82	53.80	0.00	12.61	0.00	0.00	7.40	56.75	110.03	141.74	143.26
7	250.54	224.97	178.19	146.41	99.96	59.58	61.87	134.09	193.27	258.12	289.87	283.86
8	387.16	363.94	311.56	282.93	227.40	196.04	215.82	275.30	341.25	415.06	444.48	429.54
9	512.91	492.85	436.85	413.33	351.12	316.62	340.13	411.04	481.08	561.22	587.08	563.31
10	611.40	594.24	536.20	517.67	451.14	414.67	440.90	519.99	592.14	676.21	698.66	667.82
11	669.24	653.81	594.87	579.38	510.74	473.33	501.00	584.35	657.34	743.28	763.66	728.89
12	669.24	653.81	594.87	579.38	510.74	473.33	501.00	584.35	657.34	743.28	763.66	728.89
13	611.40	594.24	536.20	517.67	451.14	414.67	440.90	519.99	592.14	676.21	698.66	667.82
14	512.91	492.85	436.85	413.33	351.12	316.62	340.13	411.04	481.08	561.22	587.08	563.31
15	387.16	363.94	311.56	282.93	227.40	196.04	215.82	275.30	341.25	415.06	444.48	429.54
16	250.54	224.97	178.19	146.41	99.96	59.58	61.87	134.09	193.27	258.12	289.87	283.86
17	119.02	92.82	53.80	0.00	12.61	33.97	49.69	0.00	56.75	110.03	141.74	143.26
<b>TOTAL</b>	<b>5100.53</b>	<b>4845.26</b>	<b>4222.93</b>	<b>3879.46</b>	<b>3305.92</b>	<b>2954.44</b>	<b>3169.11</b>	<b>3856.95</b>	<b>4643.70</b>	<b>5527.85</b>	<b>5851.00</b>	<b>5633.37</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 68. Energía útil del colector de heat pipe (W-hr/m<sup>2</sup> - día)**

Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6	131.49	105.76	63.08	22.77	0.00	0.00	0.00	6.27	57.36	113.25	149.14	154.42
7	266.14	241.10	190.05	149.17	98.50	72.06	86.02	135.71	197.41	265.77	301.71	298.87
8	406.30	383.79	326.70	289.22	228.75	197.58	216.24	280.82	349.82	427.84	461.27	448.80
9	534.72	515.62	454.62	422.66	354.99	320.44	343.11	420.03	493.44	578.28	607.87	585.88
10	633.75	617.78	554.58	528.00	455.68	418.99	444.60	530.33	606.02	695.12	721.02	691.40
11	688.94	674.83	610.67	587.36	512.76	475.06	502.22	592.55	669.14	760.25	783.93	750.06
12	688.94	674.83	610.67	587.36	512.76	475.06	502.22	592.55	669.14	760.25	783.93	750.06
13	633.75	617.78	554.58	528.00	455.68	418.99	444.60	530.33	606.02	695.12	721.02	691.40
14	534.72	515.62	454.62	422.66	354.99	320.44	343.11	420.03	493.44	578.28	607.87	585.88
15	406.30	383.79	326.70	289.22	228.75	197.58	216.24	280.82	349.82	427.84	461.27	448.80
16	266.14	241.10	190.05	149.17	98.50	72.06	86.02	135.71	197.41	265.77	301.71	298.87
17	131.49	105.76	63.08	22.77	0.00	0.00	0.00	6.27	57.36	113.25	149.14	154.42
<b>TOTAL</b>	<b>5322.70</b>	<b>5077.77</b>	<b>4399.40</b>	<b>3998.38</b>	<b>3301.36</b>	<b>2968.26</b>	<b>3184.40</b>	<b>3931.42</b>	<b>4746.38</b>	<b>5681.01</b>	<b>6049.86</b>	<b>5858.86</b>

Fuente: Elaboración propia.

Realizando la sumatoria y convirtiendo la energía útil de días a meses tenemos los siguientes resultados.

**Tabla 69. Energía acumulada de los colectores solares (kW-hr/m<sup>2</sup> · Mes)**

COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
CPP Kw-Hr/m <sup>2</sup> ·Mes	158.12	135.67	130.91	116.38	102.48	88.63	98.24	119.57	139.31	171.36	175.53	174.63
HEAT PIPE Kw-Hr/m <sup>2</sup> ·Mes	165.00	142.18	136.38	119.95	102.34	89.05	98.72	121.87	142.39	176.11	181.50	181.62

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra la demanda mensual de agua caliente sanitaria por bloque.

**Tabla 70. Energía requerida para cada bloque (kW-hr · Mes)**

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
I BLOQUE Kw-Hr·Mes	686.048	625.124	696.25	702.993	771.12	785.45	800.651	789.897	745.66	741.33	702.876	714.706
MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
II BLOQUE Kw-Hr·Mes	1097.68	1000.2	1114.00	1124.79	1233.79	1256.72	1281.04	1263.83	1193.06	1186.13	1124.6	1143.53
MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
III BLOQUE Kw-Hr·Mes	1372.1	1250.25	1392.50	1405.99	1542.24	1570.9	1601.3	1579.79	1491.32	1482.66	1405.75	1429.41

Fuente: Elaboración propia.

Para poder determinar el área colectora del sistema se usará la siguiente ecuación:

$$Area\ colectora = \frac{Energía\ requerida\ del\ sistema}{Energía\ útil\ del\ colector} \quad (4.89)$$

Reemplazando estos valores tenemos:

**Tabla 71. Área colectora.**

COLECTOR		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	I BLOQUE
CPP	m <sup>2</sup>	4.34	4.61	5.32	6.04	7.52	8.86	8.15	6.61	5.35	4.33	4.00	4.09	
HEAT PIPE		4.16	4.40	5.11	5.86	7.53	8.82	8.11	6.48	5.24	4.21	3.87	3.94	
COLECTOR		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	II BLOQUE
CPP	m <sup>2</sup>	6.94	7.37	8.51	9.66	12.04	14.18	13.04	10.57	8.56	6.92	6.41	6.55	
HEAT PIPE		6.65	7.03	8.17	9.38	12.06	14.11	12.98	10.37	8.38	6.74	6.20	6.30	
COLECTOR		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	III BLOQUE
CPP	m <sup>2</sup>	8.68	9.22	10.64	12.08	15.05	17.72	16.30	13.21	10.70	8.65	8.01	8.19	
HEAT PIPE		8.32	8.79	10.21	11.72	15.07	17.64	16.22	12.96	10.47	8.42	7.75	7.87	

Fuente: Elaboración propia.

Para poder determinar la cantidad de colectores requeridos es necesario dividir los resultados anteriores entre el área de los colectores solares:

Área del colector solar de placa plana: ancho =1m, largo = 2 m, área = 2m<sup>2</sup>.

Área del colector solar Heat Pipe: Número de tubos =30, diámetro del tubo = 0.058m, largo del tubo = 1.8m, área =3.132 m<sup>2</sup>.

$$N^{\circ} \text{ de colectores} = \frac{\text{Área colectora requerida}}{\text{Área del colector}} \quad (4.90)$$

Reemplazando estos valores obtenemos el siguiente cuadro:

**Tabla 72. Número de colectores necesarios para nuestro hotel.**

COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	I BLOQUE
CPP	2.17	2.30	2.66	3.02	3.76	4.43	4.07	3.30	2.68	2.16	2.00	2.05	
HEAT PIPE	1.33	1.40	1.63	1.87	2.41	2.82	2.59	2.07	1.67	1.34	1.24	1.26	
COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	II BLOQUE
CPP	3.47	3.69	4.25	4.83	6.02	7.09	6.52	5.29	4.28	3.46	3.20	3.27	
HEAT PIPE	2.12	2.25	2.61	2.99	3.85	4.51	4.14	3.31	2.68	2.15	1.98	2.01	
COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	III BLOQUE
CPP	4.34	4.61	5.32	6.04	7.52	8.86	8.15	6.61	5.35	4.33	4.00	4.09	
HEAT PIPE	2.66	2.81	3.26	3.74	4.81	5.63	5.18	4.14	3.34	2.69	2.47	2.51	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.20 Número de colectores para cada bloque

Sacando un promedio podemos seleccionar la cantidad de colectores que se requieren:

**Tabla 73. Número de colectores seleccionados.**

COLECTOR	PROMEDIO	CANT. SELECCIONADA	I BLOQUE
CPP	2.88	3	
HEAT PIPE	1.8	2	
COLECTOR	PROMEDIO	CANT. SELECCIONADA	II BLOQUE
CPP	4.61	5	
HEAT PIPE	2.88	3	
COLECTOR	PROMEDIO	CANT. SELECCIONADA	III BLOQUE
CPP	5.77	6	
HEAT PIPE	3.6	4	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.21 Análisis de funcionamiento del sistema solar para los tres bloques.

Ahora que sabemos cuántos colectores vamos a usar, es necesario pronosticar el funcionamiento de estos colectores a lo largo del año.

Para esto compararemos la energía generada por los colectores solares versus la demanda energética del sistema para lo cual usaremos la siguiente formula:

$$E_{sistema\_solar} = P_{energia\_útil\_del\_colector} \cdot A_{colector} \cdot N_{colectores} \quad (4.91)$$

Usando la anterior formula obtenemos los siguientes cuadros y gráficos:

**Tabla 74. Demanda energética y energía útil de los colectores I Bloque.**

COLECTOR		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Denergetica	kWh · Mes	685.49	624.68	695.75	702.41	770.48	784.83	800.01	789.20	745.10	740.77	702.23	714.12
CPP	kWh · Mes	948.70	814.00	785.47	698.30	614.90	531.80	589.45	717.39	835.87	1028.18	1053.18	1047.81
HEAT PIPE	kWh · Mes	1033.58	890.60	854.29	751.38	641.07	557.80	618.36	763.42	891.94	1103.16	1136.89	1137.70

Fuente: Elaboración propia.

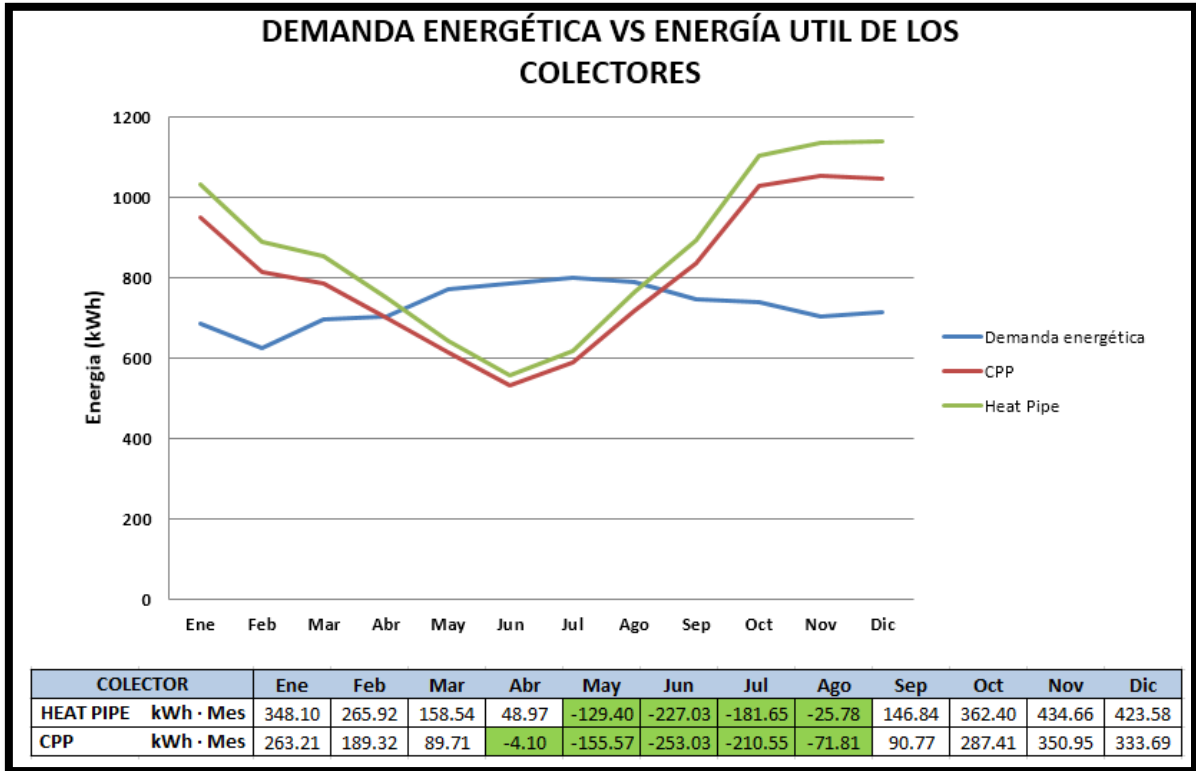


Figura 47.- Comparación demanda energética vs energía útil de los colectores (I Bloque).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75. Demanda energética y energía útil de los colectores II Bloque.

COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Denergetica kWh · Mes	1096.78	999.49	1113.20	1123.85	1232.76	1255.73	1280.01	1262.72	1192.16	1185.23	1123.57	1142.59
CPP kWh · Mes	1581.16	1356.67	1309.11	1163.84	1024.84	886.33	982.42	1195.65	1393.11	1713.63	1755.30	1746.34
HEAT PIPE kWh · Mes	1550.37	1335.90	1281.44	1127.06	961.61	836.69	927.54	1145.13	1337.91	1654.74	1705.34	1706.54

Fuente: Elaboración propia.

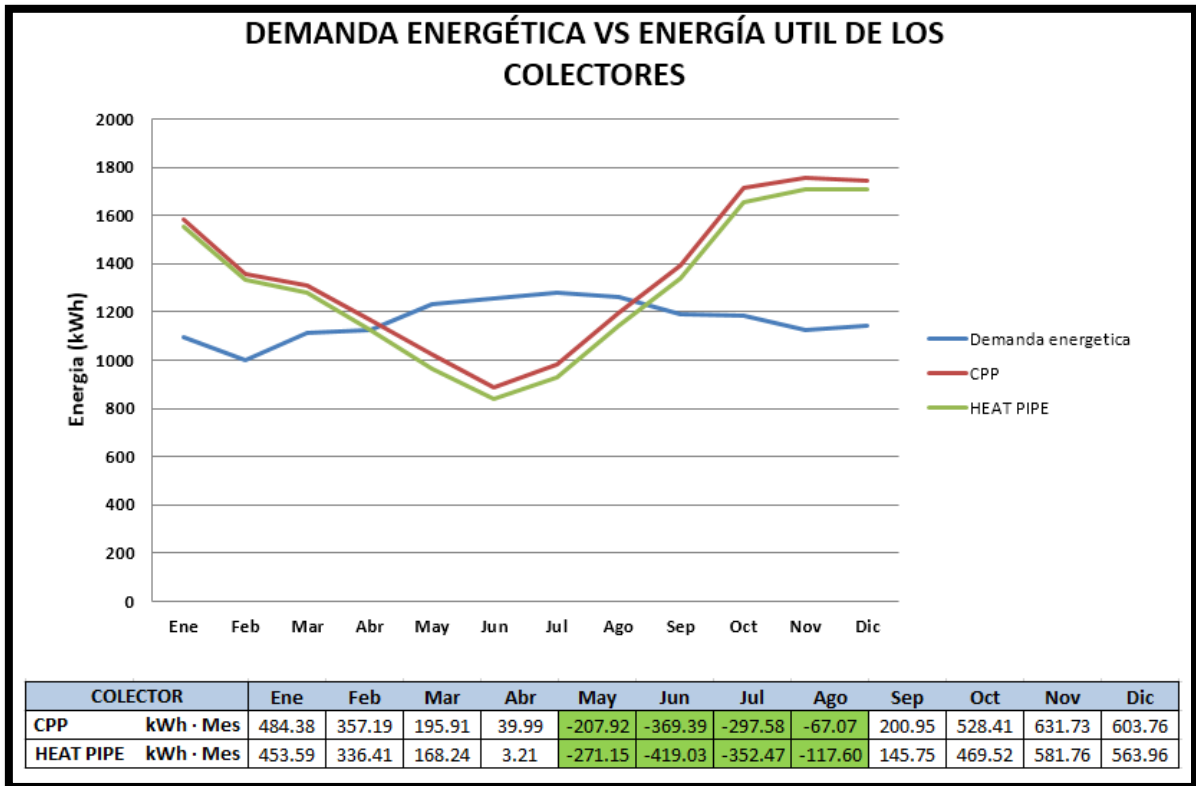


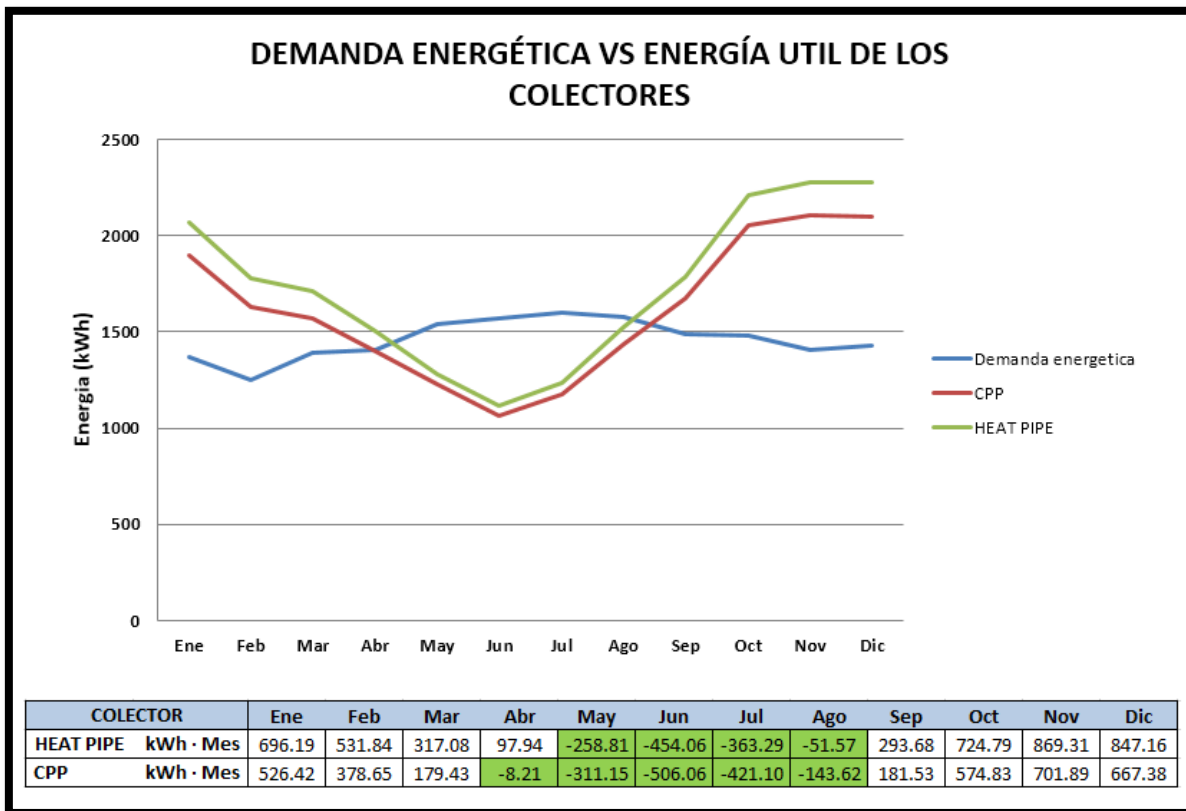
Figura 48.- Comparación demanda energética vs energía útil de los colectores (II Bloque).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76. Demanda energética y energía útil de los colectores III Bloque.

COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Denergetica kWh · Mes	1370.98	1249.36	1391.50	1404.81	1540.95	1569.66	1600.01	1578.40	1490.20	1481.53	1404.47	1428.23
CPP kWh · Mes	1897.40	1628.01	1570.93	1396.60	1229.80	1063.60	1178.91	1434.79	1671.73	2056.36	2106.36	2095.61
HEAT PIPE kWh · Mes	2067.17	1781.20	1708.58	1502.75	1282.14	1115.59	1236.72	1526.84	1783.88	2206.32	2273.78	2275.39

Fuente: Elaboración propia



**Figura 49.- Comparación demanda energética vs energía útil de los colectores (III Bloque).**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9 Análisis de energía eléctrica y GLP para calentar agua en los meses desfavorables.

Para poder calentar el agua en los meses desfavorables de abril, mayo, junio, julio y agosto tendremos que usar resistencia de calentador eléctrico y/o calentador de gas para los tres bloques, para esto compararemos costos.

- El poder calorífico del GLP es de 11379 kcal/kilo.
- El costo de kWh es de 0.5578 soles.
- Utilizaremos de balón de gas de 45 kg.
- El costo de 1 kg de gas es de 3.02 soles.

Todos estos datos lo sacamos de Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Sociedad Eléctrica del Sur Oeste y se encuentran en los Anexos de la tesis.

#### 4.9.1 Análisis del I Bloque

**Tabla 77. Energía faltante de cada colector para abastecer la demanda I Bloque.**

COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
HEAT PIPE kWh · Mes					129.40	227.03	181.65	25.78				
CPP kWh · Mes				4.10	155.57	253.03	210.55	71.81				

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

- Heat Pipe : Colector heat pipe
- CPP : Colector de placa plana

$$\sum E_{Heat-pipe} = 563.87 \text{ kWh} \quad (4.92)$$

$$\sum E_{CPP} = 695.07 \text{ kWh} \quad (4.93)$$

**Tabla 78. Costo anual con energía eléctrica para Heat Pipe y CPP (I Bloque)**

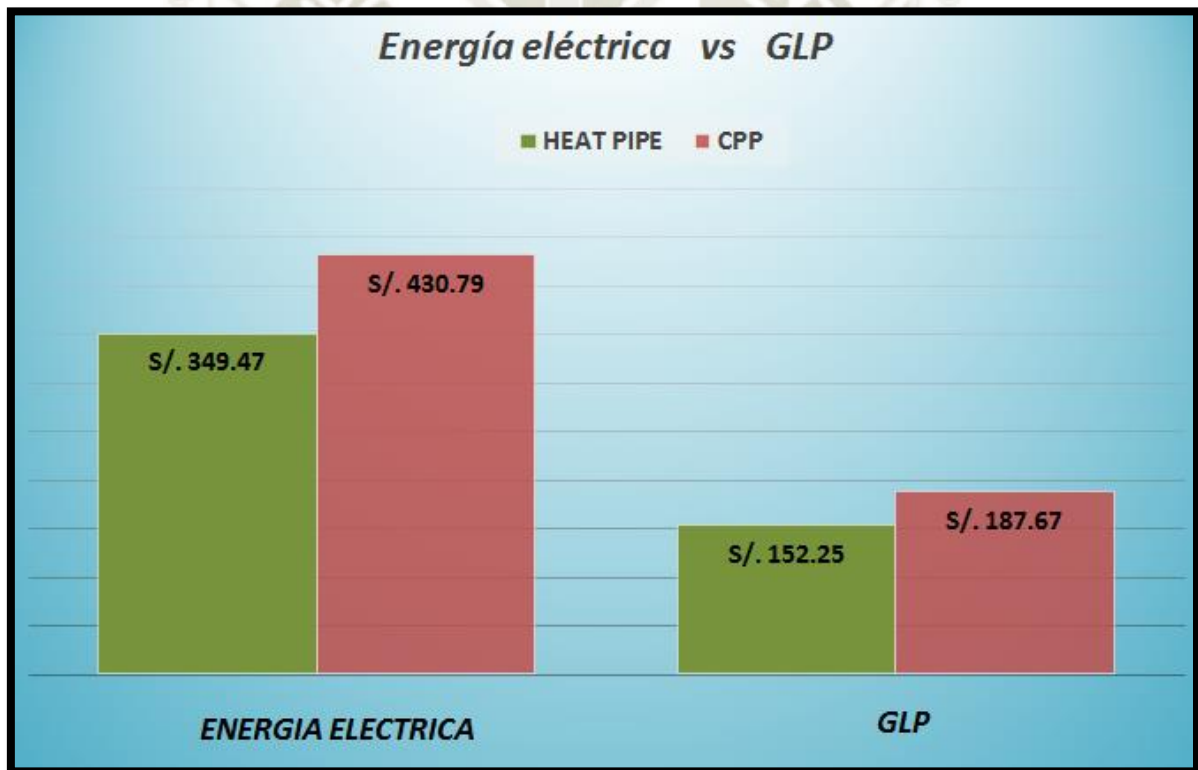
	Cantidad de energía requerido para calentar el Agua	Eficiencia de la resistencia	Energía Real	Precio por kWh (Tarifa BT5)	Costo total
	kWh	$\eta$	kWh	S/.	S/.
HEAT PIPE	563.87	0.9	626.52	0.5578	349.47
CPP	695.07	0.9	772.30	0.5578	430.79

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 79. Costo anual con GLP para Heat Pipe y CPP (I Bloque).**

	Cantidad de energía requerido para calentar el Agua	Eficiencia del calentador de gas	Energía Real	Energía producido por kg de GLP	Cantidad de combustible necesario	Precio por kg	Costo total
	kWh	$\eta$	kWh	kWh/kg	kg	S/.	S/.
HEAT PIPE	563.87	0.82	687.64	13.64	50.41	3.02	152.25
CPP	695.07	0.82	847.64	13.64	62.14	3.02	187.67

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 50.- Cuadro de comparación de costos I Bloque.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9.2 Análisis del II Bloque

**Tabla 80. Energía faltante de cada colector para abastecer la demanda II Bloque.**

COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
CPP kWh · Mes					207.92	369.39	297.58	67.07				
HEAT PIPE kWh · Mes					271.15	419.03	352.47	117.60				

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

- Heat Pipe : Colector heat pipe
- CPP : Colector de placa plana

$$\sum E_{Heat-pipe} = 1160.25 \text{ kWh} \quad (4.94)$$

$$\sum E_{CPP} = 941.97 \text{ kWh} \quad (4.95)$$

**Tabla 81. Costo anual con energía eléctrica para CPP y Heat Pipe (II Bloque).**

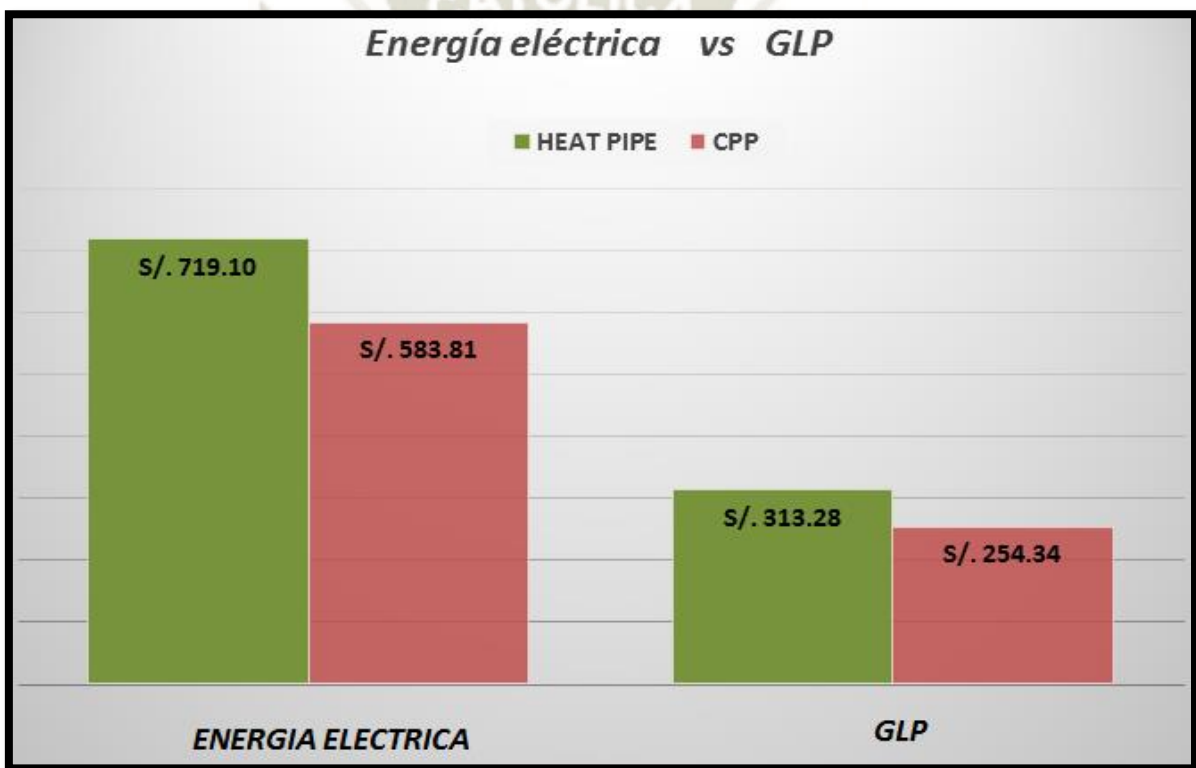
	Cantidad de energía requerido para calentar el Agua	Eficiencia de la resistencia	Energía Real	Precio por kWh (Tarifa BT5)	Costo total
	kWh	$\eta$	kWh	s/.	s/.
HEAT PIPE	1160.25	0.9	1289.17	0.5578	719.10
CPP	941.97	0.9	1046.64	0.5578	583.81

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 82. Costo anual con GLP para Heat Pipe y CPP (II Bloque).**

	Cantidad de energía requerido para calentar el Agua	Eficiencia del calentador de gas	Energía Real	Energía producido por kg de GLP	Cantidad de combustible necesario	Precio por kg	Costo total
	kWh	$\eta$	kWh	kWh/kg	kg	S/.	S/.
HEAT PIPE	1160.25	0.82	1414.94	13.64	103.73	3.02	313.28
CPP	941.97	0.82	1148.75	13.64	84.22	3.02	254.34

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 51.- Cuadro de comparación de costos II Bloque.**

Fuente: Elaboración propia.

### 4.9.3 Análisis del III Bloque

**Tabla 83. Energía faltante de cada colector para abastecer la demanda III Bloque.**

COLECTOR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
HEAT PIPE kWh · Mes					258.81	454.06	363.29	51.57				
CPP kWh · Mes				8.21	311.15	506.06	421.10	143.62				

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

- Heat Pipe : Colector heat pipe
- CPP : Colector de placa plana

$$\sum E_{Heat-pipe} = 1127.73 \text{ kWh} \quad (4.96)$$

$$\sum E_{CPP} = 1390.14 \text{ kWh} \quad (4.97)$$

**Tabla 84. Costo anual con energía eléctrica para CPP y Heat Pipe (III Bloque).**

	Cantidad de energía requerido para calentar el Agua	Eficiencia de la resistencia	Energía Real	Precio por kWh (Tarifa BT5)	Costo total
	kWh	$\eta$	kWh	s/.	s/.
HEAT PIPE	1127.73	0.9	1253.04	0.5578	698.94
CPP	1390.14	0.9	1544.60	0.5578	861.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85.- Costo anual con GLP para Heat Pipe y CPP (III Bloque).

	Cantidad de energía requerido para calentar el Agua	Eficiencia del calentador de gas	Energía Real	Energía producido por kg de GLP	Cantidad de combustible necesario	Precio por kg	Costo total
	kWh	$\eta$	kWh	kWh/kg	kg	S/.	S/.
HEAT PIPE	1127.73	0.82	1375.28	13.64	100.83	3.02	304.50
CPP	1390.14	0.82	1695.29	13.64	124.29	3.02	375.35

Fuente: Elaboración propia.

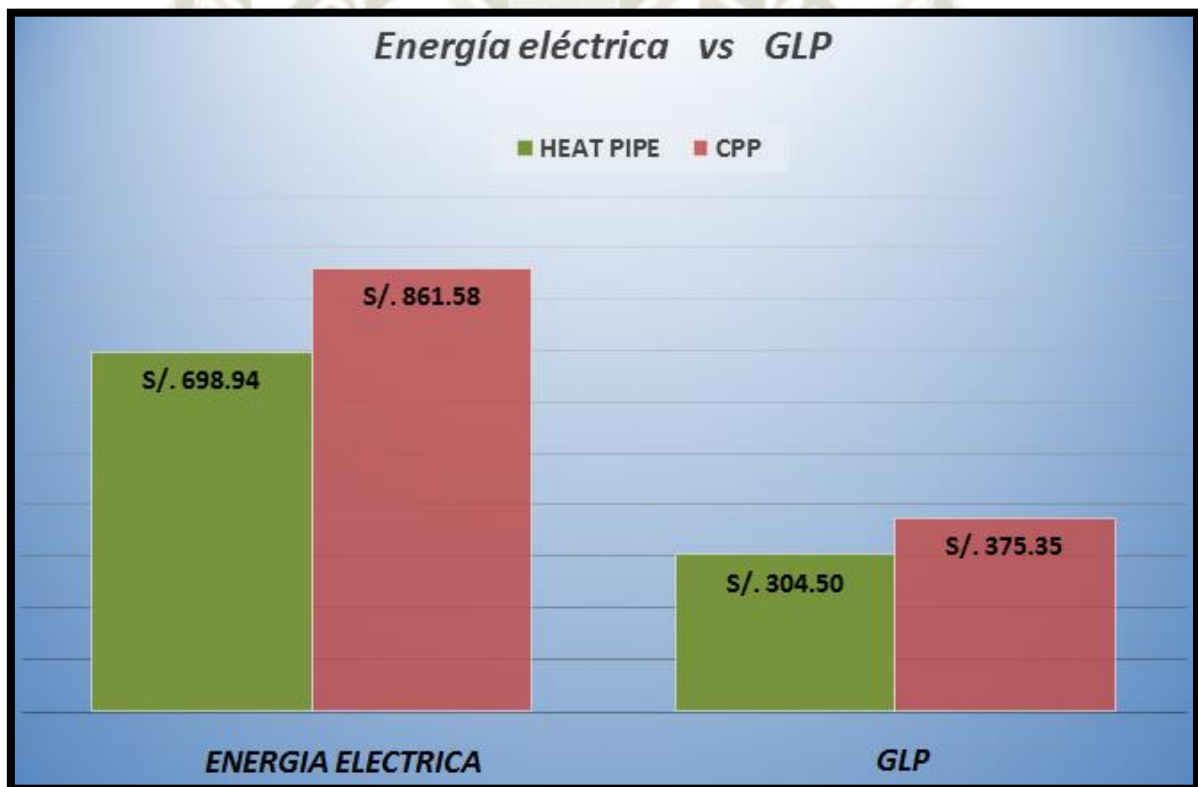


Figura 52.- Cuadro de comparación de costos III Bloque.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.10 Ubicación y disposición de los colectores solares

La ubicación de los colectores será en las cubiertas de los tres bloques del Hotel de forma que la captación de la radiación solar sea la máxima posible, de este modo orientaremos los captadores hacia el norte geográfico. La inclinación respecto a la horizontal será determinada por la Norma Técnica Peruana – Sistema de Calentadores de Agua con Energía Solar, que nos refiere la latitud del lugar  $\pm 10^\circ$ .

$$16^\circ + 10^\circ = 26^\circ$$

(4.98)

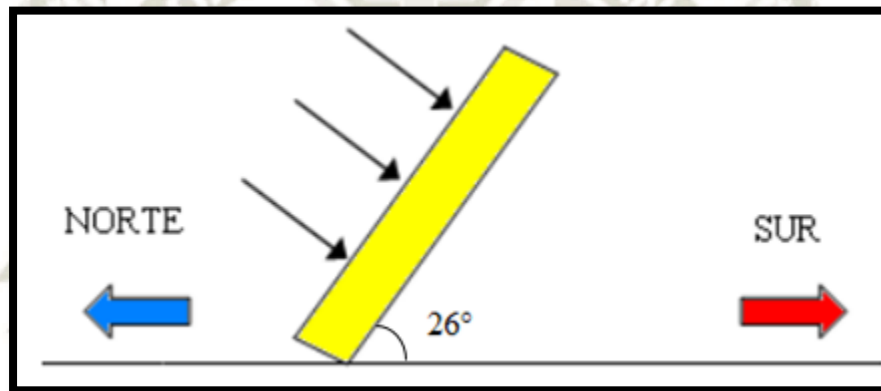
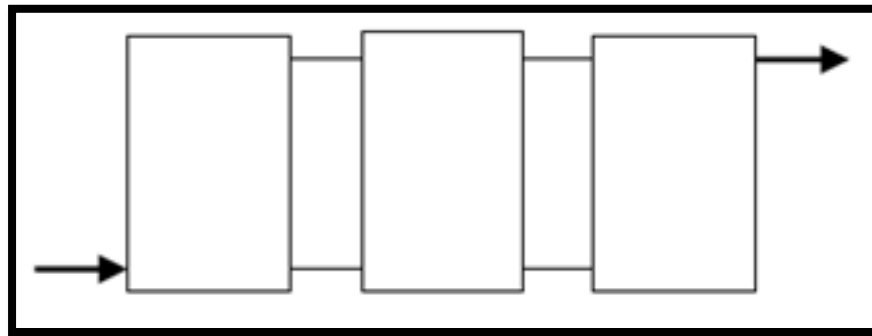


Figura 53.- Grafico de ubicación e inclinación de los colectores.

Fuente: Elaboración propia.

La conexión de los colectores será en paralelo para obtener de manera proporcional el mismo salto térmico y que circule el mismo caudal por cada colector.



**Figura 54.- Disposición en paralelo de los colectores.**

Fuente: Dimensionado de una instalación solar para agua caliente en Cáceres – UC3M.

#### 4.11 Selección del diámetro de las tuberías para los tres bloques

##### 4.11.1 Calculo de diámetro de tubería colectores – acumulador solar

- La tubería que seleccionaremos para asegurar una adecuada eficiencia en la transferencia de calor entre los colectores – acumulador solar, consideraremos un caudal de 0.02 l/s por metro cuadrado de área neta del colector, que utilice básicamente agua como fluido transportador de calor. Estos parámetros tomaremos de la Norma Técnica Peruana NTP 399.404 -2006.
- Para la velocidad del agua tomaremos la recomendación de Richter que nos dice para tuberías laterales la velocidad máxima es de 0.7 m/s, para tuberías largas 1 m/s.

##### 4.11.1.1 Primer bloque

$$N^{\circ} \text{ de colectores} = 3$$

$$\text{Area de colectores} = 2m^2$$

$$\text{Total} = 6 m^2 \quad (4.99)$$

Consideración de caudal.

$$1 \text{ m}^2 \longrightarrow 0.02 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$6 \text{ m}^2 \longrightarrow Q_T$$

$$Q_T = 0.02 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 6 \tag{4.100}$$

$$Q_T = 0.12 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.00012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \tag{4.101}$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \tag{4.102}$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \times 0.7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \tag{4.103}$$

$$D = 0.01477 \text{ m} \approx 15 \text{ mm} \tag{4.104}$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 3/4 “.

#### 4.11.1.2 Segundo bloque

$$N^{\circ} \text{ de colectores} = 5$$

$$\text{Area de colectores} = 2m^2$$

$$\text{Total} = 10 m^2$$

(4.105)

Consideración de caudal.

$$1 m^2 \longrightarrow 0.02 \frac{l}{s}$$

$$10 m^2 \longrightarrow Q_T$$

$$Q_T = 0.02 \frac{l}{s} \times 10$$

(4.106)

$$Q_T = 0.2 \frac{l}{s} = 0.0002 \frac{m^3}{s}$$

(4.107)

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

(4.108)

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.0002 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 0.7 \frac{m}{s}}} \quad (4.109)$$

$$D = 0.01907 \text{ m} \approx 19 \text{ mm} \quad (4.110)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 3/4 “.

#### 4.11.1.3 Tercer bloque

$$N^{\circ} \text{ de colectores} = 6$$

$$\text{Area de colectores} = 2 \text{ m}^2$$

$$\text{Total} = 12 \text{ m}^2 \quad (4.111)$$

Consideración de caudal.

$$1 \text{ m}^2 \longrightarrow 0.02 \frac{l}{s}$$

$$12 \text{ m}^2 \longrightarrow Q_T$$

$$Q_T = 0.02 \frac{l}{s} \times 12 \quad (4.112)$$

$$Q_T = 0.24 \frac{l}{s} = 0.00024 \frac{m^3}{s} \quad (4.113)$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (4.114)$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)


$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00024 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 1 \frac{m}{s}}} \quad (4.115)$$

$$D = 0.0175 \text{ m} \approx 18 \text{ mm} \quad (4.116)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 3/4 “.

Utilizaremos para los tres bloques tubería de 3/4” saladillo hidro 3 verde para agua caliente, especialmente desarrollados para conducir agua a temperaturas y presiones elevadas.

Tabla 86. Tuberías de agua caliente hidro 3 verde.



Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu l/m
65	21.30	1/2	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165
66	26.90	3/4	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290
67	33.70	1	23.9	4.9	4.5	0.402	0.450
68	42.20	1 1/4	30.8	5.7	7.45	0.593	0.745
69	48.30	1 1/2	35.7	6.3	10.00	0.754	1.000
70	60.30	2	45.3	7.5	16.10	1.128	1.610
71	76.10	2 1/2	58.1	9.0	26.50	1.721	2.650
72	88.90	3	68.3	10.3	36.65	2.307	3.665
64	114.30	4	88.9	12.7	62.10	3.677	6.210
63	139.70	5	101.5	19.1	80.91	6.947	8.090

Presentación: Tiras por 6 m.

Fuente: Industrias Saladillo.

#### 4.11.2 Calculo de diámetro de tubería acumulador solar – consumo

- Primero calcularemos los caudales de los tres bloques aplicando el método de Hunter con las siguientes tablas.
- Para la velocidad del agua tomaremos un valor medio de 2.7 m/s, según Richter la velocidad máxima de tuberías principales se tomas 2 m/s y para tuberías muy largas 3 m/s.

Tabla 87. Unidades de gasto para el cálculo de las tuberías de distribución en los bloques del Hotel.

Aparato sanitario	Tipo	Unidades de gasto		
		Total	Agua fría	Agua caliente
Inodoro	Con tanque – descarga reducida.	2,5	2,5	-
Inodoro	Con tanque.	5	5	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática.	8	8	-
Inodoro	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	4	4	-
Lavatorio	Corriente.	2	1,5	1,5
Lavatorio	Múltiple.	2(*)	1,5	1,5
Lavadero	Hotel restaurante.	4	3	3
Lavadero	-	3	2	2
Ducha	-	4	3	3
Tina	-	6	3	3
Urinario	Con tanque.	3	3	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática.	5	5	-
Urinario	Con válvula semiautomática y automática de descarga reducida.	2,5	2,5	-
Urinario	Múltiple (por ml)	3	3	-
Bebedero	Simple.	1	1	-
Bebedero	Múltiple	1(*)	1(*)	-

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (DS N°011-2006-VIVIENDA)

**Tabla 88. Gastos probables para aplicación del método de Hunter.**

N° de unidades	GASTO PROBABLE		N° de unidades	GASTO PROBABLE		N° de unidades	GASTO PROBABLE
	TANQUE	VÁLVULA		TANQUE	VÁLVULA		
3	0,12	-	120	1,83	2,72	1100	8,27
4	0,16	-	130	1,91	2,80	1200	8,70
5	0,23	0,91	140	1,98	2,85	1300	9,15
6	0,25	0,94	150	2,06	2,95	1400	9,56
7	0,28	0,97	160	2,14	3,04	1500	9,90
8	0,29	1,00	170	2,22	3,12	1600	10,42
9	0,32	1,03	180	2,29	3,20	1700	10,85
10	0,43	1,06	190	2,37	3,25	1800	11,25
12	0,38	1,12	200	2,45	3,36	1900	11,71
14	0,42	1,17	210	2,53	3,44	2000	12,14
16	0,46	1,22	220	2,60	3,51	2100	12,57
18	0,50	1,27	230	2,65	3,58	2200	13,00
20	0,54	1,33	240	2,75	3,65	2300	13,42
22	0,58	1,37	250	2,84	3,71	2400	13,86
24	0,61	1,42	260	2,91	3,79	2500	14,29
26	0,67	1,45	270	2,99	3,87	2600	14,71
28	0,71	1,51	280	3,07	3,94	2700	15,12
30	0,75	1,55	290	3,15	4,04	2800	15,53
32	0,79	1,59	300	3,32	4,12	2900	15,97
34	0,82	1,63	320	3,37	4,24	3000	16,20
36	0,85	1,67	340	3,52	4,35	3100	16,51
38	0,88	1,70	380	3,67	4,46	3200	17,23
40	0,91	1,74	390	3,83	4,60	3300	17,85
42	0,95	1,78	400	3,97	4,72	3400	18,07
44	1,00	1,82	420	4,12	4,84	3500	18,40
46	1,03	1,84	440	4,27	4,96	3600	18,91
48	1,09	1,92	460	4,42	5,08	3700	19,23
50	1,13	1,97	480	4,57	5,20	3800	19,75
55	1,19	2,04	500	4,71	5,31	3900	20,17
60	1,25	2,11	550	5,02	5,57	4000	20,50
65	1,31	2,17	600	5,34	5,83	PARA EL NÚMERO DE UNIDADES DE ESTA COLUMNA ES INDIFERENTE QUE LOS APARATOS SEAN DE TANQUE O DE VÁLVULA	
70	1,36	2,23	650	5,85	6,09		
75	1,41	2,29	700	5,95	6,35		
80	1,45	2,35	750	6,20	6,61		
85	1,50	2,40	800	6,60	6,84		
90	1,56	2,45	850	6,91	7,11		
95	1,62	2,50	900	7,22	7,36		
100	1,67	2,55	950	7,53	7,61		
110	1,75	2,60	1000	7,84	7,85		

NOTA: Los gastos están dados en L/s y corresponden a un ajuste de la tabla original del Método de Hunter.

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (DS N°011-2006 – VIVIENDA).

4.11.2.1 Primer bloque

Tabla 89. Cuadro resumen primer bloque.

	HABITACIONES	Nº DE DUCHAS	Nº DE LAVATORIOS	Nº DE TINAS
PLANTA TERCERA	Habitación 305	1	1	-
	Habitación 306	1	1	-
	Habitación 308	1	1	-
PLANTA SEGUNDA	Habitación 204	1	1	-
	Habitación 205	1	1	-
	Habitación Suite 206	1	1	1
	<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el dato del número de duchas, lavatorios, tinas y haciendo la conversión en unidades Hunter y posteriormente en caudal, según las tablas 87 y 88 es que hallamos el caudal del agua caliente, para finalmente tener el caudal total de 0.75 lt/s.

$$Q_T = 0.75 \frac{l}{s} = 0.00075 \frac{m^3}{s} \quad (4.117)$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (4.118)$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00075 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 2.7 \frac{m}{s}}} \quad (4.119)$$

$$D = 0.0188 \text{ m} \approx 18.8 \text{ mm} \quad (4.120)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 3/4 “.

#### 4.11.2.2 Segundo bloque

Tabla 90. Cuadro resumen segundo bloque.

	HABITACIONES	Nº DE DUCHAS	Nº DE LAVATORIOS
<b>PLANTA TERCERA</b>	Habitación 301	1	1
	Habitación 302	1	1
	Habitación 303	1	1
	Habitación Dúplex 304	1	1
	Habitación 307	1	1
<b>PLANTA SEGUNDA</b>	Habitación 201	1	1
	Habitación 202	1	1
	Habitación 203 A	1	1
	Habitación 203 B	1	1
	<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>9</b>

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el dato del número de duchas, lavatorios, tinas y haciendo la conversión en unidades Hunter y posteriormente en caudal, según las tablas 87 y 88 es que hallamos el caudal del agua caliente, para finalmente tener el caudal total de 1.18 lt/s.

$$Q_T = 1.18 \frac{l}{s} = 0.00118 \frac{m^3}{s} \quad (4.121)$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (4.122)$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00118 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 2.7 \frac{m}{s}}} \quad (4.123)$$

$$D = 0.0235 \text{ m} \approx 23.5 \text{ mm} \quad (4.124)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 1 “.

### 4.11.2.3 Tercer bloque

Tabla 91. Cuadro resumen tercer bloque.

	HABITACIONES	N° DE DUCHAS	N° DE LAVATORIOS	N° DE TINAS
<b>PLANTA CUARTA</b>	Habitación Dúplex	1	1	1
<b>PLANTA TERCERA</b>	Habitación 309	1	1	-
	Habitación 310	1	1	-
	Habitación 311	1	1	-
	Habitación Dúplex 312	1	1	-
<b>PLANTA SEGUNDA</b>	Habitación 207	1	1	-
	Habitación 208	1	1	-
	Habitación 209	1	1	-
	Habitación 210	1	1	-
<b>PLANTA SEGUNDO NIVEL INTERMEDIO</b>	Habitación 211	1	1	-
	Habitación 212	1	1	-
	Habitación 213	1	1	-
	<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando el dato del número de duchas, lavatorios, tinas y haciendo la conversión en unidades Hunter y posteriormente en caudal, según las tablas 87 y 88 es que hallamos el caudal del agua caliente, para finalmente tener el caudal total de 1.21 lt/s.

$$Q_T = 1.21 \frac{l}{s} = 0.00121 \frac{m^3}{s} \quad (4.125)$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (4.126)$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)


$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00121 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 2.7 \frac{m}{s}}} \quad (4.127)$$

$$D = 0.0238 \text{ m} \approx 23.8 \text{ mm} \quad (4.128)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 1 “.

Utilizaremos tubería de ¾” y 1” saladillo hidro 3 verde para agua caliente, especialmente desarrollados para conducir agua a temperaturas y presiones elevadas.

**Tabla 92. Tuberías de agua caliente hidro 3 verde para los tres bloques.**



Código Nº	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu l/m
65	21.30	1/2	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165
66	26.90	3/4	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290
67	33.70	1	23.9	4.9	4.5	0.402	0.450
68	42.20	1/4	30.8	5.7	7.45	0.593	0.745
69	48.30	1 1/2	35.7	6.3	10.00	0.754	1.000
70	60.30	2	45.3	7.5	16.10	1.128	1.610
71	76.10	2 1/2	58.1	9.0	26.50	1.721	2.650
72	88.90	3	68.3	10.3	36.65	2.307	3.665
64	114.30	4	88.9	12.7	62.10	3.677	6.210
63	139.70	5	101.5	19.1	80.91	6.947	8.090

Presentación: Tiras por 6 m.

Fuente: Industrias Saladillo.

#### 4.12 Cálculo de bombas de recirculación

Las bombas de recirculación se pueden definir como aparatos accionados por un motor eléctrico, este motor suministra al fluido una cierta cantidad de energía necesaria para superar la resistencia establecida por dicho fluido a su paso por la tubería y demás componentes propios de la instalación, manteniendo la presión deseada en cualquier punto de esta en cada uno de los cuatro circuitos.

Gobernado por el sistema de control, y arrancando y parando respecto a las temperaturas. Es un aliado del sistema de control para moverse exclusivamente cuando se aporte calor al depósito de acumulación.

Las bombas utilizadas en el sistema de energía solar térmica son de tipo centrífugo, deben vencer la resistencia que opone el fluido a su paso por la tubería, y mantener la presión

A continuación, utilizaremos las siguientes tablas para el cálculo de las bombas.

**Tabla 93. Rugosidad absoluta de materiales.**

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0.0015	Fundición asfaltada	0.06 - 0.18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01	Fundición	0.12 - 0.60
Tubos estirados de acero	0.0024	Acero comercial y soldado	0.03 - 0.09
Tubos de latón o cobre	0.0015	Hierro forjado	0.03 - 0.09
Fundición revestida de cemento	0.0024	Hierro galvanizado	0.06 - 0.24
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024	Madera	0.18 - 0.90
Fundición centrifugada	0.003	Hormigón	0.3 - 3.0

Fuente: Miliarium

**Tabla 94. Valores de k para conexiones.**

<b>VALORES DEL COEFICIENTE K EN PERDIDAS SINGULARES</b>		
<b>Condición</b>	<b>K</b>	<b>L/D</b>
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1.80	67
Codo a 90 ° de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90 ° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90 ° de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

Fuente: Milarium

**Tabla 95. Valores de k de válvulas de bola de PVC y Bronce.**

<b>Descripción de Válvula</b>	<b>Coeficiente K</b>	<b>Longitud Equivalente (cm)</b>
Válvula de bola diámetro de 3/4" de PVC abierta	0.5104	48.28
Válvula de bola diámetro de 3/4" de bronce abierta	3.75	191.00
Válvula de bola diámetro de 1/2" PVC abierta	1.4559	75.43
Válvula de bola diámetro de 1/2" bronce abierta	4.05	287.00

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- ❖ Se desprecia los valores de presión en la entrada ni en la salida de igual manera las velocidades de entrada y salida.
- ❖ También despreciaremos las alturas por estar presurizado el sistema y las perdidas relacionadas con la longitud respecto al diámetro.
- ❖ Para el diámetro de la tubería tomaremos ½” porque trabajan con bombas pequeñas de recirculación y su función es mantener la presión en el acumulador.
- ❖ La velocidad del agua que tomaremos es según las recomendaciones de Richter para tuberías principales la velocidad mínima es de 1m/s y la máxima de 2 m/s.
- ❖ Para los cuatro circuitos tomaremos el valor de pegado a la máxima velocidad media que será de 1.5 m/s.

#### 4.12.1 Primer bloque

- ❖ Ecuación de Bernoulli

$$H_b = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K + f \cdot \frac{\Sigma l e q}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.129)$$

Dónde:

H<sub>b</sub>: Altura de carga del sistema (m)

P<sub>2</sub>: Presión descarga (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>2</sub>: Altura estática de descarga (m)

P<sub>1</sub>: Presión de succión (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>1</sub>: Altura estática de succión (m)

γ : Peso específico (kg-f/m<sup>3</sup>)

L : Longitud de la tubería (m)

V<sub>2</sub>: Velocidad de descarga (m/s)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

V<sub>1</sub>: Velocidad de succión (m/s)

$\Sigma K$  : Pérdidas secundarias de la tubería

$f$  : Factor de fricción

$Q$  : Caudal del agua (m<sup>3</sup>/s)

$g$  : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Cálculo de número de Reynolds:

$$N^{\circ}Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.130)$$

Dónde:

N° Re: Número de Reynolds

D : Diámetro interior del tubo (m)

$\rho$  : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

$\mu$  : Viscosidad del agua, anexo 3 (N·s/m<sup>2</sup>)

$$N^{\circ}Re = \frac{0.0145m \cdot 1.5 \frac{m}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.0005065 \frac{N \cdot s}{m^2}} \quad (4.131)$$

$$N^{\circ}Re = 42942 \quad (4.132)$$

Calculo de rugosidad relativa:

$$\epsilon r = \frac{\epsilon}{D} \quad (4.133)$$

Dónde:

$\epsilon_r$  : Rugosidad relativa

$\epsilon$  : Rugosidad absoluta de la tubería (mm).

$D$  : Diámetro interior del tubo (mm)

$$\epsilon_r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{14.5 \text{ mm}} \quad (4.134)$$

$$\epsilon_r = 0.00010345 \quad (4.135)$$

Del ábaco de factor de fricción anexo 6, tenemos:

$$f = 0.0219 \quad (4.136)$$

De la siguiente tabla tomamos las pérdidas en las conexiones.

**Tabla 96. Pérdidas secundarias en la tubería I bloque.**

Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	$\Sigma k$
codo de 90º	1/2"	4	0.9	3.6
válvula de retención	1/2"	1	4.05	4.05
<b>TOTAL</b>			<b><math>\Sigma k</math></b>	<b>7.65</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$H_b = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.137)$$

$$H_b = \left( 0.0219 \cdot \frac{22.28 \text{ m}}{0.0145 \text{ m}} + 7.65 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0145 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \quad (4.138)$$

$$Hb = 41.3 \cdot 1869171.82 \cdot Q^2 \quad (4.139)$$

$$Hb = 77196796.16 \cdot Q^2 \quad (4.140)$$

Tabla 97. Conversión de unidades I Bloque.

Q(l/min)	Q(m³/s)	Hb(mH2O)	Hb(bares)
0	0	0	0
5	0.000083	0.54	0.05
10	0.000167	2.14	0.21
15	0.000250	4.82	0.47
20	0.000333	8.58	0.84
25	0.000417	13.40	1.31

Fuente: Elaboración propia.

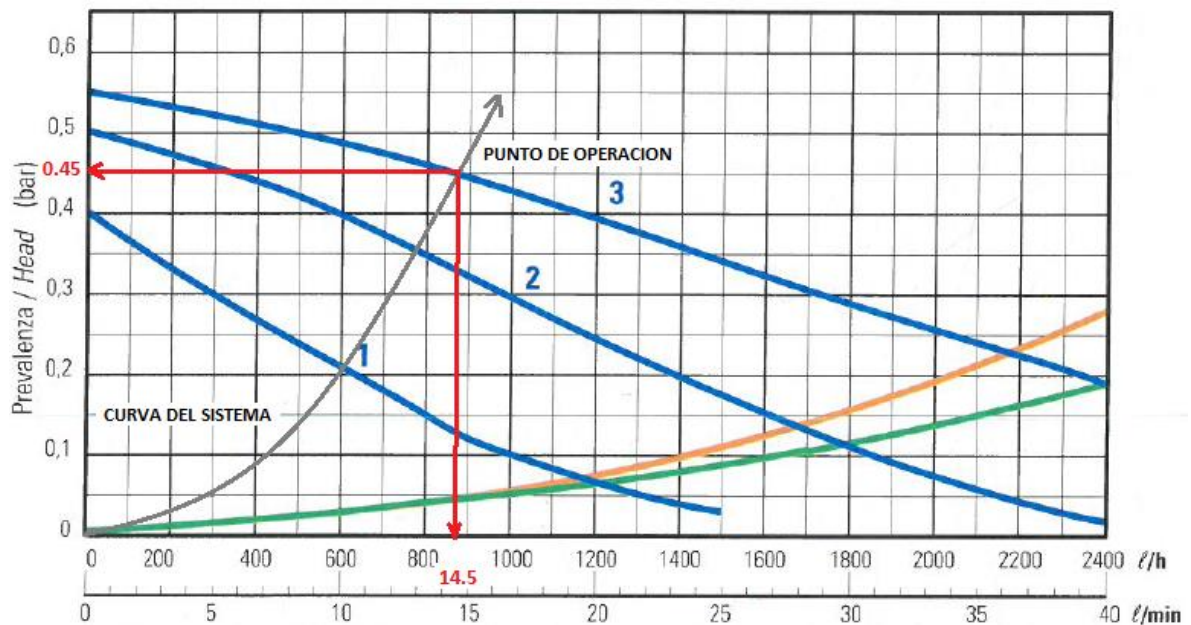


Figura 55.- Punto de operación de la bomba I Bloque.

Fuente: Elaboración propia.

**Modelo EMMETI**

**Caudal de 14.5 l/min**

**Altura de 4.59 m de H<sub>2</sub>O**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$Pt = \gamma \cdot H \cdot Q$$

(4.141)

Dónde:

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 14.5 \frac{l}{min} = 0.000242 \frac{m^3}{s} \quad (4.142)$$

$$H = 4.59 m \quad (4.143)$$

$$Pt = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 4.59m \cdot 0.000242 \frac{m^3}{s} \quad (4.144)$$

$$Pt = 10.89 W \quad (4.145)$$

**Potencia real de la bomba.**

$$Pr = \frac{Pt}{n} \quad (4.146)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (W)

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

n: Eficiencia (%)

$$Pr = \frac{10.89}{0.73} \quad (4.147)$$

$$Pr = 15 W \quad (4.148)$$

#### 4.12.2 Segundo bloque

❖ Ecuación de Bernoulli

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K + f \cdot \frac{\Sigma leq}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.149)$$

Dónde:

Hb: Altura de carga del sistema (m)

P<sub>2</sub>: Presión descarga (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>2</sub>: Altura estática de descarga (m)

P<sub>1</sub>: Presión de succión (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>1</sub>: Altura estática de succión (m)

$\gamma$  : Peso específico (kg-f/m<sup>3</sup>)

L : Longitud de la tubería (m)

V<sub>2</sub>: Velocidad de descarga (m/s)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

V<sub>1</sub>: Velocidad de succión (m/s)

$\Sigma K$  : Pérdidas secundarias de la tubería

f : Factor de fricción

Q : Caudal del agua (m<sup>3</sup>/s)

g : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Cálculo de número de Reynolds:

$$N^{\circ}Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.150)$$

Dónde:

N<sup>o</sup> Re: Número de Reynolds

D : Diámetro interior del tubo (m)

$\rho$  : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).

v : Velocidad del agua (m/s)

$\mu$  : Viscosidad del agua, anexo 3 (N·s/m<sup>2</sup>)

$$N^{\circ}Re = \frac{0.0145m \cdot 1.5 \frac{m}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.0005065 \frac{N \cdot s}{m^2}} \quad (4.151)$$

$$N^{\circ}Re = 42942 \quad (4.152)$$

Calculo de rugosidad relativa:

$$\epsilon r = \frac{\epsilon}{D} \quad (4.153)$$

Dónde:

$\epsilon r$  : Rugosidad relativa

$\epsilon$  : Rugosidad absoluta de la tubería (mm).

$D$  : Diámetro interior del tubo (mm)

$$\epsilon r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{14.5 \text{ mm}} \quad (4.154)$$

$$\epsilon r = 0.00010345 \quad (4.155)$$

Del ábaco de factor de fricción anexo 6, tenemos:

$$f = 0.0219 \quad (4.156)$$

De la siguiente tabla tomamos las pérdidas en las conexiones.

#### 4.12.2.1 Segundo bloque – primera bomba.

Tabla 98. Pérdidas secundarias en la tubería primera bomba II Bloque.

PRIMERA BOMBA DE RECIRCULACION				
Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	Σk
codo de 90º	1/2"	4	0.9	3.6
válvula de retención	1/2"	1	4.05	4.05
Te salida bilateral	1/2"	1	1.8	1.8
<b>TOTAL</b>			<b>Σk</b>	<b>9.45</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.157)$$

$$Hb = \left( 0.0219 \cdot \frac{15.46m}{0.0145m} + 9.45 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0145m)^4 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}} \quad (4.158)$$

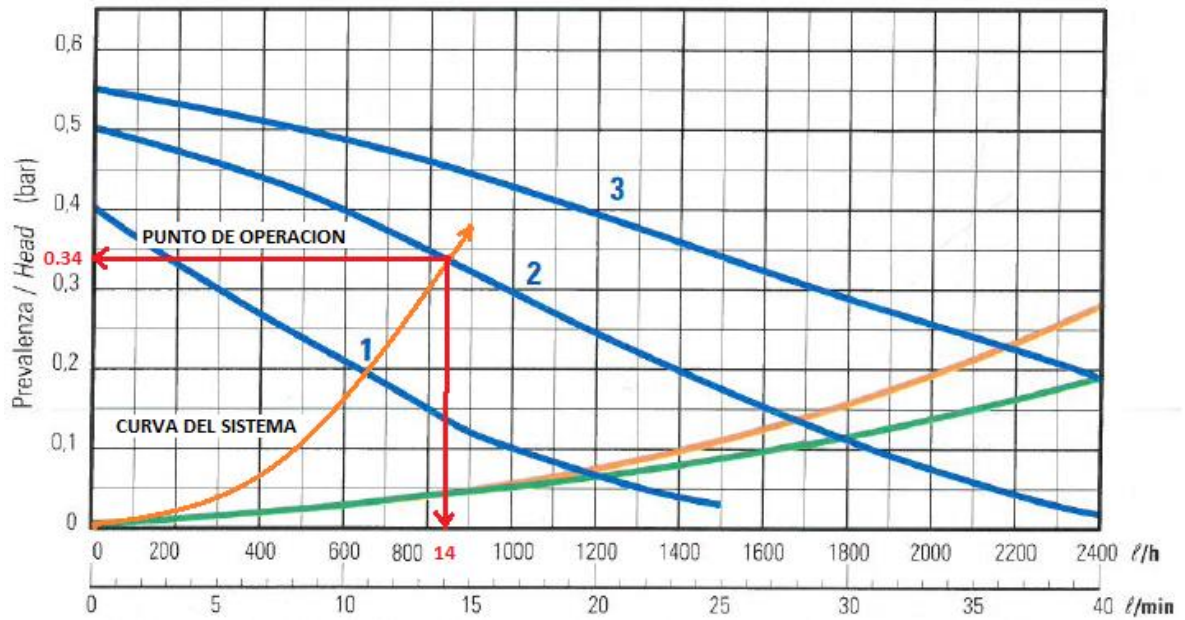
$$Hb = 32.8 \cdot 1869171.82 \cdot Q^2 \quad (4.159)$$

$$Hb = 61308835.69 \cdot Q^2 \quad (4.160)$$

**Tabla 99. Conversión de unidades primera bomba II Bloque.**

Q(l/min)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Hb(mH2O)	Hb(bares)
0	0	0	0
5	0.000083	0.43	0.04
10	0.000167	1.70	0.17
15	0.000250	3.83	0.38
20	0.000333	6.81	0.67
25	0.000417	10.64	1.04

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 56.- Punto de operación de la primera bomba II Bloque.**

Fuente: Catalogo bomba EMMETI

**Modelo EMMETI**

**Caudal de 14 l/min**

**Altura de 3.47 m de H<sub>2</sub>O**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$P_t = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (4.161)$$

Dónde:

P<sub>t</sub>: Potencia teórica de la bomba (W)

γ: Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 15.5 \frac{l}{min} = 0.00023 \frac{m^3}{s} \quad (4.162)$$

$$H = 3.47 m \quad (4.163)$$

$$Pt = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 3.47 m \cdot 0.00023 \frac{m^3}{s} \quad (4.164)$$

$$Pt = 8 W \quad (4.165)$$

**Potencia real de la bomba.**

$$Pr = \frac{Pt}{n} \quad (4.166)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (W)

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

n: Eficiencia (%)

$$Pr = \frac{8}{0.73} \quad (4.167)$$

$$Pr = 11 W \quad (4.168)$$

#### 4.12.2.2 Segundo bloque – segunda bomba.

**Tabla 100. Pérdidas secundarias en la tubería segunda bomba II Bloque.**

SEGUNDA BOMBA DE RECIRCULACION				
Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	Σk
codo de 90º	1/2"	5	0.9	4.5
válvula de retención	1/2"	1	4.05	4.05
Te salida bilateral	1/2"	1	1.8	1.8
<b>TOTAL</b>			<b>Σk</b>	<b>10.35</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.169)$$

$$Hb = \left( 0.0219 \cdot \frac{11.63 \text{ m}}{0.0145 \text{ m}} + 10.35 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0145 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \quad (4.170)$$

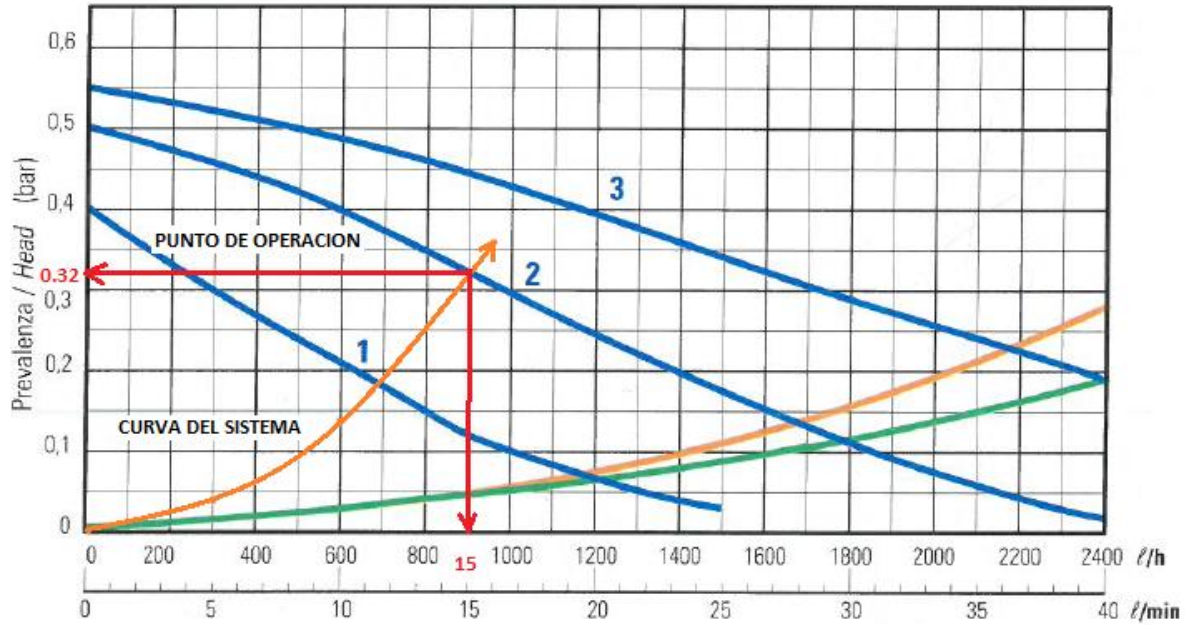
$$Hb = 27.92 \cdot 1869171.82 \cdot Q^2 \quad (4.171)$$

$$Hb = 52187277.21 \cdot Q^2 \quad (4.172)$$

**Tabla 101. Conversión de unidades segundo bomba II Bloque.**

Q(l/min)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Hb(mH2O)	Hb(bares)
0	0	0	0
5	0.000083	0.36	0.04
10	0.000167	1.45	0.14
15	0.000250	3.26	0.32
20	0.000333	5.80	0.57
25	0.000417	9.06	0.89

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 57.- Punto de operación de la segunda bomba II Bloque.**

Fuente: Catalogo bomba EMMET

**Modelo EMMETI**

**Caudal de 15 l/min**

**Altura de 3.26 m de H2O**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$P_t = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (4.173)$$

Dónde:

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 15 \frac{l}{min} = 0.00025 \frac{m^3}{s} \quad (4.174)$$

$$H = 3.26 \text{ m} \quad (4.175)$$

$$Pt = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 3.26 \text{ m} \cdot 0.00025 \frac{m^3}{s} \quad (4.176)$$

$$Pt = 8 \text{ W} \quad (4.177)$$

**Potencia real de la bomba.**

$$Pr = \frac{Pt}{n} \quad (4.178)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (W)

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

n: Eficiencia (%)

$$Pr = \frac{8}{0.73} \quad (4.179)$$

$$Pr = 11 W \quad (4.180)$$

#### 4.12.3 Tercer bloque

❖ Ecuación de Bernoulli

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K + f \cdot \frac{\Sigma leq}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.181)$$

Dónde:

Hb: Altura de carga del sistema (m)

P<sub>2</sub>: Presión descarga (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>2</sub>: Altura estática de descarga (m)

P<sub>1</sub>: Presión de succión (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>1</sub>: Altura estática de succión (m)

γ : Peso específico (kg-f/m<sup>3</sup>)

L : Longitud de la tubería (m)

V<sub>2</sub>: Velocidad de descarga (m/s)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

V<sub>1</sub>: Velocidad de succión (m/s)

ΣK : Pérdidas secundarias de la tubería

f : Factor de fricción

Q : Caudal del agua (m<sup>3</sup>/s)

g : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Cálculo de número de Reynolds:

$$N^{\circ}Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.182)$$

Dónde:

$N^{\circ} Re$ : Número de Reynolds

$D$ : Diámetro interior del tubo (m)

$\rho$ : Densidad del agua ( $kg/m^3$ ).

$v$ : Velocidad del agua (m/s)

$\mu$ : Viscosidad del agua, anexo 3 ( $N \cdot s/m^2$ )

$$N^{\circ}Re = \frac{0.0145m \cdot 1.5 \frac{m}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.0005065 \frac{N \cdot s}{m^2}} \quad (4.183)$$

$$N^{\circ}Re = 42942 \quad (4.184)$$

Calculo de rugosidad relativa:

$$\epsilon r = \frac{\epsilon}{D} \quad (4.185)$$

Dónde:

$\epsilon r$ : Rugosidad relativa

$\epsilon$ : Rugosidad absoluta de la tubería (mm).

$D$  : Diámetro interior del tubo (mm)

$$\varepsilon r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{14.5 \text{ mm}} \quad (4.186)$$

$$\varepsilon r = 0.00010345 \quad (4.187)$$

Del ábaco de factor de fricción anexo 6, tenemos:

$$f = 0.0219 \quad (4.188)$$

De la siguiente tabla tomamos las pérdidas en las conexiones.

#### 4.12.3.1 Tercer bloque – primera bomba.

Tabla 102.- Pérdidas secundarias en la tubería primera bomba III Bloque.

PRIMERA BOMBA DE RECIRCULACION				
Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	$\Sigma k$
codo de 90º	1/2"	4	0.9	3.6
válvula de retención	1/2"	1	4.05	4.05
Te salida bilateral	1/2"	1	1.8	1.8
<b>TOTAL</b>			<b><math>\Sigma k</math></b>	<b>9.45</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$H_b = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.189)$$

$$H_b = \left( 0.0219 \cdot \frac{20.67 \text{ m}}{0.0145 \text{ m}} + 9.45 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0145 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \quad (4.190)$$

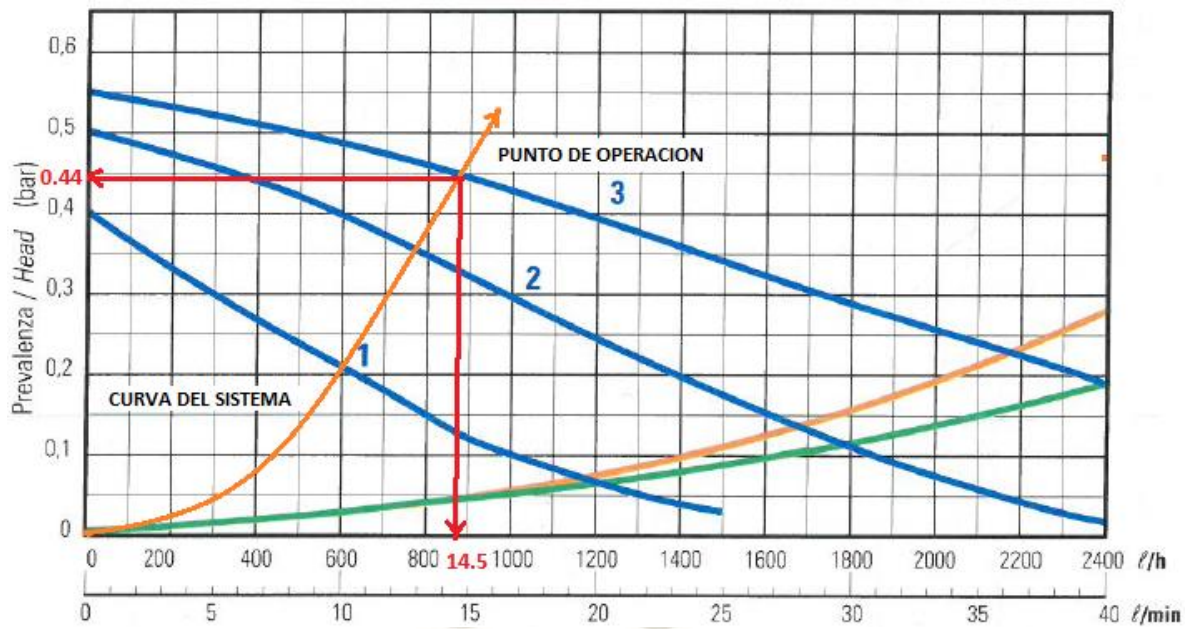
$$H_b = 40.7 \cdot 1869171.82 \cdot Q^2 \quad (4.191)$$

$$H_b = 76075293.07 \cdot Q^2 \quad (4.192)$$

**Tabla 103. Conversión de unidades primera bomba III Bloque**

Q(l/min)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Hb(mH2O)	Hb(bares)
0	0	0	0
5	0.000083	0.53	0.05
10	0.000167	2.11	0.21
15	0.000250	4.75	0.47
20	0.000333	8.45	0.83
25	0.000417	13.21	1.29

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 58.- Punto de operación de la primera bomba III Bloque.**

Fuente: Catalogo bomba EMMETI

**Modelo EMMETI**

**Caudal de 14.5 l/min**

**Altura de 4.5 m de H<sub>2</sub>O**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$Pt = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (4.193)$$

Dónde:

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 14.5 \frac{l}{min} = 0.00024 \frac{m^3}{s} \quad (4.194)$$

$$H = 4.5 m \quad (4.195)$$

$$Pt = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 4.5 m \cdot 0.00024 \frac{m^3}{s} \quad (4.196)$$

$$Pt = 10.5 W \quad (4.197)$$

**Potencia real de la bomba.**

$$Pr = \frac{Pt}{n} \quad (4.198)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (W)

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

n: Eficiencia (%)

$$Pr = \frac{10.5}{0.73} \quad (4.199)$$

$$Pr = 15 W \quad (4.200)$$

#### 4.12.3.2 Tercer bloque – segunda bomba

**Tabla 104. Pérdidas secundarias en la tubería segunda bomba III Bloque.**

SEGUNDA BOMBA DE RECIRCULACION				
Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	Σk
codo de 90º	1/2"	6	0.9	5.4
válvula de retención	1/2"	1	4.05	4.05
Te salida bilateral	1/2"	1	1.8	1.8
<b>TOTAL</b>			<b>Σk</b>	<b>11.25</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.201)$$

$$Hb = \left( 0.0219 \cdot \frac{20.47 \text{ m}}{0.0145 \text{ m}} + 11.25 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0145 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \quad (4.202)$$

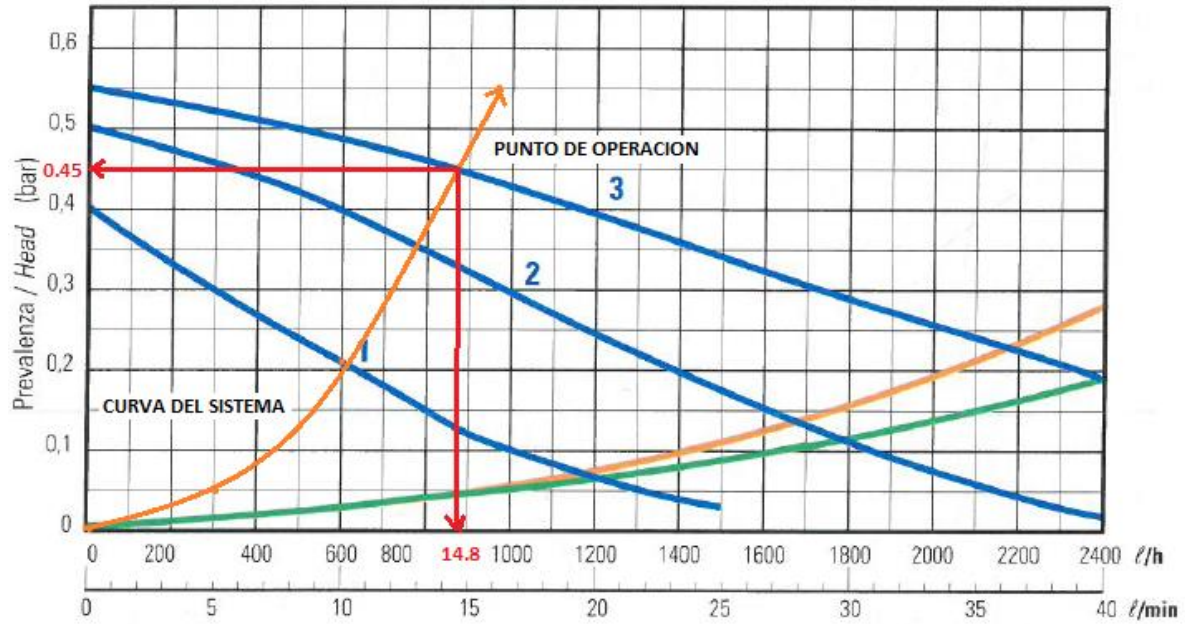
$$Hb = 42 \cdot 1869171.82 \cdot Q^2 (4.199) \quad (4.203)$$

$$Hb = 78505216.44 \cdot Q^2 \quad (4.204)$$

**Tabla 105. Conversión de unidades segunda bomba III Bloque.**

Q(l/min)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Hb(mH2O)	Hb(bares)
0	0	0	0
5	0.000083	0.55	0.05
10	0.000167	2.18	0.21
15	0.000250	4.91	0.48
20	0.000333	8.72	0.86
25	0.000417	13.63	1.34

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 59.- Punto de operación de la segunda bomba III Bloque.**

Fuente: Elaboración propia.

**Modelo EMMETI**

**Caudal de 14.8 l/min**

**Altura de 4.6 m de H<sub>2</sub>O**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$P_t = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (4.205)$$

Dónde:

P<sub>t</sub>: Potencia teórica de la bomba (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 14.8 \frac{l}{min} = 0.00025 \frac{m^3}{s} \quad (4.206)$$

$$H = 4.6 m \quad (4.207)$$

$$Pt = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 4.6 m \cdot 0.00025 \frac{m^3}{s} \quad (4.208)$$

$$Pt = 11.2 W \quad (4.209)$$

**Potencia real de la bomba.**

$$Pr = \frac{Pt}{n} \quad (4.210)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (W)

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

n: Eficiencia (%)

$$Pr = \frac{11.2}{0.73} \quad (4.211)$$

$$Pr = 15 W \quad (4.212)$$

- ❖ Para los cuatro circuitos seleccionaremos la misma bomba de circulación marca EMMETI.
- ❖ Bomba EMMETI TYPE SHARK 3/13-15.



**Figura 60.- Bomba de circulación.**

Fuente: Catalogo EMMETI.

#### **4.13 Calentadores a gas.**

A continuación, calcularemos la potencia que requiere cada bloque para seleccionar sus respectivos calefones, considerando capacidad de los acumuladores solares, duración del periodo punta, caudal máximo horario, número de habitaciones y el coeficiente de simultaneidad.

#### **Cálculo de potencia de cada bloque del hotel.**

#### 4.13.1 Primer bloque

##### Consumo en periodo punta

$$Q_p = n \cdot Q_d \quad (4.213)$$

Dónde:

$Q_p$ : Consumo en periodo punta (l)

$n$ : Número de personas.

$Q_d$ : Consumo diario de todo el bloque (l)

$$Q_p = 11 \cdot 40l \quad (4.214)$$

$$Q_p = 440 l \quad (4.215)$$

El resultado nos sales 440 l por un tema de reserva para el primer bloque del hotel tomaremos el valor de 500 l.

##### Duración del periodo de punta

$$T = 5 \cdot \frac{N_H^{0.905}}{15 + N_H^{0.920}} \quad (4.216)$$

Dónde:

$T$ : Duración periodo punta (s)

$N_H$ : Número de habitaciones (6).

$$T = 1.25 h \approx 4500 s \quad (4.217)$$

### Caudal máximo horario

$$C_{max} = \frac{Q_p \cdot \varphi}{3600} \quad (4.218)$$

Dónde:

$C_{max}$ : Caudal máximo horario (l/s)

$Q_p$ : Consumo en periodo punta (l)

$\varphi$ : Coeficiente de simultaneidad

$$C_{max} = \frac{500 \cdot 0.617}{3600} \quad (4.219)$$

$$C_{max} = 0.085 \frac{l}{s} \quad (4.220)$$

Donde  $\varphi$ , representa un coeficiente de simultaneidad que tiene en cuenta el número de habitaciones que demanda agua caliente simultáneamente y las pérdidas en las redes de distribución.

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N_H - 1}} + 0.17 \quad (4.221)$$

Dónde:

$\varphi$ : Coeficiente de simultaneidad

$N_H$ : Número de habitaciones, tabla 23 (6)

$$\varphi = 0.617 \quad (4.222)$$

**Potencia necesaria para cubrir la demanda.**

$$P_{calefon} = \frac{C_{max} \cdot T \cdot \Delta t \cdot C_{p.agua} \cdot \rho_{agua}}{T_{prep}} \quad (4.223)$$

Dónde:

$$\Delta t: (T_{sum} - T_{red.minima}) = (55-14) \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$T$ : Duración del periodo punta (s)

$T_{prep}$ : Tiempo de preparación recomendada por el calefón (30 min)

$C_{max}$ : Caudal máximo (kJ/kg·°C)

$C_p$ : Capacidad calorífica del agua (1kg/l)

$$P_{caldera} = \frac{0.085 \frac{l}{s} \cdot 4500 \text{ s} \cdot (55 - 14)^\circ\text{C} \cdot 4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{l}}{1800} \quad (4.224)$$

$$P_{caldera} = 36.5 \text{ kW} \quad (4.225)$$

**4.13.2 Segundo bloque**

**Consumo en periodo punta**

$$Q_p = n \cdot Q_d \quad (4.226)$$

Dónde:

$Q_p$ : Consumo en periodo punta (l)

$n$ : Número de personas.

$Q_d$ : Consumo diario de todo el bloque (l)

$$Q_p = 18 \cdot 40l \quad (4.227)$$

$$Q_p = 720 \text{ litros} \quad (4.228)$$

El resultado nos sales 720 l por un tema de reserva para el primer bloque del hotel tomaremos el valor de 800 l.

### Duración del periodo punta

$$T = 5 \cdot \frac{N_H^{0.905}}{15 + N_H^{0.920}} \quad (4.229)$$

Dónde:

$T$ : Duración periodo punta (s)

$N_H$ : Número de habitaciones, tabla 23 (9).

$$T = 1.62 \text{ h} \approx 5832 \text{ s} \quad (4.230)$$

### Caudal máximo horario

$$C_{max} = \frac{Q_p \cdot \varphi}{3600} \quad (4.231)$$

Dónde:

$C_{max}$ : Caudal máximo horario (l/s)

$Q_p$ : Consumo en periodo punta (l)

$\varphi$ : Coeficiente de simultaneidad

$$C_{max} = \frac{800 \cdot 0.524}{3600} \quad (4.232)$$

$$C_{max} = 0.116 \frac{l}{s} \quad (4.233)$$

Donde  $\varphi$ , representa un coeficiente de simultaneidad que tiene en cuenta el número de habitaciones que demanda agua caliente simultáneamente y las pérdidas en las redes de distribución.

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N_H - 1}} + 0.17 \quad (4.234)$$

Dónde:

$\varphi$ : Coeficiente de simultaneidad

$N_H$ : Número de habitaciones, tabla 23 (9)

$$\varphi = 0.524 \quad (4.235)$$

**Potencia necesaria para cubrir la demanda.**

$$P_{calefon} = \frac{C_{max} \cdot T \cdot \Delta t \cdot C_{p.agua} \cdot \rho_{agua}}{T_{prep}} \quad (4.236)$$

Dónde:

$$\Delta t : (T_{sum} - T_{red.minima}) = (55-14) ^\circ C.$$

$T$  : Duración del periodo punta (s)

$T_{prep}$ : Tiempo de preparación recomendada por el calefón (30 min)

$C_{max}$ : Caudal máximo (kJ/kg·°C)

$C_p$  : Capacidad calorífica del agua (1kg/l)

$$P_{caldera} = \frac{0.116 \frac{l}{s} \cdot 5832 s \cdot (55 - 14)^\circ C \cdot 4.19 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot 1 \frac{kg}{l}}{1800} \quad (4.237)$$

$$P_{caldera} = 64.57 kW \quad (4.238)$$

### 4.13.3 Tercer bloque

#### Consumo en periodo punta

$$Q_p = n \cdot Q_d \quad (4.239)$$

Dónde:

$Q_p$ : Consumo en periodo punta (l)

$n$ : Número de personas.

$Q_d$ : Consumo diario de todo el bloque (l)

$$Q_p = 24 \cdot 40l \quad (4.240)$$

$$Q_p = 960 \text{ litros} \quad (4.241)$$

El resultado nos sales 960 l por un tema de reserva para el primer bloque del hotel tomaremos el valor de 1000 l.

### Duración del periodo punta

$$T = 5 \cdot \frac{N_H^{0.905}}{15 + N_H^{0.920}} \quad (4.242)$$

Dónde:

$T$ : Duración periodo punta (s)

$N_H$ : Número de habitaciones, tabla 23 (12).

$$T = 1.9 \text{ h} \approx 6840 \text{ s} \quad (4.243)$$

### Caudal máximo horario

$$C_{max} = \frac{Q_p \cdot \varphi}{3600} \quad (4.244)$$

Dónde:

$C_{max}$ : Caudal máximo horario (l/s)

$Q_p$ : Consumo en periodo punta (l)

$\varphi$ : Coeficiente de simultaneidad

$$C_{max} = \frac{1000 \cdot 0.472}{3600} \quad (4.245)$$

$$C_{max} = 0.131 \frac{l}{s} \quad (4.246)$$

Donde  $\varphi$ , representa un coeficiente de simultaneidad que tiene en cuenta el número de habitaciones que demanda agua caliente simultáneamente y las pérdidas en las redes de distribución.

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N_H - 1}} + 0.17 \quad (4.247)$$

Dónde:

$\varphi$ : Coeficiente de simultaneidad

$N_H$ : Número de habitaciones, tabla 23 (12)

$$\varphi = 0.472 \quad (4.248)$$

**Potencia necesaria para cubrir la demanda.**

$$P_{calefon} = \frac{C_{max} \cdot T \cdot \Delta t \cdot C_{p.agua} \cdot \rho_{agua}}{T_{prep}} \quad (4.249)$$

Dónde:

$\Delta t$  :  $(T_{sum} - T_{red.minima}) = (55-14) \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$T$  : Duración del periodo punta (s)

$T_{prep}$ : Tiempo de preparación recomendada por el calefón (35 min)

$C_{max}$ : Caudal máximo (kJ/kg·°C)

$C_p$  : Capacidad calorífica del agua (1kg/l)

$$P_{caldera} = \frac{0.131 \frac{l}{s} \cdot 6840 s \cdot (55 - 14)^{\circ}C \cdot 4.19 \frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C} \cdot 1 \frac{kg}{l}}{2100} \quad (4.250)$$

$$P_{caldera} = 73.30 kW \quad (4.251)$$

A continuación, se muestra la tabla resumen para los tres bloques de potencia requerida y las seleccionadas.

**Tabla 106. Selección de números de calentadores de gas de acuerdo a su potencia de demanda de cada circuito.**

BLOQUES	POTENCIA REQUIRA	CALENTADOR DE GAS TERMOINOX	SUMINISTRO DE AGUA CALIENTE	NUMERO DE EQUIPOS
I	36.50 kW	40 KW	20 l/min	1
II	64.57 kW	80 KW	40 l/min	2
III	73.30 kW	80 KW	40 l/min	2

Fuente: Propia.

Como vemos el primer bloque utilizará 1 calentador de gas, el segundo y tercero utilizarán dos calentadores de gas para uniformizar los circuitos.



**Figura 61.- Calentador de gas.**

Fuente. TERMOINOX.

#### **4.14 Calculo de diámetro de tubería calefón – acumulador solar**

- Para hallar el diámetro de la tubería, tomaremos en cuenta el caudal de cada calefón.
- Para la velocidad del agua tomaremos intervalos de recomendación de RICHTER que nos dice para tuberías principales la velocidad máxima es de 2 m/s y para tuberías laterales la velocidad máxima es de 0.7 m/s.

#### 4.14.1 Primer bloque

Tenemos un calefón que su caudal es de 20 l/min.

$$Q_T = 20 \frac{l}{min} = 0.00033 \frac{m^3}{s} \quad (4.252)$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (4.253)$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00033 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 2.5 \frac{m}{s}}} \quad (4.254)$$

$$D = 0.0129 \text{ m} \approx 13 \text{ mm} \quad (4.255)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 1/2 “.

#### 4.14.2 Segundo bloque

Tenemos un calefón que su caudal es de 40 l/min.

$$Q_T = 40 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 0.00066 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (4.256)$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (4.257)$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00066 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 2.5 \frac{m}{s}}} \quad (4.258)$$

$$D = 0.018 \text{ m} \approx 18 \text{ mm} \quad (4.259)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 3/4 “.

#### 4.14.3 Tercer bloque

Tenemos un calefón que su caudal es de 40 l/min.

$$Q_T = 40 \frac{l}{min} = 0.00066 \frac{m^3}{s} \quad (4.260)$$

Diámetro de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (4.261)$$

Dónde:

D: Diámetro interior del tubo (m)

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

v : Velocidad del agua (m/s)


$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.00066 \frac{m^3}{s}}{\pi \times 2.5 \frac{m}{s}}} \quad (4.262)$$

$$D = 0.018 \text{ m} \approx 18 \text{ mm} \quad (4.263)$$

Seleccionaremos una tubería para agua caliente hidro 3/4 “.

Utilizaremos para el primer bloque una tubería de 1/2" y para los dos restantes 3/4", saladillo hidro 3 verde para agua caliente, especialmente desarrollados para conducir agua a temperaturas y presiones elevadas.

**Tabla 107. Tuberías de agua caliente Hidro 3 verde.**



Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu lt/m
65	21.30	1/2	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165
66	26.90	3/4	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290
67	33.70	1	23.9	4.9	4.5	0.402	0.450
68	42.20	1/4	30.8	5.7	7.45	0.593	0.745
69	48.30	1 1/2	35.7	6.3	10.00	0.754	1.000
70	60.30	2	45.3	7.5	16.10	1.128	1.610
71	76.10	2 1/2	58.1	9.0	26.50	1.721	2.650
72	88.90	3	68.3	10.3	36.65	2.307	3.665
64	114.30	4	88.9	12.7	62.10	3.677	6.210
63	139.70	5	101.5	19.1	80.91	6.947	8.090

Presentación: Tiras por 6 m.

Fuente: Industrias Saladillo.

#### 4.15 Cálculo de bomba de calefones

Utilizaremos bombas centrifugas para que trabaje coordinadamente con los calefones, cuando sean necesarios, las bombas centrifugas convierten la energía en velocidad y luego en energía de presión. Están formadas por un impulsor que gira en una carcasa.

Las bombas centrifugas están formadas por la capacidad de flujo descargado en un tiempo determinado, la potencia y el aumento de presión. El objetivo principal de las bombas centrifugas es mover gran volumen de líquidos por dos niveles diferentes, transformar algo mecánico en algo hidráulico.

A continuación, utilizaremos las siguientes tablas para el cálculo de las bombas.

**Tabla 108. Rugosidad absoluta de materiales.**

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0.0015	Fundición asfaltada	0.06 - 0.18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01	Fundición	0.12 - 0.60
Tubos estirados de acero	0.0024	Acero comercial y soldado	0.03 - 0.09
Tubos de latón o cobre	0.0015	Hierro forjado	0.03 - 0.09
Fundición revestida de cemento	0.0024	Hierro galvanizado	0.06 - 0.24
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024	Madera	0.18 - 0.90
Fundición centrifugada	0.003	Hormigón	0.3 - 3.0

Fuente: Miliarium.

**Tabla 109. Valores de k para conexiones.**

<b>VALORES DEL COEFICIENTE K EN PERDIDAS SINGULARES</b>		
<b>Condición</b>	<b>K</b>	<b>L/D</b>
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta 3/4)	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta 1/2)	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta 1/4)	24	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
T por salida lateral	1.80	67
Codo a 90 ° de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90 ° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90 ° de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

Fuente: Milarium

**Tabla 110.- Valores de k de válvulas de bola de PVC y Bronce.**

<b>Descripción de Válvula</b>	<b>Coficiente K</b>	<b>Longitud Equivalente (cm)</b>
Válvula de bola diámetro de 3/4" de PVC abierta	0.5104	48.28
Válvula de bola diámetro de 3/4" de bronce abierta	3.75	191.00
Válvula de bola diámetro de 1/2" PVC abierta	1.4559	75.43
Válvula de bola diámetro de 1/2" bronce abierta	4.05	287.00

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- ❖ Para el diámetro de tubería uniformaremos con los ya calculados en el calefón – acumulador solar.
- ❖ La velocidad del agua que tomaremos es según las recomendaciones de Richter para tuberías largas la velocidad mínima es de 1.5m/s y la máxima de 3 m/s.
- ❖ Para los tres circuitos tomaremos el valor de pegado a la máxima velocidad media que será de 2.5 m/s.

#### 4.15.1 Primer bloque

- ❖ Ecuación de Bernoulli

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K + f \cdot \frac{\Sigma leq}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.264)$$

Dónde:

Hb: Altura de carga del sistema (m)	P <sub>2</sub> : Presión descarga (kg-f/m <sup>2</sup> )
Z <sub>2</sub> : Altura estática de descarga (m)	P <sub>1</sub> : Presión de succión (kg-f/m <sup>2</sup> )
Z <sub>1</sub> : Altura estática de succión (m)	γ : Peso específico (kg-f/m <sup>3</sup> )
L : Longitud de la tubería (m)	V <sub>2</sub> : Velocidad de descarga (m/s)
D : Diámetro interior de la tubería (m)	V <sub>1</sub> : Velocidad de succión (m/s)
ΣK : Pérdidas secundarias de la tubería	f : Factor de fricción
Q : Caudal del agua (m <sup>3</sup> /s)	g : Gravedad (m/s <sup>2</sup> )

Cálculo de número de Reynolds:

$$N^{\circ}Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.265)$$

Dónde:

N° Re: Número de Reynolds

D : Diámetro interior del tubo (m)

$\rho$  : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

$\mu$  : Viscosidad del agua, anexo 3 (N·s/m<sup>2</sup>)

$$N^{\circ}Re = \frac{0.0145m \cdot 2.5 \frac{m}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.0005065 \frac{N \cdot s}{m^2}} \quad (4.266)$$

$$N^{\circ}Re = 71569 \quad (4.267)$$

Calculo de rugosidad relativa:

$$\varepsilon r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4.268)$$

Dónde:

$\varepsilon r$  : Rugosidad relativa

$\varepsilon$  : Rugosidad absoluta de la tubería (mm).

$D$  : Diámetro interior del tubo (mm)

$$\epsilon r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{14.5 \text{ mm}} \quad (4.269)$$

$$\epsilon r = 0.0001034 \quad (4.270)$$

Del ábaco de factor de fricción anexo 6, tenemos:

$$f = 0.0197 \quad (4.271)$$

**Tabla 111.- Pérdidas secundarias en las tuberías I Bloque.**

Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	Σk
codo de 90°	1/2"	11	0.9	9.9
válvula de retención	1/2"	4	4.05	16.2
<b>TOTAL</b>			<b>Σk</b>	<b>26.1</b>

Fuente: Elaboración propia.

$$H_b = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K + f \cdot \frac{\Sigma l_{eq}}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.272)$$

$$H_b = \frac{2039.43 \cdot \frac{kg - f}{m^2}}{1000 \frac{kg - f}{m^3}} + 0.6 \text{ m} + \frac{2.5^2}{2 \cdot 9.81} + \left( 0.0197 \cdot \frac{9.4 \text{ m}}{0.0145 \text{ m}} + 26.1 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0145 \text{ m})^4 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

**Ecuación con 1.9:**

$$H_b = 2.9 + 38.87 \cdot 1869171.82 \cdot Q^2 \quad (4.273)$$

$$H_b = 2.9 + 72654708.7Q^2 \quad (4.274)$$

Tabla 112.- Conversión de unidades I Bloque.

Q(l/min)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Hb(mH2O)	Hb(piesH2O)
0	0	2.9	9.51
10	0.000167	4.92	16.13
20	0.000333	10.97	35.99
30	0.000500	21.06	69.09
40	0.000667	35.19	115.43
50	0.000833	53.35	175.00

Fuente: Elaboración propia.

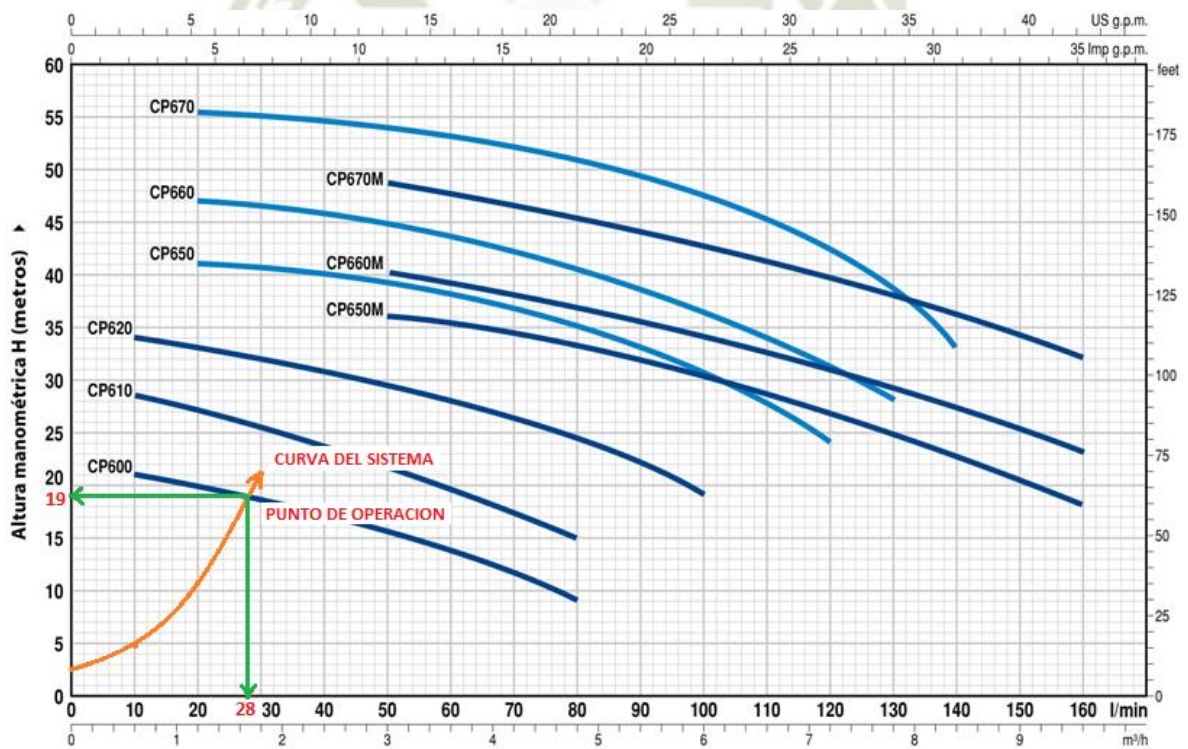


Figura 62.- Punto de operación de la bomba I Bloque.

Fuente: Catalogo bombas PEDROLLO.

**Modelo PEDDROLLO CP600**

**Caudal de 28 l/min**

**Altura de 19 m.c.a**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$Pt = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (4.275)$$

Dónde:

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 30 \frac{l}{min} = 0.00046 \frac{m^3}{s} \quad (4.276)$$

$$H = 19 m \quad (4.277)$$

$$Pt = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 19 m \cdot 0.00046 \frac{m^3}{s} \quad (4.278)$$

$$Pt = 85.74 W \quad (4.279)$$

$$Pt = 0.12 HP \quad (4.280)$$

**Potencia real de la bomba centrífuga.**

$$Pr = \frac{Pt}{n} \quad (4.281)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (HP).

Pt: Potencia teórica de la bomba (HP).

n: Eficiencia, en %

$$Pr = \frac{0.12}{0.73} \quad (4.282)$$

$$Pr = 0.16 HP \approx 0.2 HP \quad (4.283)$$

#### 4.15.2 Segundo bloque

❖ Ecuación de Bernoulli

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K + f \cdot \frac{\Sigma leq}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.284)$$

Dónde:

Hb: Altura de carga del sistema (m)

P2: Presión descarga (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z2: Altura estática de descarga (m)

P1: Presión de succión (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z1: Altura estática de succión (m)

$\gamma$  : Peso específico (kg-f/m<sup>3</sup>)

L : Longitud de la tubería (m)

V2: Velocidad de descarga (m/s)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

V1: Velocidad de succión (m/s)

$\Sigma K$  : Pérdidas secundarias de la tubería

f : Factor de fricción

Q : Caudal del agua (m<sup>3</sup>/s)

g : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Cálculo de número de Reynolds:

$$N^{\circ}Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.285)$$

Dónde:

N° Re: Número de Reynolds

D : Diámetro interior del tubo (m)

$\rho$  : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).

v : Velocidad del agua (m/s)

$\mu$  : Viscosidad del agua, anexo 3 (N·s/m<sup>2</sup>)

$$N^{\circ}Re = \frac{0.0191m \cdot 2.5 \frac{m}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.0005065 \frac{N \cdot s}{m^2}} \quad (4.286)$$

$$N^{\circ}Re = 94274.4 \quad (4.287)$$

Cálculo de rugosidad relativa:

$$\epsilon r = \frac{\epsilon}{D} \quad (4.288)$$

Dónde:

$\epsilon r$  : Rugosidad relativa

$\epsilon$  : Rugosidad absoluta de la tubería (mm).

$D$  : Diámetro interior del tubo (mm)

$$\epsilon r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{19.1 \text{ mm}} \quad (4.289)$$

$$\epsilon r = 0.0000785 \quad (4.290)$$

Del ábaco de factor de fricción anexo 8, tenemos:

$$f = 0.0185 \quad (4.291)$$

**Tabla 113. Pérdidas secundarias en las tuberías II Bloque.**

Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	Σk
codo de 90°	3/4"	15	0.9	13.5
Te salida bilateral	3/4"	2	1.8	3.6
válvula de retención	3/4"	6	3.75	22.5
<b>TOTAL</b>			<b>Σk</b>	<b>39.6</b>

Fuente: Propia.

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.292)$$

$$Hb = \frac{2039.43 \cdot \frac{kg - f}{m^2}}{1000 \frac{kg - f}{m^3}} + 0.6m + \frac{2.5^2}{2 \cdot 9.81} + \left( 0.0185 \cdot \frac{9.7m}{0.0191m} + 39.6 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0191m)^4 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

**Ecuación con 1.9:**

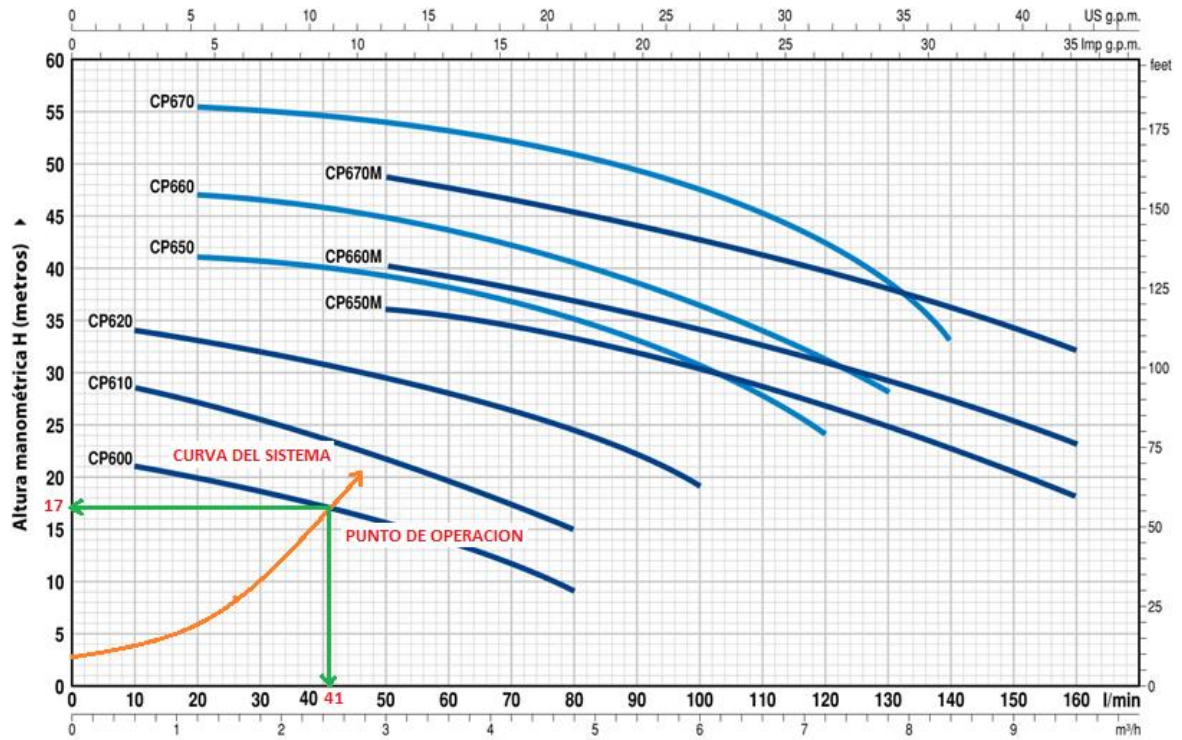
$$Hb = 2.9 + 48.99 \cdot 620851.54 \cdot Q^2 \quad (4.293)$$

$$Hb = 2.9 + 30415516.94Q^2 \quad (4.294)$$

**Tabla 114. Conversión de unidades II Bloque.**

Q(l/min)	Q(m³/s)	Hb(mH2O)	Hb(piesH2O)
0	0	2.9	9.51
13	0.000217	4.33	14.20
26	0.000433	8.61	28.25
39	0.000650	15.75	51.66
46	0.000767	20.78	68.15
65	0.001083	38.60	126.59

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 63.- Punto de operación de la bomba II Bloque.**

Fuente: Catalogo bombas PEDROLLO.

**Modelo PEDDROLLO CP600**

**Caudal de 41 l/min**

**Altura de 17 m.c.a**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$P_t = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (4.295)$$

Dónde:

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 41 \frac{l}{min} = 0.00068 \frac{m^3}{s} \quad (4.296)$$

$$H = 17 m \quad (4.297)$$

$$Pt = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 17m \cdot 0.00068 \frac{m^3}{s} \quad (4.298)$$

$$Pt = 113 W \quad (4.299)$$

$$Pt = 0.15 HP \quad (4.300)$$

**Potencia real de la bomba centrifuga.**

$$Pr = \frac{Pt}{n} \quad (4.301)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (HP).

Pt: Potencia teórica de la bomba (HP)

n: Eficiencia (%)

$$Pr = \frac{0.15}{0.73} \quad (4.302)$$

$$Pr = 0.2 \text{ HP} \quad (4.303)$$

#### 4.15.3 Tercer bloque

❖ Ecuación de Bernoulli

$$Hb = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K + f \cdot \frac{\Sigma leq}{D} \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.304)$$

Dónde:

Hb: Altura de carga del sistema (m)

P<sub>2</sub>: Presión descarga (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>2</sub>: Altura estática de descarga (m)

P<sub>1</sub>: Presión de succión (kg-f/m<sup>2</sup>)

Z<sub>1</sub>: Altura estática de succión (m)

γ : Peso específico (kg-f/m<sup>3</sup>)

L : Longitud de la tubería (m)

V<sub>2</sub>: Velocidad de descarga (m/s)

D : Diámetro interior de la tubería (m)

V<sub>1</sub>: Velocidad de succión (m/s)

ΣK : Pérdidas secundarias de la tubería

f : Factor de fricción

Q : Caudal del agua (m<sup>3</sup>/s)

g : Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Cálculo de número de Reynolds:

$$N^{\circ}Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad (4.305)$$

Dónde:

N° Re: Número de Reynolds

D : Diámetro interior del tubo (m)

$\rho$  : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).

$v$  : Velocidad del agua (m/s)

$\mu$  : Viscosidad del agua, anexo 3 (N·s/m<sup>2</sup>)

$$N^{\circ}Re = \frac{0.0191m \cdot 2.5 \frac{m}{s} \cdot 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.0005065 \frac{N \cdot s}{m^2}} \quad (4.306)$$

$$N^{\circ}Re = 94274.4 \quad (4.307)$$

Cálculo de rugosidad relativa:

$$\varepsilon r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4.308)$$

Dónde:

$\varepsilon r$  : Rugosidad relativa

$\varepsilon$  : Rugosidad absoluta de la tubería (mm).

D : Diámetro interior del tubo (mm)

$$\varepsilon r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{19.1 \text{ mm}} \quad (4.309)$$

$$\epsilon r = 0.0000785 \quad (4.310)$$

Del ábaco de factor de fricción anexo 6, tenemos:

$$f = 0.0185 \quad (4.311)$$

**Tabla 115. Pérdidas secundarias en las tuberías III Bloque.**

Accesorios	Diámetro	Nº de accesorios	k	Σk
codo de 90º	3/4"	15	0.9	13.5
Te salida bilateral	3/4"	2	1.8	3.6
válvula de retención	3/4"	6	3.75	22.5
<b>TOTAL</b>				<b>39.6</b>

Fuente: Propia.

$$Hb = Z_2 - Z_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + \left( f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma K \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad (4.312)$$

$$Hb = \frac{2039.43 \cdot \frac{kg - f}{m^2}}{1000 \frac{kg - f}{m^3}} + 0.7m + \frac{2.5^2}{2 \cdot 9.81} + \left( 0.0185 \cdot \frac{9.8m}{0.0191m} + 39.6 \right) \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot (0.0191m)^4 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

**Ecuación con 1.9:**

$$Hb = 3 + 49 \cdot 620851.54 \cdot Q^2 \quad (4.313)$$

$$Hb = 3 + 30421725.63 \cdot Q^2 \quad (4.314)$$

Tabla 116. Conversión de unidades III Bloque.

Q(l/min)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Hb(mH2O)	Hb(piesH2O)
0	0	3	9.84
13	0.000217	4.43	14.52
26	0.000433	8.71	28.58
39	0.000650	15.85	52.00
46	0.000767	20.88	68.49
65	0.001083	38.70	126.95

Fuente: Elaboración propia.

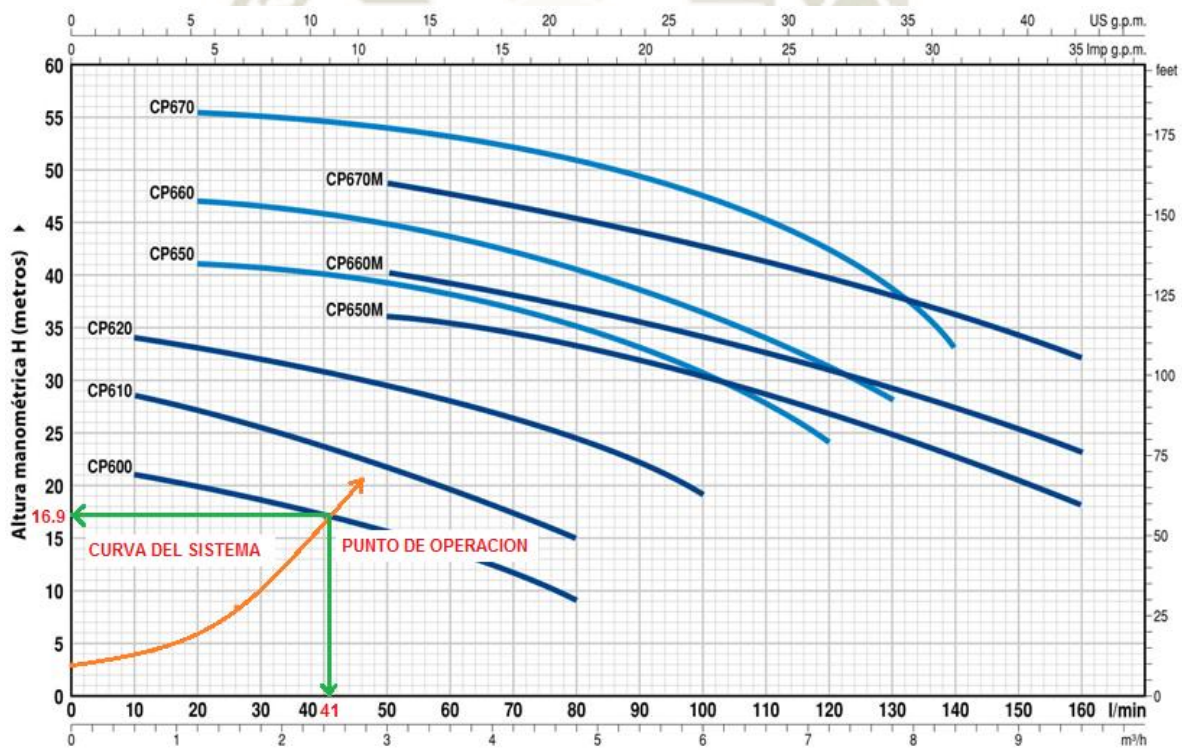


Figura 64.- Punto de operación de la bomba III Bloque.

Fuente: Catalogo bombas PEDROLLO.

**Modelo PEDDROLLO CP600**

**Caudal de 41 l/min**

**Altura de 16.9 m.c.a**

**Eficiencia de 73%**

**Potencia teórica de la bomba**

Se calcula mediante la fórmula:

$$Pt = \gamma \cdot H \cdot Q \quad (4.315)$$

Dónde:

Pt: Potencia teórica de la bomba (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

H: Altura útil efectiva (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

Con los datos anteriores calculamos la potencia de la bomba.

$$Q = 41 \frac{l}{min} = 0.00068 \frac{m^3}{s} \quad (4.316)$$

$$H = 16.9 m \quad (4.317)$$

$$P_t = 9810 \frac{N}{m^3} \cdot 16.9m \cdot 0.00068 \frac{m^3}{s} \quad (4.318)$$

$$P_t = 112.7 W \quad (4.319)$$

$$P_t = 0.15 HP \quad (4.320)$$

**Potencia real de la bomba centrífuga.**

$$P_r = \frac{P_t}{n} \quad (4.321)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba (HP)

Pt: Potencia teórica de la bomba (HP).

n: Eficiencia (%)

$$P_r = \frac{0.15}{0.73} \quad (4.322)$$

$$P_r = 0.2 HP \quad (4.323)$$

- ❖ Para los tres bloques utilizaremos bombas Pedrollo CP 600 que trabajaran en coordinación con los calefones.
- ❖ Estas bombas son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituye la bomba.
- ❖ Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizo en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves.



**Figura 65.- Bomba centrífuga.**

Fuente: Catalogo PEDROLLO.

#### **4.16 Válvula reguladora de presión:**

Su función es la de limitar la presión en el circuito y así proteger los componentes del mismo. La válvula reguladora de presión se debe calibrar a una presión inferior a la presión que pueda soportar el elemento más delicado de la instalación.

La presión de entrada máxima es de 25 bar, a una temperatura máxima de 70 °C y la presión de salida puede regularse entre 1 y 6 bar.



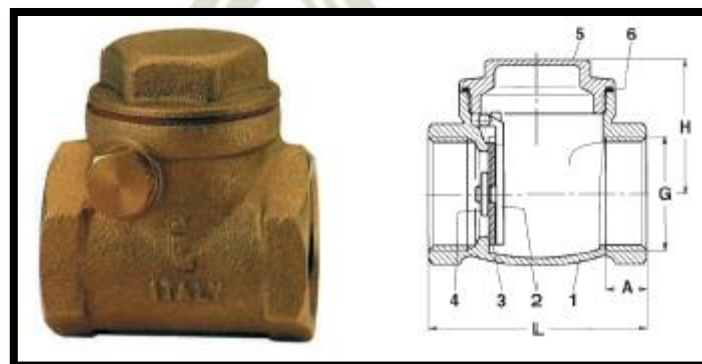
**Figura 66.- Válvula reguladora de presión.**

Fuente: Catalogo EMMETI.

#### **4.17 Válvula antirretorno:**

Es aquella que sólo permite el paso del fluido en un sentido, impidiendo la circulación en sentido contrario.

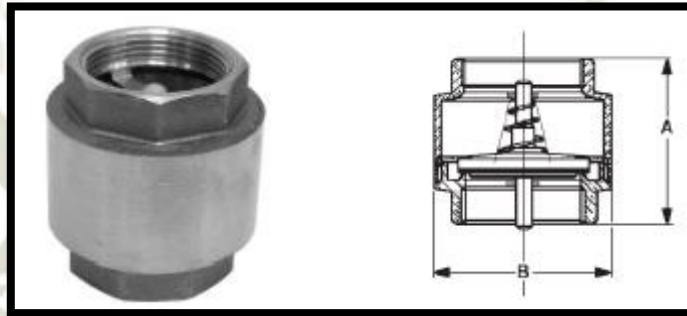
- **De clapeta:** Consta de una compuerta que se abre al empalme del fluido y que se cierra inmediatamente al cesar la circulación, impidiendo el paso del fluido en sentido contrario.



**Figura 67.- Válvula de clapeta antirretorno.**

Fuente: Catalogo ITAP.

- **De obús:** En ellas el fluido empuja un muelle que mueve el obús obturador permitiendo la circulación del fluido. Al cesar la circulación el obús vuelve a su posición inicial, impidiendo el paso en sentido contrario.



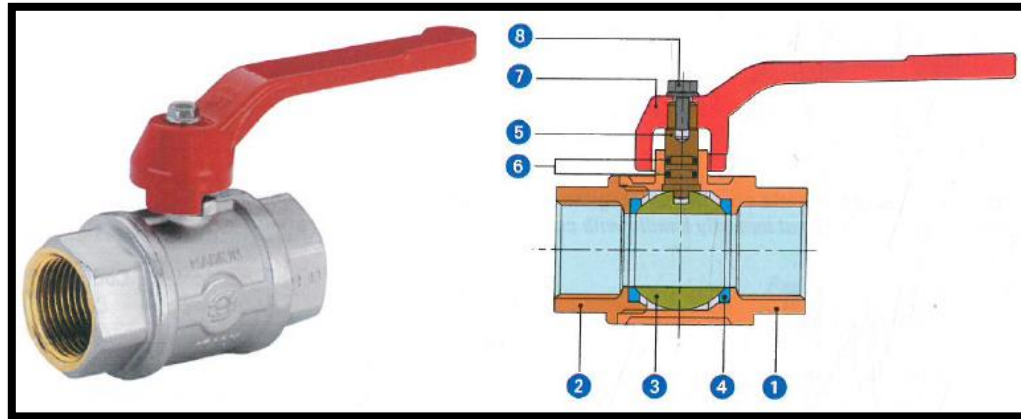
**Figura 68.- Válvula de obús antirretorno.**

Fuente: Catalogo EMMETI.

#### 4.18 Válvula de paso:

Son las válvulas encargadas de interrumpir total o parcialmente el paso del fluido por las tuberías. Las de cierre total se utilizan para aislar una parte de la instalación, mientras que las de cierre parcial sirven para producir una pérdida de carga adicional en el circuito, con el fin de regular el caudal o equilibrar la instalación.

- **Válvula de bola.** En este caso el elemento obturador es una bola de acero inoxidable con un orificio del mismo diámetro que la tubería en la que se coloca, con lo que su pérdida de carga es mínima cuando están abiertas.



**Figura 69.- Válvula de bola.**

Fuente: Catalogo EMMETI.

#### 4.19 Regulador térmico diferencial

Es un controlador de temperatura diferenciado para la automatización de los sistemas de agua caliente, las instalaciones solares funcionan de manera correcta cuando las temperaturas en toda la instalación son y corresponden a las temperaturas para las cuales la instalación ha sido diseñada. Por la general, la cesión de energía de los captadores solares al depósito se realizará siempre que lo captadores solares tengan más calor que el depósito. Si este hecho no sucediera así, las bombas se pararían, hasta que los captadores reciban una radiación solar más elevada, que aumente el calor del circuito por encima del calor del depósito.

Por otro lado, las bombas no arrancarán si el depósito ha sido calentado hasta la temperatura requerida, aunque los captadores sigan recibiendo sol.

Para la realización de todos estos controles propios del sistema debido a las consignas de diferencias de temperatura establecidas entre los elementos de la instalación, será necesario utilizar algún sistema de control, que en nuestro caso será un regulador térmico diferencial.

El regulador térmico diferencial dará las órdenes necesarias para que las bombas se pongan en funcionamiento o se paren. Esto será detallado más ampliamente en el apartado de regulación y control.



**Figura 70.- Regulador térmico diferencial.**

Fuente: Catalogo MICROSOL II plus.

## CAPITULO V: COSTOS DEL PROYECTO

### 5.1 Resumen del capítulo

En el siguiente capítulo se realizará una cotización de los equipos y accesorios que se mostraran en los costos finales del proyecto.

### 5.2 Informe final de costos

Se cuantificaron todos los equipos y accesorios que se seleccionaron, según las siguientes marcas:

- Acumulador solar: ELBI.
- Colectores solares: Termoinox.
- Tuberías: Saladillo Hidro 3 verde.
- Accesorios: Sodimac, Maestro – Arequipa.
- Conexiones de agua caliente: Materiales y Conexiones E.I.R.L.

Cantidad	Elemento	S/. Unidad	Total
	Descripción		
	<b>PRIMER BLOQUE</b>		
3	<p style="text-align: center;"><u>Captadores Solares</u></p> <p>Termoinox, captador solar plano.</p>	1200	3600
1	<p style="text-align: center;"><u>Acumulador de agua</u></p> <p>ELBI - 500 L, tratamiento de vitrificación convierte el acumulador en apto para contener agua caliente.</p>	4774.00	4774.00
1	<p style="text-align: center;"><u>Calentador de Gas</u></p> <p>Termoinox - 20 l/min, cuenta con un intercambiador de cobre eléctrico soldado, encendido automático.</p>	2000	2000
1	<p style="text-align: center;"><u>Bomba para calentador de Gas</u></p> <p>Pedrollo CP600, recomendada para bombear agua limpia y líquidos no corrosivos.</p>	479.90	479.90
1	<p style="text-align: center;"><u>Bomba de recirculación</u></p> <p>EMMETI, TYPE SHARK 3/13-15 garantiza que el agua caliente siempre se encuentre disponible.</p>	504.00	504.00

1	<p><u>Válvula reguladora de presión</u></p> <p><b>EMMETI</b>, con una presión de entrada máxima de 25 bar y presión de salida de 1 a 6 bares.</p>	104.00	104.00
1	<p><u>Válvula de clapeta</u></p> <p><b>ITAP</b>, evita el retorno de agua, conexión en una sola dirección en tanques elevados y sistemas sanitarios.</p>	35.90	35.90
1	<p><u>Válvula obús</u></p> <p><b>EMMETI</b>, trabaja a una presión máxima de 10 bares y una temperatura máxima de 110 °C.</p>	27.72	27.72
1	<p><u>Regulador térmico diferencial</u></p> <p><b>MICROSOL II plus</b>, controlador de temperatura diferenciado para la automatización de los sistemas de agua caliente.</p>	1283	1283
1	<p><u>Balón de gas</u></p> <p><b>SOLGAS 45 kg</b>, contiene gas propano caracterizado por su eficiencia energética y poder calorífico.</p>	240.00	240.00

1	<p align="center"><u>Regulador de gas</u></p> <p>REGO, instrumento para reducir la alta presión que hay dentro del tanque de gas.</p>	200	200
5.7	<p align="center"><u>Tubería de gas</u></p> <p>SURTEK, de 1/2" (1 m) para calefón - balón de gas.</p>	46.5	265.05
6.2	<p align="center"><u>Cable de bomba</u></p> <p>NLT 3x14 AWG, (1 m) bomba - controlador.</p>	4.2	26.04
2	<p align="center"><u>Tapa H</u></p> <p>IPS, de 3/4" para colectores solares.</p>	1.3	2.6
2	<p align="center"><u>TE</u></p> <p>IPS, de 3/4" para acumulador solar - consumo, suministro de agua - acumulador.</p>	2.5	5

<u>Unión universal</u>			
7	IPS, de 3/4" colectores solares - acumulador solar.	3.8	26.6
3	IPS, de 1/2" para bomba de recirculación.	2.3	6.9
<u>Válvula de paso</u>			
1	EMMETI, 1" para suministro de agua - acumulador solar.	67.63	67.63
5	EMMETI, de 1/2" para calefón - acumulador solar, recirculación - acumulador solar.	27.6	138
1	IMPOVAR, de 1/2" para calefón - balón de gas.	24.4	24.4
<u>Tubería termofusión</u>			
4	Saladillo Hidro 3 verde, (6 m) de 3/4" colectores solares - acumulador solar.	55.2	220.8
5	Saladillo Hidro 3 verde, (6 m) de 1/2" para calefón - acumulador solar, recirculación.	36.6	183

<u>Codo de 90°</u>			
2	IPS, de 1" para acumulador solar - consumo, suministro de agua - acumulador.	3.1	6.2
14	IPS, de 3/4" para colectores solares - acumulador solar.	2.2	30.8
15	IPS, de 1/2" recirculación - acumulador solar, recirculación	1.1	16.5
SUB TOTAL (S/.)		-	14268.04
IGV - 18%		-	2568.25
TOTAL (S/.)		-	16836.29

**Tabla 117.- Detalle de costos I Bloque.**

Fuente: Elaboración Propia.

Cantidad	Elemento		S/. Unidad	Total
	Descripción	SEGUNDO BLOQUE		
5	<p align="center"><u>Captadores Solares</u></p> <p>Termoinox, captador solar plano.</p>		1200	6000
1	<p align="center"><u>Acumulador de agua</u></p> <p>ELBI - 800 L, tratamiento de vitrificación convierte el acumulador en apto para contener agua caliente.</p>		7594.00	7594
2	<p align="center"><u>Calentador de Gas</u></p> <p>Termoinox - 20 l/min, presenta un intercambiador de cobre eléctrico soldado, encendido automático.</p>		2000	4000
1	<p align="center"><u>Bomba para calentador de Gas</u></p> <p>Pedrollo CP600, recomendada para bombear agua limpia y líquidos no corrosivos.</p>		479.90	479.9
2	<p align="center"><u>Bomba de recirculación</u></p> <p>EMMETI, TYPE SHARK 3/13-15 garantiza que el agua caliente siempre se encuentre disponible.</p>		504.00	1008
1	<p align="center"><u>Válvula reguladora de presión</u></p> <p>EMMETI, con una presión de entrada máxima de 25 bar y presión de salida de 1 a 6 bares.</p>		104.00	104

1	<p align="center"><u>Válvula de clapeta</u></p> <p>ITAP, evita el retorno de agua, conexión en una sola dirección en tanques elevados y sistemas sanitarios.</p>	35.90	35.90
1	<p align="center"><u>Válvula obús</u></p> <p>EMMETI, trabaja a una presión máxima de 10 bares y una temperatura máxima de 110 °C.</p>	27.72	27.72
1	<p align="center"><u>Regulador térmico diferencial</u></p> <p>MICROSOL II plus, controlador de temperatura diferenciado para la automatización de los sistemas de agua caliente.</p>	1283	1283
1	<p align="center"><u>Balón de gas</u></p> <p>SOLGAS 45 kg, contiene gas propano caracterizado por su eficiencia energética y poder calorífico.</p>	240.00	240.00
1	<p align="center"><u>Regulador de gas</u></p> <p>REGO, instrumento para reducir la alta presión que hay dentro del tanque de gas.</p>	200	200
8.3	<p align="center"><u>Tubería de gas</u></p> <p>SURTEK, de 1/2" (1 m) para calefón - balón de gas.</p>	46.5	385.95

	<u>Cable de bomba</u>		
8.6	NLT 3x14 AWG, (1 m) bomba - controlador.	4.2	36.12
	<u>Tapa H</u>		
2	IPS, de 3/4" para colectores solares.	1.3	2.6
	<u>Unión universal</u>		
10	IPS, de 3/4" colectores solares - acumulador solar.	3.8	38
4	IPS, de 1/2" para bomba de recirculación.	2.3	9.2
	<u>TE</u>		
2	IPS, de 1" para acumulador solar - consumo.	4.7	9.4
2	IPS, de 3/4" calefones - acumulador solar.	2.5	5
1	IPS, de 1/2" bombas de recirculación.	1.6	1.6

<u>Válvula de paso</u>			
1	EMMETI, 1" para suministro de agua - acumulador solar.	67.63	67.63
6	EMMETI, de 3/4" para calefón - acumulador solar.	40.9	245.4
1	EMMETI, de 1/2" recirculación - acumulador.	27.6	27.6
2	IMPOVAR. de 1/2" para calefón - balón de gas.	24.4	48.8
<u>Tubería termofusión</u>			
3	Saladillo Hidro 3 verde, (6 m) de 1" para acumulador solar - consumo, suministro de agua - acumulador.	105.8	317.4
4	Saladillo Hidro 3 verde, (6 m) de 3/4" colectores solares - acumulador solar, calefones - acumulador.	55.2	220.8
2	Saladillo Hidro 3 verde, (6 m) de 1/2" bombas de recirculación.	36.6	73.2

<u>Codo de 90°</u>			
8	IPS, de 1" para acumulador solar - consumo, suministro de agua - acumulador.	3.1	24.8
22	IPS, de 3/4" para colectores solares - acumulador solar, calefones.	2.2	48.4
9	IPS, de 1/2" recirculación - acumulador solar, recirculación.	1.1	9.9
SUB TOTAL (S/.)		-	22544.32
IGV - 18%		-	4057.98
TOTAL (S/.)		-	26602.30

**Tabla 118.- Detalle de costos II Bloque.**

Fuente: Elaboración Propia.

Cantidad	Elemento	S/. Unidad	Total
	Descripción		
	<b>TERCER BLOQUE</b>		
	<u>Captadores Solares</u>		
6	Termoinox, captador solar plano.	1200	7200
	<u>Acumulador de agua</u>		
1	ELBI - 1000 L, tratamiento de vitrificación convierte el acumulador en apto para contener agua caliente.	8274.00	8274
	<u>Calentador de Gas</u>		
2	Termoinox - 20 l/min, cuenta con un intercambiador de cobre eléctrico soldado, encendido automático.	2000	4000
	<u>Bomba para calentador de Gas</u>		
1	Pedrollo CP600, recomendada para bombear agua limpia y líquidos no corrosivos.	479.90	479.9
	<u>Bomba de recirculación</u>		
2	EMMETI, TYPE SHARK 3/13-15 garantiza que el agua caliente siempre se encuentre disponible.	504.00	1008
	<u>Válvula reguladora de presión</u>		
1	EMMETI, con una presión de entrada máxima de 25 bares y presión de salida de 1 a 6 bares.	104.00	104

1	<p><u>Válvula de clapeta</u></p> <p>ITAP, evita el retorno de agua, conexión en una sola dirección en tanques elevados y sistemas sanitarios.</p>	35.90	35.9
1	<p><u>Válvula obús</u></p> <p>EMMETI, trabaja a una presión máxima de 10 bares y una temperatura máxima de 110 °C.</p>	27.72	27.72
1	<p><u>Regulador térmico diferencial</u></p> <p>MICROSOL II plus, controlador de temperatura diferenciado para la automatización de los sistemas de agua caliente.</p>	1283	1283
1	<p><u>Balón de gas</u></p> <p>SOLGAS 45 kg, contiene gas propano caracterizado por su eficiencia energética y poder calorífico.</p>	240.00	240.00
1	<p><u>Regulador de gas</u></p> <p>REGO, instrumento para reducir la alta presión que hay dentro del tanque de gas.</p>	200	200

	<u>Tubería de gas</u>		
7.8	SURTEK, de 1/2" (1 m) para calefón - balón de gas.	46.5	362.7
	<u>Cable de bomba</u>		
9	NLT 3x14 AWG, (1 m) bomba - controlador.	4.2	37.8
	<u>Tapa H</u>		
2	IPS, de 3/4" para colectores solares.	1.3	2.6
	<u>Unión universal</u>		
1	IPS, de 1" colectores solares - acumulador solar.	6.5	6.5
12	IPS, de 3/4" colectores solares - acumulador solar.	3.8	45.6
5	IPS, de 1/2" para bomba de recirculación.	2.3	11.5

<u>TE</u>			
2	IPS, de 1" para acumulador solar - consumo.	4.7	9.4
2	IPS, de 3/4" calefones - acumulador solar.	2.5	5
1	IPS, de 1/2" bombas de recirculación.	1.6	1.6
<u>Válvula de paso</u>			
1	EMMETI, 1" para suministro de agua - acumulador solar.	67.63	67.63
6	EMMETI, de 3/4" para calefón - acumulador solar.	40.9	245.4
1	EMMETI, de 1/2" recirculación - acumulador.	27.6	27.6
2	IMPOVAR, de 1/2" para calefón - balón de gas.	24.4	48.8
<u>Tubería termofusión</u>			
4	Saladillo Hidro 3 verde, (6 m) de 1" para acumulador solar - consumo, suministro de agua - acumulador.	105.8	423.2

<u>Codo de 90°</u>			
10	IPS, de 1" para acumulador solar - consumo, suministro de agua - acumulador.	3.1	31
22	IPS, de 3/4" para colectores solares - acumulador solar, calefones.	2.2	48.4
10	IPS, de 1/2" recirculación - acumulador solar.	1.1	11
SUB TOTAL (S/.)		-	24642.05
IGV - 18%		-	4435.57
TOTAL (S/.)		-	29077.62

**Tabla 119.- Detalle de costos III Bloque.**

Fuente: Elaboración Propia.

Resumiendo, tenemos los siguientes costos:

**Tabla 120.- Estimación de costo total aplicando colectores de placa plana.**

Bloques	Suma Total (S/.)
I Bloque	16836.29
II Bloque	26602.30
III Bloque	29077.62
<b>Total, General</b>	<b>72516.21</b>

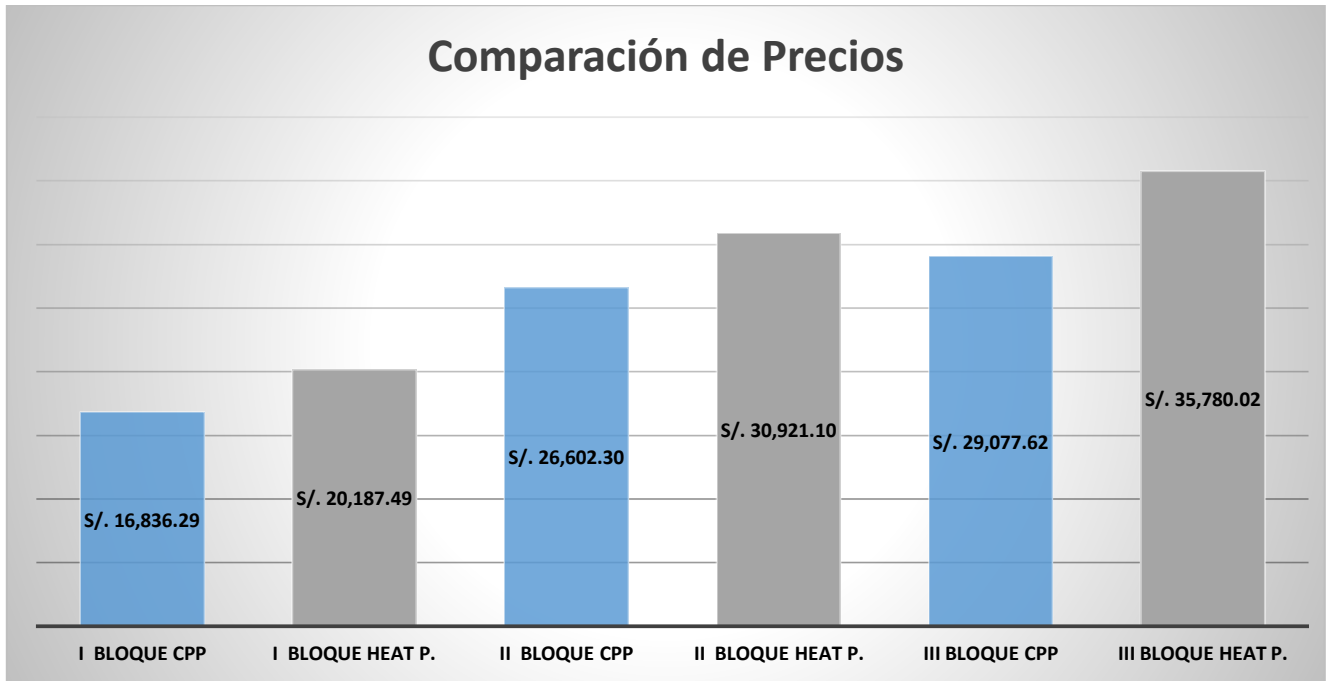
Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 121.- Estimación de costo total aplicando colectores de tubos de calor (heat pipe).**

Bloques	Suma Total (S/.)
I Bloque	20187.49
II Bloque	30921.10
III Bloque	35780.02
<b>Total, General</b>	<b>86888.60</b>

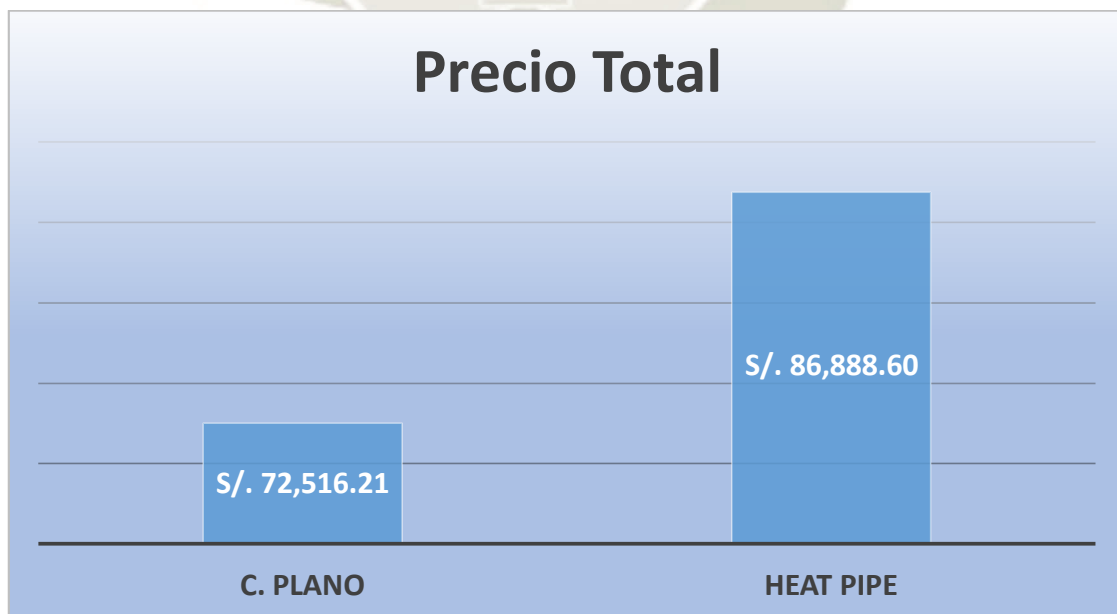
Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 122.- Comparación de costos para cada Bloque.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 123.- Comparación de costos de diseño con colectores de placa plana y heat pipe.**



Fuente: Elaboración Propia.

Según el Tabla 123, podemos observar que el costo del diseño con colectores de tubos de calor (heat pipe) es más costoso en 86888.6 soles al diseño con colector de placa plana, esto se debe básicamente al coste del colector de tubos de calor (heat pipe) de 30 tubos que tiene un valor de 3220 soles.



## CONCLUSIONES

- Durante las evaluaciones se concluye que el colector heat pipe alcanza mayores temperaturas, siendo 81.5 °C el valor máximo y para el colector de placa plana su valor máximo de 59.4 °C. Por otro lado, se obtiene una eficiencia máxima de 74% para la terma solar del colector heat pipe y 65% para la terma solar del colector de placa plana.
- Realizando el cálculo de número de colectores para el abastecimiento de agua caliente sanitaria, si seleccionamos para los tres bloques obtenemos 14 colectores de placa plana y si seleccionamos colectores heat pipe obtenemos 9 colectores.
- El presupuesto considerando la suma de los tres bloques, nos da S/. 72.516.21 con colectores de placa plana y con heat pipe nos da el valor de S/. 86.888.60.

## OBSERVACIONES

- SALADILLO Hidro 3 verde es un tipo de tubería para agua caliente sanitaria que presentan mayores beneficios en comparación con las de cobre, teniendo menor costo y cumplen con las mismas funciones.
- En un principio se estaba proponiendo realizar un solo sistema para todo el hotel de agua caliente sanitaria, pero verificando las ramificaciones de tuberías se tuvo que dividir en tres bloques.
- Para garantizar que el agua caliente siempre se encuentre disponible los sistemas cuentan con bombas de recirculación como se observa en el plano uno de los bloques cuenta con una bomba de recirculación y las otras dos cuentan con dos bombas de recirculación.

## RECOMENDACIONES

- Para el calentamiento de los acumuladores de agua caliente se requiere una cantidad determinada de radiación solar, si el cielo este nublado los colectores no calentaran lo suficiente y por tal motivo necesitamos de calentadores auxiliares de gas para su correcto funcionamiento.
- Para las tres instalaciones de agua caliente sanitaria es necesario realizar un programa de mantenimiento para preservar el estado de los sistemas de tuberías, bombas de recirculación, calefones, válvulas de regulación de presión, válvulas antirretornos, controladores de temperatura, acumuladores y distribución de fluidos.
- Capacitación al área administrativa sobre los parámetros de funcionamiento y gestión de mantenimiento.

## BIBLIOGRAFIA

- NTP 399.400.2001. Colectores solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores solares.
- NTP 399.404.2006. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar. Fundamentos para su dimensionamiento eficiente.
- NTP 399.405.2007. Sistema de calentamiento de agua con energía solar. Definición y pronóstico anual de su rendimiento mediante ensayos en exterior.
- NTP 399.482.2007. Sistema de calentamiento de agua con energía solar. Procedimiento para su instalación eficiente.
- Jimenez López, L. Instalaciones Hidrosanitarias Barcelona: Grupo Editorial CEAC.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. Cálculo del diámetro de las tuberías método Hunter.
- Gilberto Sotelo Ávila. Hidráulica General. Richter. Velocidad media en tuberías que origina diseño económico.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Agua Caliente Sanitaria Central. Madrid, España, (Junio del 2010).
- Héctor Hugo Arrecis Cabrera. Válvulas de Policloruro de Vinilo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Ingeniería Civil, 2007.
- Órgano Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Supervisión de Contratos de Proyectos de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica en Construcción, 2018.

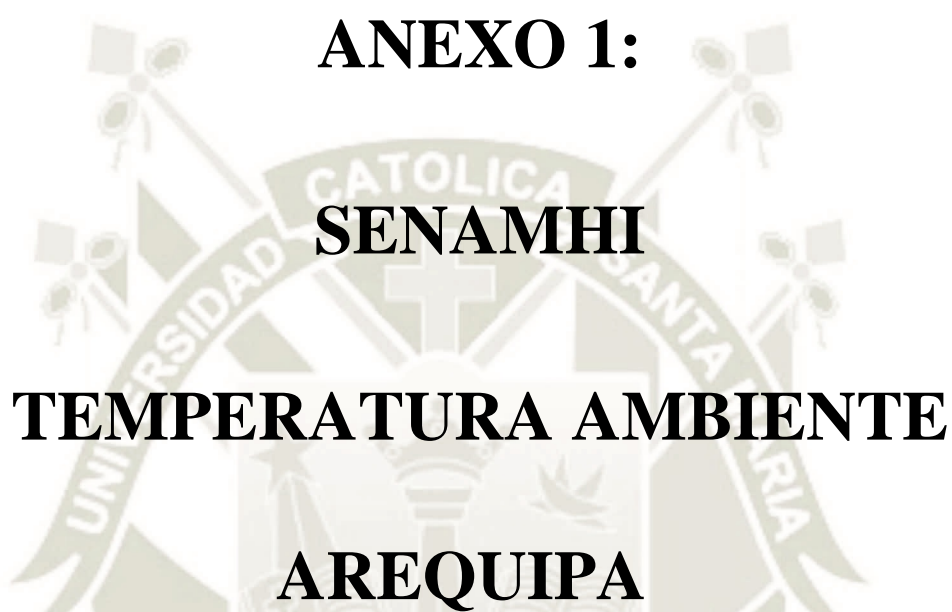
- Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional. Portal de Indicadores, 2019.
- Marco Antonio Conde Sanchez, Zamir Alberto Ramos Mateos. Diseño de un calentador solar de placa de calor para calentamiento de agua para uso doméstico. Universidad Nacional Autónoma de México, (2014).
- Pablo Arroyo Carbonero. Dimensionado de una instalación solar para agua caliente sanitaria en Cáceres. Universidad Carlos III de Madrid, (2010).
- Lourdes Yolanda Flores Salgado. Propuesta metodológica para el análisis técnico y económico del uso de calentadores solares de agua. Universidad Nacional Autónoma de México, (2009).
- Paloma Román Gómez. Energía Solar Térmica, (2008).
- Gonzalo Abal, Valeria Durañona. Manual Técnico de Energía Solar Térmica, (2013).
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidráulica del Perú, Ministerio de Energía y Minas. Atlas de Energía Solar del Perú, (2003).
- Duffie J. A. and Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes, (2013).
- Luis Albero Montoya Portugal, Juan Ernesto Palo Tejado, Wilson Ricardo Cabana Hanco, Lourdes Soria Guía. (2011). Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana. Universidad Nacional de San Agustín – Escuela Profesional de Física. Centro de Energías Renovables y Eficiencia Energética.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Reglamento de establecimiento de Hospedaje, (2004).

- Vanessa Martín Martínez. Diseño de una instalación solar térmica con aplicaciones de ACS, calefacción y climatización para un edificio situado en Segovia. Universidad Carlos III de Madrid, (2011).
- Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente. XV Simposio Peruano de Energía Solar, (2008).
- ELBI. Termohidráulica, (2016).
- MSc. Pedro Bertín Flores Larico, Dr. José Luis Galdós Gomez, MSc. Edgar Valerio Salas Valverde, Br. Carlos Enrique Pedemonte Grau, Br. Ernesto Alexander Riveros Ramos. Br. Sergio Gianluca Bentura Vera. Br. Esnayder Corrales Mollo, Dr. Juan José Milon Guzman. Avance del estudio experimental de la eficiencia de los colectores de los SCAES en laboratorio de energía dólar del DAIME. Universidad Nacional de San Agustín, (2017).
- Tiago Francisco Manea, Fábio Niemezewski da Rosa, Arno Krenzinger. Determinação dos parâmetros de desempenho de um coletor solar de tubos de vidro a vácuo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (2013).
- Berlanga Gutiérrez, Alexander Omar. Diseño de una terma solar como fuente de calentamiento de agua para las operaciones de lavado, de una planta piloto de recubrimientos metálicos en piezas de acero. Universidad Nacional de San Agustín, (2016).
- Energía Solar. Energía Solar Térmica de Alta Temperatura, (2019).
- Energías Renovables y Eficiencia Energética. Sistemas de energía solar térmica de baja temperatura, (2008).

- MICROSOL II PLUS. Controlador diferencial de temperatura para calefacción solar con dos etapas de apoyo, (2012).
- PEDROLLO. Electrobomba centrifuga, (2019).
- EMMETI. Catálogo tarifa termohidráulico y ecoenergía, (2018).
- Termoinox. Productos, (2019).
- HS4. Guía Técnica: Suministro de Agua. Productos de construcción: Condiciones Particulares de las Conducciones.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía Técnica: Agua Caliente Sanitaria Central Madrid – España, (2010).
- Hotel Costa del Sol. Arequipa, (2019).
- Renovables Informe de Estado Mundial – REN21, (2018).
- Delta Volt. Radiación Anual, (2019).
- Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente. XX Simposio Peruano de Energía Solar, (2013).
- Adinelsa. Indicadores de Gestión, (2016).
- Energía Solar. Energía del sol que llega a la tierra, (2017).
- Los astronómicos en física. Posición del Sol Respecto a Superficies Horizontales, (2014).
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Área Eficiencia y Ahorro Energético, (2011).
- EVATIOS green energy. Tubo de vacío de flujo directo, (2018).
- ENERWORK. Funcionamiento de tubo de calor (heat pipe), (2017).
- SALADILLO HIDRO 3. Presiones y temperaturas para tuberías, (2019).

# ANEXOS

- Anexo 1: Servicio Nacional de Meteorología e Hidráulica del Perú. Temperatura ambiente de Arequipa.
- Anexo 2: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa. Temperatura de agua de Arequipa.
- Anexo 3: Propiedades físicas del agua.
- Anexo 4: Acumulador para agua caliente ELBI.
- Anexo 5: Diagrama de MOODY.
- Anexo 6: Bomba centrífuga PEDROLLO.
- Anexo 7: Bomba de recirculación EMMETI.
- Anexo 8: Válvula antirretorno ITAP.
- Anexo 9: Calentadores de gas TERMOINOX.
- Anexo 10: Regulador térmico diferencial MICROSOL II.
- Anexo 11: Tubería para agua caliente SALADILLO HIDRO 3.
- Anexo 12: Colectores HEAT PIPE.



**ANEXO 1:**  
**SENAMHI**  
**TEMPERATURA AMBIENTE**  
**AREQUIPA**

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-01-01	21.4	9.8
2018-01-02	22.6	11.6
2018-01-03	23.6	8.4
2018-01-04	23.8	10
2018-01-05	23.4	10.6
2018-01-06	21.6	10.4
2018-01-07	22.4	11.2
2018-01-08	23.2	10.4
2018-01-09	22.8	13.2
2018-01-10	22.4	12.4
2018-01-11	21.8	11.2
2018-01-12	23.4	12.6
2018-01-13	23.2	13
2018-01-14	23	10.8
2018-01-15	19.6	9.2
2018-01-16	20.6	10.8
2018-01-17	22.4	10.4
2018-01-18	22.8	11.4
2018-01-19	23.2	11
2018-01-20	23.6	11.4
2018-01-21	23.4	12.2
2018-01-22	22.2	12
2018-01-23	23.4	12.2
2018-01-24	23.2	14.2
2018-01-25	23.8	12.4
2018-01-26	24.2	12
2018-01-27	25	11.8
2018-01-28	24.8	12.2
2018-01-29	23.8	14.2
2018-01-30	22.6	10.6
2018-01-31	23.8	13.2

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-02-01	23	12.8
2018-02-02	23.2	12.6
2018-02-03	22.6	10.8
2018-02-04	23.6	13.2
2018-02-05	22.6	12.6
2018-02-06	20.6	12
2018-02-07	21.8	11.8
2018-02-08	22.8	11
2018-02-09	23.6	11.6
2018-02-10	21.8	12.4
2018-02-11	24.2	12
2018-02-12	24	11.4
2018-02-13	22.8	13.2
2018-02-14	22.6	12.8
2018-02-15	22.4	13.2
2018-02-16	22.8	13
2018-02-17	22.6	10.8
2018-02-18	22.4	12.2
2018-02-19	21.4	11.4
2018-02-20	22.4	11.4
2018-02-21	20.6	10.2
2018-02-22	23.8	10.4
2018-02-23	23.2	12
2018-02-24	22.4	11.2
2018-02-25	21.6	11.4
2018-02-26	21.4	10.8
2018-02-27	19.8	10
2018-02-28	21.4	9.4

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-03-01	24	10.4
2018-03-02	24.6	11.4
2018-03-03	24.2	13.8
2018-03-04	23.4	13.2
2018-03-05	22.4	12.4
2018-03-06	23.2	10.8
2018-03-07	23.8	12.8
2018-03-08	25	13.2
2018-03-09	25.8	11.4
2018-03-10	26.2	11
2018-03-11	25.8	14.2
2018-03-12	26.4	13.4
2018-03-13	24.8	10.8
2018-03-14	24.6	11.6
2018-03-15	22.6	11.4
2018-03-16	23.2	11.8
2018-03-17	22.4	12.2
2018-03-18	23	11.6
2018-03-19	23.4	14.2
2018-03-20	24	12.8
2018-03-21	23.8	13.6
2018-03-22	24.2	12.4
2018-03-23	22.6	14.2
2018-03-24	21.6	14
2018-03-25	23	9.8
2018-03-26	23.8	11
2018-03-27	23.6	11.2
2018-03-28	24.4	11
2018-03-29	24.6	10.6
2018-03-30	24.2	8.6
2018-03-31	24.4	8.2

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-04-01	24.2	8.8
2018-04-02	23	7.8
2018-04-03	22.6	10.4
2018-04-04	23.2	10.2
2018-04-05	22.6	7.8
2018-04-06	22.8	7.2
2018-04-07	22	9.2
2018-04-08	19.8	10.4
2018-04-09	19.4	10.2
2018-04-10	22.4	10.6
2018-04-11	21.6	11.2
2018-04-12	23.2	9.8
2018-04-13	21.8	10
2018-04-14	22.4	11.6
2018-04-15	23.4	11
2018-04-16	23.8	10.6
2018-04-17	22.6	10
2018-04-18	24.6	9
2018-04-19	24	8.6
2018-04-20	23.6	9
2018-04-21	24.2	10.4
2018-04-22	23.4	10
2018-04-23	24.4	10.8
2018-04-24	24	12.8
2018-04-25	22.4	9.6
2018-04-26	22.8	13
2018-04-27	24.6	11.8
2018-04-28	24	11.4
2018-04-29	22.2	12.2
2018-04-30	23.8	9.8

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-05-01	25.2	10.4
2018-05-02	25.6	10.6
2018-05-03	25.4	10
2018-05-04	24.2	9.8
2018-05-05	23.4	9.6
2018-05-06	22.6	10
2018-05-07	24.2	9.2
2018-05-08	22.8	10.2
2018-05-09	21.8	10.4
2018-05-10	22.8	7.4
2018-05-11	23.8	8.4
2018-05-12	24.2	8.8
2018-05-13	23.6	8.2
2018-05-14	23	5.2
2018-05-15	24	6.2
2018-05-16	23.4	6
2018-05-17	24.6	7.4
2018-05-18	25.4	5.8
2018-05-19	23.2	6.6
2018-05-20	24.2	7.6
2018-05-21	22.4	7
2018-05-22	22.2	6.8
2018-05-23	23.2	7.4
2018-05-24	24.4	7.2
2018-05-25	25.6	7.8
2018-05-26	24.4	8.8
2018-05-27	23.8	8.6
2018-05-28	23.6	8.4
2018-05-29	22.2	6.6
2018-05-30	22.8	5.8
2018-05-31	22.4	4.6

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-06-01	25.6	5.8
2018-06-02	24.2	7.2
2018-06-03	23.4	8
2018-06-04	20.6	11.4
2018-06-05	23.8	10
2018-06-06	23.4	9.8
2018-06-07	24	11.6
2018-06-08	25.4	10.4
2018-06-09	24.4	11
2018-06-10	23.2	9.2
2018-06-11	22.8	8.4
2018-06-12	23	8.2
2018-06-13	23.2	8.6
2018-06-14	22.6	8.4
2018-06-15	22.8	9.2
2018-06-16	23.8	8.2
2018-06-17	24.2	8
2018-06-18	24.4	8.6
2018-06-19	25	8.8
2018-06-20	23.2	9.6
2018-06-21	24	7.6
2018-06-22	23	8.4
2018-06-23	22.4	7.8
2018-06-24	24.2	7.2
2018-06-25	24.4	7.2
2018-06-26	24	7.8
2018-06-27	23.8	8.6
2018-06-28	23.4	7.6
2018-06-29	23.2	7.2
2018-06-30	23	6.8

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-07-01	22.2	8.8
2018-07-02	22.6	7.2
2018-07-03	25	7.4
2018-07-04	21.2	7.6
2018-07-05	22.8	8
2018-07-06	24.2	9.2
2018-07-07	24	8.8
2018-07-08	23.2	8
2018-07-09	23.8	8
2018-07-10	24.2	9.2
2018-07-11	23	9.4
2018-07-12	19.8	10.8
2018-07-13	20.6	10.6
2018-07-14	22.6	5.6
2018-07-15	23.8	8.2
2018-07-16	23.2	6.9
2018-07-17	23.8	7.6
2018-07-18	20.6	7.8
2018-07-19	20.8	9.2
2018-07-20	24.4	10.4
2018-07-21	18.8	11.8
2018-07-22	23.8	8.2
2018-07-23	24	9.6
2018-07-24	23.4	7.8
2018-07-25	23.6	7.6
2018-07-26	23.2	7
2018-07-27	22.4	8
2018-07-28	23.2	7.2
2018-07-29	23.6	7.6
2018-07-30	23.8	6.2
2018-07-31	22.4	7.8

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-08-01	20.8	7.2
2018-08-02	21	7
2018-08-03	22.8	8.8
2018-08-04	21.4	10.8
2018-08-05	23.2	5.6
2018-08-06	24.8	4.4
2018-08-07	24.4	8.6
2018-08-08	26.2	9.8
2018-08-09	26.6	8.8
2018-08-10	26	8.4
2018-08-11	24.6	8
2018-08-12	23.8	9
2018-08-13	23.4	8.4
2018-08-14	23.6	7.2
2018-08-15	23.8	6.8
2018-08-16	22.6	6.9
2018-08-17	24	7.8
2018-08-18	25.2	7.6
2018-08-19	25	8.2
2018-08-20	23.4	9.4
2018-08-21	24.4	8.4
2018-08-22	25.2	7.8
2018-08-23	24.8	8
2018-08-24	24	6
2018-08-25	24.4	6.8
2018-08-26	25.4	8
2018-08-27	23.8	8.9
2018-08-28	24	9.9
2018-08-29	23.8	9.8
2018-08-30	24.2	9.4
2018-08-31	23.8	9.2

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-09-01	24.6	8.2
2018-09-02	25.2	6.4
2018-09-03	26.2	7.8
2018-09-04	24	9.2
2018-09-05	24.2	8.8
2018-09-06	22.8	7.8
2018-09-07	22	6.6
2018-09-08	22.2	8
2018-09-09	22.8	8.6
2018-09-10	23.8	9
2018-09-11	24.2	8.2
2018-09-12	23.4	8.8
2018-09-13	22.8	7.4
2018-09-14	22.8	6.2
2018-09-15	21.8	6
2018-09-16	21.2	6.9
2018-09-17	23.4	6.2
2018-09-18	23.4	5.8
2018-09-19	25.2	7
2018-09-20	25.8	6.8
2018-09-21	25.6	7.8
2018-09-22	23.8	7.9
2018-09-23	24.6	10
2018-09-24	24.6	8.2
2018-09-25	25	8.6
2018-09-26	24.8	8
2018-09-27	23.4	8.6
2018-09-28	25	10.4
2018-09-29	25.2	9.1
2018-09-30	24.4	8.6

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-10-01	24.8	8.6
2018-10-02	24.6	9.2
2018-10-03	23.8	9.4
2018-10-04	24	9.6
2018-10-05	23.6	11.2
2018-10-06	22.8	13.2
2018-10-07	24.8	12.8
2018-10-08	23.8	11.2
2018-10-09	24.6	10
2018-10-10	23.8	9.6
2018-10-11	24	8.8
2018-10-12	22.2	8.6
2018-10-13	22.8	9.6
2018-10-14	22.4	11.6
2018-10-15	24.6	11.2
2018-10-16	25.2	13
2018-10-17	25.8	9.6
2018-10-18	24.8	9.8
2018-10-19	25	10.6
2018-10-20	23.6	10.6
2018-10-21	23	9.2
2018-10-22	23.4	10.2
2018-10-23	23.2	9.6
2018-10-24	22.8	8.6
2018-10-25	22	12.2
2018-10-26	23.8	8.8
2018-10-27	24.8	10.4
2018-10-28	25	10.2
2018-10-29	24.6	9.2
2018-10-30	23.8	9.8
2018-10-31	24.2	10.4

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-11-01	24.2	11
2018-11-02	23.2	10.8
2018-11-03	23.4	9.4
2018-11-04	23.2	9.5
2018-11-05	22.8	8.6
2018-11-06	24	9.2
2018-11-07	25.2	10.4
2018-11-08	25.6	11.4
2018-11-09	24.6	10.2
2018-11-10	24.2	11.2
2018-11-11	23.9	11.4
2018-11-12	23.2	10
2018-11-13	24	9.8
2018-11-14	23.8	10.4
2018-11-15	23.2	10
2018-11-16	24.2	10.4
2018-11-17	25.4	9.4
2018-11-18	25	10.4
2018-11-19	24.6	11.2
2018-11-20	24.4	10.4
2018-11-21	24.2	9.6
2018-11-22	24.6	10
2018-11-23	24.2	9.2
2018-11-24	23.8	10.8
2018-11-25	24	9.4
2018-11-26	23.6	12.2
2018-11-27	23.2	10.2
2018-11-28	22.8	11.4
2018-11-29	23.8	7.4
2018-11-30	25	8


AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)	
	MAX	MIN
2018-12-01	23.4	7.8
2018-12-02	23.2	8
2018-12-03	23.8	7.6
2018-12-04	23.8	6.4
2018-12-05	23	7
2018-12-06	22.8	7.9
2018-12-07	24.4	8
2018-12-08	25.4	11.2
2018-12-09	26.6	11
2018-12-10	25.2	11.8
2018-12-11	25.6	11.4
2018-12-12	26.8	13
2018-12-13	24.6	12.6
2018-12-14	22.8	11
2018-12-15	24	11.2
2018-12-16	24.8	11.8
2018-12-17	24.4	11.4
2018-12-18	24.8	12.8
2018-12-19	24	12.6
2018-12-20	23.8	11.8
2018-12-21	23	12.2
2018-12-22	24.2	14
2018-12-23	24.8	10.4
2018-12-24	25	12.2
2018-12-25	25.4	12.6
2018-12-26	24.6	11
2018-12-27	24	12.6
2018-12-28	24.8	14
2018-12-29	24	13.6
2018-12-30	23.8	11.4
2018-12-31	24.2	12.8

**ANEXO 2:**

**SEDAPAR – PLANTA LA TOMILLA I**

**TEMPERATURA DE AGUA**

**AREQUIPA**





TEMPERATURA °C AGUA CRUDA ACONDICIONADA INGRESO A PLANTA  
AÑO 2016

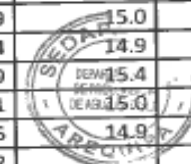
DIAS											CUADRO N° 1	
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	16.6	16.9	14.9	15.8	13.1	10.1	10.4	10.4	11.2	13.3	14.4	15.0
2	16.2	17.3	15.5	16.5	13.1	9.9	10.4	10.7	11.6	13.6	14.1	14.6
3	16.4	17.4	15.7	16.1	13.2	9.9	10.7	10.6	12.5	13.5	14.2	15.0
4	16.5	17.3	15.7	15.9	13.4	10.0	10.5	11.3	12.4	13.8	14.6	15.5
5	16.8	16.8	16.2	15.3	13.2	9.7	10.2	10.9	11.3	13.3	16.0	15.3
6	16.5	16.9	15.4	15.8	13.0	9.7	10.3	10.7	11.2	13.1	16.3	15.1
7	16.4	16.7	14.8	15.8	13.3	9.9	10.3	11.1	11.5	13.1	15.9	15.1
8	16.6	16.9	15.0	15.6	13.2	9.7	10.6	11.0	11.3	13.5	15.2	15.4
9	17.0	17.6	15.3	15.7	12.5	10.0	10.5	14.9	11.5	13.4	15.1	14.8
10	16.8	17.1	15.5	15.4	12.7	9.9	10.9	11.2	11.5	13.5	14.9	15.0
11	16.7	16.7	15.6	15.0	12.8	9.8	10.9	11.1	11.9	13.6	15.2	14.9
12	16.7	16.2	16.1	14.6	12.7	10.0	10.7	11.2	11.7	13.4	15.4	14.7
13	16.8	16.4	16.2	14.5	12.8	9.9	10.3	11.0	11.5	13.7	14.5	15.3
14	16.8	17.0	16.1	14.6	13.2	10.5	11.0	10.9	11.9	14.0	13.8	15.1
15	16.6	16.5	16.4	14.7	13.8	10.4	11.0	11.1	12.0	13.9	13.7	15.0
16	16.9	16.5	16.5	14.5	13.1	10.7	10.3	11.1	12.0	14.2	14.2	15.2
17	16.9	16.4	16.8	14.9	13.1	10.5	10.5	11.4	12.8	14.2	14.1	15.2
18	16.8	16.1	17.1	14.7	12.1	10.0	11.4	10.8	13.2	14.2	14.3	15.6
19	16.8	17.3	16.7	14.8	11.2	10.1	12.2	11.2	13.2	14.0	14.1	15.4
20	17.1	16.8	17.0	14.8	11.8	9.7	12.3	11.0	12.7	13.9	14.3	15.3
21	16.8	15.9	17.1	14.2	11.6	9.9	11.9	11.6	12.6	14.1	13.7	15.2
22	17.0	15.9	16.9	13.6	11.6	9.9	11.7	11.7	12.8	14.1	13.7	15.0
23	17.3	15.1	17.2	14.4	11.4	9.6	12.2	12.0	12.8	14.6	13.9	15.0
24	15.8	15.6	16.8	13.7	11.4	9.9	11.4	12.3	13.5	14.7	14.0	15.3
25	17.4	15.7	16.5	13.5	11.9	10.0	11.6	12.1	13.0	13.9	14.6	15.1
26	17.1	15.3	17.1	13.5	11.4	9.5	10.6	11.9	12.9	13.9	15.0	15.2
27	17.0	14.2	17.7	13.1	11.5	10.2	9.5	12.0	13.4	13.4	14.9	15.3
28	17.3	14.8	17.1	13.3	11.3	10.4	10.6	12.0	13.4	13.9	15.4	15.2
29	17.2	15.9	16.9	13.1	11.1	11.0	11.0	11.3	13.0	14.1	15.0	15.5
30	17.3		16.3	14.1	10.5	10.9	10.8	11.7	13.0	14.5	14.9	15.2
31	17.2		16.5		10.2		10.6	11.4		14.2		15.6





TEMPERATURA °C AGUA CRUDA ACONDICIONADA INGRESO A PLANTA  
AÑO 2016

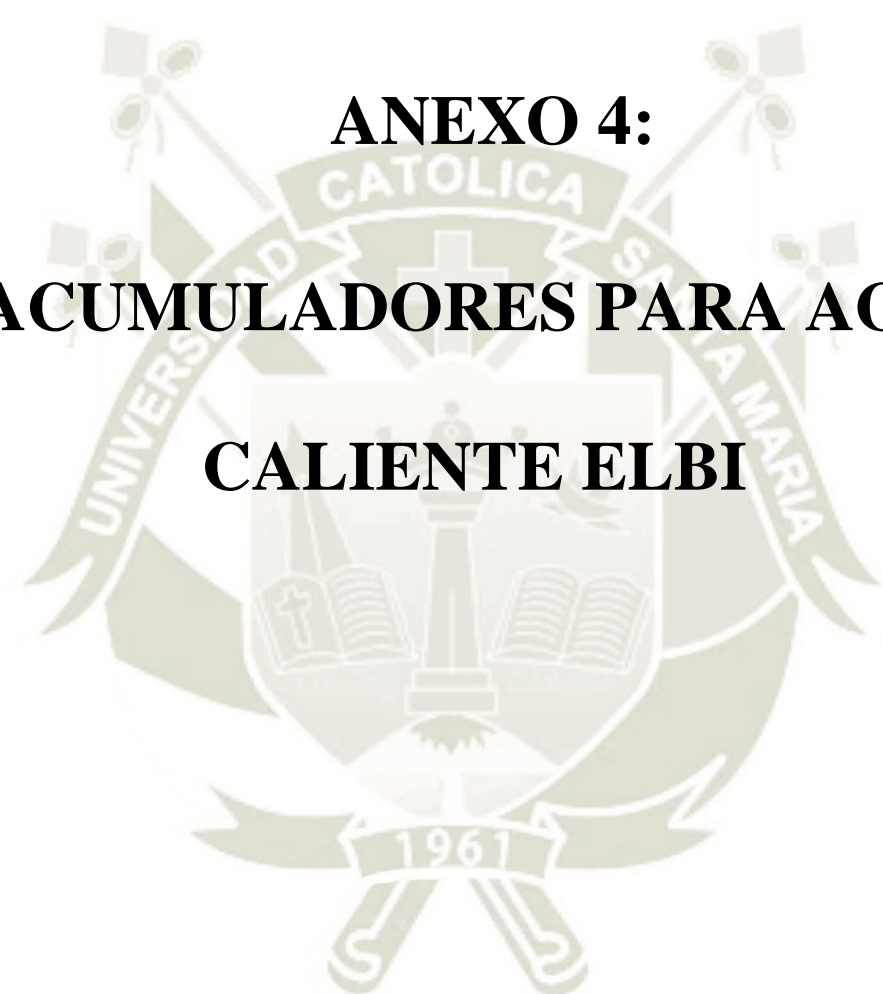
DIAS	CUADRO N° 1											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	16.6	16.9	14.9	15.8	13.1	10.1	10.4	10.4	11.2	13.3	14.4	15.0
2	16.2	17.3	15.5	16.5	13.1	9.9	10.4	10.7	11.6	13.6	14.1	14.6
3	16.4	17.4	15.7	16.1	13.2	9.9	10.7	10.6	12.5	13.5	14.2	15.0
4	16.5	17.3	15.7	15.9	13.4	10.0	10.5	11.3	12.4	13.8	14.6	15.5
5	16.8	16.8	16.2	15.3	13.2	9.7	10.2	10.9	11.3	13.3	16.0	15.3
6	16.5	16.9	15.4	15.8	13.0	9.7	10.3	10.7	11.2	13.1	16.3	15.1
7	16.4	16.7	14.8	15.8	13.3	9.9	10.3	11.1	11.5	13.1	15.9	15.1
8	16.6	16.9	15.0	15.6	13.2	9.7	10.6	11.0	11.3	13.5	15.2	15.4
9	17.0	17.6	15.3	15.7	12.5	10.0	10.5	14.9	11.5	13.4	15.1	14.8
10	16.8	17.1	15.5	15.4	12.7	9.9	10.9	11.2	11.5	13.5	14.9	15.0
11	16.7	16.7	15.6	15.0	12.8	9.8	10.9	11.1	11.9	13.6	15.2	14.9
12	16.7	16.2	16.1	14.6	12.7	10.0	10.7	11.2	11.7	13.4	15.4	14.7
13	16.8	16.4	16.2	14.5	12.8	9.9	10.3	11.0	11.5	13.7	14.5	15.3
14	16.8	17.0	16.1	14.6	13.2	10.5	11.0	10.9	11.9	14.0	13.8	15.1
15	16.6	16.5	16.4	14.7	13.8	10.4	11.0	11.1	12.0	13.9	13.7	15.0
16	16.9	16.5	16.5	14.5	13.1	10.7	10.3	11.1	12.0	14.2	14.2	15.2
17	16.9	16.4	16.8	14.9	13.1	10.5	10.5	11.4	12.8	14.2	14.1	15.2
18	16.8	16.1	17.1	14.7	12.1	10.0	11.4	10.8	13.2	14.2	14.3	15.6
19	16.8	17.3	16.7	14.8	11.2	10.1	12.2	11.2	13.2	14.0	14.1	15.4
20	17.1	16.8	17.0	14.8	11.8	9.7	12.3	11.0	12.7	13.9	14.3	15.4
21	16.8	15.9	17.1	14.2	11.6	9.9	11.9	11.6	12.6	14.1	13.7	15.4
22	17.0	15.9	16.9	13.6	11.6	9.9	11.7	11.7	12.8	14.1	13.7	15.2
23	17.3	15.1	17.2	14.4	11.4	9.6	12.2	12.0	12.8	14.6	13.9	15.4
24	15.8	15.6	16.8	13.7	11.4	9.9	11.4	12.3	13.5	14.7	14.0	15.1
25	17.4	15.7	16.5	13.5	11.9	10.0	11.6	12.1	13.0	13.9	14.6	15.1
26	17.1	15.3	17.1	13.5	11.4	9.5	10.6	11.9	12.9	13.9	15.0	15.2
27	17.0	14.2	17.7	13.1	11.5	10.2	9.5	12.0	13.4	13.4	14.9	15.3
28	17.3	14.8	17.1	13.3	11.3	10.4	10.6	12.0	13.4	13.9	15.4	15.2
29	17.2	15.9	16.9	13.1	11.1	11.0	11.0	11.3	13.0	14.1	15.0	15.5
30	17.3		16.3	14.1	10.5	10.9	10.8	11.7	13.0	14.5	14.9	15.2
31	17.2		16.5		10.2		10.6	11.4		14.2		15.6





**ANEXO 3:**  
**PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA**

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA							
Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	1,98 · 10 <sup>6</sup>	1,781 · 10 <sup>-3</sup>	1,785 · 10 <sup>-6</sup>	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05 · 10 <sup>6</sup>	1,518 · 10 <sup>-3</sup>	1,519 · 10 <sup>-6</sup>	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10 · 10 <sup>6</sup>	1,307 · 10 <sup>-3</sup>	1,306 · 10 <sup>-6</sup>	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15 · 10 <sup>6</sup>	1,139 · 10 <sup>-3</sup>	1,139 · 10 <sup>-6</sup>	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17 · 10 <sup>6</sup>	1,102 · 10 <sup>-3</sup>	1,003 · 10 <sup>-6</sup>	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22 · 10 <sup>6</sup>	0,890 · 10 <sup>-3</sup>	0,893 · 10 <sup>-6</sup>	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25 · 10 <sup>6</sup>	0,708 · 10 <sup>-3</sup>	0,800 · 10 <sup>-6</sup>	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28 · 10 <sup>6</sup>	0,653 · 10 <sup>-3</sup>	0,658 · 10 <sup>-6</sup>	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	2,29 · 10 <sup>6</sup>	0,547 · 10 <sup>-3</sup>	0,553 · 10 <sup>-6</sup>	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	2,28 · 10 <sup>6</sup>	0,466 · 10 <sup>-3</sup>	0,474 · 10 <sup>-6</sup>	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	2,25 · 10 <sup>6</sup>	0,404 · 10 <sup>-3</sup>	0,413 · 10 <sup>-6</sup>	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	2,20 · 10 <sup>6</sup>	0,354 · 10 <sup>-3</sup>	0,364 · 10 <sup>-6</sup>	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	2,14 · 10 <sup>6</sup>	0,315 · 10 <sup>-3</sup>	0,326 · 10 <sup>-6</sup>	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	2,07 · 10 <sup>6</sup>	0,282 · 10 <sup>-3</sup>	0,294 · 10 <sup>-6</sup>	0,0589	101,33

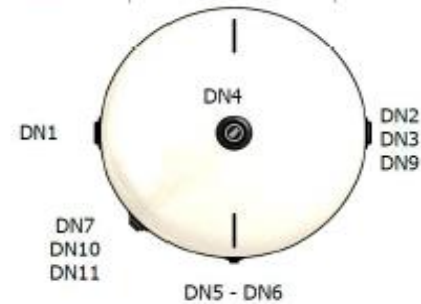
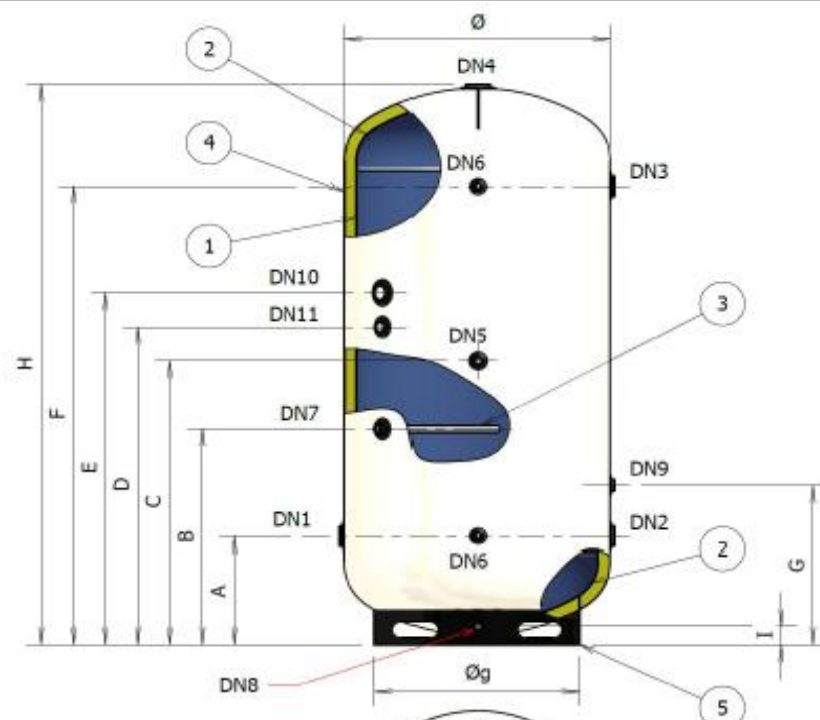
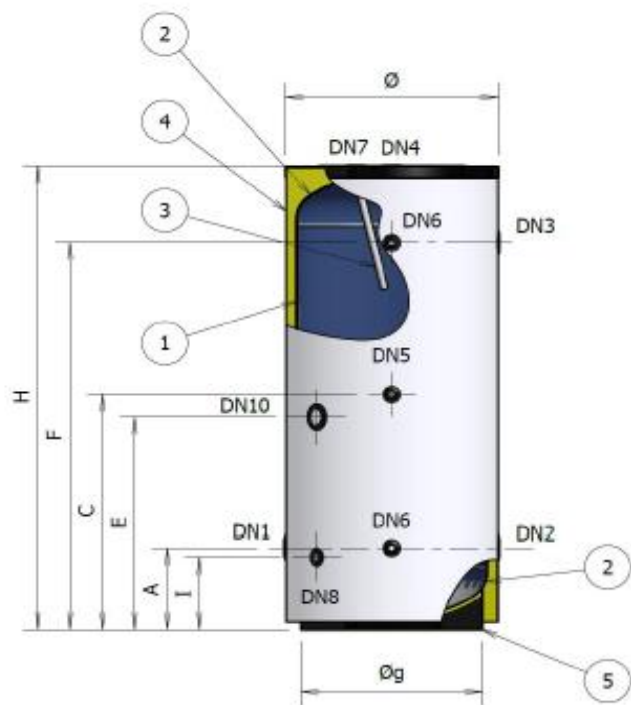


**ANEXO 4:**  
**ACUMULADORES PARA AGUA  
CALIENTE ELBI**



ACCUMULATORI VETRIFICATI SERIE SAC PER ACQUA CALDA SANITARIA  
GLASSLINED DHW ACCUMULATORS SAC SERIES

AZIENDA CON SISTEMA  
DI GESTIONE QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV  
= ISO 9001 =





ACCUMULATORI VETRIFICATI SERIE SAC PER ACQUA CALDA SANITARIA  
GLASSLINED DHW ACCUMULATORS SAC SERIES

AZIENDA CON SISTEMA  
DI GESTIONE QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV  
= ISO 9001 =

Dati dimensionali / Ratings data sheet

Pos.	Descrizione Description	Modello / Type							
		SAC							
	Capacità Capacity (lt.)	300	500	800	1000	1500	2000	3000	5000
Ø	Diametro accumulatore Cylinder diameter (mm)	650	750	900	900	1100	1200	1350	1700
H	Altezza Height (mm)	1400	1695	1780	2030	2465	2445	2840	3045
Øg	Diametro gonna Skirt diameter (mm)	510	600	760	760	850	950	1100	1450
A	(mm)	280	300	350	360	475	465	530	635
B	(mm)	/	/	/	/	945	935	980	1085
C	(mm)	710	855	905	1030	1245	1235	1430	1535
D	(mm)	/	/	/	/	1395	1385	1580	1685
E	(mm)	640	770	860	930	1545	1535	1730	1835
F	(mm)	1140	1410	1460	1700	2015	2005	2330	2435
G	(mm)	/	/	/	/	695	685	730	835
I	(mm)	245	265	320	320	80	80	80	80
DN1	Manicotto / Coupling Entrata acqua fredda sanitaria / Mains water supply	G 1"1/4	G 1"1/2	G 1"1/2	G 2"	G 2"1/2	G 2"1/2	G 3"	G 3"
DN2	Manicotto / Coupling Mandata allo scambiatore esterno / To external heat exchanger	G 1"1/4	G 1"1/2	G 1"1/2	G 2"	G 2"1/2	G 2"1/2	G 3"	G 3"
DN3	Manicotto / Coupling Ritorno dallo scambiatore esterno / From external heat exchanger	G 1"1/4	G 1"1/2	G 1"1/2	G 2"	G 2"1/2	G 2"1/2	G 3"	G 3"
DN4	Manicotto / Coupling Uscita acqua calda sanitaria / Draw-off	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 3"	G 3"	G 3"	G 3"
DN5	Manicotto / Coupling Ricircolo / Circulation	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"	G 3/4"
DN6	Manicotto / Coupling Sonde / Probes	G 1/2"	G 1/2"	G 1/2"	G 1/2"	G 1/2"	G 1/2"	G 1/2"	G 1/2"
DN7	Manicotto / Coupling Anodo di magnesio / Magnesium anode	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/2
DN8	Manicotto / Coupling Scarico / Drain	G 1/2"	G 1/2"	G 3/4"	G 3/4"	G 1"	G 1"	G 1"	G 1"
DN9	Manicotto / Coupling Connessione vaso di espansione sanitario / Connection for sanitary expansion tank	/	/	/	/	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4
DN10	Manicotto / Coupling Predisposizione resistenza elettrica Additional connection for electrical heater	G 2"	G 2"	G 2"	G 2"	G 2"	G 2"	G 2"	G 2"
DN11	Manicotto / Coupling Predisposizione anodo di magnesio ausiliario Additional connection for magnesium anode	/	/	/	/	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/4	G 1"1/2
-	Pressione max. esercizio (Accumulatore) Maximum working pressure (Cylinder) PS (bar)	10	10	10	10	6	6	6	6
-	Temperatura max. esercizio (Accumulatore) Maximum working temperature (Cylinder) T (°C)	+ 95	+ 95	+ 95	+ 95	+ 95	+ 95	+ 95	+ 95

Revisione: 09

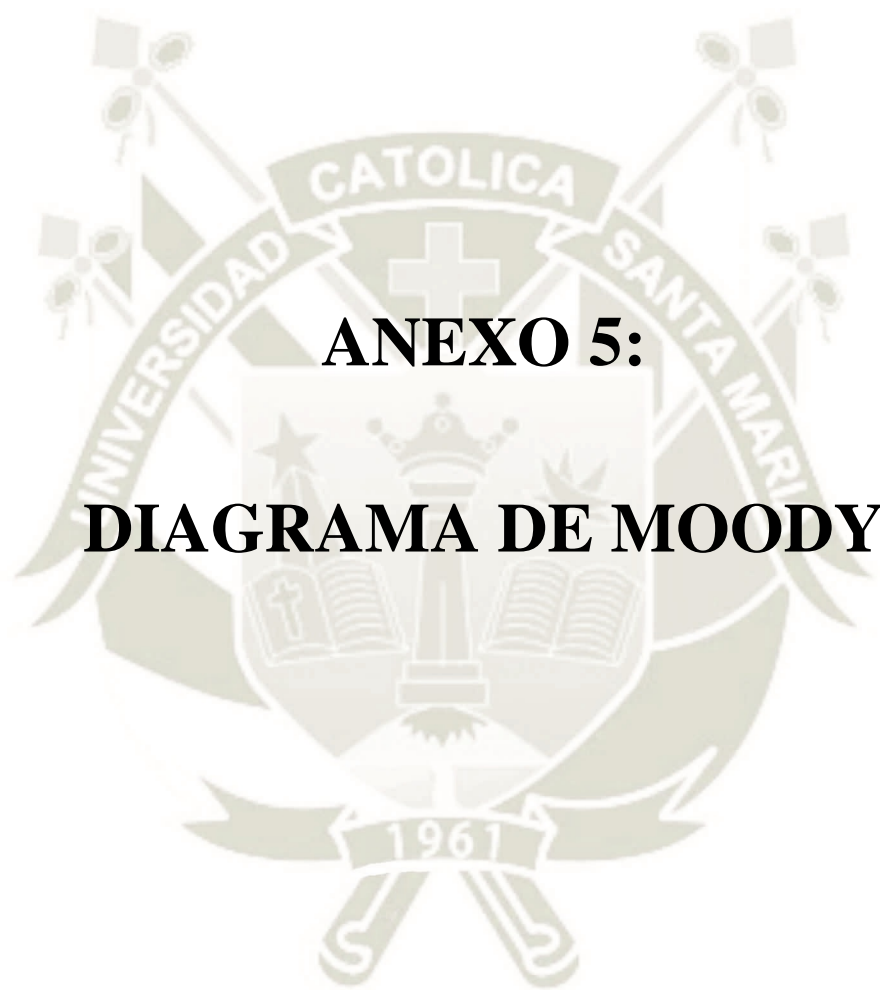
Autore: SC

Approvatore: GB

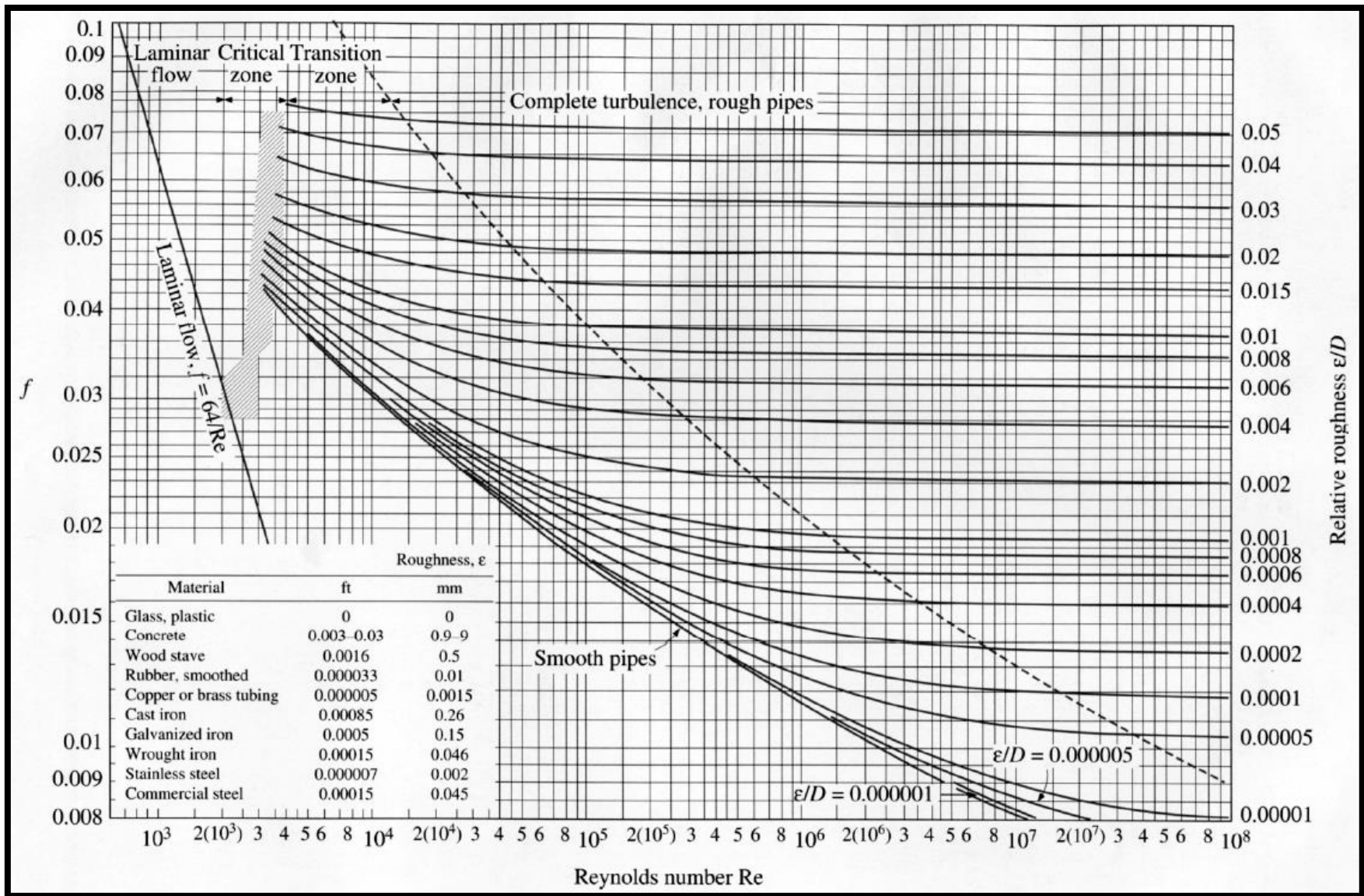
Data: 23/10/12

Pagina 2 di 4

\\SRVDOM02\Ufficio Tecnico\Tecnico\Schede Prodotto\Preparatori acqua calda\Accumulo acqua calda\SAC\_rev9.doc



**ANEXO 5:**  
**DIAGRAMA DE MOODY**





**ANEXO 6:**

**BOMBA CENTRIFUGA PEDROLLO**

# CP

## Electrobombas centrífugas

- Agua limpia
- Utilizo doméstico
- Utilizo civil



### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **160 l/min** (9,6 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **57 m**

### LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
  - **6 bar** para CP 600-610-620
  - **10 bar** para CP 650-660-670
- Funcionamiento continuo **S1**

### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD  
ISO 14001: AMBIENTE

### UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio utilizo en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves, para el vaciado o para la irrigación de huertos o jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Modelo comunitario registrado nº 002098434

### EJECUCION BAJO PEDIDO

- Electrobomba con rodete en tecnopolímero (CP600X, CP610X, CP620X)
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para CP 170, CP 170M

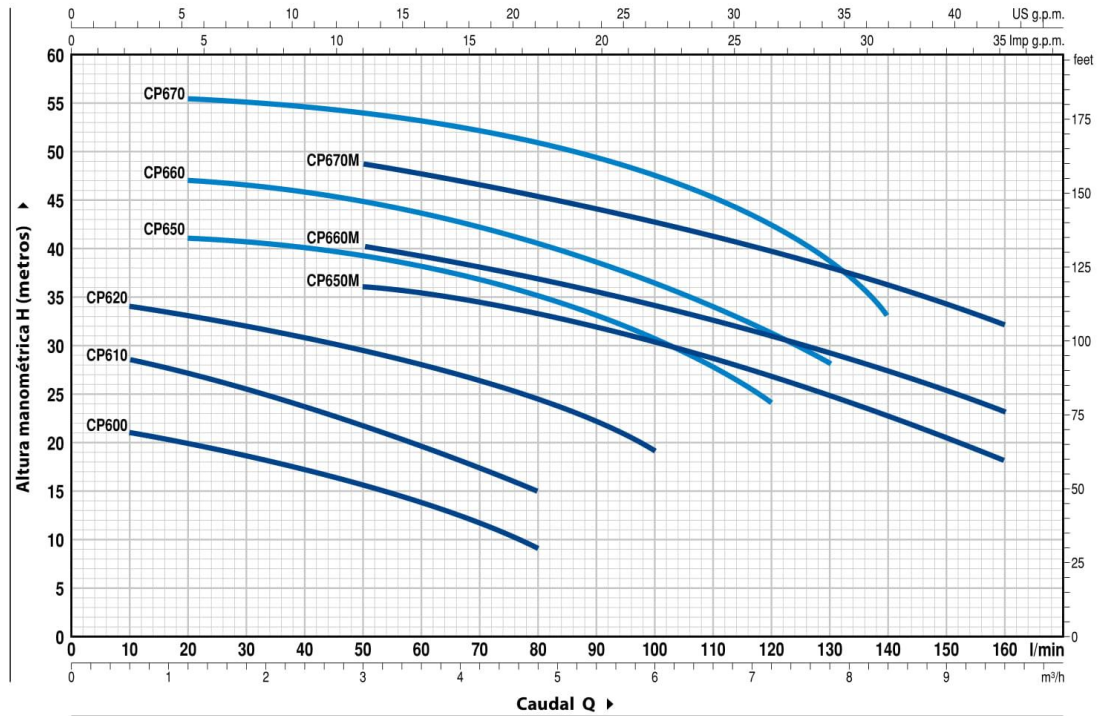
### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta



**CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES**

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m

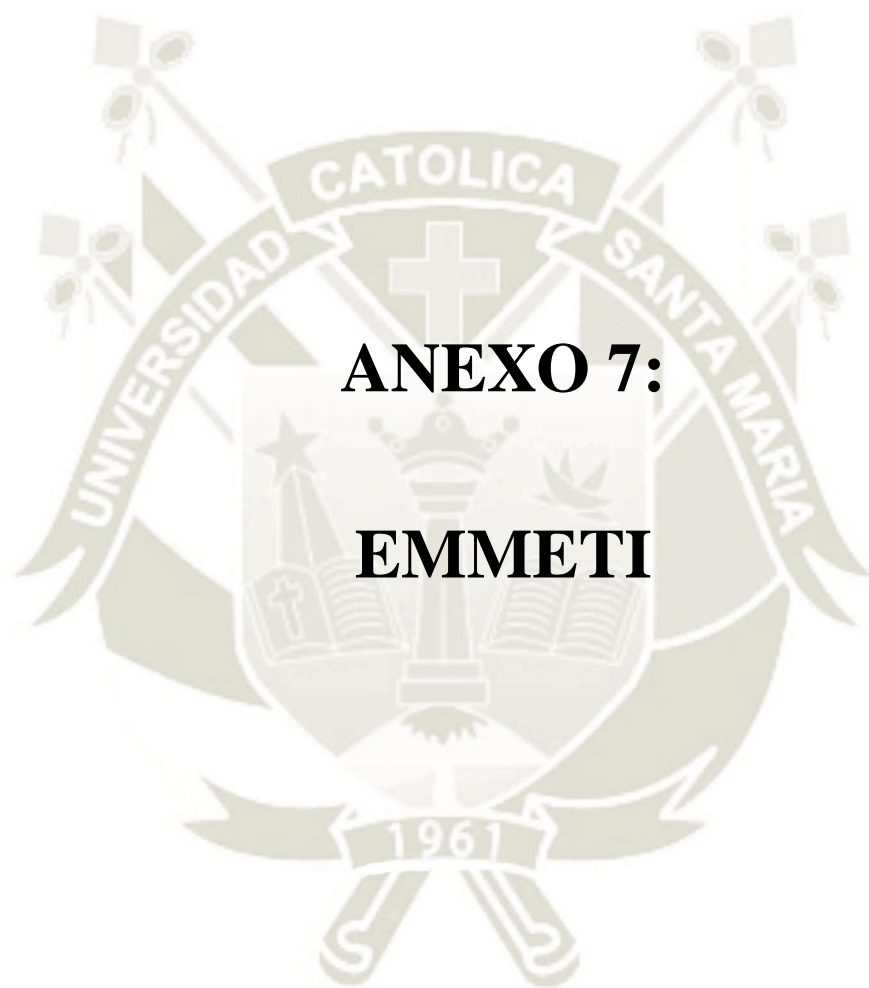


MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP ▲		m³/h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6	
				l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	IE2	22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19.5	17.5	15										
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24						
CPm 660	CP 660	1.5	2		IE3	48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28				
CPm 670	CP 670	2.2	3			57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33			
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		IE2	39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18	
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		IE3	43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23	
CPm 670M	CP 670M	2.2	3	51		50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

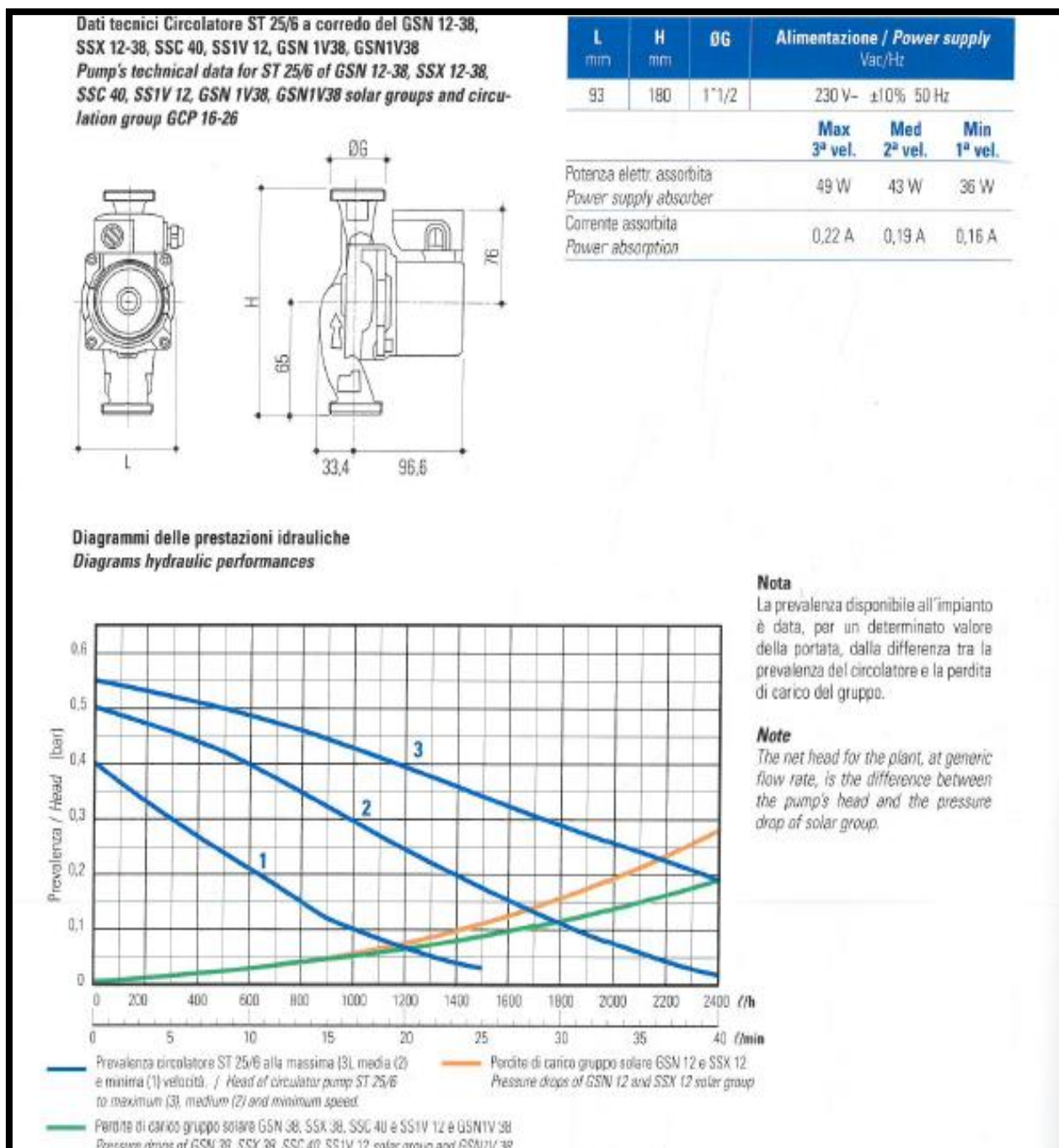
▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30)



**ANEXO 7:**  
**EMMETI**

## ANEXO 7.1

### BOMBA DE RECIRCULACION



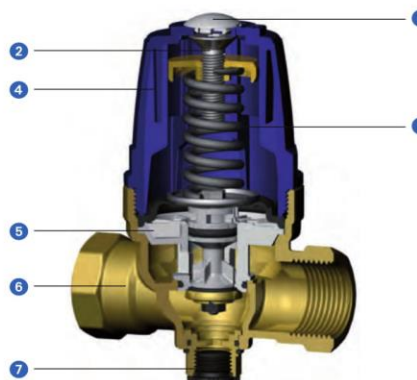
## ANEXO 7.2

### VALVULA REGULADORA DE PRESIÓN

#### Réducteurs Eco+



#### Réducteur de pression à membrane Eco+



Réducteur de pression à membrane. La cartouche de l'obturateur se développe autour d'un boulon en acier inoxydable pour garantir la résistance mécanique et la simplicité d'entretien : la cartouche peut être remplacée en la démontant du réducteur sans nécessité d'enlever ce dernier de l'installation.

L'obturateur est accouplé à un piston dont la surface compense la force exercée par la pression en amont sur l'obturateur, en garantissant de cette manière la stabilité de la pression distribuée indépendamment des fluctuations de la pression d'alimentation.

Les surfaces de coulissement des éléments d'étanchéité sont obtenues à partir de composants réalisés en matériau synthétique à faible coefficient de frottement qui réduit la formation de dépôts, cause principale de mauvais fonctionnements.

La pression maximale en entrée est de 25 bars, celle de sortie peut être réglée entre 1 et 6 bars.

Tous les collecteurs sont testés au banc et calibrés à une pression de distribution de 3 bars, il est possible de modifier cette configuration en agissant sur la vis de réglage, en la vissant pour augmenter la valeur de la pression en sortie, en la dévissant pour la diminuer.

Le réducteur est disponible avec des raccords à filetage femelle, mâle ou avec boulon

L'encombrement transversal reste contenu même en cas d'utilisation d'un manomètre de contrôle de la pression en aval, grâce à l'installation axiale de ce dernier à l'aide d'un raccord orientable (filet G 1/4" femelle)

En amont du réducteur, l'on conseille le montage d'un filtre dessableur qui, retenant d'éventuelles impuretés présentes dans l'eau, garantit une durée de vie plus longue du réducteur, et un fonctionnement silencieux.

#### Construction

- 1 Capuchon de protection en PA6 (15% FV)
- 2 Mécanisme de réglage en laiton TN UNI EN 12164 CW614N
- 3 Ressort en acier inox AISI 302
- 4 Capuchon en PA66 (30% FV)
- 5 Cartouche obturateur: plastiques en Hostaform - joint et membrane en EPDM 70 WRAS - tige et rondelles en acier inox AISI 304
- 6 Corps en laiton TN UNI EN 12165 CW617N
- 7 Raccord G 1/4" F pour manomètre en laiton TN UNI EN 12164 CW614N

#### Données techniques


Pression maximale en amont : 25 bars  
Pression en aval: 1 - 6 bar  
Température maximale : 70 °C

ACS N°: 11 ACC LI 026


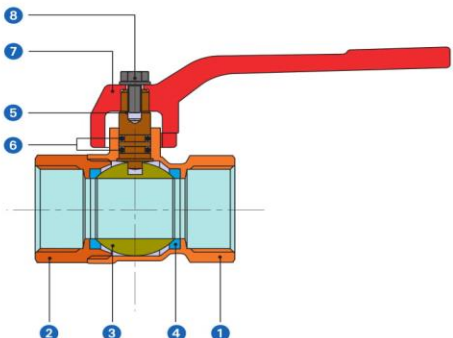
## ANEXO 7.3


### VALVULA DE PASO

# Perfecta



### Robinet à boisseau sphérique à passage intégral



**Construction**

- 1 Corps UNI EN 12165 CW617N
- 2 Manchon UNI EN 12165 CW617N
- 3 Sphère UNI EN 12165 CW617N
- 4 Sieges étanchéité sphère P.T.F.E.
- 5 Tige UNI EN 12164 CW614N
- 6 O-Ring étanchéité tige NBR 70 Sh A (ASTM D 2240)
- 7 Poignée Aluminium verni  
Acier zingué plastifié  
Papillon Aluminium verni
- 8 Vis et Ecrou acier zingué - Bague et Raccord (\*) UNI EN 12165 CW617N  
- O-Ring pour raccord (\*) NBR 70 Sh A (ASTM D 2240)

(\*) Avec raccord démontable

**Données Techniques**

Passage: intégral  
Gamme: de 1/2" à 4"  
Côté Femelle: filetage ISO 228/1 (DIN 259)  
Côté Mâle: filetage ISO 228/1 (DIN 259)  
Cône et écrou: filetage ISO 228/1 (DIN 259)  
Manoeuvre: rotation de 90° de l'organo de manoeuvre.  
Organes de manoeuvre: leviers en aluminium ou acier, papillons en aluminium.


**Conditions d'exercice**

Température d'exercice: de -20 °C à +120 °C.  
Les vannes doivent être utilisées en position complètement ouverte ou fermée.  
Les vannes présentes doivent être employées aux pressions indiquées dans le catalogue et, à partir de la mesure 1"1/4, elles ne doivent pas être employées pour les fluides du groupe 1 (substances et mélanges classés comme dangereux) référant à la directive 2014/68 / UE, article 13). Pour des utilisations particulières (dans le respect des pressions établies pour ces vannes et la compatibilité des différents fluides avec les matériaux qui constituent la vanne), contacter le service technique.

Adapté à l'utilisation pour la distribution d'eau dans les centrales thermiques et le transport de l'eau potable.

**A.C.S. N. 09 ACC LI 095**

**Voir Kit rallonge Extension pour levier**



Catalogue Tarif Chauffage et Nouvelles Énergies 2017

225



**ANEXO 8:**

**VALVULA ANTIRRETORNO ITAP**

# 130

## VÁLVULA DE RETENCIÓN CLAPET



### JUNTA DE NBR

MEDIDA	PRESSIONE	CÓDIGO	EMBALAJE
3/8" (DN 10)	16bar/232psi	1300038G	16/128
1/2" (DN 15)	16bar/232psi	1300012G	16/128
3/4" (DN 20)	16bar/232psi	1300034G	12/96
1" (DN 25)	12bar/174psi	1300100G	8/56
1*1/4" (DN 32)	10bar/145psi	1300114G	5/40
1*1/2" (DN 40)	10bar/145psi	1300112G	4/32
2" (DN 50)	10bar/145psi	1300200G	2/24

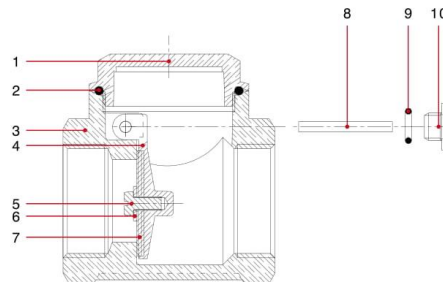
### JUNTA DE METAL

MEDIDA	PRESSIONE	CÓDIGO	EMBALAJE
3/8" (DN 10)	16bar/232psi	1300038M	16/128
1/2" (DN 15)	16bar/232psi	1300012M	16/128
3/4" (DN 20)	16bar/232psi	1300034M	12/96
1" (DN 25)	12bar/174psi	1300100M	8/56
1*1/4" (DN 32)	10bar/145psi	1300114M	5/40
1*1/2" (DN 40)	10bar/145psi	1300112M	4/32
2" (DN 50)	10bar/145psi	1300200M	2/24
2*1/2" (DN 65)	8bar/116psi	1300212M	1/12
3" (DN 80)	8bar/116psi	1300300M	1/10
4" (DN 100)	8bar/116psi	1300400M	1/4

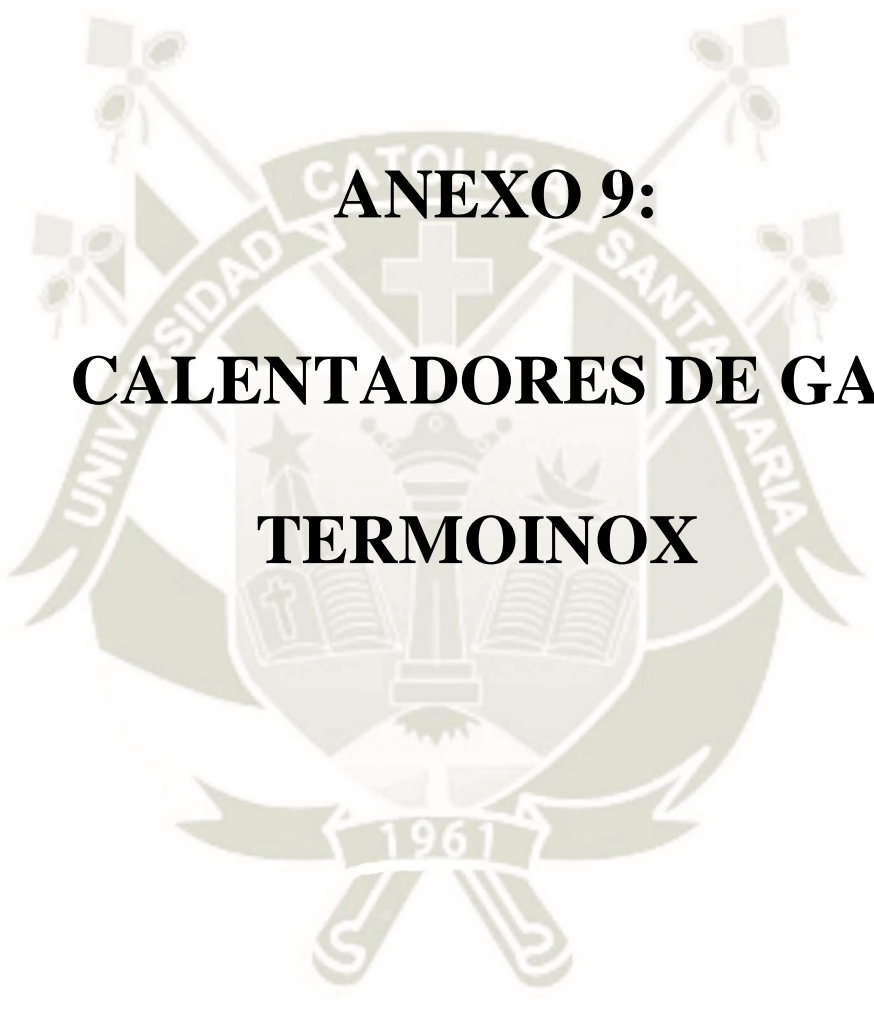
### DESCRIPCIÓN

Cuerpo de latón.  
Junta tórica tapón superior de NBR.  
Junta tórica del tapón lateral de NBR.  
Clapeta de latón.  
Temperaturas mínima y máxima de trabajo: 0 °C, 90 °C.

### MATERIALES 130G



POS.	DESCRIPTION	N.	MATERIAL
1	End adapter	1	Brass CW617N
2	O-Ring	1	NBR
3	Body	1	Brass CW617N
4	Plate	1	Brass CW617N
5	Screw	1	Brass CW617N
6	Washer	1	Brass UNI EN 1652
7	Seat	1	NBR
8	Pin	1	Brass CW614N
9	O-Ring	1	NBR
10	Plug	1	Brass CW614N



**ANEXO 9:**  
**CALENTADORES DE GAS**  
**TERMOINOX**



## Características

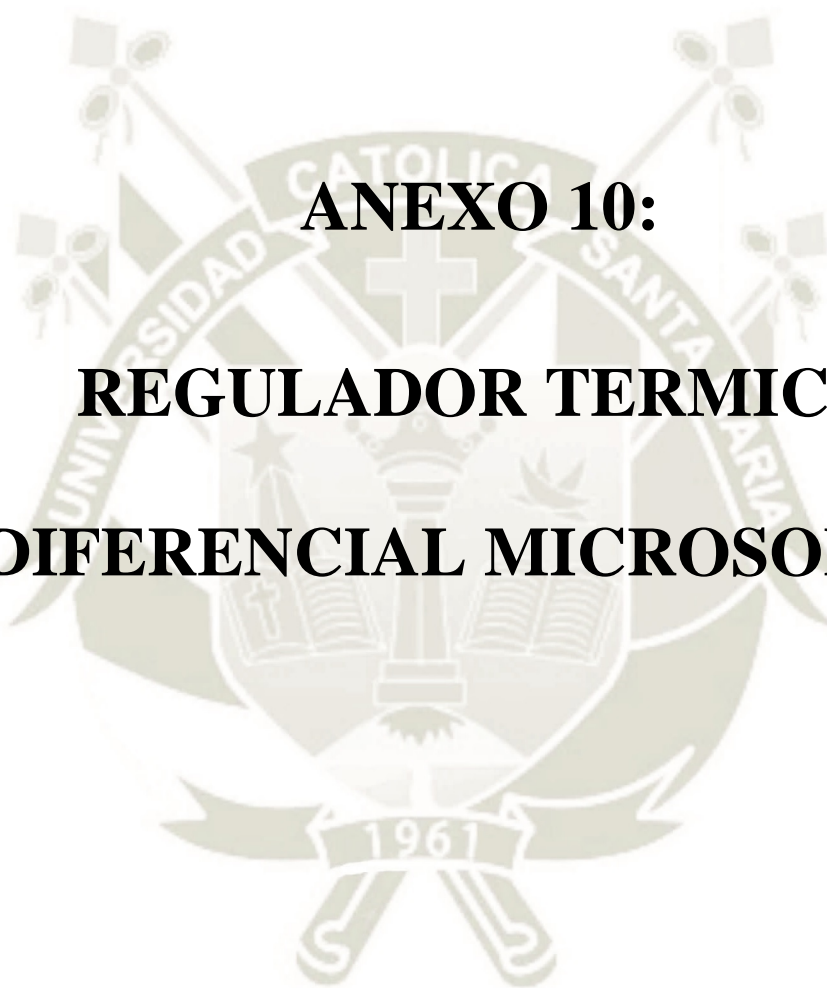
- Cuenta con intercambiador de calor de cobre eléctrico soldado y con protección anticorrosiva.
- Encendido electrónico automático, la terma a gas trabaja con una tarjeta Electrónica(alimentada por dos pilas grandes, el tiempo de vida de las pilas es de 2 a 4 meses)
- Sistema detector de temperatura y gases de combustión.
- Selector de temperatura(gas)y selector de caudal(agua).
- Disponible en Capacidades de 12 y 20 Litros.

## Ventajas

- Ahorro de energía de hasta en 70% respecto al uso de termas eléctricas.
- Continuo abastecimiento de agua caliente al tener un sistema de paso de agua.
- Encendido automático solo por fluido de agua .
- Por su diseño ocupan menos espacio y son de facil instalación.
- El usuario puede manipular el equipo(caudal y potencia) para conseguir la temperatura adecuada
- Las termas a gas recuperan el Agua Caliente en la mitad de tiempo que las eléctricas debido a que son de paso.

	CAPACIDAD (L/min)	PESO APROX. (Kg)	$\Delta T$ (°C)	DIMENSIONES (L x A x h)	INTERCAMBIADOR DE CALOR
Terma a GAS TAG 12	12	15	25	0.38 x 0.2 x 0.6	Cobre
Terma a GAS TAG 20	20	20	25	0.48 x 0.2 x 0.8	Cobre

(L/m): Litro x minuto / (Kg): Kilogramo / (°C): Grados Centigrados / (L): Largo / (A): Ancho / (h): Altura



**ANEXO 10:**  
**REGULADOR TERMICO**  
**DIFERENCIAL MICROSOL II**



**MICROSOL II plus**  
CONTROLADOR DIFERENCIAL DE  
TEMPERATURA PARA CALEFACCIÓN  
SOLAR CON DOS ETAPAS DE APOYO

Ver.03



MCSOL2V03-051-1708

**1. DESCRIPCIÓN**

Controlador de temperatura diferenciado para la automatización de los sistemas de calefacción solar, **MICROSOL II plus** llega a ser simple la gerencia de la temperatura del agua en los depósitos y las piscinas termales, utiliza la energía solar mejor.

Actúa en el comando de la bomba de circulación del agua con el diferencial de la temperatura entre los colectores solares y el depósito o piscina termal. Es un instrumento dedicado que tiene todos sus parámetros de la configuración protegidos por código de acceso.

Hace uso de dos salidas de apoyo, que puede ser eléctrica, gas, diesel o también programar la filtración de la piscina. El apoyo 1 se ata con una agenda que permite la configuración de hasta cuatro acontecimientos diarios para cada día de la semana y el apoyo 2 se puede configurar opcionalmente para funcionar en sistema con la agenda.

Tiene funciones que prevengan que la agua se congela y que se recalienta en los tubos y un reloj con la batería interna para garantizar su sincronismo, incluso en la carencia de la energía, por muchos años. El instrumento tiene comunicación serial para la conexión con el SITRAD® vía Internet.

Producto en conformidad con CE (Unión Europea) y UL Inc. (Estados Unidos y Canadá).\*

\*La certificación UL es válida solamente para el Microsol II plus modelo 115/230Vac.

**2. APLICACIÓN**

• Sistemas de calefacción solar bombeados

**3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

- **Alimentación:** Microsol II plus: 115 ó 230Vac ± 10% (50/60Hz)

Microsol II L plus: 12 ó 24Vac/dc

- **Temperatura de control:** Sensor 1: -50 hasta 200°C / -58 hasta 329°F

Sensores 2 y 3: -50 hasta 105°C / -58 hasta 221°F

- **Resolución:** 0,1°C entre -10 y 100°C y 1°C en el resto del rango

1°F en todo el rango

- **Dimensiones:** 71 x 28 x 71mm

- **Temperatura de operación:** 0 hasta 50°C / 32 hasta 122°F

- **Humedad de operación:** 10 hasta 90% HR (sin condensación)

- **Sensores:** S1 - Sensor de los colectores

S2 - Sensor del Tanque/Piscina

S3 - Sensor de control de apoyos

- **Salidas de control:** PUMP - Bomba de agua o solenoide - 5(3)A / 250Vca 1/8HP

AUX1 - Salida de apoyo 1 - 5(3)A / 250Vca 1/8HP

AUX2 - Salida de apoyo 2 - 5(3)A / 250Vca 1/8HP

**CLASIFICACIÓN ACORDANDO LA NORMA IEC60730-2-9:**

- **Límite de la temperatura de la superficie de la instalación:** 50°C

- **Tipo de construcción:** Regulador electrónico incorporado

- **Acción automática:** Tipo 1

- **Control de la contaminación:** Nivel 2

- **Voltaje del impulso:** 1,5kV

**4. CONFIGURACIONES AVANZADAS**

**4.1 - Para acceder al menú de opciones**

Presione **[Esc]** y **[F1]** simultáneamente durante 2 segundos hasta que aparezca **[5FL]**, soltando enseguida. Al aparecer **[Esc]**, presione **[F1]** (toque corto) e introduzca el código (123) a través de las teclas **[0]** y **[9]**. Para confirmar presione la tecla **[F1]**. A través de las teclas **[0]** y **[9]** acceda las demás funciones y proceda del mismo modo para ajustarlas. Para salir del menú y retornar a la operación normal, presione **[F1]** (toque largo) hasta que aparezca **[Esc]**.

**4.2 - Opciones**

**[Esc]** Entrada del código de acceso

**[F1]** Funciones de configuración avanzadas

**[F2]** Modo de operación de la agenda de eventos

**[F3]** Programación de la agenda de eventos

**[F4]** Ajuste del reloj y día de la semana

**4.2.1 - Parámetros de configuración**

Fun	Descripción	CELSIUS				FAHRENHEIT			
		Min	Max	Unid	Padrón	Min	Max	Unid	Padrón
F01	Indicación de temperatura preferencial	0	3	-	1	0	3	-	1
F02	Diferencial para activar la bomba de circulación de agua	1.0	40.0	°C	8.0	2	72	°F	14
F03	Diferencial para desactivar la bomba de circulación de agua	1.0	40.0	°C	4.0	2	72	°F	7
F04	Temperatura mínima en S1 para accionar la bomba	-50.0	200	°C	-50.0	-58	392	°F	-58
F05	Retraso del reencendido de la bomba	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F06	Diferencial negativo (S1-S2) para encender la bomba para disipar calor	-40.0	0.0	°C	0.0	-72	0	°F	0
F07	Temperatura mínima S2 para permitir que la disipación de calor sea activada	0.0	105	°C	105	32	221	°F	221
F08	Anti-congelamiento S1 para accionar la bomba	-18	10.0	°C	3.0	-1	50	°F	37
F09	Histeresis del anti-congelamiento	0.1	20.0	°C	1.0	1	36	°F	1
F10	Tiempo mínimo de anti-congelamiento	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F11	Temperatura S1 de súper calentamiento para apagar la bomba	0.0	200	°C	90.0	32	392	°F	194
F12	Histeresis de súper calentamiento para reencender la bomba	0.1	20.0	°C	1	1	36	°F	1
F13	Temperatura S2 de súper calentamiento p/ apagar la bomba	0.0	105	°C	105	32	221	°F	221
F14	Histeresis de súper calentamiento para reencender la bomba (S2)	0.1	20.0	°C	1.0	1	36	°F	1
F15	Modo de operación del apoyo 1	0	1	-	0	0	1	-	0
F16	Setpoint de temperatura del apoyo 1	-50.0	105	°C	35.0	-58	221	°F	95
F17	Histeresis de operación del apoyo 1	0.1	20.0	°C	1.0	1	36	°F	1
F18	Mínimo ajuste del Setpoint de temperatura del apoyo 1	-50.0	105	°C	-50.0	-58	221	°F	-58
F19	Máximo ajuste del Setpoint de temperatura del apoyo 1	-50.0	105	°C	105	-58	221	°F	221
F20	Tiempo de activación manual del apoyo 1	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F21	Modo de operación del apoyo 2	0	5	-	0	0	5	-	0
F22	Setpoint de temperatura del apoyo 2	-50.0	105	°C	30.0	-58	221	°F	86
F23	Histeresis de operación del apoyo 2	0.1	20	°C	1.0	1	36	°F	1
F24	Mínimo ajuste del Setpoint de temperatura del apoyo 2	-50.0	105	°C	-50.0	-58	221	°F	-58
F25	Máximo ajuste del Setpoint de temperatura del apoyo 2	-50.0	105	°C	105	-58	221	°F	221
F26	Tiempo de activación manual del apoyo 2	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F27	Tiempo encendido del timer cíclico	1	999	min.	1	1	999	min.	1
F28	Tiempo apagado del timer cíclico	1	999	min.	1	1	999	min.	1
F29	Modo de vínculo a la agenda de eventos	0	3	-	0	0	3	-	0
F30	Alarma de temperatura mínima S1	-50.0	200	°C	-50.0	-58	392	°F	-58
F31	Alarma de temperatura máxima S1	-50.0	200	°C	200	-58	392	°F	392
F32	Offset de indicación de la temperatura S1	-5.0	5.0	°C	0.0	-9	9	°F	0
F33	Offset de indicación de la temperatura S2	-5.0	5.0	°C	0.0	-9	9	°F	0
F34	Offset de indicación de la temperatura S3	-5.0	5.1	°C	0.0	-9	10	°F	0
F35	Dirección en la red RS-485	1	247	-	1	1	247	-	1

**4.2.1.1 - Descripción de los parámetros**

**F01 Indicación de temperatura preferencial**

Permite que sea configurada la indicación de temperatura preferencial. Se puede elegir entre:

- [F01]** Temperatura en el sensor 1
- [F02]** Temperatura en el sensor 2
- [F03]** Temperatura en el sensor 3
- [F04]** Temperatura diferencial (S1-S2)

**F02 Diferencial para conectar la bomba de circulación de agua**

Esta función permite ajustar la temperatura diferencial (S1-S2) para el accionamiento de la bomba de circulación de agua. A medida que los colectores solares reciben energía, la temperatura en el sensor S1 aumenta. Cuando esta temperatura se encuentre en un valor determinable superior a la temperatura del sensor S2, la bomba es activada y circula hacia abajo el agua calentada, almacenándola, por ejemplo, en el tanque.

**F03 Diferencial para desactivar la bomba de circulación de agua**

Permite ajustar la temperatura diferencial (S1-S2) para el desactivado de la bomba de circulación de agua. Con la bomba activada, el agua caliente circula hacia abajo y la fría hacia arriba. Luego, la diferencia de temperatura entre S1 y S2 tiende a disminuir. Cuando esta diferencia cae a un valor determinable, la bomba es desactivada y cesa la circulación de agua.

**F04 Temperatura mínima en S1 para accionar la bomba**

Temperatura mínima en el sensor 1 para permitir el encendido de la bomba de circulación de agua. Para desactivar esta función basta disminuir el valor hasta que el mensaje de OFF aparezca en la pantalla.

**F05 Retraso del reencendido de la bomba**

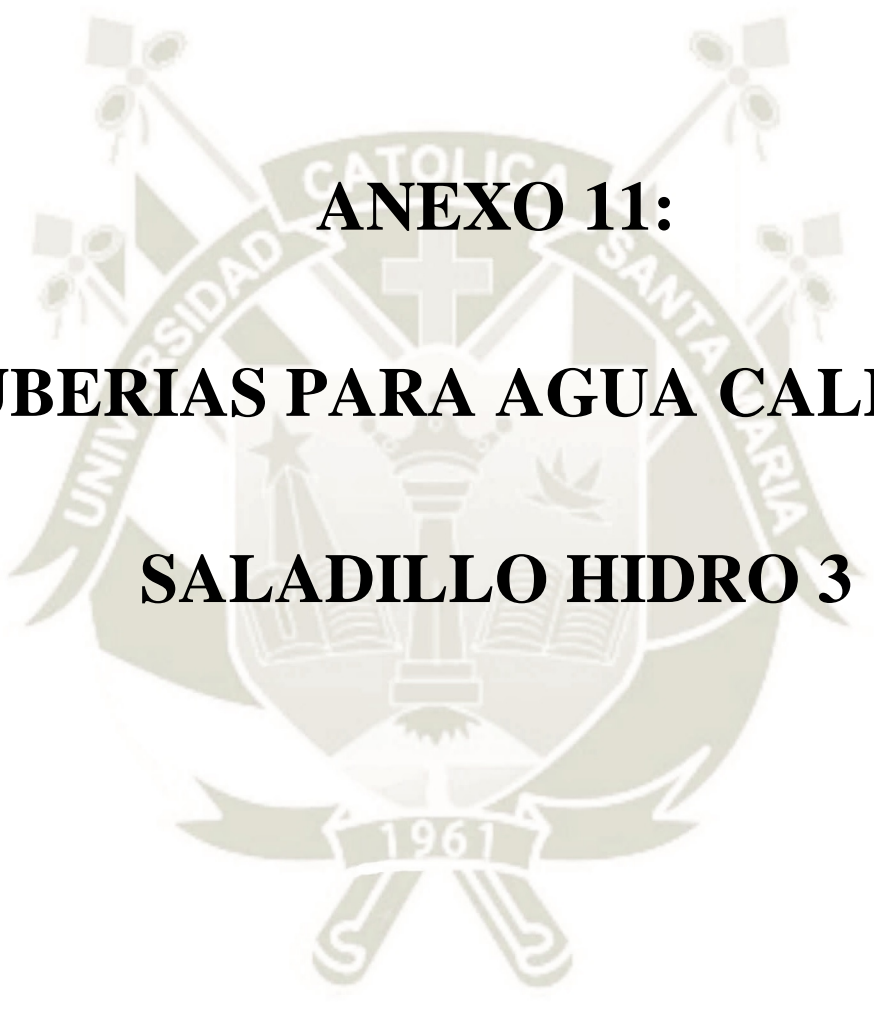
Permite ajustar el tiempo de apagado mínimo que la bomba debe tener antes que pueda ser reencendida. Con esa opción se evita que la bomba quede siendo accionada y apagada en espacios cortos de tiempo, de esta manera aumenta la vida útil de la misma. Esta función también define el retraso de encendido de la bomba al activar el controlador.

**F06 Diferencial negativo (S1-S2) para encender la bomba para disipar calor**

Diferencial negativo (S1-S2) para encendido de la bomba de circulación de agua. Permite la disipación de temperatura excesiva en el reservorio de agua, y para desactivarla sólo se necesita aumentar el valor hasta que el mensaje **[OFF]** aparezca en la pantalla.

**F07 Temperatura mínima S2 para permitir que la disipación de calor sea activada**

Temperatura mínima en el sensor 2 para permitir que las funciones de disipación de calor puedan ser accionadas.

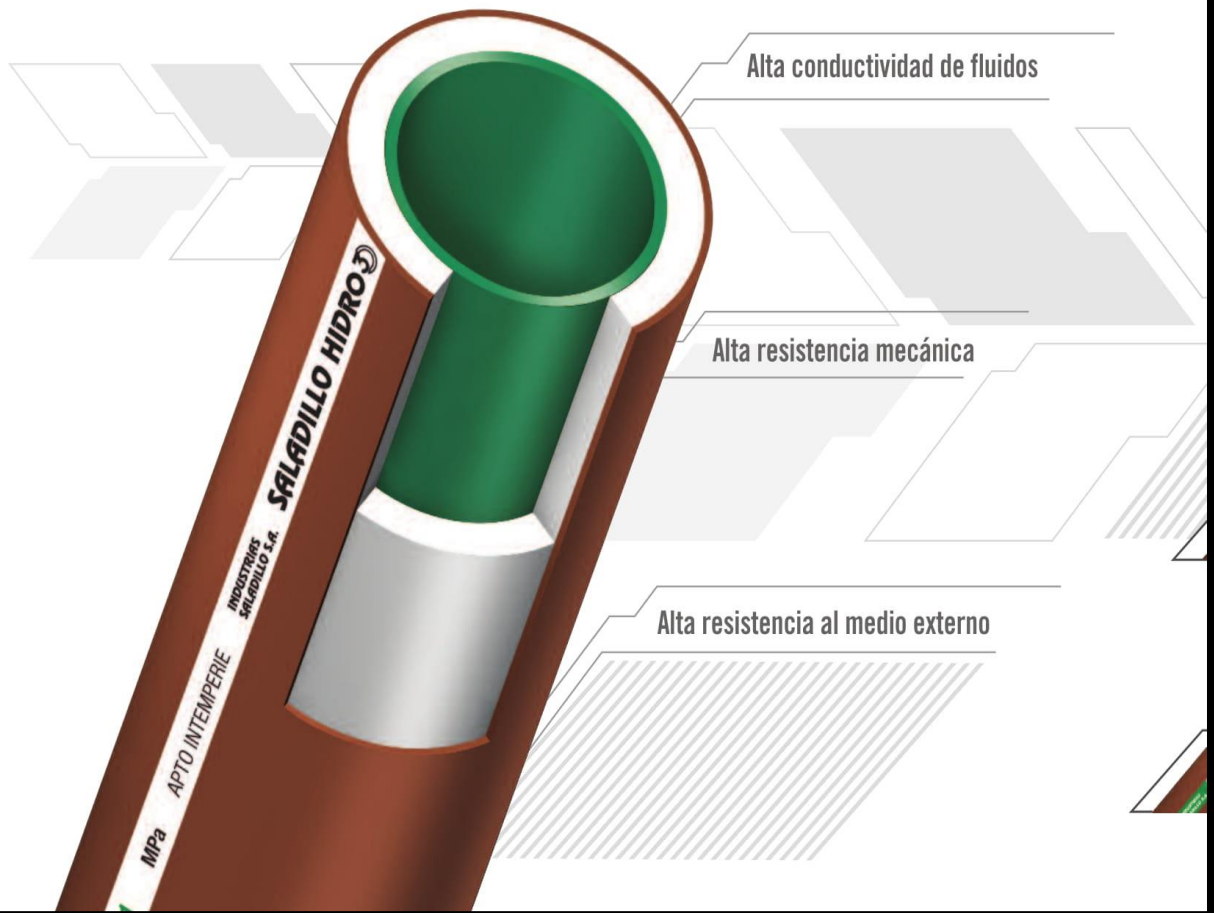


**ANEXO 11:**  
**TUBERIAS PARA AGUA CALIENTE**  
**SALADILLO HIDRO 3**

Presentación

# ACCIÓN TRICAPA<sup>®</sup>

» Las tuberías **Hidro 3** se fabrican por coextrusión. Este proceso exclusivo permite que cada una de las tres capas que componen el tubo se formulen para lograr tres características específicas:



Programa del sistema

Programa del Sistema Hidro 3 // Tuberías

Hidro 3 Unifusión		Tuberías para agua fría y caliente						
Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu lt/m	
7102	21.30	1/2"	16.20	2.7	2.06	0.154	0.206	
7103	26.90	3/4"	20.40	3.4	3.27	0.244	0.327	
7104	33.70	1"	25.60	4.2	5.15	0.377	0.515	
7105	42.20	1 1/4"	32.00	5.3	8.04	0.596	0.804	
7106	48.30	1 1/2"	36.80	6.0	10.64	0.774	1.064	
7107	60.30	2"	45.90	7.5	16.55	1.208	1.655	



Presentación: Tiras por 4 m.

Hidro 3 verde		Tuberías para agua caliente						
Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu lt/m	
65	21.30	1/2	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165	
66	26.90	3/4	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290	
67	33.70	1	23.9	4.9	4.5	0.402	0.450	
68	42.20	1 1/4	30.8	5.7	7.45	0.593	0.745	
69	48.30	1 1/2	35.7	6.3	10.00	0.754	1.000	
70	60.30	2	45.3	7.5	16.10	1.128	1.610	
71	76.10	2 1/2	58.1	9.0	26.50	1.721	2.650	
72	88.90	3	68.3	10.3	36.65	2.307	3.665	
64	114.30	4	88.9	12.7	62.10	3.677	6.210	
63	139.70	5	101.5	19.1	80.91	6.947	8.090	



Presentación: Tiras por 6 m.

Hidro 3 azul		Tuberías para agua fría						
Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu lt/m	
35	21.30	1/2	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165	
36	26.90	3/4	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290	
37	33.70	1	26.9	3.6	5.50	0.308	0.550	
38	42.20	1 1/4	34.8	3.7	9.50	0.406	0.950	
39	48.30	1 1/2	40.9	3.7	13.15	0.470	1.315	
40	60.30	2	51.7	4.3	21.00	0.686	2.100	
41	76.10	2 1/2	66.1	5.0	34.30	1.013	3.430	
42	88.90	3	77.7	5.6	47.40	1.329	4.740	
43	114.30	4	100.9	6.7	80	2.054	8.000	
30	139.7	5	123.9	7.9	120.5	2.960	12.05	



Presentación: Tiras por 6 m.

Hidro 3 aluminio		Tuberías para calefacción por radiadores						
Código N°	d mm	dn pulg.	di mm	s mm	Sp cm <sup>2</sup>	P kg/m	Vu lt/m	
75	22.8	1/2	14.5	4.1	1.65	0.253	0.165	
76	28.4	3/4	19.1	4.6	2.9	0.345	0.290	
77	34.2	1	23.9	5.1	4.5	0.539	0.450	
78	43.7	1 1/4	30.8	6.5	7.45	0.761	0.745	
79	49.8	1 1/2	35.7	7.0	10	0.969	1.000	
80	61.8	2	45.3	8.2	16.10	1.450	1.610	



Presentación: Tiras por 6 m.

Referencias: d: Diámetro exterior - dn: Diámetro nominal - di: Diámetro interior - s: Espesor - Sp: Sección de paso - P: Peso - Vu: Volumen

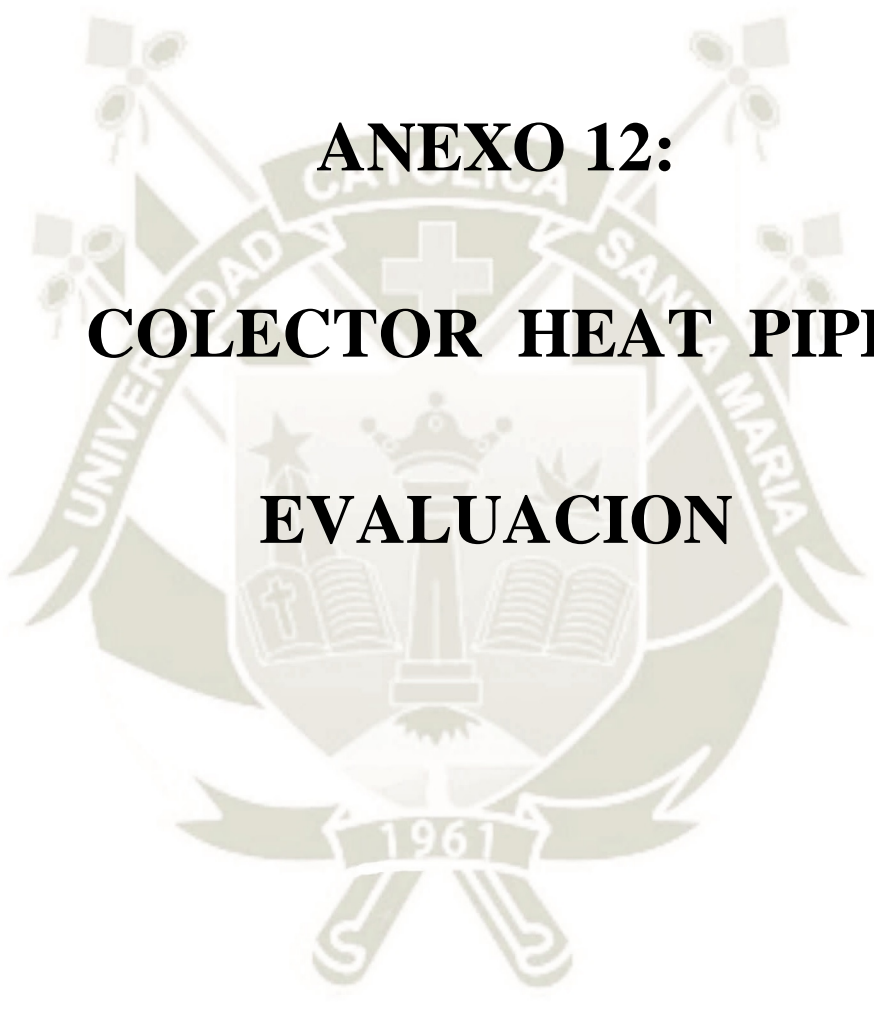
Conexiones

Codo 90° Fusión		Código	Ø
	4001		1/2
	4002		3/4
	4003		1
	4004		1 1/4
	4005		1 1/2
	4006		2
	4007		2 1/2
	4008		3

Codo 90° Fusión - Rosca Plástica (H)		Código	Ø
	5001		1/2
	5002		3/4
	5003		1
	5004		1 1/4
	5005		1 1/2
	5006		2

Codo 90° Fusión - Rosca Metálica (H)		Código	Ø
	4351		1/2
	4352		3/4
	4353		1
	4354 4004 4314		1 1/4
	4355 4005 4315		1 1/2
	4356 4006 4316		2
	4360		3

Codo 90° Fusión - Rosca Metálica (M)		Código	Ø
	4390		1/2
	4391		3/4
	4392		1
	4393 4004 4334		1 1/4
	4394 4005 4335		1 1/2
	4395 4006 4336		2
	4397		3



**ANEXO 12:**  
**COLECTOR HEAT PIPE**  
**EVALUACION**

**IMPORTACIONES  
LÍDERS S.A.C.**  
Líders en Energías Renovables

AREQUIPA: Calle Paucarpata 130 Primer Piso Oficina 113 Cercado Arequipa  
F.U.O.: 054-231832 RPM: #994466752 RPC: 967845078  
LIMA: Ca. Los Nigales 830 Tda 8 Urb. Canto Blanco  
San Juan De Lurigancho - Lima - Lima  
F.U.O. 3673465 RPM: #994466771 RPC: 973346811

Email: [ventas@lideres.com](mailto:ventas@lideres.com)  
[oficina@lideres.com](mailto:oficina@lideres.com)  
Web: [www.lideres.com](http://www.lideres.com)  
[www.energiasrenovablesperu.com](http://www.energiasrenovablesperu.com)  
[www.pensamientoperu.com](http://www.pensamientoperu.com)

**R.U.C. 20601344026**

**BOLETA DE VENTA**

**002 - Nº 000037**

Señor(es): Alex Hoyta Ramon cni: 10099808      Fecha: 04 de diciembre del 2017

Dirección: Arequipa

CANT.	UNID.	DESCRIPCION	P. UNITARIO	TOTAL
1		Heat Pipe de 10 tubos al vacío de cobre a la presión	\$ 800.00	\$ 800.00

**IMPORTACIONES  
LÍDERS**  
Líders en energías renovables

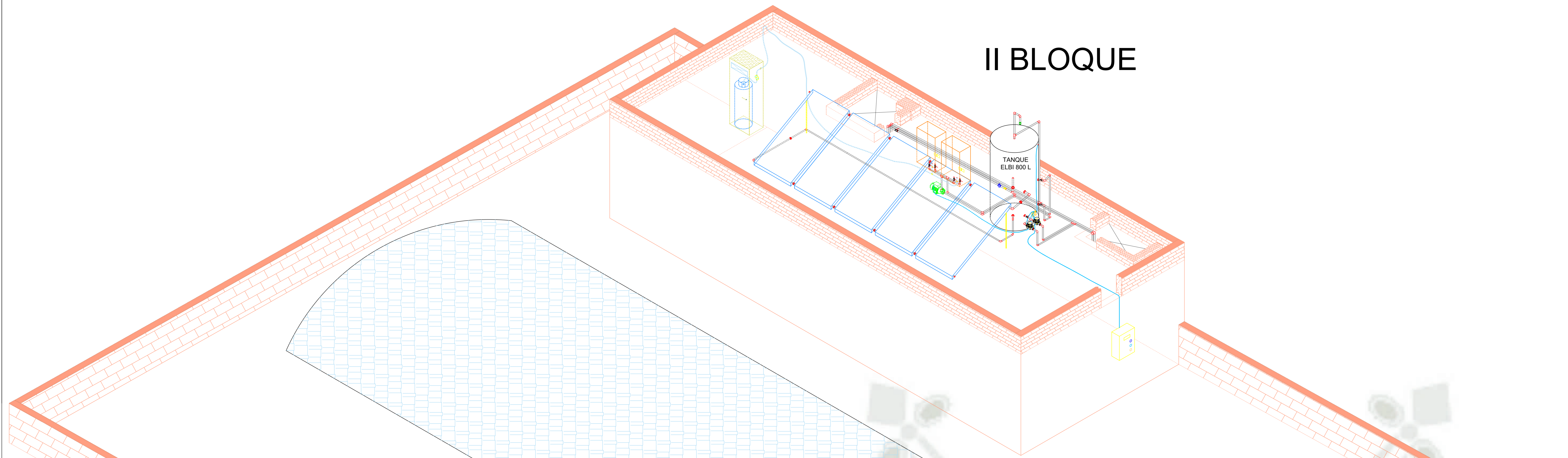
Inicio    Productos    Novedades    Nosotros    Proyectos

KIT H10

### Heat Pipe de 10 tubos de cobre

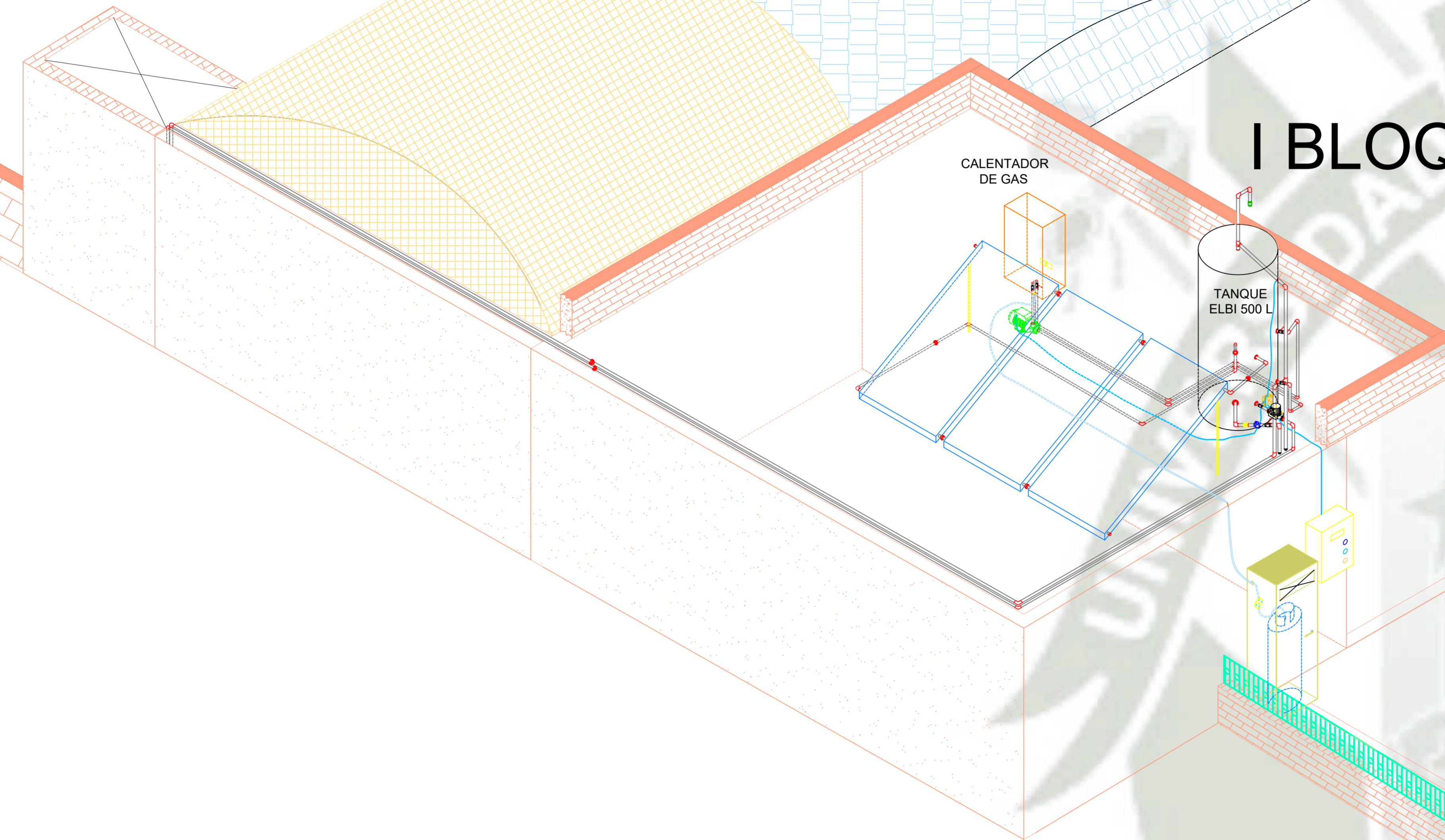
- Diámetro del tubo: 58 (mm)
- Longitud del tubo: 1800 (mm)
- Número de tubos: 10
- Colector (interior): Cobre rojo
- Colector (exterior): Aleación de aluminio
- Conservación aproximada del calor: 72 horas
- Resistencia de granizo: 25 mm
- Presión máxima: 6 bar
- Tubo de calor Anti-congelación  $\geq -35^{\circ} \text{C}$

## II BLOQUE

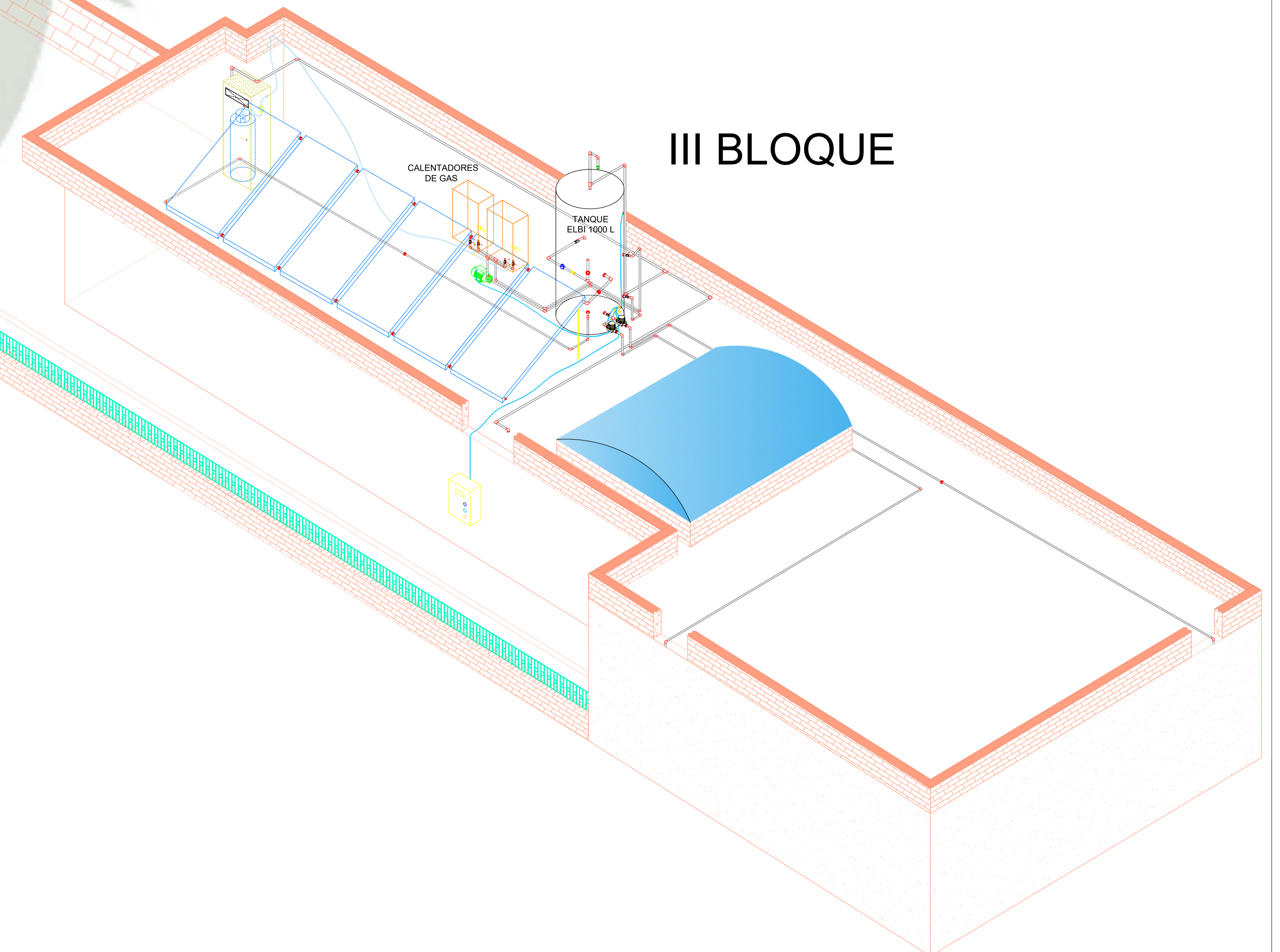


LEYENDA - II BLOQUE	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	BOMBA PEDROLLO CP 600
	BOMBA RECIRCULACION EMMETI
	VALVULA REGULADORA DE PRESION EMMETI
	VALVULA ANTIRRETORNO TIPO CLAPETA
	VALVULA DE PASO PARA AGUA CALIENTE
	VALVULA ANTIRRETORNO TIPO OBUS
	VALVULA DE PASO PARA GAS
	REGULADOR DE GAS
	UNION UNIVERSAL SALADILLO
	CODDO 90° FUSION SALADILLO
	TE FUSION SALADILLO
	TAPA SALADILLO
	TUBERIA HIDRO 3 VERDE SALADILLO 1"
	TUBERIA HIDRO 3 VERDE SALADILLO 3/4"
	TUBERIA PARA GAS 1/2"

## I BLOQUE



## III BLOQUE



ESCALA 1:1

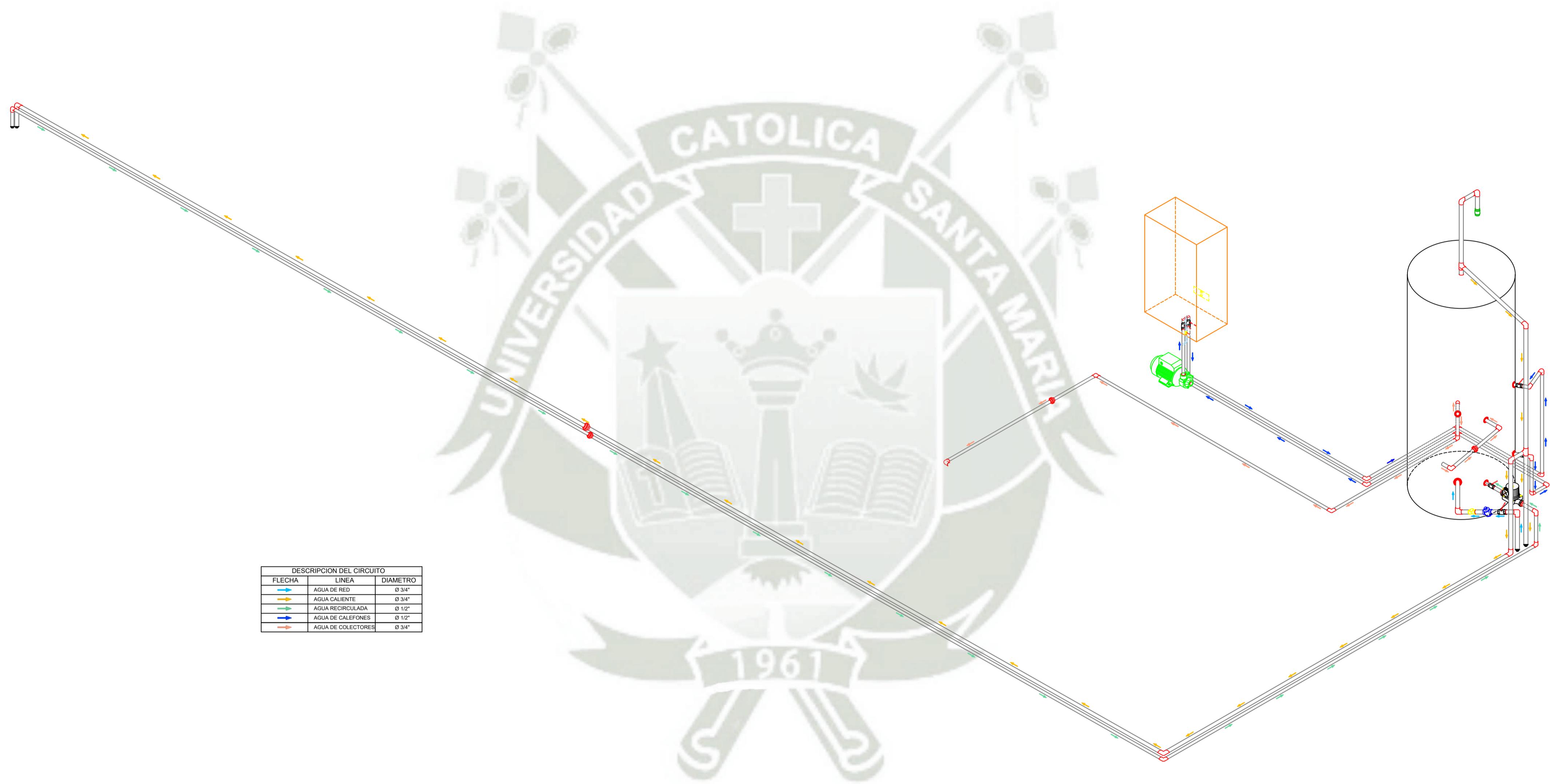


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE  
SANTA MARÍA  
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA - ELECTRICA Y MECATRONICA

Fecha	Nombre	Firma
Dibujado 16-08-19	A. Huayta	
Revisado 10-10-19	C. Gordillo	
Aprobado		

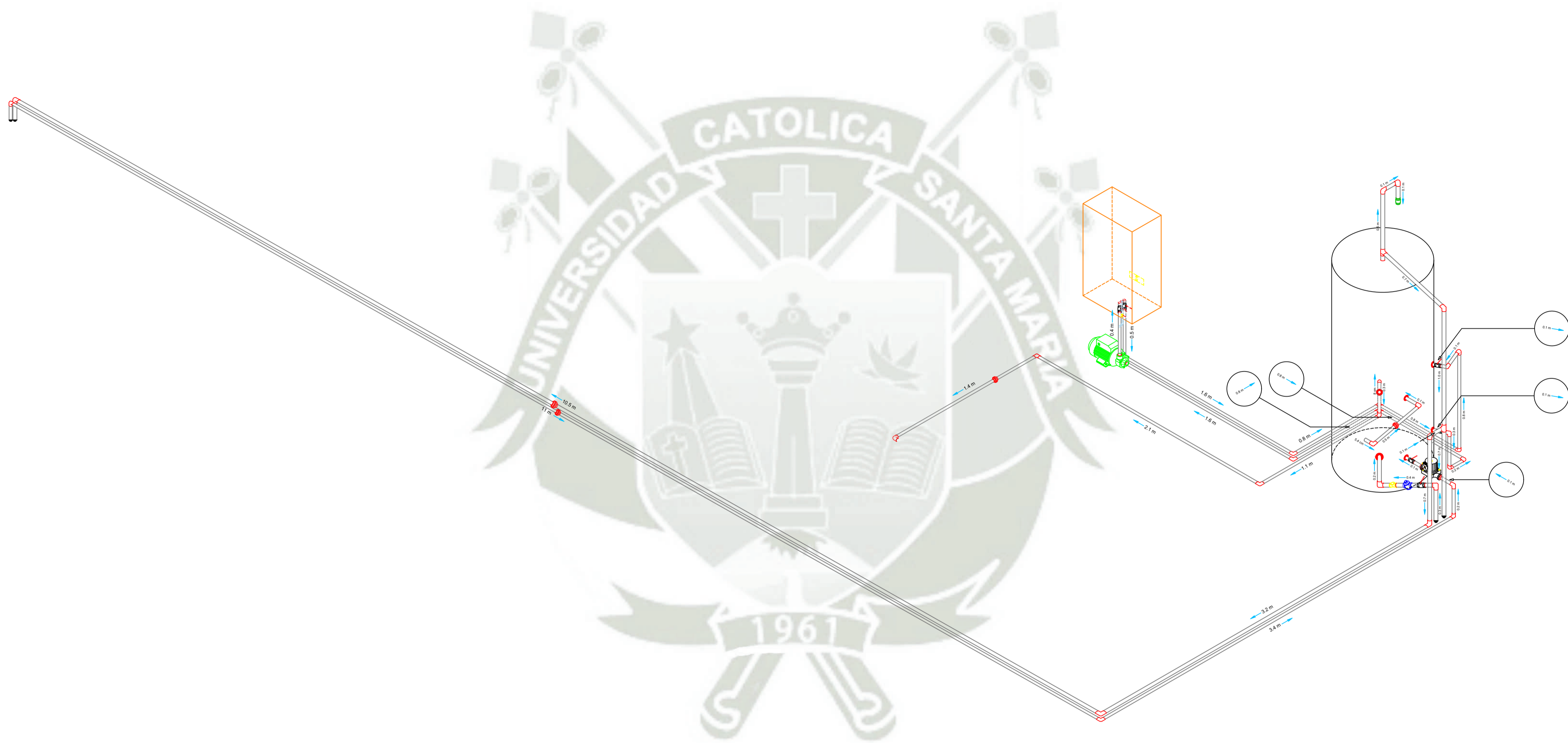
TITULO:  
ESTUDIO TECNICO DE APROVECHAMIENTO SOLAR  
ANALIZANDO DIFERENTES TIPOS DE COLECTORES PARA  
APLICACION EN HOTELES DE AREQUIPA

PLANO:  
DISEÑO DE LOS CIRCUITOS DE AGUA  
CALIENTE DE LOS TRES BLOQUES



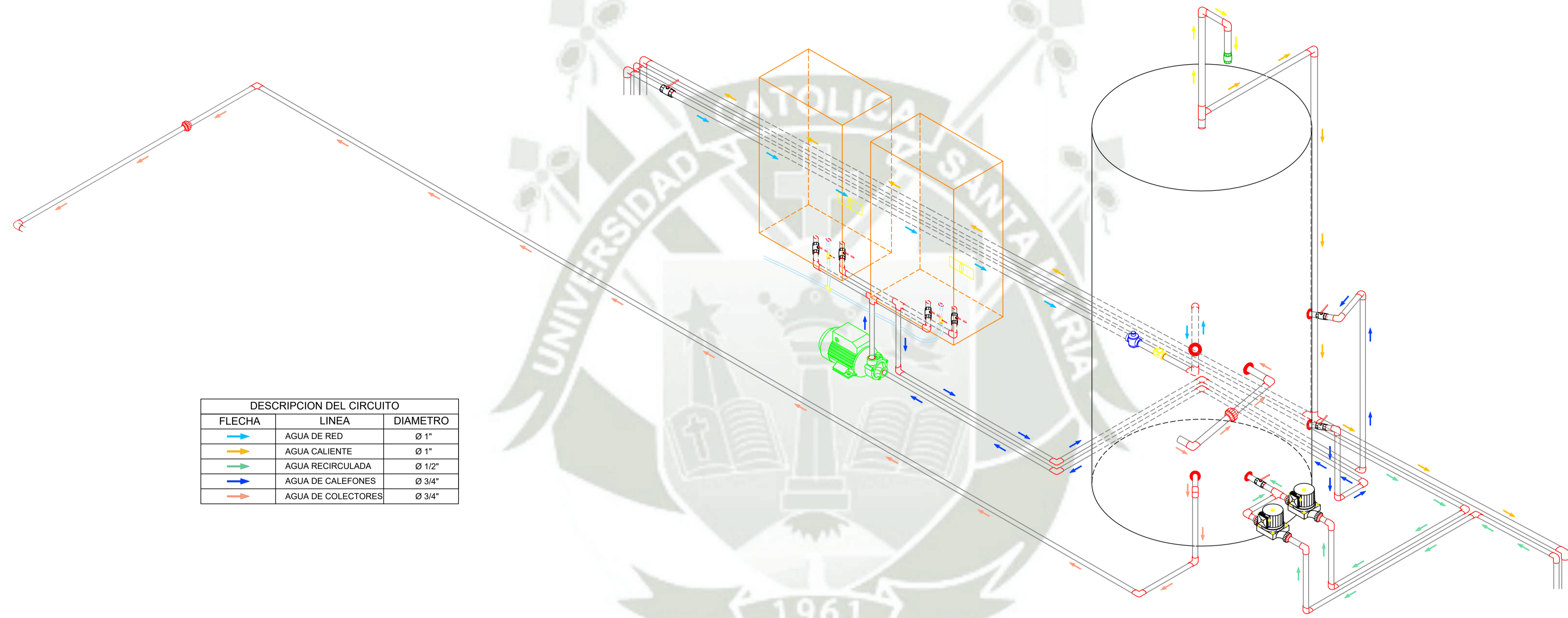
DESCRIPCION DEL CIRCUITO		
FLECHA	LINEA	DIAMETRO
	AGUA DE RED	Ø 3/4"
	AGUA CALIENTE	Ø 3/4"
	AGUA RECIRCULADA	Ø 1/2"
	AGUA DE CALEFONES	Ø 1/2"
	AGUA DE COLECTORES	Ø 3/4"

ESCALA 1 : 1



ESCALA 1 : 1

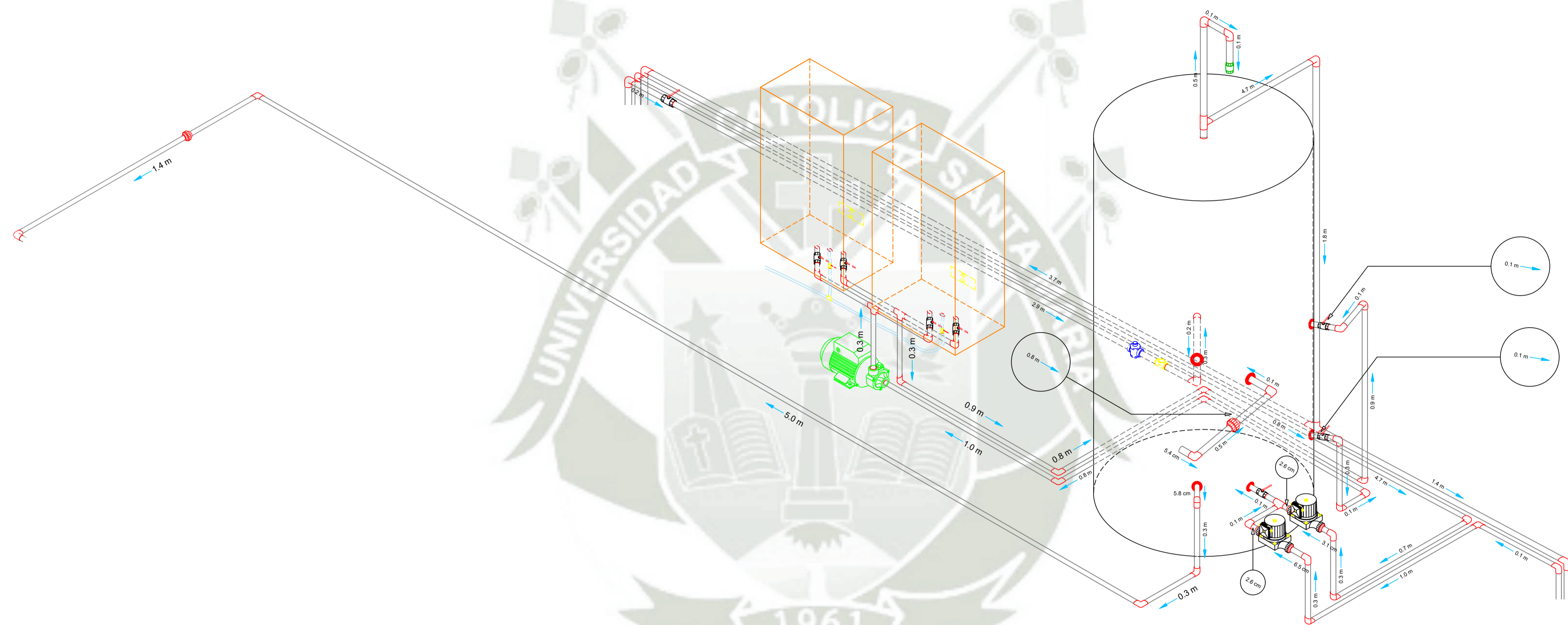
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Fecha:	Hoja:	Firma:
	PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Diseño:	16-09-19	A. Huelga
<small>           INSTITUTO TECNOLÓGICO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA            AV. LOS ANDES 1000, SANTIAGO DE LOS CABALLEROS, P.R. 00986         </small>		Revisado:	10-10-19	C. Guevara
		Parte:	DIMENSIONES DE LOS CIRCUITOS PRIMER BLOQUE	



DESCRIPCION DEL CIRCUITO		
FLECHA	LINEA	DIAMETRO
	AGUA DE RED	Ø 1"
	AGUA CALIENTE	Ø 1"
	AGUA RECIRCULADA	Ø 1/2"
	AGUA DE CALEFONES	Ø 3/4"
	AGUA DE COLECTORES	Ø 3/4"

ESCALA 1:1

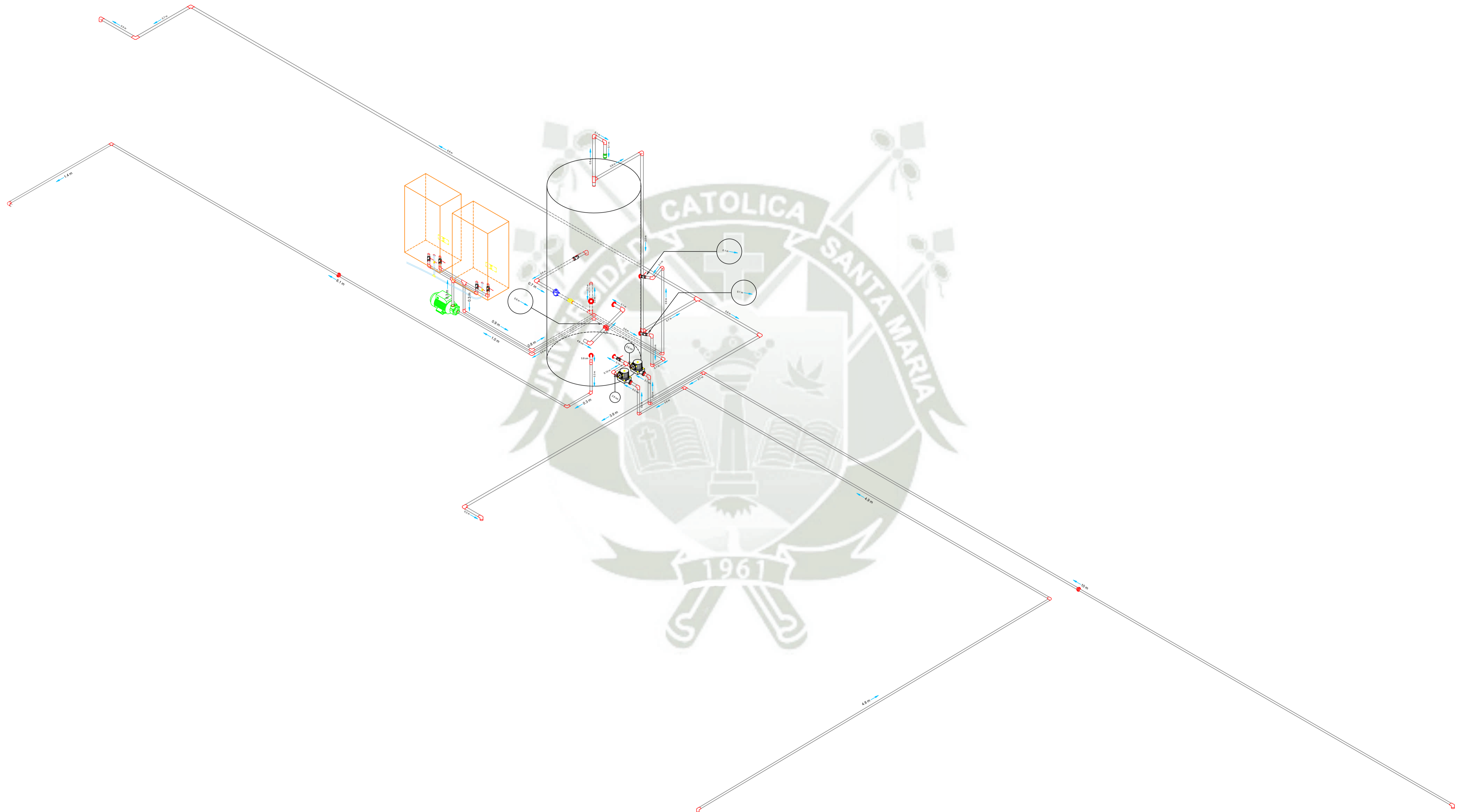
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Fecha	Nombre	Firma
	PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA - ELÉCTRICA Y MECATRONICA	Dibujado 16-08-19	A. Huayta	
	TÍTULO: ESTUDIO TÉCNICO DE APROVECHAMIENTO SOLAR ANALIZANDO DIFERENTES TIPOS DE COLECTORES PARA APLICACIÓN EN HOTELES DE AREQUIPA	Revisado 10-10-19	C. Gordillo	
	PLANO: DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS SEGUNDO BLOQUE	Aprobado		



ESCALA 1:1

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Fecha	Nombre	Firma
	PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA - ELÉCTRICA Y MECATRONICA	Dibujado 16-08-19	A. Huayta	
	TÍTULO: ESTUDIO TÉCNICO DE APROVECHAMIENTO SOLAR ANALIZANDO DIFERENTES TIPOS DE COLECTORES PARA APLICACIÓN EN HOTELES DE AREQUIPA.	Revisado 10-10-19	C. Gordillo	
	PLANO: DIMENSIONES DE LOS CIRCUITOS SEGUNDO BLOQUE	Aprobado		





ESCALA 1 : 1

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	Fecha:	Nombre:	Firma:
	PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA	Diseño:	16-09-19	A. HERRERA
		Revisión:	10-10-19	C. GONZALEZ
		TÍTULO: DIMENSIONES DE LOS CIRCUITOS TERCER BLOQUE		